



Informe oficial de EyeComfort¹

En la actualidad, la calidad de la luz es un diferenciador clave en la iluminación. En general, la calidad de la luz hace referencia a los aspectos visuales de esta, su dependencia de las personas y el entorno, y su interacción con estos. La ledificación nos brinda posibilidades ilimitadas para diferenciar la calidad de la luz espacial, espectral y temporal. Esto nos fuerza a revisar nuestra manera tradicional de evaluar la calidad de la luz. Signify optimiza de manera continua sus productos al reunir una comprensión profunda de las necesidades del usuario, conocimiento sobre las aplicaciones de iluminación y perspectivas científicas. Signify, el líder global en iluminación, lleva sus lámparas LED y luminarias LED al mercado bajo la conocida marca Philips.

Signify ha creado la marca EyeComfort sobre la base de los siguientes criterios seleccionados: parpadeo, efecto estroboscópico, seguridad fotobiológica, deslumbramiento, regulación, ajustable, reproducción cromática y ruido audible.

Nuestra gama de productos de lámparas LED y luminarias LED se evalúa por medio de estos criterios. En este informe oficial se explican estos criterios y, en consecuencia, la importancia de optimizar la iluminación.

Antecedentes científicos

La luz LED EyeComfort marca Philips de Signify incorpora los criterios mencionados anteriormente:

1. *Parpadeo y efecto estroboscópico*

El parpadeo y el efecto estroboscópico son artefactos de luz temporal (TLA, por sus siglas en inglés). Los TLA se definen como cambios en la percepción visual, inducidos por un estímulo luminoso, la luminancia o la distribución espectral, que fluctúan con el tiempo para un observador humano en un entorno especificado. El parpadeo es la percepción de inestabilidad visual inducida por un estímulo luminoso, la luminancia o la distribución espectral, que fluctúa con el tiempo para un observador estático en un entorno estático. En otras palabras, es una fluctuación rápida inquietante de la luz en la habitación.

El efecto estroboscópico es diferente al parpadeo y se define como el cambio en la percepción del movimiento, inducido por un estímulo luminoso, la luminancia o la distribución espectral, que fluctúa con el tiempo para un observador estático en un entorno no estático. En otras palabras, el efecto estroboscópico tiene como resultado un corte poco natural de un movimiento continuo.

Una de las propiedades de las LED es la respuesta rápida a las variaciones en la señal de entrada. Por lo tanto, reproducen fielmente esas fluctuaciones en la potencia lumínica, llevando posiblemente a los TLA para los individuos en el espacio iluminado. Las fluctuaciones pueden venir de varias fuentes, entre las que se incluyen: perturbaciones en la red eléctrica, interacciones con los controles (p. ej., reguladores), perturbación en la señal de entrada proveniente de fuentes externas (p. ej., microondas) y fluctuaciones diseñadas desde el driver electrónico. Se conocen métodos para suprimir las fluctuaciones en la

¹ El Informe oficial de EyeComfort podrá ser enmendado por Signify a medida que haya información (adicional) disponible para varias áreas, incluidos el desarrollo del producto, la investigación, los estándares y regulaciones.

PHILIPS

potencia lumínica de las LED y, al mismo tiempo, reducir la visibilidad de TLA no deseados. Sin embargo, estos métodos, requieren un compromiso con el costo y la eficiencia y requieren más espacio físico; además, reducen la duración de los productos LED con cualquier arquitectura.

Hasta hace poco, varias mediciones, como el Índice de parpadeo (FI, por sus siglas en inglés) y la profundidad de modulación, se utilizaban para evaluar la visibilidad del parpadeo y del efecto estroboscópico. Ninguna de estas mediciones es adecuada para predecir lo que las personas realmente perciben o experimentan. La visibilidad del parpadeo y del efecto estroboscópico se ve afectada por la profundidad de modulación, la frecuencia, la forma de onda y el ciclo de operación, y estas mediciones no toman en cuenta todos estos parámetros. Por lo tanto, los modelos científicos se han desarrollado sobre la base del sistema visual humano, haciendo referencia a la percepción visual de los humanos, que es la parte del sistema nervioso que nos permite ver. Una medición de TLA más sólida para el parpadeo es P_{st}^{LM} , y para el efecto estroboscópico, SVM [1,2]. Estas mediciones son respaldadas por Lighting Europe [3] y NEMA [4] y se utilizan en la evaluación de la iluminación mediante LED EyeComfort marca Philips de Signify. Actualmente se están investigando las mejoras continuas en las mediciones de TLA.

La definición habitual del umbral de visibilidad absoluta es el punto en el que el observador puede detectar la percepción el 50 % del tiempo [2]. Esto significa que una persona no está segura de si ve el efecto de parpadeo y decide responder: "Lo veo el 50 % del tiempo". No es que el observador tendrá una idea clara de ver un parpadeo el 50 % del tiempo y una idea clara de no verlo el otro 50 %. Sino, más bien, el nivel del 50 % es el nivel en que la decisión de verlo o no es una posibilidad.

Por consiguiente, el requisito para el parpadeo no visible se define como $P_{st}^{LM} \leq 1,0$ y se basa en las normas IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** y NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.**. La medición de P_{st}^{LM} se realiza de acuerdo con la norma IEC TR 61547-1, edición 2 **Error! Reference source not found.**

¿Por qué deberíamos preocuparnos por el parpadeo y el efecto estroboscópico?

Los productos de iluminación que exhiben parpadeo o efecto estroboscópico se consideran iluminación de baja calidad [5-14]. Los TLA no solo son molestos para las personas, sino que también tienen un impacto en la comodidad del ojo, la comodidad general y el rendimiento visual. Más específicamente, los TLA visibles pueden reducir el rendimiento de una tarea visual, causar molestia ocular (ojos cansados), aumentar la aparición de cefalea, fatiga ocular, y causar malestar. Los estudios muestran que el parpadeo visible puede provocar ataques epilépticos en ciertos casos [5-14]. Teniendo esto en cuenta, los productos LED EyeComfort marca Philip de Signify han sido diseñados para minimizar el parpadeo y el efecto estroboscópico visible.

2. Seguridad fotobiológica

Riesgo de luz azul

El riesgo de luz azul es un daño fotoquímico de la retina y depende de la composición espectral, la intensidad y el tiempo de exposición al ojo. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) ha desarrollado un estándar para evaluar la seguridad fotobiológica [16]. Las fuentes se clasifican en 4 grupos de riesgo (0 = ningún riesgo, 3 = alto riesgo).

Grupo de riesgo 0: La lámpara no representa ningún riesgo fotobiológico

Grupo de riesgo 1: No hay ningún riesgo fotobiológico bajo limitaciones de comportamiento normal

PHILIPS

Grupo de riesgo 2: No representa ningún riesgo debido a la respuesta de aversión a la luz brillante o incomodidad térmica

Grupo de riesgo 3: Peligroso incluso para la exposición momentánea

Un malentendido común en los medios es la idea de que la iluminación mediante LED contiene mayores proporciones de longitudes de onda azules y, por lo tanto, es más probable que cause el riesgo de luz azul. La Global Lighting Association ha investigado y medido esto a fondo, al comparar el contenido espectral de diferentes tecnologías de iluminación con el estándar que se mencionó anteriormente, junto con los aportes de muchos científicos [15].

Los hallazgos científicos clave son los siguientes [15]:

- Con respecto al riesgo de luz azul, las lámparas LED no son diferentes a las tecnologías convencionales, como las luces incandescentes y fluorescentes. La porción del azul en la iluminación mediante LED no es diferente a la porción en otras tecnologías a la misma temperatura de color.
- Una comparación de productos de renovación LED con los productos convencionales que pretenden reemplazar revela que los niveles de riesgo son muy similares y se encuentran dentro del rango no crítico.
- Los consumidores pueden usar las fuentes (lámparas o sistemas) y luminarias LED que se encuentran en el grupo de riesgo 0 o 1, según lo define la IEC.

Ultravioleta

Las fuentes de luz basadas en LED para uso del consumidor no contienen ninguna energía en la parte ultravioleta (UV) del espectro y, por lo tanto, no son nocivas para las personas con una mayor sensibilidad a la luz UV.

Infrarroja

A diferencia de la luz incandescente y halógena, las LED apenas emiten alguna luz infrarroja (IR). Para las fuentes de luz LED para el consumidor no hay riesgo, porque la radiación IR no tiene suficiente potencia.

Los estándares y las pautas internacionales abordan la seguridad óptica [16,17]. Todos los productos LED EyeComfort marca Philip de Signify están clasificados en el grupo de riesgo 0 o 1 (RG0 / RG1). Esto significa que el uso de estos productos LED no representa ningún riesgo fotobiológico bajo limitaciones de comportamiento normal o que la lámpara no representa ningún riesgo fotobiológico.

3. Deslumbramiento

El deslumbramiento es uno de los factores de insatisfacción más significativos en relación con la iluminación confortable. El deslumbramiento se puede dividir en deslumbramiento perturbador y deslumbramiento molesto. El deslumbramiento perturbador hace referencia a la reducción del rendimiento visual causada por una fuente de deslumbramiento en el campo de visión. El deslumbramiento molesto se define como la sensación de incomodidad causada por fuentes de luz brillante. La sensación de incomodidad depende de muchos parámetros, como la luminancia de la fuente, el área de la fuente y la posición de la fuente en el campo de visión, las condiciones de luz de fondo, el tipo de actividad y la duración de la exposición a una fuente brillante. Durante muchos años,

PHILIPS

los investigadores han intentado cuantificar el grado de incomodidad visual. La evaluación de deslumbramiento para los lugares de trabajo interiores (entorno profesional) generalmente se realiza por medio de la medición UGR (por el inglés "Unified Glare Rating", índice de deslumbramiento unificado). Esta medición se basa en los niveles de luminancia promedio calculados desde una distribución de intensidad de campo lejana. En las soluciones de iluminación mediante LED a menudo se ven ventanas de salida pixeladas o no uniformes con contrastes de luminancia. Los estudios han demostrado que las ventanas de salida pixeladas que tienen la misma luminancia promedio que las ventanas de salida uniformes (y, por lo tanto, el mismo valor UGR) causan un mayor deslumbramiento molesto [19-35]. Esto significa que el UGR actual no siempre es apropiado para el uso con ventanas de salida no uniformes.

Investigar la aplicabilidad o la mejora del UGR actual y explorar formas alternativas de predecir el deslumbramiento molesto es un tema importante de investigación. Las mejoras al UGR actual están dirigidas principalmente a la corrección del índice de posición en la fórmula del UGR para tomar en cuenta la dependencia del ángulo de visión, la corrección de la luminancia promedio, una corrección de la superficie luminosa observada y la corrección general al agregar una intersección adicional para expresar el contraste de luminancia dentro de la fuente de deslumbramiento[36-44]. Las sugerencias para los métodos alternativos de descripción del deslumbramiento se basan en el modelado de campos receptivos de la retina del sistema visual humano (HVS, por sus siglas en inglés) y la aplicación de este modelo en mapas de luminancia de la habitación para evaluar el deslumbramiento molesto [34]. El último enfoque es idéntico a las mediciones de TLA que también se basan en el modelado del sistema visual humano.

Para las lámparas de consumidores actualmente no hay medición de deslumbramiento disponible para cuantificar el deslumbramiento. Además, el deslumbramiento que se percibe de una lámpara también depende de la aplicación. Una lámpara desnuda sobre la mesa cerca del observador, a la altura de los ojos, producirá un mayor deslumbramiento que la misma lámpara en una pantalla en la esquina de la habitación. En general, el deslumbramiento es causado por una combinación de luminancia alta, contraste alto y el tamaño de la fuente. Las mediciones antideslumbramiento deberían abordar al menos una de esas causas: reducir la luminancia, reducir el contraste o reducir el tamaño de la fuente. En la gama de productos de iluminación mediante LED marca Philips de Signify, se distinguen las lámparas con y sin control de deslumbramiento. Una lámpara con control de deslumbramiento contiene materiales de difusión o un encaje pixelado en la parte superior de la lámpara y se percibe con menor deslumbramiento en comparación con las lámparas sin ningún control de deslumbramiento con el mismo flujo y la misma adaptación de fondo. Actualmente no hay disponible una medición adecuada del deslumbramiento para las lámparas y es un tema de investigación para el futuro.

4. Regulación

La función de regulación de los productos LED se define como la posibilidad de cambiar la intensidad de la luz según su propia preferencia. La función de regulación de los productos LED le permite crear la iluminación dirigida o el ambiente perfecto en cada entorno. Las personas quieren regular la iluminación artificial por varias razones. En primer lugar, quieren la capacidad para cambiar el ambiente del entorno (tenue y acogedor, brillante y energizante). En segundo lugar, la función de regulación puede proporcionar diferentes niveles de flujo durante el día, sobre la base de diferentes actividades o según

PHILIPS

los niveles de luz exterior. Por ejemplo, por la tarde quizás le guste regular los niveles de luz para reducir el contraste entre el entorno oscuro y la luz LED, a fin de reducir el posible deslumbramiento. Por último, la función de regulación se usa para el ahorro de energía.

La mala implementación de la función de regulación puede generar algo de incomodidad o efectos indeseados, como el parpadeo visible en niveles de regulación profunda, transiciones inestables, altos niveles de luz mínima. Estos problemas se originan a partir del circuito del driver de LED, variaciones en la amplitud de la tensión de red, cargas conectadas a la red e interacción del regulador. El diseño de electrónica inteligente resuelve el problema de regulación profunda que suprime variaciones visibles repetitivas o irregulares en el nivel de luz.

Los productos regulables de la gama de LED EyeComfort marca Philips de Signify proporcionan regulación gradual en preajustes (SceneSwitch) o de manera continua en todo el rango de intensidad.

5. Ajustable

La iluminación mediante LED ajustable se puede definir en tres categorías:

1. Regulación cálida: capacidad para imitar el comportamiento incandescente (p. ej., la temperatura de color correlacionada [CCT, por sus siglas en inglés] desciende de 2700 K a 2200 K mientras se realiza la regulación)
2. Blanco ajustable: capacidad para cambiar el tono blanco de una luz (p. ej., 2700 K a 6500 K)
3. Color ajustable: capacidad para cambiar el color de la iluminación (RGB)

La regulación de una lámpara incandescente brinda una experiencia de luz diferente que la regulación de las luces LED blancas regulares. Debido a la tecnología utilizada, el espiral incandescente se vuelve menos caliente durante la regulación y, por lo tanto, emitirá luz blanca más rojiza (menor temperatura de color). En cambio, el color del semiconductor troquelado de LED no cambia durante la regulación. Por lo tanto, la lámpara incandescente le brinda una variación en la intensidad y la temperatura del color, mientras que la LED solo proporciona una variación de la intensidad, y la temperatura del color permanecerá igual.

Las personas aprecian la configuración cálida en niveles de poca luz para crear ambientes agradables y acogedores [45], pero esto puede variar según la región. Algunas LED EyeComfort marca Philips de Signify proporcionan la función de regulación WarmGlow. Al combinar dos LED diferentes (2200 K y 2700 K), se puede imitar un comportamiento de regulación incandescente. La función WarmGlow viene en dos variaciones. SceneSwitch con configuración fija y regulación suave WarmGlow en todo el rango (2700 K a 2200 K).

Junto al efecto de ambiente, la función de regulación combinada con un cambio de CCT también tiene ventajas con respecto al ritmo circadiano de las personas. Nuestro reloj biológico nos indica cuándo despertarnos y cuándo ir a dormir. La intensidad y el espectro de acción de la luz son uno de los parámetros que controlan esas respuestas [46]. La luz de alta intensidad que contiene mucho azul nos hace sentir despiertos y alertas, mientras que la luz de baja intensidad con poca cantidad de azul provoca la liberación de la hormona del sueño, la melatonina, que genera somnolencia. La investigación ha demostrado que la iluminación brillante con un fuerte componente de azul se recomienda durante la mañana para ayudar a despertarse y se debería evitar durante la noche, porque suprime la producción

PHILIPS

de melatonina y nos dificulta la conciliación del sueño. Los entornos de CCT cálida y regulada durante la noche son ideales para lograr un ritmo biológico sin perturbaciones [46].

Las LED EyeComfort marca Philips de Signify con función de regulación WarmGlow admiten la función de ambiente y respaldan el ritmo circadiano de las personas.

6. Reproducción cromática

La calidad del color se relaciona con la preferencia y la apreciación de la percepción de los usuarios de la iluminación en una aplicación determinada. La calidad del color de las fuentes de luz blanca tiene un impacto en el espacio, los objetos y la apariencia humana. La mala calidad del color puede reducir la discriminación visual y la apropiada reproducción de personas, espacios u objetos iluminados. Por ejemplo, los tonos de piel humana, las plantas y los alimentos pueden parecer apagados o subsaturados bajo iluminación con reproducción cromática baja o saturación de color baja.

La reproducción cromática de una fuente de luz blanca se define como el efecto de un iluminante en la apariencia del color de los objetos, comparado consciente o inconscientemente con su apariencia del color bajo un iluminante de referencia [47]. El índice de reproducción cromática (IRC-Ra) general se usa para medir y especificar la capacidad de reproducción cromática de una fuente de luz blanca, sobre la base de un conjunto de ocho muestras de color de prueba (TCS, por sus siglas en inglés) específicas, moderadamente saturadas, aprobadas por la CIE en 1974. Un IRC de 100 significa que la reproducción cromática bajo la fuente de prueba es igual en comparación con la reproducción cromática bajo la fuente de referencia (la referencia es incandescente para CCT <5000 K).

La preferencia de los usuarios no siempre se relaciona directamente con el valor de IRC. No siempre se prefiere una fuente de IRC más alto. La saturación del color (vivacidad), especialmente la saturación del rojo, también desempeña un papel importante en la preferencia [48,49,50]. En general, las personas prefieren algo de sobresaturación porque los objetos lucen más coloridos. La preferencia para la apariencia del tono de la piel es diferente, también entre culturas.

Es importante encontrar el equilibrio justo entre la fidelidad del color (IRC) y la saturación del color para una aplicación específica. El objetivo de la luz LED EyeComfort marca Philips de Signify es mejorar la diferenciación del color y la estética a través del uso de LED con buenas propiedades de calidad del color.

7. Ruido

Las LED pueden sufrir ruido audible, específicamente cuando se utilizan a niveles de regulación profunda. Los voltajes y las corrientes que se producen pueden crear una resonancia mecánica en los componentes. Este ruido se puede percibir como muy molesto e incómodo. Esta es la razón de por qué Energy Star tiene que implementar exigencias para los niveles de ruido audible.

De acuerdo con los requisitos de Energy Star para el ruido audible, las lámparas no deben emitir ruido por encima de 24 dBA a un metro de distancia [51]. Este umbral no es lo suficientemente estricto para las lámparas en una sala de estar completamente silenciosa (aproximadamente 20 dBA) o las lámparas ubicadas cerca de las personas (luz de lectura, lámpara de noche). Todos los productos LED EyeComfort marca Philip de Signify toman en cuenta las regulaciones publicadas.

Referencias:

- [1] Małgorzata Perz, Dragan Sekulovski, Ingrid Vogels e Ingrid Heynderickx (2017): Quantifying the Visibility of Periodic Flicker (Cuantificación de la visibilidad del parpadeo periódico), LEUKOS, DOI: 10.1080/15502724.2016.1269607
- [2] IEC CIE TN 006:2016, Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models (Aspectos visuales de los sistemas de iluminación modulados con el tiempo: Definiciones y modelos de medición), septiembre de 2016: http://files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf.
- [3] https://www.lightingeurope.org/images/publications/position-papers/LightingEurope_-_position_paper_-_flicker_and_stroboscopic_effect_-_final.pdf
- [4] http://www.nema.org/Standards/Pages/Temporal-Light-Artifacts-Flicker-and-Stroboscopic-Effects.aspx?_sm_au_=i5VMrMH4n4J8p7jb
- [5] WILKINS, A., VEITCH, J., LEHMAN, B. 2010. LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update (Posibles problemas de salud y parpadeo de la iluminación mediante LED: actualización del estándar del IEEE PAR1789). En el Congreso y Exposición de Conversión Energética (ECCE) 2010 del IEEE, 171–78.
- [6] Jaen, M., J. Sandoval, E. Colombo y T. Troscianko, “Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting” (Rendimiento visual de los trabajadores de oficina y modulación temporal de la iluminación fluorescente), LEUKOS, vol. 1, pág. 27–46, 2005.
- [7] Veitch, J. A. y S. L. McColl, “Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort” (Modulación de luz fluorescente: índice de parpadeo y efectos de la fuente de luz en el rendimiento visual y comodidad visual), Lighting Research & Technology, vol. 27, pág. 243, 1995.
- [8] Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I.M., Slater, A. y Bedocs, L. (1989) Fluorescent lighting, headaches and eye-strain (Iluminación fluorescente, dolores de cabeza y fatiga ocular). Lighting Research & Technology, 21(1), 11-18.
- [9] Arnold Wilkins, Brad Lehman. Biological effects and health hazards from flicker, including flicker that is too rapid to see (Efectos biológicos y riesgos de salud del parpadeo, que incluyen parpadeo que es demasiado rápido para ver). 15/02/10, estándar del IEEE P1789. <http://grouper.ieee.org/groups/1789>.
- [10] J. D. Bullough, K. S. Hickcox, T. R. Klein y N. Narendran, "Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort" (Efectos de las características del parpadeo de la iluminación estado sólido en la detección, aceptabilidad y comodidad), Lighting Research & Technology, vol. 43, pág. 337–348, 201
- [11] Harding, G. F. A. y P. Jeavons, Photosensitive Epilepsy (Epilepsia fotosensitiva). Londres: Mac Keith Press, 1994.
- [12] Binnie, C. D., R. A. de Korte y T. Wisman, “Fluorescent lighting and epilepsy” (Iluminación fluorescente y epilepsia), Epilepsia, vol. 20, pág. 725–727, 1979.
- [13] Harding, G. F. A. y P. F. Harding, “Photosensitive epilepsy and image safety” (Epilepsia fotosensitiva y seguridad de la imagen), Applied Ergonomics, 16 de octubre de 2008.
- [14] Fisher, R. S., G. F. A. Harding, G. Erba, G. L. Barkley y A. Wilkins, “Photic- and pattern-induced seizures: A review for the Epilepsy Foundation of America working group” (Convulsiones inducidas por patrones y fotosensibilidad: una revisión para el grupo de trabajo de la Epilepsy Foundation of America), Epilepsia, vol. 46, pág. 1426– 1441, Sep. 2005.
- [15] Global Lighting Association: Optical and Photobiological Safety of LED, CFLs and Other High Efficiency General Lighting Sources (Global Lighting Association: seguridad óptica y fotobiológica de LED, CFL y otras fuentes de luz general de alta eficiencia)

- [16] IEC 62471:2006, Photobiological safety of lamps and lamp systems (Seguridad fotobiológica de las lámparas y los sistemas de lámparas)
- [17] IEC TR 62778, Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources (Aplicación de IEC 62471 para la evaluación del riesgo de luz azul en las fuentes de luz)
- [19] EBERBACH, K. (1974). Der Einfluss der Leuchtdichtestruktur von Lichtquellen auf die Blendempfindung. *Lichttechnik* 6, pág. 283–286.
- [20] WATERS, C.E., MISTRICK, R.G., BERNECKER, C.A. (1995): Discomfort Glare from Sources of Nonuniform Luminance (Deslumbramiento molesto de fuentes de luminancia no uniformes). En: *Journal of the Illuminating Engineering Society* 24 (2), pág. 73–85.
- [21] KASAHARA, T., AIZAWA, D., IRIKURA, T., MORIYAMA, T., TODA, M., IWAMOTO, M. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Source (Deslumbramiento molesto causado por una fuente de luz LED blanca). En: *Journal of Light and Visual Environment* 30 (2), pág. 49–57.
- [22] TAKAHASHI, H., IRIKURA, T., MORIYAMA, T., TODA, M., IWAMOTO, M. (2007): Discomfort glare and annoyance caused by white LED lamps (Deslumbramiento molesto y molestias causadas por lámparas LED blancas) Procedimientos de la sesión 26 de la CIE, Pekín, China, pág. D1-80-D1-83
- [23] LEE, CH.-M., KIM, H., CHOI, D.-S. (2007): A Study on the Estimation of Discomfort Glare for LED Luminaires (Un estudio sobre la estimación del deslumbramiento molesto para las luminarias LED). En: CIE (Hg.): Procedimientos de la sesión 26 de la CIE, Pekín, China, pág. D3-33-D3-36
- [24] JUNG, S.-G., CHO, Y.-I., KIM, H. (2009): A Study of UGR for Non-Uniform Luminance Source (Un estudio del UGR para una fuente lumínica no uniforme). Procedimientos de Lux Europa 2009, Estambul, Turquía, pág. 553–558.
- [25] KIM, W., Kim, J.T. (2010): The scope of the glare light source of the window with non-uniform luminance distribution (El alcance de la fuente de luz de deslumbramiento de la ventana con distribución de luminancia no uniforme), Procedimientos del 3.er Simposio internacional sobre edificios saludables y sostenibles, Seúl, Corea, pág. 253–271
- [26] TASHIRO T., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T., AYAMA, M. (2011): Discomfort Glare Evaluation to White LEDs with Different Spatial Arrangement (Evaluación del deslumbramiento molesto para las LED blancas con diferente disposición espacial). Procedimientos de la sesión 27 de la CIE, Sun City, Sudáfrica, pág. 583–588.
- [27] BULLOUGH, J.D. (2011): Luminance versus luminous intensity as metric for discomfort glare (La luminancia frente a la intensidad lumínica como métrica para el deslumbramiento molesto). SAE International, DOI: 10.4271/2011-01-0111.
- [28] BULLOUGH, J.D., SWEATER HICKCOX, K. (2012): Interactions among light source luminance, illuminance and size on discomfort glare (Interacciones entre la luminancia de la fuente de luz, la iluminancia y el grado de deslumbramiento molesto). SAE International, DOI: 10.4271/201201-0269
- [29] HARA, N., HASEGAWA, S. (2012): Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array (Estudio sobre el índice de deslumbramiento molesto en la luminaria con tecnología LED). En: *Journal of Illuminating Engineering Institute Japan* 96 (2), pág. 81–88.
- [30] ERDEM, L., TRAMPERT, K., NEUMANN, C. (2012): Evaluation of Discomfort Glare from LED lighting systems (Evaluación del deslumbramiento molesto de sistemas de iluminación mediante LED). Procedimientos de Balkan Light 2012, Belgrado, pág. 213–220.
- [31] AYAMA, M., TASHIRO, T., KAWANOBE, S., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T. (2013): Discomfort glare of white LED sources of different spatial arrangements (Deslumbramiento molesto de fuentes de luz LED blanca de diferentes disposiciones espaciales), Procedimientos de la Conferencia del Centenario de la CIE, París, Francia, pág. 119–122
- [32] GEERDINCK, L.M., VAN GHELUWE, J.R., VISSENBERG, M.C.J.M. (2014): Discomfort glare perception of non-uniform light sources in an office setting (Percepción del deslumbramiento molesto de fuentes de luz no uniformes en un entorno de oficina), *Journal of Environmental Psychology*, 39, pág. 5–13

- [33] FUNKE, C., SCHIERZ, CH. (2015): Extension of the Unified Glare Rating Formula for NonUniform LED Luminaires (Extensión de la fórmula del índice de deslumbramiento unificado para luminarias LED no uniformes). Procedimientos de la sesión 28 de la CIE, Mánchester, Reino Unido, pág. 1471– 1480
- [34] DONNERS, M.A.H., VISSENBERG, M.C.J.M., GEERDINCK, L.M., VAN DEN BROEK-COOLS, J.H.F., BUDDEMEIJER-LOCK, A. (2015): A psychophysical model of discomfort glare in both outdoor and indoor applications (Un modelo psicofísico de deslumbramiento molesto tanto en aplicaciones de interiores y exteriores). Procedimientos de la sesión 28 de la CIE, Mánchester, Reino Unido, pág. 1602–1611
- [35] YANG, Y., LUO, M.R., MA, S.N. (2016): Assessing glare. Part 2: Modifying Unified Glare Rating for uniform and non-uniform LED luminaires (Evaluación del deslumbramiento. Parte 2: modificación de la fórmula del índice de deslumbramiento unificado para luminarias LED uniformes y no uniformes). Lighting Research & Technology, 2016
- [36] TAKAHASHI, H., KOBAYASHI, Y, ONDA, S., IRIKURA, T. (2007): Position Index for the Matrix Light Source (Índice de posición para la fuente de luz de matriz). En: Journal of Light and Visual Environment 31 (3), pág. 128–133.
- [37] HARA, N. (2016): Visual characteristics for evaluating the discomfort glare – relationship between the position, size, array of the LED chips, and BCD on the discomfort glare (Características visuales para evaluar el deslumbramiento molesto: relación entre la posición, el tamaño, la gama de chips LED y BCD en el deslumbramiento molesto). Procedimientos de CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency” (Calidad de iluminación y eficiencia energética), Melbourne, Australia, pág. 704–707.
- [38] YANG, Y., MA, S.N., LOU, M.R., LIU, X.Y. (2015): Discomfort glare by non-uniform white LED matrices (Deslumbramiento molesto por matrices de luz LED blanca no uniformes). Procedimientos de la sesión 28 de la CIE, Mánchester, Reino Unido, pág. 393–399.
- [39] CHEN, M.K, CHOU, C.J., CHEN H.S. (2016): Assessment of glare rating from non-uniform light sources (Evaluación del índice de deslumbramiento de fuentes de luz no uniformes). Procedimientos de CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency” (Calidad de iluminación y eficiencia energética), Melbourne, Australia, pág. 697–703.
- [40] TASHIRO T., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T., AYAMA, M. (2011): Discomfort Glare Evaluation to White LEDs with Different Spatial Arrangement (Evaluación del deslumbramiento molesto para las LED blancas con diferente disposición espacial). Proceedings of the 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, p. 583–588.
- [41] SCHEIR, G.H., HANSELAER, P., BRACKE, P., DECONINCK, G., RYCKAERT, W.R. (2015): Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources (Cálculo del índice de deslumbramiento unificado en base a los mapas de luminancia para fuentes de luz uniformes y no uniformes). Building and Environment 84 (2015), pág. 60–67.
- [42] ŠKODA, J., SUMEC, S., BAXANT, P., KRBAL, M., PARMA, M. (2015): Measurement of discomfort glare through luminance analyser (Medición del deslumbramiento molesto a través del analizador de luminancia), Procedimientos de la sesión 28 de la CIE, Mánchester, Reino Unido, pág. 1373–1381.
- [43] KOGA, S., HIGASHI, H., KOTANI, T. (2013): The development of evaluation for discomfort glare in LED lighting of indoor work place. The modification of G-classification using luminance distribution of luminous parts (El desarrollo de la evaluación para el deslumbramiento molesto en la iluminación mediante LED en los lugares de trabajo interiores. La modificación de la clasificación G por medio de la distribución de luminancia de las partes luminosas), Procedimientos de la Conferencia del Centenario de la CIE, París, Francia, pág. 657–662.
- [44] YANG, Y., MA, S.N., LUO, M.R. (2016): Glare model for non-uniform white LED luminaires (Modelo de deslumbramiento para luminarias LED blancas no uniformes). Procedimientos de CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency” (Calidad de iluminación y eficiencia energética), Melbourne, Australia, pág. 451–456.

PHILIPS

- [45] Seuntjens, P.J.H. e Vogels, Ingrid. (2008). Atmosphere creation: The relation between atmosphere and light characteristics (Creación de la atmósfera: la relación entre la atmósfera y las características de la luz). Procedimientos de la 6.ta Conferencia sobre el diseño y la emoción 2008.
- [46] Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor (Espectro de acción para la regulación de melatonina en los humanos: evidencia para un fotorreceptor circadiano novedoso). J Neurosci. 2001;21:6405–6412.
- [47] CIE 013.3-1995 - Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources (Método de medición y especificación de las propiedades de reproducción cromática de las fuentes de luz)
- [48] Teunissen C, van der Heijden FHFV, Poort SHM, de Beer E. Characterising user preference for white LED light sources with CIE color rendering index combined with a relative gamut area index (Caracterización de la preferencia del usuario para las fuentes de luz LED blanca con el índice de reproducción cromática de la CIE combinada con un índice del área de la gama relativa). Lighting Research & Technology, 2017; 49: 461–480.
- [49] Royer, MP, Wilkerson, A, Wei, M, Houser, K, Davis, R. Human perceptions of color rendition vary with average fidelity, average gamut, and gamut shape (Las percepciones humanas de la reproducción del color varían con la fidelidad, la gama promedio y la forma de la gama). Lighting Research & Technology 2017; 49: 992–1014.
- [50] Tang, X y Teunissen, Kees. The appreciation of LED-based white light sources by Dutch and Chinese people in three application areas (La apreciación de las fuentes de luz blanca basadas en LED por personas holandesas y chinas en tres áreas de aplicación). Lighting Research & Technology (2018)
- [51] Energy Star, Energy Star Program Requirements for Lamps (light bulbs), Eligibility criteria version 1.1 (Requisitos para el programa de Energy Star para las lámparas [lámparas], Criterios de elegibilidad versión 1.1).
- [52] IEC TR 61547-1:2017, Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements – Part 1: An objective voltage fluctuation immunity test method, edition 2 (Equipo para propósitos de iluminación general: requisitos de inmunidad de EMC - Parte 1: un método de prueba de inmunidad de la fluctuación de voltaje objetivo, edición 2).
- [53] IEC 61000-4-15, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-15: Testing and measurement techniques. Flickermeter. Functional and design specifications (Compatibilidad electromagnética [EMC, por sus siglas en inglés]. Parte 4 de 15: técnicas de medición y pruebas. Medidor de parpadeo. Especificaciones funcionales y de diseño).
- [54] NEMA 77-2017, Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria (Artefactos de luz temporal: Métodos de prueba y guía para los criterios de aceptación)