



# Análisis de riesgo de la declaración de conformidad de la potencia de luminarias a un nivel determinado de confianza

Risk analysis of the declaration of conformity of luminaire power at a given confidence level



**Daniela Juiña<sup>1</sup>, Byron Silva<sup>2</sup>, Carlos Velásquez<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup> Instituto de Investigación Geológico y Energético, Quito, Ecuador

<sup>2</sup> Instituto de Investigación Geológico y Energético, Quito, Ecuador

<sup>3</sup> Universidad Central del Ecuador, Modalidad en Línea, Quito, Ecuador

Instituto de Investigación Geológico y Energético, Quito, Ecuador

Universidad de Alicante, Departamento de Matemática Aplicada, Alicante, España

daniela.juina@geoenergia.gob.ec

DOI: <https://doi.org/10.26871/killkanatecnica.v7i1.1465>



## Resumen

El presente trabajo ha estudiado el análisis de riesgo probabilístico al momento de efectuar una declaración de conformidad sobre las bondades técnicas de una luminaria. Las luminarias bajo prueba son luminarias LED, dado que la tecnología LED tiene un creciente desarrollo y que actualmente estas luminarias son las más utilizadas para el alumbrado público a nivel mundial. Existen gran cantidad de fabricantes y por tanto, es necesario verificar la calidad de las luminarias que se comercializan; para lo cual, se requiere que algún organismo evaluador de la conformidad (OEC) certifique que las bondades técnicas de las luminarias cumplen con normativas. Para este estudio, el parámetro a analizar es la potencia, el OEC es un laboratorio de ensayos que se encuentra acreditado con la norma ISO/IEC 17025, y bajo la cual realiza la declaración de conformidad; el valor de potencia se obtiene durante la ejecución de ensayos de matriz de intensidad luminosa. Las medidas de potencia se han evaluado bajo una estadística paramétrica y se ha obtenido que para niveles de confianza inferiores a 99,99% la potencia registrada de la luminaria es conforme, y para niveles de confianza superiores a 99,998% el resultado es no conforme con el esquema experimental utilizado.

**Palabras clave:** *Riesgo probabilístico, declaración de conformidad, potencia, luminarias, LED.*

## Abstract

This work has studied the probabilistic risk analysis at the time of making a declaration of conformity on the technical performance of a luminaire. The luminaires under test are LED luminaires, since LED technology has a growing development and currently these luminaires are the most used for public lighting worldwide. There are a large number of manufacturers and therefore, it is necessary to verify the quality of the luminaires that are marketed; for which, it is necessary for a conformity assessment body (OEC) to certify that the technical characteristics of the luminaires comply with regulations. For this study, the parameter to be analyzed is the power, the OEC is a testing laboratory that is accredited with ISO/IEC 17025, and under which the declaration of conformity is carried out; the power value is obtained during the execution of luminous intensity matrix tests. The power measurements have been evaluated under a parametric statistic and it has been obtained that for confidence levels lower than 99.99% the recorded power of the luminaire is compliant, and for confidence levels higher than 99.998% the result is non-compliant with the experimental scheme used.

**Keywords:** *Probabilistic risk, declaration of conformity, power, luminaires, LED.*

## Introducción

La evaluación de la conformidad o declaración de conformidad de acuerdo a la ISO/IEC 17000:2020 es la demostración cumplimiento de determinados requisitos especificados [1], que puede ser asociado a un producto, proceso, organismo, entre otros; por tanto, el tener una declaración de conformidad, en este caso particular de luminarias, es un sello que da confiabilidad al fabricante o al consumidor de que el producto cumple con estándares de calidad. La certificación de un producto debe ser realizada por una tercera parte que no tenga relación demostrable ni conflicto de interés con el productor y también con el comprador, asegurar por escrito que un producto, cumple los requisitos especificados[2]. Además, para que esta declaración de conformidad sea válida a nivel nacional o internacional debe ser realizada por un ente con la competencia técnica, como lo es un laboratorio de ensayos o calibración acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2018 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” o también denominado Organismo Evaluador de la Conformidad (OEC)[3].

La norma ISO/IEC 17025:2018 indica que para proporcionar una declaración de conformidad se debe tener a una especificación o norma, y una regla de decisión, teniendo en cuenta el nivel de riesgo asociado con la regla de decisión empleada [4].

A nivel internacional existen organismos reconocidos como la International Organization for Standardization (ISO), la National Electrical Manufacturers Association (NEMA), la Asociación Española de Normalización (UNE), entre otros, que emiten normativa y especificaciones para garantizar los niveles de seguridad y calidad de productos. En Ecuador hay entidades como el Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO) y el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN)

que emiten normativa técnica para regular la calidad de los productos que se comercializan en el país. Las normativas y especificaciones que estos organismos elaboran pueden ser tomadas para realizar la declaración de conformidad.

Para luminarias existen diversos tipos de ensayos que se pueden realizar, tales como: ensayos fotométricos, eléctricos, electrónicos, mecánicos, etc; los resultados obtenidos de estos ensayos pueden ser sometidos a revisión de cumplimiento de calidad de acuerdo a normativa establecida en documentos como IEC 60529 “Grados de protección IP”, IEC 62031 “Módulos LED para alumbrado general Requisitos de seguridad”, IEC 61000-3-2 “Compatibilidad electromagnética (CEM)” o, especificaciones técnicas que el fabricante reporte. En el país, para luminarias de alumbrado público se han implementado unidades de propiedad, que son especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir los productos, que también pueden ser utilizados para la declaración de conformidad[5], [6].

El presente estudio hace referencia al análisis de riesgo de la declaración de conformidad aplicado a luminarias LED de alumbrado público, debido a que, el mercado de la iluminación está demandando el reemplazo de productos de iluminación convencionales por productos de iluminación basados en tecnología LED por su alta eficiencia, sus ventajas medioambientales y su larga vida útil[7].

Uno de los ensayos requeridos para luminarias es el ensayo fotométrico para obtener la matriz de intensidades luminosas, este ensayo se realiza con los métodos descritos en las normas ANSI/IES LM-79-19 “Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid State Lighting Products” y CIE 121-1996 “The Photometry and goniophotometry of luminaries”. Durante este ensayo también se toma medidas de magnitudes

eléctricas de la luminaria como: voltaje, corriente y potencia[8], [9].

Para el tratamiento de datos obtenidos de las mediciones, se aplican herramientas estadísticas, en este estudio se emplea la estadística paramétrica, que se encarga de hacer estimaciones y pruebas de hipótesis sobre parámetros de la población de datos (la media y desviación estándar)[10].

Estas pruebas paramétricas tienen varios supuestos que deben ser verificados previo a su aplicación, por ejemplo datos normalmente distribuidos, la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) en los grupos que se comparan y un tamaño muestral  $n$  no inferior a 30, debido a que la estimación mejorará mientras más grande sea la muestra obtenida [11].

También, se conoce que la imperfección natural al realizar mediciones, vuelve canónico la incerteza sobre el valor “verdadero” de una determinada magnitud. El resultado reportado de una medición, debe tener de forma obligatoria una indicación cuantitativa en términos de repetibilidad y reproducibilidad que demuestre la calidad del resultado, de esta manera el usuario puede evaluar su confiabilidad. Por lo tanto, es necesario un procedimiento o guía que permita la caracterización del resultado de medición se vuelve necesario, es decir, para evaluar y expresar su incertidumbre[12]. Así pues, toda medición debe ser reportada con una magnitud de tendencia central que representa la mejor forma de estimar su valor y su incertidumbre, que es un parámetro que brinda una idea de la dispersión de los valores detectados en la búsqueda del mesurando, definición de acuerdo al “International vocabulary in metrology” (VIM)[13]. [14] En este estudio, la propagación de la incertidumbre se realiza bajo “The Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” (GUM), guía que establece algunas reglas generales con el objetivo de la evaluación y expresión de la incertidumbre en la medición que pueden ser aplicables a un amplio espectro de mediciones.

Como se ha mencionado, el valor reportado en una medición tiene una incertidumbre asociada a dicha medición; es así que, cuando se toman los resultados de una medición para realizar una declaración de conformidad, el resultado de la medición puede estar dentro o fuera de los límites de tolerancia de las especificaciones que pueden estar determinadas por una normativa específica o un proceso de producción, y por tanto, se dice que el producto pasa o no pasa (con una interpretación binaria) respecto a un requisito particular. Bajo esta interpretación se generan dos posibilidades al emitir el resultado: se realiza una decisión correcta o una decisión incorrecta sobre la conformidad con una especificación definida, generando implícitamente el riesgo de aceptar falsamente un resultado debido a la incertidumbre de medida[15].

Considerando el riesgo que sume el OEC al emitir un resultado erróneo, en este caso de estudio se realiza un análisis estadístico del nivel de riesgo que aparece directamente en función de la regla de decisión utilizada a un determinado nivel de confianza en una declaración de conformidad.

## Metodología

Uno de los parámetros eléctricos importantes que los fabricantes de luminarias reportan dentro de las especificaciones técnicas es la potencia; dada su relevancia, se selecciona esta magnitud para realizar el análisis de riesgo probabilístico al momento de efectuar la declaración de conformidad. Las luminarias que se ponen bajo prueba para efectuar las mediciones de potencia son dos luminarias LED de la misma marca, de 75W y 142W.

Las medidas de potencia de las luminarias LED son tomadas durante los ensayos para determinar su matriz de distribución de intensidades lumi-

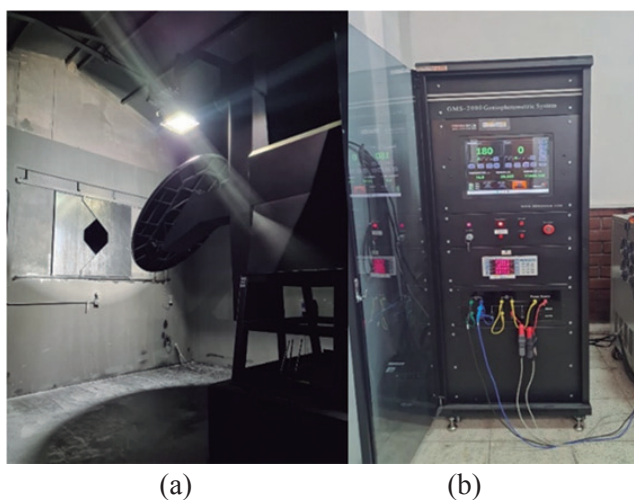
nosas, ensayos realizados en un laboratorio con acreditación bajo la norma ISO/IEC 17025; además, el ensayo de matriz de intensidad se realiza bajo los métodos descritos en las normas ANSI/IES LM 79-19 y CIE 121-996, por tanto, todos los requisitos de estas normas para luminarias LED se cumplen en su totalidad[8], [9].

El ensayo para determinación de la matriz de distribución de intensidades luminosas radica en montar la luminaria alineando su centro fotométrico en un goniofotómetro de espejo rotante tipo C, y aplicando un sistema de coordenadas esféricas  $C$  y  $\gamma$  para detectar la intensidad luminosa mediante un sensor clase L en función del par de ángulos  $C$ ,  $\gamma$ ; obteniendo así, la matriz de intensidades luminosas. Durante el ensayo se supervisan las condiciones ambientales exigidas para trabajar con tecnología LED, tales como: temperatura ( $25 \pm 1,2^\circ\text{C}$ )[16] y humedad relativa (10% y 65% de HR), manteniendo y monitoreando estos parámetros dentro de lo que exige la norma; también, las magnitudes y parámetros eléctricos que la luminaria consume y genera durante el tiempo de ensayo, entre las que se tiene: distorsión armónica total (THD)[17] de voltaje y corriente, frecuencia, potencia, corriente, voltaje.

Para asegurar la trazabilidad metrológica de los

resultados obtenidos e informados en un informe de ensayo, los equipos de medida empleados son calibrados por otro proveedor ISO/IEC 17025 y por tanto con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI). El Goniofotómetro de espejo rotante tipo C de marca Sensing, modelo GMS2000, utiliza una lámpara de referencia de 2856K calibrada en la magnitud de intensidad luminosa, con su certificado de calibración emitido por el National Institute of Metrology (NIM); para la medición de las condiciones ambientales se tiene el termohigrómetro marca Testo, modelo 174H, calibrado en temperatura y humedad, con su certificado de calibración de la empresa Metrólogos y Asociados del Ecuador; para medir la distorsión armónica total se utiliza el analizador de redes eléctricas marca Metrel, modelo MI 2892, calibrado en THD de voltaje y corriente, con su certificado de calibración emitido por el Centro Nacional de Metrología (CENAM); para las magnitudes eléctricas se tiene el medidor digital de potencia marca Yokowaga, modelo WT310, calibrado en voltaje y corriente, con su certificado de calibración de la empresa Elicrom.

A continuación, se muestra el montaje de la luminaria en el goniofotómetro y el rack con sus equipos para medición y visualización de parámetros eléctricos y fotométricos.



**Gráfico 1.** a) Ensayo de matriz de intensidad en Goniofotómetro b) Rack con equipos para medición

**Fuente:** Daniela Juiña, Ecuador, 2023

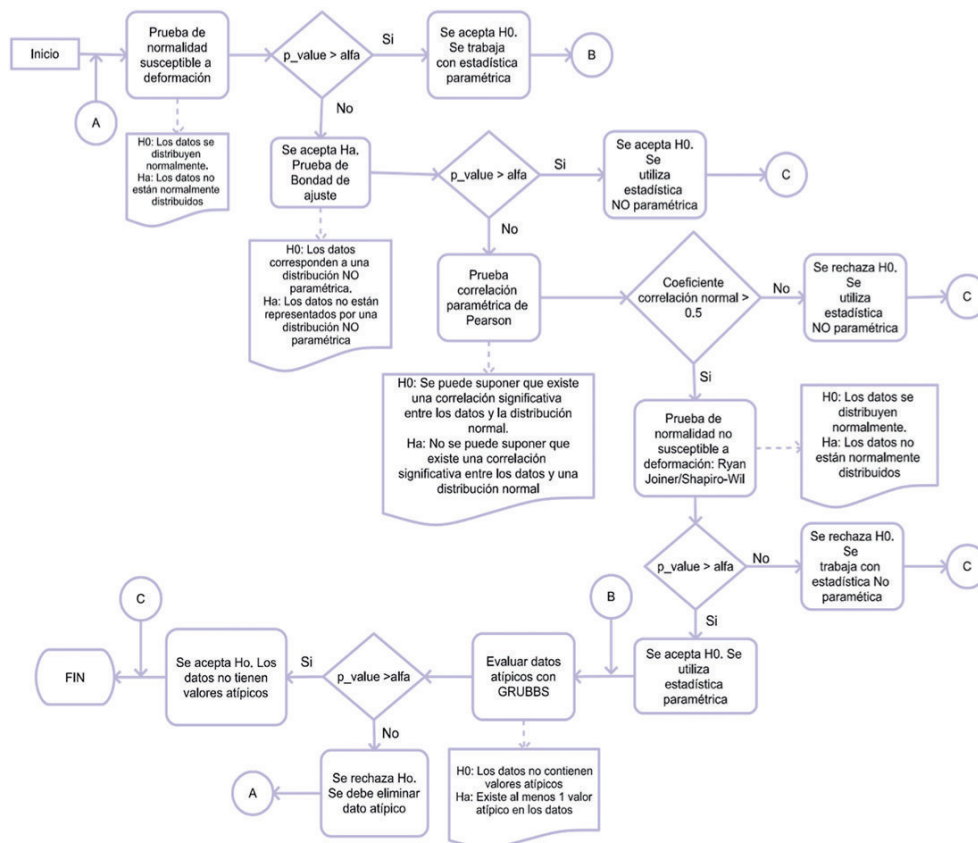


Durante cada ensayo las magnitudes eléctricas de corriente, voltaje y potencia que la luminaria consume son tomadas directamente mediante el medidor digital de potencia. Para el presente estudio los ensayos se realizan por dos analistas técnicos siguiendo el mismo método de ensayo, es decir, por cada luminaria se obtienen dos muestras.

Para probar la igualdad de las mediciones tomadas por los dos analistas, y para producir conclusiones válidas a partir de los datos obtenidos, es necesario satisfacer estadísticamente ciertos supuestos fundamentales, como normalidad y homocedasticidad, esto por medio de pruebas

paramétricas[18]

Los datos de potencia obtenidos de cada ensayo son sometidos al proceso de evaluación de normalidad y, luego sometidos a prueba de atipicidad de datos, mediante el software estadístico Minitab; además, se emplea estadística inferencial, donde se realiza un planteamiento de hipótesis, es decir, mediante el planteamiento de una hipótesis nula y una alternativa, los resultados podrán entregar la ubicación en una zona de rechazo o de aceptación de dichas hipótesis en función de un estadístico definido. [19] Este proceso se muestra a continuación:



**Gráfico 2.** Proceso de evaluación de normalidad y atipicidad de datos

**Fuente:** Daniela Juiña, Ecuador, 2023

La prueba de normalidad de datos susceptible a deformación se realiza por el estadístico Anderson-Darling, si el estadístico de prueba es menor que nivel de significancia elegido, la hipótesis nula de normalidad de la población es rechazada.

A continuación, se realiza la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling (AD), si el estadístico de prueba es menor que o igual al nivel de significancia, la hipótesis nula es rechazada y se concluye que sus datos no siguen la distribución[20].

Una vez que no se ha comprobado normalidad de datos por Anderson Darling, se aplica la prueba de correlación paramétrica de Pearson que evalúa o mide el grado de asociación lineal entre dos variables. El valor obtenido en el coeficiente de correlación se encuentra entre -1 y +1, si el coeficiente fuese cero entonces no habría correlación o asociación lineal, cuando más tiende a cero menor es la correlación, y mientras más tiende a 1 o -1 implica mayor correlación[20], [21].

Una vez aprobada la correlación paramétrica de Pearson, la siguiente prueba que se utiliza es la prueba de normalidad de Ryan Joiner, que evalúa qué tan bien se ajustan los datos a una distribución normal. [20].

Finalmente, para garantizar la calidad metrológica de los resultados de las mediciones y una vez que se ha comprobado que los datos siguen una distribución normal, se emplea la prueba paramétrica de Grubbs para discriminar datos atípicos. Si el estadístico de prueba es menor que el nivel de significancia, por tanto, los resultados son estadísticamente significativos y se rechaza la hipótesis nula.

Una vez determinada la normalidad de las mediciones y verificar la existencia de datos atípicos, es necesario evaluar homocedasticidad y trazabilidad de los datos tomados por los dos analistas técnicos, de igual forma, esta evaluación se realiza mediante el software estadístico Minitab.

Para evaluar homocedasticidad se aplica el estadístico de prueba F de Fisher que se basa en el análisis de las varianzas, si las varianzas de los dos analistas resultan iguales, entonces los datos son homocedásticos. Para corroborar lo anterior, se determina si el estadístico de prueba es mayor al nivel de significancia, entonces las diferencias entre las desviaciones estándar no son estadísticamente significativas.

La trazabilidad de los dos analistas se la evalúa con la prueba t de Student para dos muestras, se aplica esta prueba considerando que el tamaño de la muestra es mayor a 30, esta prueba evalúa la diferencia entre las medias de dos muestras, cuando la diferencia entre las medias no es estadísticamente significativa, entonces se puede decir que las muestras son iguales. Por tanto, cuando el estadístico de prueba es mayor al nivel de significancia se puede concluir lo anterior.

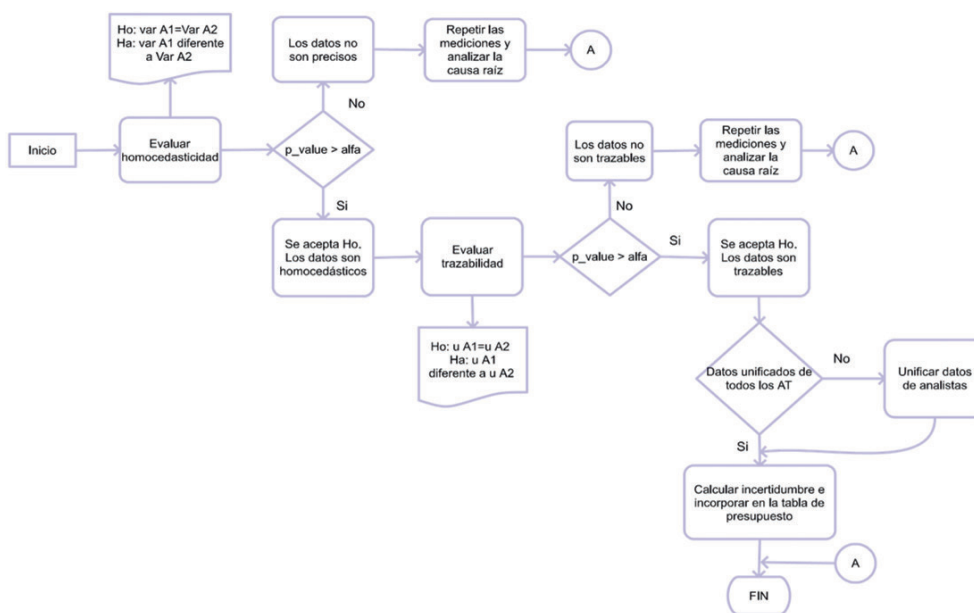


Gráfico 3. Proceso de evaluación de homocedasticidad y trazabilidad de datos.

Fuente: Daniela Juiña, Ecuador, 2023

Para efectuar el análisis de la incertidumbre en la declaración de conformidad se realiza el siguiente proceso, considerando las reglas de la GUM para la evaluación y expresión de la incertidumbre en la medición. Como primer paso se procede a la elaboración del modelo matemático para obtener el mensurando de medición; a partir del modelo matemático, se procede a identificar las fuentes de incertidumbre que contribuyen significativamente al resultado de medición; como siguiente paso, para todas variables de entrada se determina su incertidumbre estándar asociada utilizando la evaluación tipo A cuando los datos provienen de un método estadístico y evaluación tipo B cuando provienen de cualquier otro método. A continuación, se procede a determinar la incertidumbre típica combinada, identificando las magnitudes de entrada correlacionadas y las magnitudes no correlacionadas; y, también, se determinan los grados de libertad efectivos para obtener el factor de cobertura con el nivel de confianza previsto. Una vez obtenida la incertidumbre combinada, se debe realizar el cálculo de la incertidumbre expandida, y se procede a realizar la expresión de los resultados de la medición. Con los resultados obtenidos, se realiza la declaración de conformidad acorde a la norma ISO/IEC 17025; tras la declaración de conformidad, se realiza un análisis probabilístico con los datos de potencia a diferentes niveles de confianza.

## Resultados y discusión

Los ensayos se realizan a 230V, con una corriente de 0,33A para la luminaria de 75W y 0,641A para la luminaria de 142W. Por luminaria se toman 120 medidas de potencia en cada ensayo, mediante el medidor digital de potencia cuya resolución en potencia es de 0,1%lectura+0,1%rango; estos valores se someten al proceso de evaluación de normalidad y atipicidad de datos. A continuación, se muestran los resultados obtenidos con la luminaria LED de 75W, datos analizados estadísticamente bajo un nivel de confianza del 95% y nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

### 1. Prueba de normalidad susceptible a deformación por Anderson-Darling

Ho: Los datos de potencia están normalmente distribuidos.

Ha: Los datos de potencia no están descritos por una distribución normal.

El estadístico de prueba con cada analista técnico es de  $<0,005$ .

Conclusión:  $0,005 < 0,05$ , entonces se rechaza Ho, lo que significa que los datos de potencia probablemente no están descritos por una distribución normal.

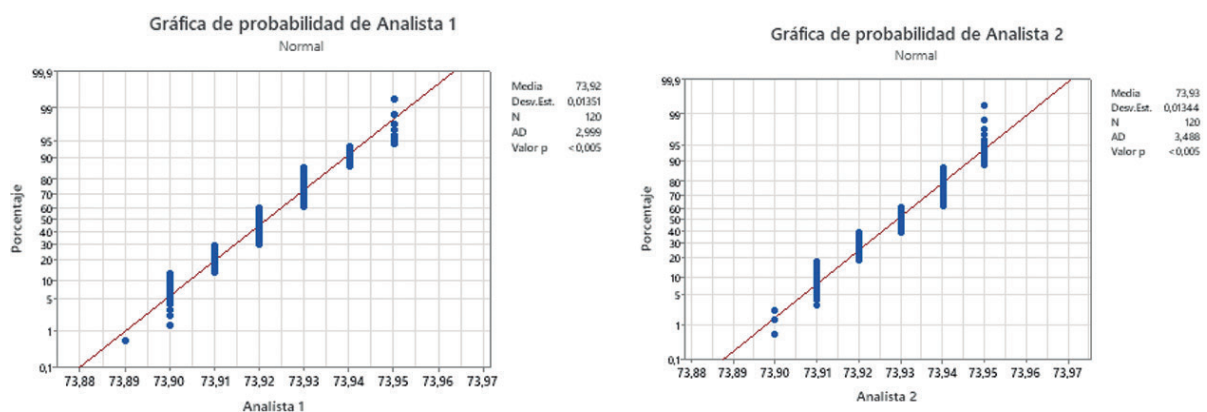


Gráfico 4. Prueba de Normalidad por Anderson-Darling del Analista 1 y Analista 2

Fuente: Daniela Juiña, Ecuador, 2023



2. Prueba de bondad de ajuste

Ho: Los datos de potencia corresponden a una distribución no paramétrica.

Ha: Los datos de potencia no están representados por una distribución no paramétrica.

El estadístico de prueba en cada caso da como resultado  $<0,005$ .

Conclusión:  $0,005 < 0,05$  entonces se rechaza Ho, lo que significa que los datos de potencia están representados por una distribución paramétrica.

3. Evaluación de correlación paramétrica de Pearson.

Ho: Existe una correlación significativa entre los datos y la distribución normal.

Ha: No existe una correlación significativa entre los datos y la distribución normal.

Con los datos del analista 1, el coeficiente de correlación de Pearson es igual a 0,971.

Con los datos del analista 2, el coeficiente da como resultado 0,9765.

Conclusión: En cada caso  $0,971 > 0,5$  y  $0,9765 > 0,5$ , entonces se acepta Ho, lo que significa que existe una correlación significativa entre los datos y la distribución normal.

4. Evaluación de normalidad no susceptible a deformación por Ryan Joiner

Ho: Los datos de potencia se están normalmente distribuidos.

Ha: Los datos de potencia no están descritos por una distribución normal.

El estadístico de prueba tanto con el analista 1 como con el analista 2 da como resultado  $> 0,1$ .

Conclusión:  $0,1 > 0,05$  entonces se acepta Ho, lo que significa que los datos de potencia siguen una distribución normal, y se puede proceder a tratar los datos con estadística paramétrica.

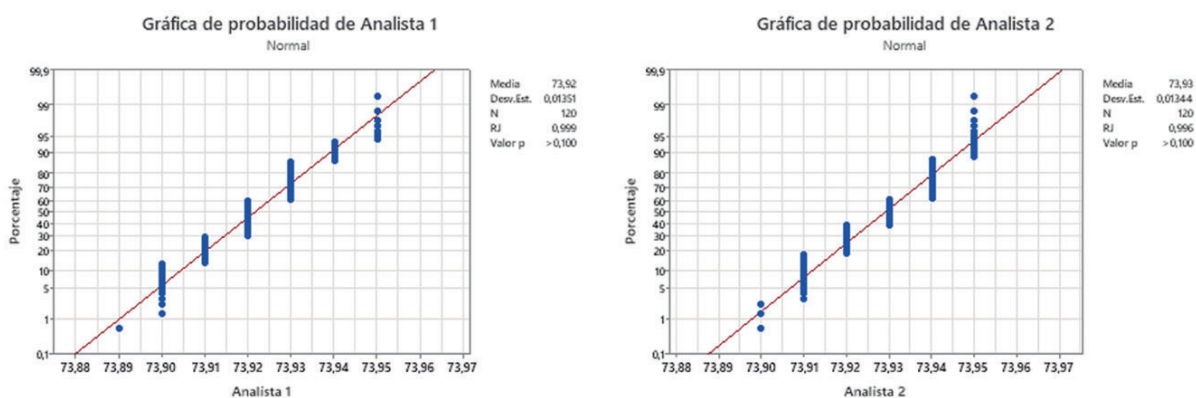


Gráfico 5. Prueba de normalidad por Ryan Joiner del Analista 1 y Analista 2

Fuente: Daniela Juiña, Ecuador, 2023

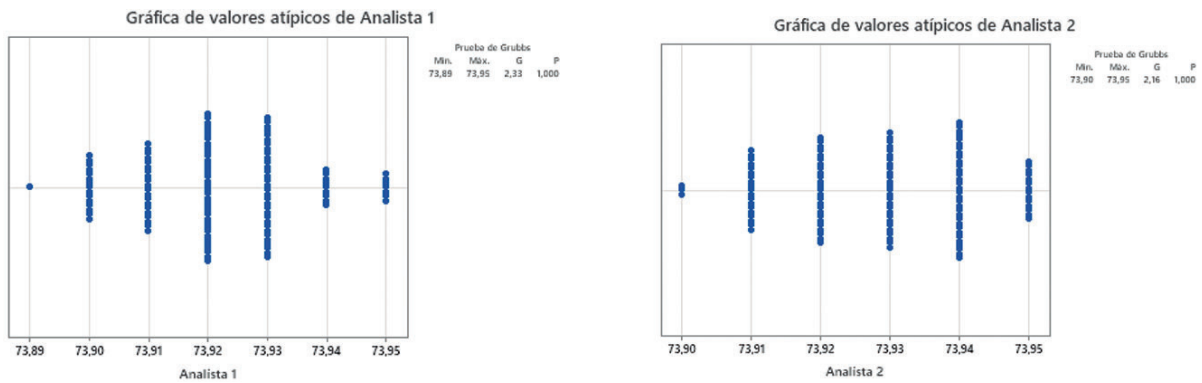
5. Evaluación de datos atípicos con GRUBBS

Ho: Los datos de potencia pertenecen a una población y no existen datos anómalos.

Ha: Los datos de potencia no pertenecen a una población y existen datos anómalos.

El estadístico de prueba para el analista 1 y 2 da como resultado 1.

Conclusión:  $1 > 0,05$  entonces se acepta Ho, por tanto, los datos pertenecen a una población y no existen datos anómalos.



**Gráfico 6.** Evaluación de datos atípicos con GRUBBS para Analista 1 y Analista 2

**Fuente:** Daniela Juiña, Ecuador, 2023

El mismo proceso es aplicado para la luminaria LED de 142W. Del análisis de los datos tomados, tanto para la luminaria LED de 75W como para la de 142W se obtiene que de cada muestra los valores de potencia analizados bajo un nivel de confianza del 95% y nivel de significancia  $\alpha=0.05$  corresponden a una distribución normal, por tanto, los datos se trabajan con estadística paramétrica; y, en ambos casos no existen datos anómalos.

Así también, las medidas tomadas por los dos analistas se someten al proceso de evaluación de homocedasticidad y trazabilidad de datos bajo un nivel de confianza del 95% y nivel de signi-

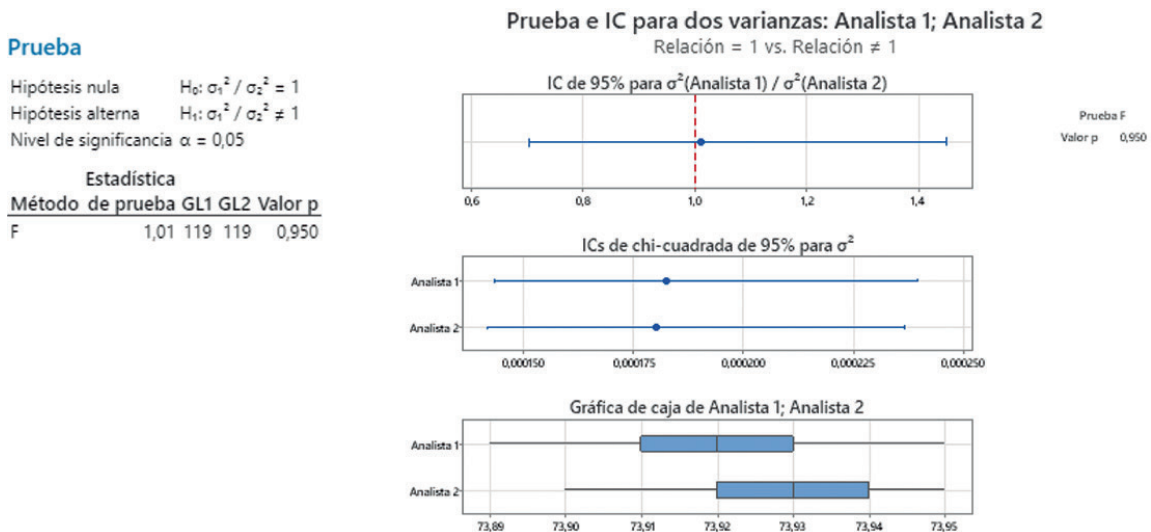
ficanza  $\alpha = 0.05$ . Los resultados obtenidos para la luminaria de 75W se muestran a continuación:

1. Evaluación de homocedasticidad de datos  
 Ho: Las varianzas de los analistas 1 y 2 son iguales

Ha: Las varianzas de los analistas 1 y 2 no son iguales

El estadístico de prueba en el análisis de varianzas da como resultado 0,95.

Conclusión:  $0,95 > 0,05$  se acepta Ho, entonces las diferencias entre las desviaciones estándar no son estadísticamente significativas, por tanto, los datos son homocedásticos.



**Gráfico 7.** Evaluación de Homocedasticidad de datos Analista 1 y Analista 2

**Fuente:** Daniela Juiña, Ecuador, 2023

2. Evaluación de trazabilidad de datos

Ho: Las incertidumbres de medición de los analistas son iguales

Ha: Las incertidumbres de medición de los analistas no son iguales

El estadístico de prueba en de la media de las dos muestras da como resultado 0,111.

Conclusión:  $0,111 > 0,05$  se acepta Ho, entonces se puede decir que las muestras son iguales, por tanto, los datos son trazables

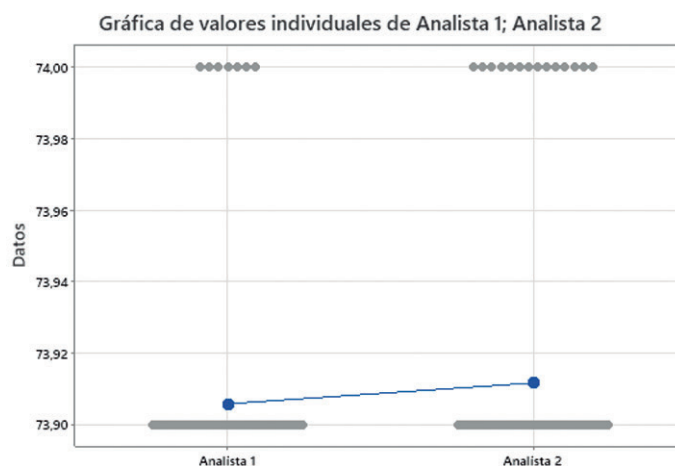
**Prueba**

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

-1,60 238 0,111



**Gráfico 8.** Evaluación de Trazabilidad de datos Analista 1 y Analista 2

Fuente: Daniela Juiña, Ecuador, 2023

El proceso anterior aplicado tanto para la luminaria LED de 75W como para la de 142W indican que las medidas de potencia tomadas por los dos analistas técnicos son homocedásticos y trazables, por tanto, se puede unificar los datos tomados por los dos analistas e incorporar los valores en la tabla de presupuesto para cada caso.

A partir del tratamiento estadístico dado a los datos de potencia obtenidos de las mediciones realizadas, se procede a realizar el cálculo de incertidumbre, que se ha obtenido de la siguiente manera:

**A. Elaboración del modelo matemático.**

El modelo matemático empleado para la obtención del valor de potencia a declarar de las luminarias LED es:

$$P = \bar{P} + c$$

De donde,

$$c = P_f - P_o;$$

$$P_o = V_o * I_o;$$

$$P_f = (V_o + c_v) * (I_o + c_i)$$

Donde,

$P$ : Potencia.

$\bar{P}$ : Potencia media.

$c$ : Corrección en potencia del medidor digital de potencia.

$P_o$ : Potencia obtenida con las lecturas de voltaje y corriente del certificado de calibración.

$P_f$ : Potencia obtenida con las lecturas de voltaje y corriente y sus correspondientes correcciones del certificado de calibración.

$c_v$ : Corrección de voltaje del certificado de calibración del medidor digital de potencia.

$c_i$ : Corrección de corriente del certificado de calibración del medidor digital de potencia.

$V_o$ : Lectura de voltaje del certificado de calibración del medidor digital de potencia.

$I_o$ : Lectura de corriente del certificado de calibración del medidor digital de potencia.

Del certificado de calibración del medidor digital de potencia en los puntos en los que se realiza el ensayo se tiene que:

**Tabla 1.** Datos del certificado de calibración del medidor digital de potencia.

Magnitud	Lectura	Error de medición	Incertidumbre	Factor de cobertura k
Voltaje AC (V)	229,99	0	0,19	2
Corriente AC (A)	0,19997	-0,00003	0,0019	2
	0,5002	0,0002	0,001	2

Fuente: Daniela Juiña, Ecuador, 2023

Del modelo matemático se tiene como resultado que, para la luminaria de 75W la potencia media es de 73.92W con una corrección de 0,0069W, para la luminaria de 142W la potencia media es de 142.54W con una corrección de -0,046W; por tanto, las potencias medidas a reportar serían 73,93W y 142.49W respectivamente.

### B. Identificación de fuentes de incertidumbre

Con base en el modelo matemático utilizado se identifican un total de 4 fuentes de incertidumbre: repetibilidad, calibración del equipo, resolución del equipo, analista técnico.

### C. Evaluación de incertidumbre estándar y determinación de incertidumbre combinada.

El modelo matemático para el cálculo de propagación de incertidumbre basándose en las directrices de la GUM es:

$$u(P)^2 = u(rep_p)^2 + u(res_{V,I})^2 + u(cal_{V,I})^2 + u(anal_p)^2$$

Dónde,

$u(P)$ : Incertidumbre combinada de potencia.

$u(rep_p)$ : Incertidumbre por repetibilidad.

$u(res_{V,I})$ : Incertidumbre por resolución del equipo de medida.

$u(cal_{V,I})$ : Incertidumbre por calibración del equipo de medida.

$u(anal_p)$ : Incertidumbre por medición de analista técnico.

$u(sesgo_p)$ : Incertidumbre por sesgo.

Se tiene que:

$$u(anal_p)^2 = u(sesgo_p)^2 + u(rep_p)^2$$

Se considera que la incertidumbre del analista es igual al sesgo debido a que la incertidumbre por repetibilidad está dentro de la medición natural.

Por tanto, la incertidumbre combinada es:

$$u(P)^2 = u(rep_p)^2 + u(res_{V,I})^2 + u(cal_{V,I})^2 + u(sesgo_p)^2$$

La incertidumbre por calibración del equipo de medida se obtiene de la siguiente forma, considerando que:

$$P = V * I * \cos\phi$$

Dónde,

$V$ : Voltaje de ensayo.

$I$ : Corriente de ensayo.

$\cos\phi$  : Factor de potencia. (Se asume carga resistiva del certificado de calibración)

La derivada de la función de potencia es:

$$\delta P = \left| \frac{\partial P}{\partial V} \right| \delta V + \left| \frac{\partial P}{\partial I} \right| \delta I$$

$$\delta P = I \delta V + V \delta I$$

Por tanto, la propagación de incertidumbre por calibración es:

$$u(cal_{v,l}) = \frac{V * u_I + I * u_V}{k}$$

Entonces,

$$u(P)^2 = \left(\frac{\sigma_p}{\sqrt{N}}\right)^2 + \left(\frac{Resolución}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{V * u_I + I * u_V}{k}\right)^2 + \left(\frac{\bar{P} - P}{\sqrt{N}}\right)^2$$

Donde:

$\sigma_p$ : Desviación estándar de las medidas tomadas.

$N$ : Número de mediciones por muestra.

$u_I$ : Incertidumbre de corriente del certificado de calibración del medidor digital de potencia.

$u_V$ : Incertidumbre de voltaje del certificado de calibración del medidor digital de potencia.

$k$ : Factor de cobertura del certificado de calibración.

En la Tabla 2 se muestran los presupuestos de incertidumbre obtenidos para cada caso:

Tabla 2. Presupuestos de incertidumbre de las luminarias LED

Luminaria 75W								
Fuente	Tipo	Distribución	Componente	Fctor	$u$	Grados de Libertad	$u^2$	Peso
Repetibilidad	A	Normal	0,013513143	10,95445115	0,001233576	119	1,5217087E-06	0,0008%
Resolución	B	Rectangular	0,6	1,732050808	0,346410162	200	0,12	65,78%
Calibración	B	Normal	0,4997	2	0,24985	200	0,062425023	34,22%
Sesgo	A	Normal	-0,0031497	10,95445115	-0,00028753	119	8,26718E-08	0,000045%
$\sum u^2$							0,182426627	100,00%
<b>Incertidumbre combinada <math>u(P)</math></b>							0,427114302	
$\sum u^2$ dominante							2,4485325E-01	
<b>Raiz dominancia</b>							0,494826489	
<b>u Dominante</b>							1,43	

Luminaria 142W								
Fuente	Tipo	Distribución	Componente	Fctor	$u$	Grados de Libertad	$u^2$	Peso
Repetibilidad	A	Normal	0,019630872	10,95445115	0,001792045	119	3,2114262E-06	0,0018%
Resolución	B	Rectangular	0,6	1,732050808	0,346410162	200	0,12	65,78%
Calibración	B	Normal	0,35179	2	0,175895	200	0,030939051	16,96%
Sesgo	A	Normal	0,048998	10,95445115	0,004472885	119	2,00067E-05	0,010967%
$\sum u^2$							0,150962269	82,75%
<b>Incertidumbre combinada <math>u(P)</math></b>							0,388538633	
$\sum u^2$ dominante							1,8192454E-01	
<b>Raiz dominancia</b>							0,426526129	
<b>u Dominante</b>							1,23	

Fuente: Daniela Juiña, Ecuador, 2023



Para determinar si existe incertidumbre dominante se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Existe componente de incertidumbre dominante

Ha: No existe componente de incertidumbre dominante

Criterio: Si el valor de la incertidumbre dominante es  $< 0,3$  entonces aceptamos Ho[13].

Conclusión 1:  $1,43 > 0,3$  entonces rechazamos Ho, lo que significa que, no existe componente de incertidumbre dominante.

Conclusión 2:  $1,23 > 0,3$  entonces rechazamos Ho, por tanto, no existe componente de incertidumbre dominante.

#### D. Determinación de incertidumbre expandida.

De los datos analizados se tiene que, para la luminaria de 75W, una vez determinado que no existe componente de incertidumbre dominante, se aplica la función de distribución de probabilidad t-student, calculando con los grados efectivos de libertad que son 363,77, se obtiene un factor de cobertura de 1,97 a un nivel de confianza del 95%; para la luminaria de 142W los grados efectivos de libertad es igual a 293,79, dando un factor de cobertura de 1,97 a un nivel de confianza del 95%.

El valor de la incertidumbre expandida se determina mediante:

$$U = k * u(P)$$

Dónde,

$U$ : Incertidumbre expandida.

$u(P)$ : Incertidumbre combinada de potencia.

$k$ : Factor de cobertura.

Del modelo anterior se obtiene que, la incertidumbre expandida para la luminaria de 75W es de 0,84W y para la luminaria de 142W es de 0,76W.

#### E. Expresión de resultados.

Los resultados a reportar se expresan mediante el siguiente modelo matemático:

$$P = (\bar{P} + c) \pm U$$

Por tanto,

El resultado a reportar para la luminaria LED de 75W es:  $P = 73,93 \pm 0,84 W$

El resultado a reportar para la luminaria LED de 142W es:  $P = 142,49 \pm 0,76 W$

Es importante mencionar que los resultados para las dos luminarias están emitidos con un nivel de confianza del 95%.

#### F. Declaración de conformidad.

En cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025, para realizar la declaración de conformidad es necesario definir la especificación técnica y la regla de decisión aplicada.

- Especificación técnica: La especificación técnica a utilizar es la que el fabricante proporciona en el datasheet, para este caso, el fabricante indica que la tolerancia de la potencia total de la luminaria es del  $\pm 5\%$ .
- Regla de decisión: El criterio de aceptación de conformidad será el valor declarado con el 100% de su incertidumbre asociada.

1. Declaración de conformidad para la luminaria LED de 75W: De acuerdo a la especificación técnica del fabricante, el rango en el

que debe encontrarse el valor de la potencia está entre  $70,23W < P < 77,63W$ . Por tanto, la luminaria LED de 75W es conforme en potencia, respecto a la especificación técnica a un nivel de confianza del 95%.

- Declaración de conformidad para la luminaria LED de 142W: De acuerdo a la especificación técnica del fabricante, el rango en el que debe encontrarse el valor de la potencia está entre  $135,37W < P < 149,62W$ . Por tanto, la luminaria LED de 142W es conforme en potencia, respecto a la especificación técnica a un nivel de confianza del 95%.

### G. Análisis probabilístico de la declaración de conformidad

Luego del análisis realizado a las medidas de potencia se concluye que siguen una distribución normal, es así, que se evalúa la probabilidad de ocurrencia de los límites máximo y mínimo de la potencia de acuerdo a:

$$P(X) = N(\bar{X}; \sigma)$$

Por tanto,

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

Dónde:

$X$ : Valor de potencia

$P(X)$ : Probabilidad de  $X$

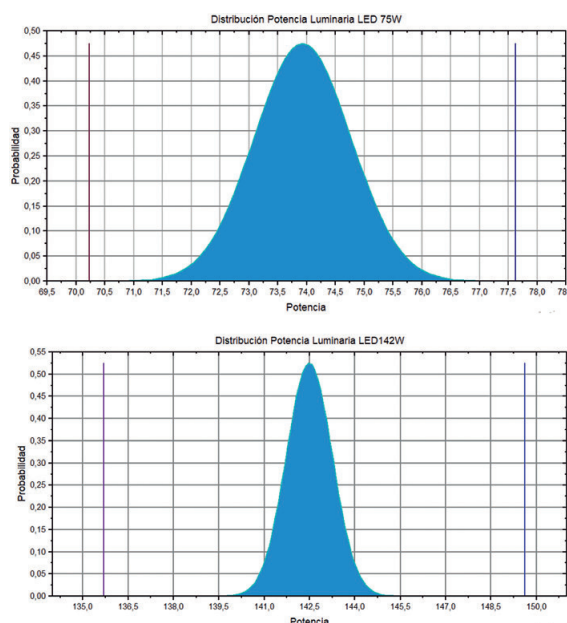
$N$ : Distribución normal

$\sigma$ : Desviación estándar

$Z$ : Distribución  $Z$

En la gráfica se puede observar la distribución probabilística que siguen los datos de potencia de cada luminaria, con sus respectivos límites superior e inferior.

**Gráfico 9.** Distribución de probabilidad de los valores de potencia de las luminarias LED.



Fuente: Daniela Juiña, Ecuador, 2023

Para cada luminaria se realiza la evaluación de probabilidad de ocurrencia de los límites superior e inferior en el que debe encontrarse el valor de la potencia de acuerdo a la especificación técnica.

El análisis de riesgo de la declaración de conformidad se realiza con niveles de confianza de 68%, 95% y 99%. Para cada caso se plantea las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : La probabilidad de conformidad debe ser menor al factor de riesgo  $\alpha$ .
- $H_a$ : La probabilidad de no conformidad debe ser mayor al factor de riesgo  $\alpha$ .

Para la luminaria de 75W se tiene que: la evaluación de probabilidad para el límite superior da como resultado 0,999994602, y para el límite inferior 0,0000054; obteniendo un nivel de confianza de 99,998% y un factor de riesgo  $\alpha$  de 0,00001. Para los niveles de confianza del 68%, 95% y 99%, las probabilidades de conformidad son 0,32, 0,05 y 0,01 respectivamente,

estos valores son menores al factor de riesgo  $\alpha$  de 0,00001; entonces, se acepta la hipótesis nula, obteniendo que la luminaria de 75W si es conforme a estos niveles de confianza.

Para la luminaria de 142W se tiene que: la evaluación de probabilidad para el límite superior da como resultado 1, y para el límite inferior 0; obteniendo un nivel de confianza de 100% y un factor de riesgo  $\alpha$  de 0. Para este caso de igual forma las probabilidades de conformidad son menores al factor de riesgo  $\alpha$  de 0,00001; entonces, se acepta la hipótesis nula, obteniendo que la luminaria de 142W si es conforme a estos niveles de confianza.

En ambos casos luego de la evaluación de probabilidad de los límites superior e inferior se obtiene niveles de confianza altos del 99,998%, y 100%, esto debido a que la especificación técnica con la que se realiza la declaración de conformidad indica un intervalo de tolerancia para potencia amplio, con lo cual, los valores declarados tienen mayor probabilidad de encontrarse dentro de este intervalo de aceptación. Es importante mencionar, que, si el rango de tolerancia fuese menor, los niveles de confianza también serían menores y habría que analizar a qué niveles de confianza las luminarias serían o no conformes. Con este análisis, se encuentra que la luminaria de 142W es conforme a cualquier nivel de confianza, es decir, la potencia reportada con su incertidumbre asociada siempre estará dentro del rango de aceptación. Para el caso de la luminaria de 75W, el resultado indica que para niveles de confianza inferiores a 99,99% la potencia registrada de la luminaria es conforme, y para niveles de confianza superiores a 99,998% el resultado es no conforme con el esquema experimental utilizado para la toma de datos. Por tanto, con el análisis estadístico el OEC puede tener la certeza de que, la declaración de conformidad

emitida a partir de los resultados reportados con su respectiva incertidumbre asociada al 95% de confianza están dentro del rango de aceptación o rechazo, descartando cualquier duda. Los niveles de confianza obtenidos en este estudio son muy importante porque permite identificar cuán significativo es el resultado reportado, es decir, este nivel de confianza estima  $3\sigma$  lo cual indica cuán probable es que los resultados reportados son reales y no corresponden a un error. Los niveles de confianza en la emisión de resultados desempeñan un rol importante, tanto que, uno de los descubrimientos que por décadas estaban en duda como es el descubrimiento del bosón de Higgs, llegó a tener significancia y considerarse como real cuando se evidenció que existe a un nivel de confianza del 99,9999%. Realizar un análisis probabilístico de las mediciones es necesario puesto que no es fácil emitir un resultado o una declaración de conformidad sin un previo proceso de evaluación, con lo cual, el OEC tiene la certidumbre de lo que está reportando.

## Conclusión

El análisis probabilístico aplicado para evaluar las medidas de potencia de las luminarias LED, permite conocer el tipo de distribución de probabilidad que siguen los datos y si es posible procesarlos con estadística paramétrica o no paramétrica, además, determinar si existen datos atípicos que por algún motivo afecten al resultado final. Además, este análisis previo de los datos facilita el cálculo de la incertidumbre de la medición aplicando las directrices emitidas por la GUM, lo cual, también permite detectar la existencia de componentes dominantes de la incertidumbre y evaluar la calidad del método con el cual se están realizando las mediciones. Para

una OEC implantar un análisis probabilístico y definir un determinado nivel de confianza para reportar un resultado o realizar una declaración de conformidad de cualquier producto es determinante, ya que le permite asegurar la veracidad de lo que está declarando y asumir el riesgo asociado con la regla de decisión empleada al realizar dicha declaración. También, este análisis en los resultados emitidos es concluyente para asegurar al fabricante de la luminaria bajo un determinado nivel de confianza, que el proceso industrial con el cual está manufacturando el producto es óptimo o no.

## Referencias

- [1] ISO, “Norma Española Evaluación de la conformidad Vocabulario y principios generales (ISO/IEC 17000:2020),” 2020.
- [2] M. del C. Vasallo Sordo et al., “Evaluación de la conformidad proceso de certificación de los rones de azcuba,” pp. 12–26, 2013.
- [3] C. Velásquez, M. A. Castro, F. Rodríguez, F. Espín, and N. Falconi, “Optimization of the Calibration Interval of a Luminous Flux Measurement System in HID and SSL Lamps Using a Gray Model Approximation,” *ETCM 2021 - 5th Ecuador Tech. Chapters Meet.*, pp. 1–7, Oct. 2021, doi: 10.1109/ETCM53643.2021.9590764.
- [4] INEN/ISO, *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (ISO/IEC 17025:2017, IDT)*. 2018.
- [5] IEC, *IEC 61000-3-2:2018 Compatibilidad electromagnética (EMC) - Parte 3-2: Límites - Límites para emisiones de corriente armónica (corriente de entrada del equipo  $\leq 16$  A por fase)*. 2018.
- [6] IEC, *IEC 60529:2018 Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP)*. 2018.
- [7] C. Qian, X. J. Fan, J. J. Fan, C. A. Yuan, and G. Q. Zhang, “An accelerated test method of luminous flux depreciation for LED luminaires and lamps,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 147, pp. 84–92, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.11.009>.
- [8] Illuminating Engineering Society, “Approved Method: Optical and Electrical Measurements of Solid State Lighting Products. ANSI/IES LM-79-19,” New York, 2019.

- [9] CIE, *CIE 121-1996 The photometry and goniophotometry of luminaires*. 1996, p. 53.
- [10] Unam, *Estadística Básica Un enfoque no paramétrico*. Unam.
- [11] M. J. Rubio Hurtado and V. Berlanga Silvente, “Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico,” *Rev. Innovación E Investig. En Educ.*, vol. 5, pp. 83–100, 2012, doi: 10.1344/reire2012.5.2527.
- [12] C. Velásquez and F. Espín, “Cálculo de la incertidumbre combinada en un goniofotómetro de espejo rotante tipo C y una esfera de Ulbricht,” *I+T+C Investig. Tecnol. Cienc.*, no. 9, 2015, [Online]. Available: [https://revistas.unicomfaucauca.edu.co/ojs/index.php/itc/article/view/itc2015\\_pag\\_29\\_35](https://revistas.unicomfaucauca.edu.co/ojs/index.php/itc/article/view/itc2015_pag_29_35)
- [13] GUM, “Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement,” *Int. Organ. Stand. Geneva ISBN*, vol. 50, no. September, p. 134, 2008.
- [14] W. A. Schmid and R. J. Lazos Martínez, “Guide to estimate the measurement uncertainty,” *Natl. Cent. Metrol. Mex.*, p. 27, 2000.
- [15] ILAC, “ILAC-G8:09/2019 Guía para establecer reglas de decisión en la declaración de conformidad,” p. 22, 2019.
- [16] C. Brusil, F. Espín, and C. Velásquez, “Effect of Temperature in Electrical Magnitudes of LED and HPS Luminaires,” *Int. J. Electr. Comput. Eng. Syst.*, vol. 12, no. 4, pp. 225–234, Nov. 2021, doi: 10.32985/IJECES.12.4.6.
- [17] C. Brusil, H. Arcos, F. Espin, and C. Velasquez, “Analysis of harmonic distortion of led luminaires connected to utility grid,” *2020 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2020*, Oct. 2020, doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272004.
- [18] J.-M. Montilla and J. Kromrey, “Robustez de las pruebas T en comparación de medias , ante violación de supuestos de normalidad y homocedasticidad Robustness of the t tests in comparison of means , under violation of normality and homoscedasticity assumptions,” *Rev. Cienc. e Ing.*, vol. 31, no. 2, pp. 101–108, 2010.
- [19] S. López, “Análisis estadístico de la declaración de conformidad en los Instrumentos volumétricos operados a pistón,” 2019.
- [20] C. E. Flores Tapia and K. L. Flores Cevallos, “Tests To Verify the Normality of Data in Production Processes: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk and,” *Soc. Rev. Ciencias Soc. y Humanísticas*, vol. 23, no. 2, pp. 83–97, 2021.
- [21] H. Galindo Dominguez, *Estadística para no estadísticos: una guía básica sobre la metodología cuantitativa de trabajos académicos*. 3Ciencias, 2020.

**Recibido:** 01 de marzo de 2023

**Aceptado:** 01 de abril de 2023