

Ensayos de luminarias led para iluminación vial

Las luminarias led para iluminación vial requieren de ensayos de laboratorio para asegurar la calidad de los productos, dado que operan durante muchos años (quince a veinte) a la intemperie y bajo condiciones eléctricas, mecánicas y ambientales exigentes. Numerosos ensayos, tales como los fotométricos, de intensidades luminosas, flujo luminoso, emisión de flujo en el hemisferio superior, eficiencia luminosa, espectrales, colorimétricos de temperatura de color, índice de respuesta al color, de armónicos eléctricos, ciclado de encendido, estrés térmico, decaimiento de flujo luminoso y mecánicos como IP, IK, son exigidos en pliegos de licitaciones y compras de municipios. Un análisis de estos ensayos y sus complejos requerimientos se describe en el presente trabajo para destacar su importancia y trascendencia.

Eduardo Manzano

Depto. de Luminotecnia Luz y Visión
FACET, UNT - ILAV CONICET
emanzano@herrera.unt.edu.ar

Las luminarias led destinadas a iluminación vial deben someterse a una serie de ensayos de laboratorio para garantizar su calidad, seguridad y durabilidad, ya que estarán expuestas durante años a condiciones ambientales y eléctricas exigentes. Los principales ensayos son los siguientes:

- » Ensayos eléctricos:
 - Consumo de potencia
 - Factor de potencia
 - Armónicos de corriente (THD)
 - Compatibilidad electromagnética (EMC)
 - Protección contra sobretensiones
- » Ensayos fotométricos:
 - Distribución de intensidades luminosas
 - Flujo luminoso total y hemisférico superior
 - Eficiencia luminosa (lm/W)
 - Distribución espectral
 - Temperatura de color (TCC) y rendimiento cromático (IRC)
- » Ensayos térmicos:
 - Temperatura de funcionamiento en distintos puntos (led y driver)
- » Ensayos de durabilidad y envejecimiento:
 - Ensayos de encendido/apagado
 - Depreciación del flujo luminoso y variación de la TCC e IRC con el tiempo
- » Ensayos ambientales:
 - Pruebas de estrés térmico
 - Resistencia a la corrosión (niebla salina)
 - Pruebas de vibración, si es necesario (uso en puentes o zonas de tráfico pesado)
- » Ensayos mecánicos:
 - Grado de protección contra polvo y agua (IP)
 - Resistencia a impactos (IK)

Estos ensayos son generalmente requeridos por normas nacionales e internacionales (IRAM-AADL, IEC, IESNA, CIE, etc.) en pliegos técnicos de licitaciones públicas solicitadas por municipios,

URL estable: <https://www.editores.com.ar/node/8419>

gobiernos o concesionarias de alumbrado público.

El objetivo de este trabajo es el de brindar al personal técnico municipal la información necesaria sobre las luminarias led para iluminación vial, con el fin de que puedan comparar distintas alternativas disponibles en el mercado y asegurar que se cumpla con un nivel mínimo de calidad.

El objetivo de este trabajo es el de brindar al personal técnico municipal la información necesaria sobre las luminarias led para iluminación vial

Ensayos de calidad

La implementación de una metodología unificada para las condiciones ambientales y eléctricas de los ensayos es fundamental para garantizar la comparabilidad y la repetibilidad de los resultados entre laboratorios. En cuanto a las condiciones ambientales, la temperatura del laboratorio durante los ensayos debe mantenerse en $25^{\circ}\text{C} \pm 1,2$ y, en algunos casos, se especifica que la humedad relativa que se recomienda esté entre el 10 y el 65% [1]. Las mediciones fotométricas, colorimétricas, espectrales, entre otras, deben realizarse bajo estas mismas condiciones para asegurar la consistencia de los resultados. Respecto a las condiciones eléctricas, la alimentación debe ser en corriente alterna (CA) de $220\text{ V} \pm 0,2\%$, a una frecuencia de 50 Hz, con forma de onda sinusoidal pura y un contenido de armónicos de tensión (THDv) inferior al 3% de la componente fundamental.

Todo el instrumental empleado debe estar calibrado y contar con la debida trazabilidad metrológica, a fin de garantizar la fiabilidad y validez de las mediciones obtenidas.

Cabe destacar que el laboratorio de ensayo debe contar con personal altamente calificado y capacitado tanto para realizar los ensayos técni-

cos como para la actualización permanente de la metodología de ensayo, mantenimiento de la trazabilidad y acreditación.

Mediciones eléctricas

Dado que la tecnología led actual utiliza equipos auxiliares (drivers) que regulan la tensión de alimentación del módulo led, las variaciones en la tensión de entrada —dentro de un margen determinado— no afectan el flujo luminoso, que se mantiene constante. Por esta razón, resulta adecuado establecer una tensión de alimentación fija para medir parámetros eléctricos como corriente (A), potencia activa (P), factor de potencia (FP) y los porcentajes de armónicos de tensión y corriente, a fin de caracterizar la calidad del producto. Cabe destacar que estos parámetros se miden en la entrada de la luminaria.

- » Potencia activa: es la potencia medida en la entrada de la luminaria, corresponde al consumo total, incluido el driver y los módulos led.
- » Factor de potencia: en un circuito de CA, el coseno de la diferencia de fase entre la tensión y la corriente se denomina FP, representado por el símbolo ' $\cos \varphi$ '. En términos de valor, el FP es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente (S), es decir, $\cos \varphi$ equivale a P sobre S ($\cos \varphi = P/S$). Un FP bajo supone una mayor carga para los equipos de suministro de energía y reduce la estabilidad de la red eléctrica. El factor de potencia de luminarias led mide la eficiencia de la iluminación durante su uso. Por ejemplo, si un led tiene un factor de potencia de 0,95, significa que tiene una eficiencia del 95%. Algunas luminarias led pueden alcanzar un FP de 0,98, e incluso 0,99 con corriente continua [2]. Durante los ensayos, FP debe ser superior a 0,95 [3].
- » Armónicos eléctricos: para garantizar el correcto funcionamiento y el punto de operación de los leds, se requiere el uso de drivers o dispositivos electrónicos que generen las formas de onda y los valores adecuados de

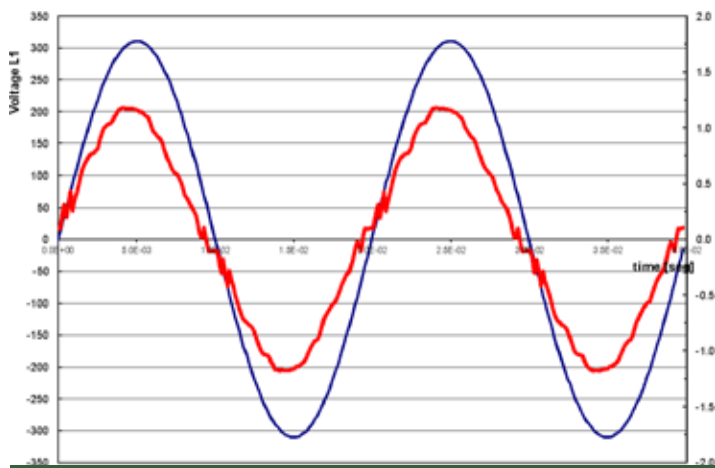


Figura 1. Voltaje y corriente de una luminaria a led con driver sin filtros y alto contenido de armónicos [8]

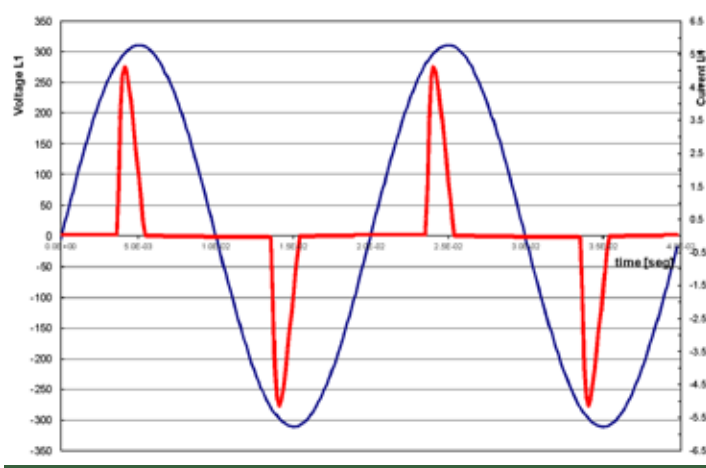


Figura 2. Voltaje y corriente de una luminaria a led con driver con filtros y bajo contenido de armónicos [8]

tensión y corriente. Sin embargo, si estos dispositivos no cuentan con filtros apropiados, pueden introducir armónicos de corriente en las redes de distribución, comprometiendo la calidad de la energía eléctrica (ver figura 1 y 2. Mediciones de acuerdo a normas internacionales IEC 61000-3-2 (2018) [4] [5] o su homóloga argentina IRAM 2491-3-2 [6] garantizarían contenidos de armónicos admisibles, las que deberían realizarse simultáneamente al ensayo fotométrico y bajo las mismas condiciones ambientales. El contenido de armónicos de corriente (THDi) inferior al 15%, conforme a lo establecido por las normas IRAM-AADL J 2020-4:2014 [7].

- » Compatibilidad electromagnética (EMC): garantiza que la luminaria led no genere interferencias electromagnéticas que puedan afectar el funcionamiento de otros equipos, y que sea resistente a perturbaciones externas del entorno electromagnético. Este ensayo contempla dos aspectos esenciales: a) emisión electromagnética: evalúa las perturbaciones conducidas y radiadas emitidas por la luminaria durante su funcionamiento; evita la interferencia con el funcionamiento de otros equipos electrónicos, y b) inmunidad electromagnética: verifica que la luminaria mantenga su correcto funcionamiento

ante la exposición a fenómenos como descargas electrostáticas, transitorios rápidos, sobretensiones y campos electromagnéticos radiados. En Argentina, la norma IRAM-AADL J 2020-4:2014 [7] exige que las luminarias led cumplan con los requisitos de EMC conforme a lo establecido en las normas internacionales IEC 61000-4-x y EN 55015.

- » Protección contra sobretensiones: es fundamental, ya que las luminarias led son susceptibles de daños por picos de tensión, incluso por rayos o conmutaciones de la red. Para mitigar estos riesgos se utiliza un protector contra sobretensiones (DPS), el cual desvía el exceso de energía a tierra protegiendo los componentes electrónicos sensibles de las luminarias. Por dicho motivo, es importante asegurar conexiones a tierra adecuadas para una disipación eficiente de la energía de la sobretensión. Los DPS se ensayan bajo norma IEC 61643-11 y 12 [9].

Las luminarias led son susceptibles de daños por picos de tensión

Ensayos fotométricos

- » Distribución de intensidades luminosas: para realizar cálculos de parámetros luminotécnicos como iluminancia (lx) o luminancia (cd/m²) en un diseño, exigidos por norma IRAM-AADL J2022-2 [10], se requiere contar con la distribución de intensidades luminosas en candelas obtenida en un laboratorio según los requisitos de normas [1] [11] en planos y ángulos definidos. Para su obtención, se emplea un fotogoniómetro (ver figura 3), que permite posicionar la luminaria en distintos planos verticales (ángulos 'C') y distintos ángulos de elevación ('Y'). Por ejemplo, en la figura 4 se representa en tres planos 'C' verticales las curvas en candelas para distintos ángulos de elevación 'Y'. Se requiere, además, la fotometría en formato electrónico estandarizado, por ejemplo, tipo IES (ver figura 5) o Eulumdat, que permita su uso en programas de cálculo como Dialux Evo o Relux, entre otros.
- » Flujo luminoso total: medido en lúmenes, indica la cantidad total de luz visible que emite la luminaria led en todas las direcciones. Se obtiene a partir de la fotometría de la luminaria y permite, en primera instancia, determinar la efectividad de la luminaria para



Figura 3. Fotogoniómetro LMT GO DS 2000 a espejo automático en el DLYV FACET UNT

iluminar un espacio. Dentro del flujo total, un parámetro de interés es el flujo hemisférico superior (FHS), es decir, la proporción de luz emitida por una luminaria que se dirige hacia la parte superior del espacio, o sea, hacia el hemisferio por encima del plano horizontal. Causa resplandor luminoso del cielo y se desea evitar la contaminación lumínica, que afecta la visión nocturna de las estrellas

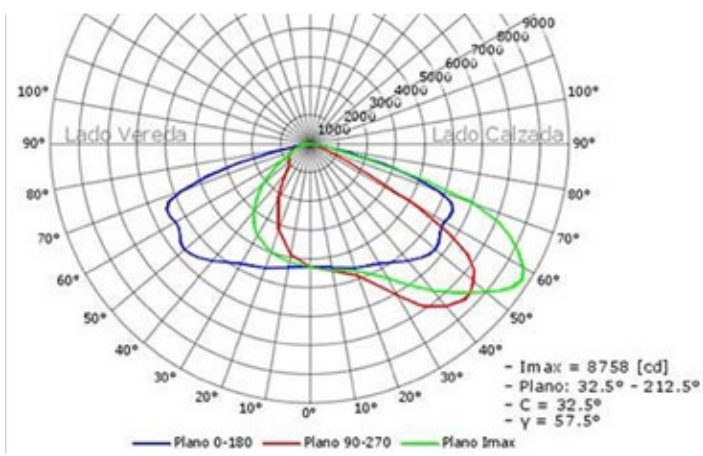


Figura 4. Curvas de intensidad luminosa de una luminaria led en fotometría absoluta (cd)

```
IESNA:LM-63-2002
[TEST] XXXXX
[TESTLAB] DLYV-ILAV
[ISSUEDATE] 23-JUN-2025
[MANUFAC] XXXXX S.A.
[LUMINAIRE] XXXX L 150W EXT GP
[LAMP] 2 (DOS) PLACAS DE 24 LEDS C/U - TOTAL 48 LEDS-
[OTHER] Corriente [A]: 0.66 - Tension de línea [V]: 220.2
[OTHER] Factor de Potencia: 0.99
[OTHER] LED DRIVER ELECTRONICO INVENTRONICS EUM-150 S 105 DG
TILT=NONE
1 -1 1 36 73 1 2 0.23 0.11 0.0
1 1 144.9
0 10 20 30 35 40 45 47.5 50 52.5 55 57.5 60 62.5 65 67.5 70 72.5 75
77.5 80 82.5 85 87.5 90 92.5 95 97.5 100 102.5 105 120 135 150 165 180
0 2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5 20 22.5 25 27.5 30 32.5 35 37.5 40 42.5 45
47.5 50 52.5 55 57.5 60 62.5 65 67.5 70 72.5 75 77.5 80 82.5 85 87.5
90 92.5 95 97.5 100 102.5 105 107.5 110 112.5 115 117.5 120 122.5 125
127.5 130 132.5 135 137.5 140 142.5 145 147.5 150 152.5 155 157.5 160
162.5 165 167.5 170 172.5 175 177.5 180
4931.3 5436.0 5804.0 6196.0 6468.0 6587.0 5946.0 5492.0 4854.0 3934.0
2741.0 1319.0 457.3 273.6 209.7 165.8 130.1 93.3 63.8 40.9 20.7 8.7
3.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
4931.3 5421.0 5796.0 6194.0 6470.5 6589.5 5953.5 5499.0 4862.5 3942.5
2752.0 1333.0 463.3 275.9 211.2 167.6 127.5 90.9 62.7 40.1 20.2 8.8
3.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
4931.3 5390.0 5771.0 6179.0 6466.0 6596.0 5976.5 5526.5 4890.5 3969.0
2783.0 1369.5 479.1 280.2 212.8 170.4 128.8 91.9 63.2 39.9 20.1 8.9
3.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
4931.3 5354.5 5732.5 6147.5 6445.0 6593.0 6001.5 5553.5 4921.5 4006.5
2830.5 1425.0 507.2 286.3 213.4 171.4 130.6 94.0 64.9 41.3 20.7 9.1
```

Figura 5. Fotometría parcial de luminaria led en formato IES en código ASCII

y las observaciones astronómicas. Diversas normas internacionales establecen límites para la emisión del FHS, entre ellas: la CIE 150 [12], EN 13201 [13] y DS43 [14]. En Argentina: en la provincia de San Juan, la Ley N.º 5771 (1987) y en Malargüe, Mendoza, la Ordenanza N.º 1298/2005. Los valores máximos de emisión permitidos están entre 0 y 1%, considerando la luminaria sin inclinación del pescante. Se debe tener en cuenta que, si se inclina el pescante de la luminaria, estos valores aumentarán.

Diversas normas internacionales establecen límites para la emisión del FHS

- » Eficiencia luminosa: es la relación entre el flujo luminoso total y la potencia eléctrica consumida por la luminaria. En Argentina, las normas para el alumbrado público vial establecen valores mínimos de eficiencia luminosa para luminarias led, generalmente entre 100 y 140 lm/W, dependiendo de si cuentan o no con cubiertas protectoras [15].
- » Distribución espectral: describe cómo se reparte la energía luminosa que emite una luminaria en las distintas longitudes de onda del espectro visible. En otras palabras, muestra la potencia relativa de emisión en cada color (longitud de onda) que compone el espectro de la fuente de luz (ver figura 6). La norma de referencia para su medición es la IES LM 79 [1]. La distribución espectral es crucial, pues determina la apariencia del color de la luz emitida y la calidad de la reproducción de los colores. Se utiliza también para evaluar el impacto de la contaminación luminosa. En la norma chilena [14] para áreas de protección cercanas a observatorios astronómicos, la limitación máxima de radiancia espectral se indica en la figura 7. En otras zonas se permite hasta un 7% en el intervalo de 380 a 499 nm.

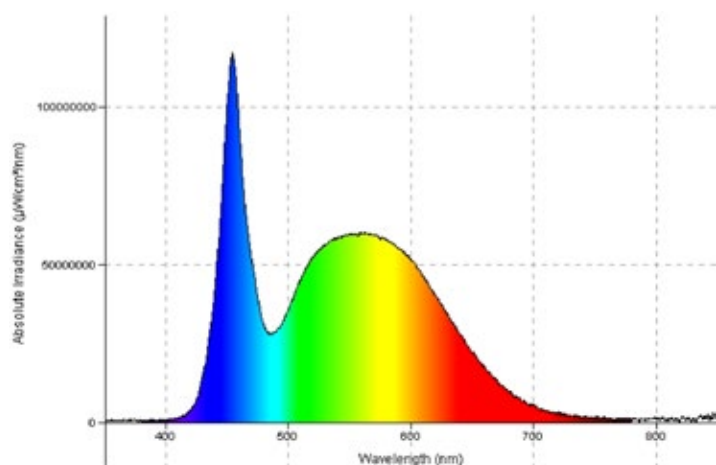


Figura 6. Distribución espectral de una luminaria led

TCC y IRC son parámetros que atienden tanto la eficiencia visual, como el confort, la seguridad y, especialmente, la contaminación lumínica

- » Temperatura de color correlacionada (TCC) y rendimiento cromático (IRC): en iluminación vial, TCC y IRC son parámetros que atienden

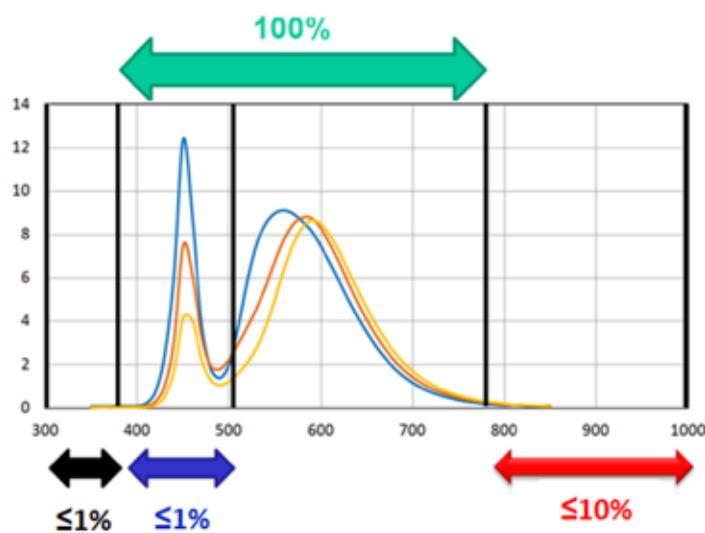


Figura 7. Distribución espectral de luminarias led de temperatura de color fríos, neutros y cálidos, y las limitaciones de radiancia espectral en cuatro intervalos [14]

tanto la eficiencia visual, como el confort, la seguridad y, especialmente, la contaminación lumínica. La TCC expresa el color aparente de la luz, medido en kelvins (K). En la norma IES RP8 [16] recomienda, según el tipo de aplicación, valores entre 2.700 y 4.000 K. La DS43 obliga a valores menores a 3.000. En Argentina, la tendencia en ciudades como Rosario es adoptar TCC entre 3.000 y 4.000 K. El IRC es una medida de cómo una fuente de luz reproduce los colores en comparación con una fuente de referencia (como la luz solar o incandescente), en una escala de cero a cien. Las normas internacionales como la CIE 115 [17] recomiendan que sea mayor o igual a sesenta. En general otras normas [16] recomiendan mayor o igual a setenta. En la práctica, la mayoría de los leds viales modernos ofrecen IRC entre setenta y ochenta de forma estándar. Para medir TCC y IRC se recomienda utilizar las normas IES LM 79 [1] o CIE S 025 [18], donde se ponderan los valores de TCC e IRC por el flujo emitido por la luminaria, dado que TCC puede variar según el ángulo de emisión [19] (ver figura 8).

Ensayos térmicos

Los ensayos térmicos tienen como objetivo verificar el funcionamiento correcto del módulo led, driver y disipador de la luminaria dentro de un intervalo de temperatura específico sin que se degrade su desempeño. El procedimiento consiste en medir la temperatura en cuatro puntos específicos:

- » Temperatura de la junta (Tj) del led: se estima con la temperatura del punto de soldadura (Tsp), la resistencia térmica (θ_{th} , °C/W) y la potencia del led (P,W) según ecuación 1. El fabricante especifica el punto de medición sobre la placa de circuito impreso (PCB), que es la base física donde se montan los leds, cerca del led más cercano al centro térmico del conjunto, mediante una termocupla, pegada firmemente con pasta térmica.

Ecuación 1: $T_j = T_{sp} + \theta_{th} P$

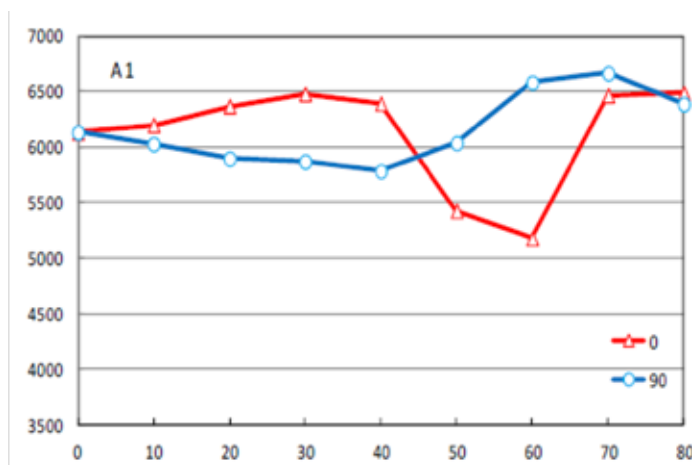


Figura 8. TCC de luminaria led vial en función del ángulo de elevación 'Y' para dos planos verticales 'C' (0 y 90°) [19].

- » Temperatura del driver (Tc): indicada normalmente en la superficie del encapsulado.
- » Temperatura en el disipador térmico (Thp): es la temperatura en el punto más caliente, llamado *hot spot*, 'punto caliente'.
- » Temperatura ambiente (Ta): cerca de la luminaria, usualmente a cinco centímetros del cuerpo. Las normas aplicables para este tipo de ensayo son IEC 60598-1 [20], IES LM 82 [21], IES TM-21 [22] e IES LM 80 [23] e IRAM-AADL J 2020-4 [24].

Ensayos de durabilidad y envejecimiento

- » Estrés térmico: esta prueba evalúa la resistencia y estabilidad térmica del conjunto led —incluyendo el módulo led, driver y la carcasa— cuando se lo somete a condiciones extremas de temperatura. Su objetivo es simular ciclos ambientales severos que podrían presentarse durante su vida útil en la vía pública. El procedimiento consiste en exponer la luminaria completa y apagada durante una hora a una temperatura de -10 °C, e inmediatamente después a una temperatura de 50 °C durante una hora. El proceso se repite cinco veces consecutivas. Finalizado el ensayo la luminaria deberá continuar funcionando correctamente [25].

- » Ensayos de encendido/apagado: esta prueba de durabilidad evalúa la resistencia del driver y el led en conjunto mediante ciclos repetidos de encendido y apagado, simulando las condiciones de operación reales a lo largo de los años, como el encendido nocturno diario. Para el ensayo se somete a la luminaria led a 5.000 ciclados de encendido y apagado (ambos de treinta segundos) a una tensión de $220\text{ V} \pm 0,2\%$, THDv menor o igual a 3% y temperatura ambiente a $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ con humedad relativa menor o igual a 65%. La posición de funcionamiento de la luminaria será la destinada a su uso como declare el fabricante. El ensayo se debe realizar con posterioridad al de estrés térmico. Una vez finalizado, la luminaria deberá continuar funcionando correctamente [25]. Este protocolo corresponde a una versión más simplificada de lo exigido por IRAM-AADL J 2020-4 [24].

Con el uso y el transcurso del tiempo, las luminarias led se deprecian al igual que cualquier componente electromecánico, y cambia su desempeño a largo plazo. A continuación se detallan los factores más influyentes:

- » Depreciación del flujo luminoso: es la disminución gradual de la cantidad de luz emitida por una luminaria led a lo largo del tiempo. Se expresa como una fracción del flujo luminoso inicial, empleando designaciones como L70, L80 o L90, que indican el porcentaje del flujo original que se mantiene (por ejemplo, L70 equivale a 70% del flujo inicial). Esta pérdida es causada principalmente por la degradación de los materiales (fósforo, encapsulado, unión térmica, etc.) y por el estrés térmico. En luminarias bien diseñadas, la depreciación es lenta: valores de L80 mayores a 50.000 h son habituales en productos de buena calidad. La norma IES LM 80 [22] proporciona el método para medir la depreciación del flujo de los leds individuales. Está basado en medir cada mil horas de uso (en condiciones de laboratorio) hasta las seis mil, no debiendo decaer por debajo de un cierto

porcentaje, dependiendo de la vida media indicada por el fabricante. La norma IES TM-21 [23] permite extrapolar estos datos a largo plazo para estimar la vida útil del producto (ver figura 9). Una versión más resumida de evaluar la depreciación se indica en el PLAE [15], donde la depreciación debe ser menor del 2 al 7%, dependiendo de la vida media nominal declarada por el fabricante.

En luminarias bien diseñadas, la depreciación es lenta: valores de L80 mayores a 50.000 h son habituales en productos de buena calidad

- » Variación de TCC: el cambio de color de la luz emitida en los leds puede deberse a cambios físicos en la capa de fósforo que convierte la luz azul en luz blanca. Estas alteraciones pueden originarse por procesos de fabricación, desprendimientos, deslaminado o degradación del material en el tiempo. La estabilidad del color de la luz se evalúa mediante las coordenadas u',v' en el diagrama

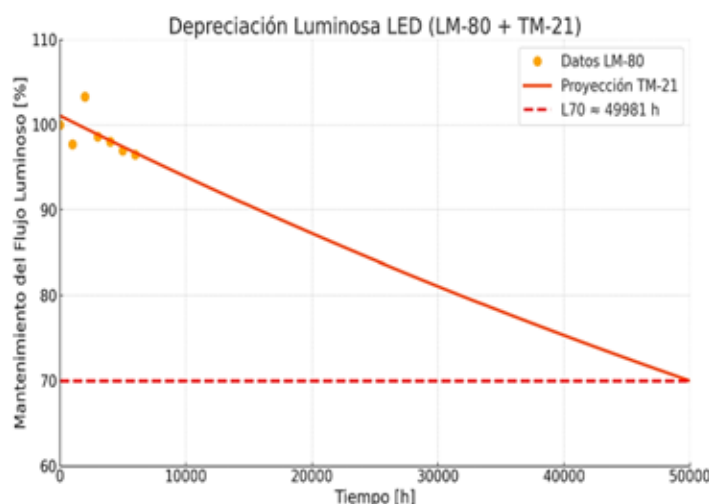


Figura 9. Depreciación luminosa medida (hasta 6.000 h) según LM 80 [22] (puntos naranjas) con proyección según TM-21 [23] (línea roja) para luminaria led vial, resultando L70 de 50.000 h (línea de trazo) [26]

de cromaticidad CIE 1976 [27] (ver figura 10). Para garantizar una buena consistencia cromática, el apartamiento máximo recomendado $\Delta u'v'$ (ver ecuación 2), debe ser menor a 0,007 [23] durante las primeras 6.000 horas de funcionamiento de una luminaria led (ver figura 11). En una recomendación argentina, PLAE [15], se indican intervalos límites de aceptación de permanencia de color de luz para luminarias led en función de la vida media nominal indicada por el fabricante (ver tabla 1).

$$\text{Ecuación 2: } \Delta u'v' = \sqrt{[(u't - u'o)^2 + (v't - v'o)^2]}$$

donde: “ $u'o$, $v'o$ ” son las coordenadas cromáticas al inicio del ensayo; “ $u't$, $v't$ ” son las coordenadas tras t horas de operación.

TCC nominal	Intervalo de tolerancia
2.700 K	2.580 a 2.870
3.000 K	2.870 a 3.220
3.500 K	3.220 a 3.710
4.000 K	3.710 a 4.260
4.500 K	4.260 a 4.746
5.000 K	4.746 a 5.311

Tabla 1. Valores límites de cambio de TCC al cabo de las 6.000 h

- » Variación de IRC: no es un parámetro obligatorio de verificar, y en iluminación vial no es significativo. Un Δ IRC menor o igual a tres puntos se considera aceptable para iluminación vial o general. Un Δ IRC superior a cinco puede ser considerado perceptible o inaceptable, especialmente en aplicaciones exigentes (arte, medicina, comercio). La medición de IRC puede efectuarse según IES LM 79 [1].

Ensayos ambientales

Resistencia a la corrosión o ensayo de niebla salina es un ensayo clave para asegurar que las luminarias soporten ambientes exteriores agresivos (salinidad, humedad, contaminantes), como los presentes en zonas costeras, industriales o con alta humedad ambiental.

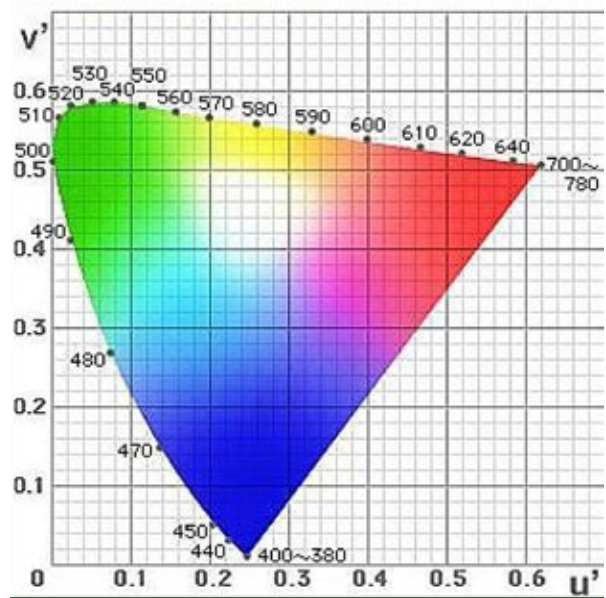


Figura 10. Diagrama de cromaticidad (u',v') CIE 1976 (escala de cromaticidad uniforme) [27]

Resistencia a la corrosión o ensayo de niebla salina es un ensayo clave para asegurar que las luminarias soporten ambientes exteriores agresivos

El ensayo consiste en simular condiciones de corrosión acelerada mediante la exposición de la lu-

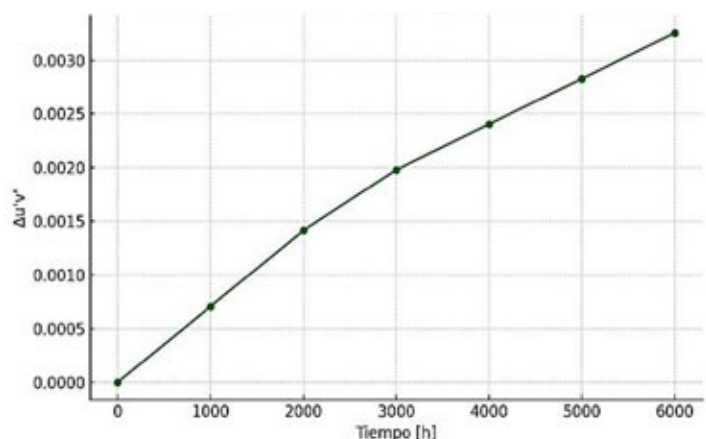


Figura 11. $\Delta u'v'$ en función del tiempo de ensayo de una luminaria led [27]

minaria a una atmósfera de neblina salina (cloruro de sodio atomizado). La norma aplicable para este ensayo es la IRAM 121 [28].

Pruebas de vibración

Se utilizan para garantizar la resistencia mecánica de luminarias montadas en columnas expuestas a vibraciones provocadas por viento, tráfico intenso, etc. Estas pruebas permiten verificar que la luminaria no sufra fallas mecánicas ni eléctricas cuando está sometida a vibraciones típicas de su entorno de instalación. La norma IRAM-AADL J2021:2016 [29] establece los requisitos y métodos de ensayo para luminarias en este tipo de pruebas.

Ensayos mecánicos

- » Grado de protección contra polvo y agua (IP): las luminarias led, en tanto están expuestas a condiciones climáticas adversas y a la contaminación ambiental, pueden sufrir depreciación. Para garantizar su vida y reducir el mantenimiento, las normas exigen un grado mínimo de protección mecánica que impida ingreso de polvo y agua tanto bajo condiciones normales de funcionamiento como en condiciones severas de mantenimiento. El ensayo IP XY consiste en someter la luminaria a una atmósfera de polvo primero, y luego a un chorro de agua. El ensayo es del tipo pasa/no pasa, es decir, si ingresa polvo (primer dígito X) o ingresa agua (segundo dígito Y), de acuerdo al protocolo de la norma, la luminaria cumple o no cumple. La exigencia actual para luminarias viales es IP 65 y el ensayo se realiza bajo la norma IEC 60598-1 [30]. El test de ingreso de polvo se verifica en un recinto estanco (cámara de polvo) con circulación de polvo de talco seco y fino (como el de tamiz de 75 μm) con concentración típica: 2 kg/m^3 durante dos horas. El test de ingreso de agua (IP X5/IP X6) se realiza mediante un chorro de agua con una boquilla de 12,5 mm, 100 L/min, durante tres minutos. Finalizado el ensayo, no debe haberse producido ingreso de polvo ni de agua al recinto óptico ni al recinto



Figura 12. Cámara para verificación del ingreso de agua mediante chorro de agua según norma [30]

del portaequipo auxiliar, que afecte el funcionamiento seguro o la integridad de la luminaria. En la figura 12 se muestra la cámara durante el ensayo IP X6.

- » Resistencia a impactos (IK): es un parámetro que sirve para asegurar la durabilidad frente a golpes, vandalismo, granizo o manipulación



Figura 13. Martillo de péndulo para ensayo de IK en luminaria vial

durante la instalación y el mantenimiento en luminarias led de uso vial. Para el ensayo bajo normas IEC [31] se utiliza un martillo de péndulo (ver figura 13) o sistema de caída vertical. Se aplica un golpe en distintos puntos de la carcasa de la luminaria. Para luminarias con cubiertas de vidrio, la energía de impacto es IK 08 (5 J) y para cubiertas de policarbonato es IK 10 (10 J).

Conclusiones

El trabajo destaca la importancia de realizar un conjunto completo y estandarizado de ensayos eléctricos, fotométricos, térmicos, de durabilidad, ambientales y mecánicos para garantizar la calidad, seguridad y vida útil de luminarias led destinadas a iluminación vial. La calidad de una luminaria no depende solo de su eficiencia luminosa, sino también de su capacidad para mantener el flujo luminoso y la temperatura de color correlacionada (TCC) bajo condiciones reales de operación en el tiempo.

Los ensayos de laboratorio bajo normas permiten detectar fallas antes de la instalación, reducir costos de mantenimiento y prolongar la vida útil del sistema de alumbrado

Pruebas como IP, IK, corrosión y vibración son críticas en aplicaciones viales, dado que las luminarias enfrentan solicitaciones físicas y climáticas extremas durante quince a veinte años de servicio. Los ensayos de laboratorio bajo normas permiten detectar fallas antes de la instalación, reducir costos de mantenimiento y prolongar la vida útil del sistema de alumbrado. La evaluación integral mediante ensayos normalizados protege la inversión pública y optimiza el servicio de iluminación. ■■

Nota del autor

El autor agradece a la Universidad Nacional de Tucumán Proyecto PIUNT E731, al CONICET, y al Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, FACET UNT, por el respaldo institucional brindado para la realización de este trabajo.

Glosario de siglas

- » AADL: Asociación Argentina de Luminotecnia
- » ANSI: *American National Standards Institute*, 'Instituto Nacional Estadounidense de Normas'
- » CA: corriente alterna
- » CIE: *Commission Internationale de l'Eclairage*, 'Comisión Internacional de Iluminación'
- » CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
- » CRI: ver IRC
- » DPS: dispositivo de protección contra sobretensiones
- » EE. UU.: Estados Unidos
- » EMC: *Electromagnetic Compatibility*, 'compatibilidad electromagnética'
- » EN: *European Norms*, 'Normas Europeas'
- » FACET: Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de UNT
- » FHS: flujo hemisférico superior
- » FP: factor de potencia
- » IEC: *International Electrotechnical Commission*, 'Comisión Electrotécnica Internacional'
- » IES: *Illuminating Engineering Society*, 'Sociedad de Ingeniería de Iluminación'
- » IESNA: *IES of North America*, 'IES de Norteamérica'
- » IK: *Mechanical Impact*, 'impacto mecánico'
- » ILAV: Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión de DDLYV FACET UNT
- » IP: *Ingress Protection*, 'grado de protección'
- » IRAM: Instituto Argentino de Certificación y Normalización
- » IRC: índice de reproducción cromática
- » LED: *Light Emitting Diode*, 'diodo emisor de luz'
- » PCB: *Printed Circuit Board*, 'placa de circuito impreso'
- » PIUNT: proyecto de investigación de UNT
- » PLAE: Plan de Alumbrado Eficiente
- » TCC: temperatura de color correlacionada
- » THD: *Total Harmonic Distortion*, 'distorsión armónica total'
- » THDi: *Total Harmonic Distortion*, 'distorsión armónica total de corriente'
- » THDv: *Total Harmonic Voltage Distortion*, 'distorsión armónica total de tensión'
- » UNE: Una Norma Española
- » UNT: Universidad Nacional de Tucumán

Referencias

- [1] ANSI/IES LM 79-19 *Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products*. Illuminating Engineering Society (IES) of North America
- [2] <https://grnled.com/blog/everything-to-know-about-led-light-power-factor.html#what-is-the-power-factor-pf-of-a-led-lamp>. Consultada el 22 de julio de 2025.
- [3] IRAM-AADL J 2022-1, Alumbrado público - Luminarias - Clasificación fotométrica.
- [4] IEC 61000-3-2 (2018), *Limits for harmonic current emissions*.
- [5] IEC 61000-4-7 (2009), *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation*
- [6] IRAM 2491-3-2, Límites para las emisiones de corriente armónica equipos con corriente de entrada menor a 16 A.
- [7] IRAM-AADL J 2020-4:2014, Luminarias para vías públicas. Parte 4 – Luminarias LED. Características de diseño. Inciso 4.10
- [8] Manzano E., Raitelli M., Cabello A., Sanhueza P., Galleguillos P., Rodríguez Rübke L., Calixto Burini E. (2014), "Requerimientos para luminarias de LED en iluminación urbana", en *XII Conferência Panamericana de Iluminação*. Pag. 57-62. ISBN 978-85-86923-36-4 8. Editorial IEE, USP, Brasil. Diciembre 2014
- [9] IEC 61643-11, *Low-voltage surge protective devices Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods*
- [10] IRAM-AADL J 2022-2, Alumbrado público. Vías de tránsito. Parte 2 - Clasificación y niveles de iluminación.
- [11] CIE 121 1996, Fotometría y goniofotometría de luminarias. Comisión Internacional de Iluminación. http://www.cie.co.at/index_ie.html. Consultada el 23 de julio de 2025
- [12] CIE 150 (2017), *Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations*
- [13] EN 13201-2:2016, *Road lighting*
- [14] DS-43 2023, Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica. Consultada 24 de julio de 2025, <https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2023/10/18/43679/01/2391423.pdf>
- [15] PLAE, Especificación Técnica para la adquisición de luminarias LED de Alumbrado Público. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/eett-version-final.pdf>. Consultada el 25 de julio de 2025
- [16] IES RP-8-25, *Recommended Practice for Lighting Roadway and Parking Facilities*, EE. UU.
- [17] CIE 115:2010, *Lighting of roads for motor and pedestrian traffic*, 2nd Edition
- [18] CIE S 025/E:2015, *Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules*.
- [19] Manzano E., Galleguillos P., De Nobrega M., Cabello A., Castillo R. (2018), "Medición espectral y de características cromáticas de luminarias LED de alumbrado vial", en *Memorias del XIV Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2018*, págs. 288-295, 2018, Asociación Argentina de Luminotecnia.
- [20] UNE-EN IEC 60598-1:2022, *Luminaires - Part 1: General requirements and tests*
- [21] IES LM 82-2020, *Characterization of Optical and Electrical Properties of Solid-State Lighting Products as a Function of Temperature*
- [22] IES LM 80 2015, *Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources*
- [23] IES TM-21 2019, *Projecting Long-Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*
- [24] IRAM-AADL J 2020-4:2014, Alumbrado público. Luminarias con tecnología LED. Requisitos generales y métodos de ensayo
- [25] PLAE, <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-en-sector-publico/plan-de-alumbrado-eficiente-plae>, consultada el 29 de julio de 2025
- [26] OpenAI. (2025), ChatGPT (versión del 30 de julio), [Gráfica de datos]. <https://chat.openai.com/chat>

- [27] Konica Minolta, *Precise Color Communication*, <https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/part4/08.html>. Consultada el 31 de julio de 2025
- [28] IRAM 121, Ensayo de revestimientos. Prueba de exposición a la niebla de sal.
- [29] IRAM-AADL J 2021:2016, Alumbrado público. Luminarias para vías de tránsito. Requisitos y métodos de ensayo.
- [30] IEC 60598-1 2006, *Luminaires – Part 1: General requirements and tests*
- [31] IEC 62262, *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*