

Documento técnico sobre EyeComfort1

Hoy en día, la calidad de la luz es un elemento diferenciador clave en la iluminación. En términos generales, la calidad de la luz se refiere a los aspectos visuales de la luz y su dependencia de los usuarios y el entorno, así como su interacción con ellos. La LEDificación nos brinda infinitas posibilidades para marcar diferencias en la calidad espacial, espectral y temporal de la luz. Nos fuerza a revisar nuestra forma tradicional de evaluar la calidad de la luz. Signify optimiza continuamente sus productos mediante la combinación de un entendimiento profundo de las necesidades del usuario, el conocimiento de las aplicaciones de la iluminación y estadísticas científicas. Signify, el líder global en iluminación, lleva sus lámparas y luminarias LED al mercado bajo la conocida marca Philips.

Signify creó la marca comercial EyeComfort basándose en los siguientes criterios seleccionados: parpadeo, efecto estroboscópico, seguridad fotobiológica, deslumbramiento, regulación de la intensidad, personalización, reproducción del color y ruido audible.

Nuestro catálogo de lámparas y luminarias LED se evalúa empleando estos criterios. Este documento técnico explica dichos criterios así como la importancia de optimizar la iluminación.

Antecedentes científicos

Los productos LED EyeComfort marca Philips de Signify incorporan los criterios mencionados arriba:

1. *Parpadeo y efecto estroboscópico*

El parpadeo y el efecto estroboscópico son fenómenos temporales de la luz (Temporal Light Artifacts, TLA). Los TLA se definen como un cambio en la percepción visual, inducido por un estímulo luminoso, la luminancia o distribución espectral, que fluctúa en el tiempo frente a un observador humano en un entorno especificado. El parpadeo es la percepción de inestabilidad visual inducida por un estímulo luminoso, la luminancia o distribución espectral, que fluctúa en el tiempo frente a un observador estático en un entorno estático. Dicho de otra manera, es una fluctuación rápida y molesta de la luz en la habitación.

El efecto estroboscópico es diferente del parpadeo y se define como el cambio en la percepción de movimiento, inducido por un estímulo luminoso, la luminancia o distribución espectral, que fluctúa en el tiempo frente a un observador estático en un entorno no estático. Dicho de otra manera, el efecto estroboscópico produce la interrupción antinatural de un movimiento continuo.

Una propiedad de las luces LED es la respuesta rápida a las variaciones en la señal de entrada. Por lo tanto, reproducen fielmente tales fluctuaciones en la potencia lumínica, lo que podría llegar a generar TLA para las personas que se encuentran en el espacio iluminado. Tales fluctuaciones pueden tener diferentes orígenes, tales como perturbaciones en la red eléctrica, interacciones con los controles (por ejemplo, los reguladores de intensidad), perturbaciones en la señal de entrada de fuentes externas (por

1 Es posible que Signify modifique este documento técnico sobre EyeComfort si toma conocimiento de información (adicional) en diferentes áreas, incluyendo desarrollo de productos, investigación, estándares y reglamentaciones.

PHILIPS

ejemplo, microondas) y fluctuaciones integradas en el controlador electrónico. Hay métodos conocidos para eliminar tales fluctuaciones en la potencia lumínica de los productos LED y, al mismo tiempo, reducir la visibilidad de los TLA no deseados. No obstante, estos métodos precisan un equilibrio entre el costo y la eficiencia, y requieren mayor espacio físico, al tiempo que reducen la vida útil de los productos LED con cualquier tipo de arquitectura.

Hasta hace muy poco, se utilizaban diferentes medidas, tales como el índice de parpadeo (Flicker Index, FI) y la profundidad de la modulación, para evaluar la visibilidad del parpadeo y el efecto estroboscópico. Ninguna de estas medidas resulta adecuada para predecir lo que la gente en realidad percibe o experimenta. La visibilidad del parpadeo y del efecto estroboscópico se ve afectada por la profundidad de la modulación, la frecuencia, la forma de onda y el ciclo de trabajo, y tales medidas no toman en cuenta todos estos parámetros. Por lo tanto, se han desarrollado modelos científicos basados en el sistema visual humano, que hace referencia a la percepción visual de los seres humanos y que forma parte del sistema nervioso que nos permite ver. Una medida de TLA más eficiente para el parpadeo es P_{st}^{LM} y, para el efecto estroboscópico, SVM [1,2]. Estas medidas cuentan con el apoyo de Lighting Europe [3] y de NEMA [4], y se utilizan en la evaluación de la iluminación mediante LED EyeComfort marca Philips de Signify. Actualmente, se siguen investigando mejoras continuas en las medidas de TLA.

La definición habitual del umbral de visibilidad absoluta es el punto en el que el observador puede detectar el percepto el 50 % del tiempo [2]. Eso significa que una persona no está segura de ver el parpadeo y elige responder: "Lo veo el 50 % del tiempo". No significa que el observador tenga la idea clara de percibir el parpadeo el 50 % del tiempo y de no percibirlo el otro 50 %. En cambio, 50 % se refiere a las probabilidades de verlo.

Dado lo anterior, el requisito de que no haya parpadeo visible se define como $P_{st}^{LM} \leq 1,0$ y se basa en la norma 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 el parpadeo y el efecto estroboscópico son importantes?

Los productos de iluminación que presentan parpadeo o efecto estroboscópico se consideran iluminación de menor calidad [5-14]. Los TLA no solo son molestos para la gente, sino que también afectan la comodidad del ojo, la comodidad general y el rendimiento visual. Más específicamente, los TLA visibles pueden reducir el rendimiento en las tareas visuales, provocar molestias oculares (cansancio de los ojos), aumentar la aparición de dolores de cabeza, causar esfuerzo ocular e incomodidad. Hay estudios que demuestran que el parpadeo visible puede provocar convulsiones epilépticas en ciertos casos [5-14]. Tomando esto en consideración, los productos LED EyeComfort marca Philips de Signify se diseñaron para minimizar el parpadeo y el efecto estroboscópico visibles.

2. Seguridad fotobiológica

El peligro de la luz azul

El peligro de la luz azul es un daño fotoquímico de la retina y depende de la composición espectral, la intensidad y el tiempo de exposición del ojo. La Comisión Electrotécnica Internacional (International

PHILIPS

Electrotechnical Commission, IEC) desarrolló un estándar para evaluar la seguridad fotobiológica [16]. Las fuentes se clasifican en 4 grupos de riesgo (0 = sin riesgo, 3 = alto riesgo).

Grupo de riesgo 0: la lámpara no representa ningún peligro fotobiológico

Grupo de riesgo 1: no hay peligro fotobiológico en circunstancias de limitaciones normales del comportamiento

Grupo de riesgo 2: no representa un peligro debido a la respuesta de aversión a la luz brillante o incomodidad térmica

Grupo de riesgo 3: peligroso incluso para una exposición momentánea

Un malentendido común en los medios es la idea de que la iluminación mediante LED contiene mayores porciones de longitudes de onda de color azul y que, por ello, puede representar un mayor peligro de luz azul. La Global Lighting Association investigó y midió esto minuciosamente, comparando el contenido espectral de diferentes tecnologías de iluminación y el estándar antes mencionado, en conjunto con la opinión de muchos científicos [15].

Los principales hallazgos científicos son los siguientes [15]:

- En relación con el peligro de la luz azul, las lámparas LED no son diferentes de las tecnologías convencionales, tales como las luces incandescentes y fluorescentes. La porción del espectro azul en la iluminación mediante LED no es diferente de esa misma porción en otras tecnologías a la misma temperatura de color.
- Una comparación de los productos LED adaptados con los productos convencionales que reemplazarían indica que los niveles de riesgo son muy similares y se encuentran ampliamente dentro del intervalo no crítico.
- Las luminarias y fuentes LED (lámparas o sistemas) que corresponden al Grupo de riesgo 0 o 1, tal como los define la IEC, pueden ser utilizadas por los consumidores.

Ultravioleta

Las fuentes de luz basadas en LED para consumo no contienen energía en la parte UV del espectro y, por lo tanto, no son perjudiciales para las personas que tienen una mayor sensibilidad a la luz UV.

Infrarrojo

En contraste con las luces incandescentes y halógenas, los productos LED apenas emiten luz infrarroja (IR). Para las fuentes de luz LED para consumo, no existe riesgo, dado que la radiación IR no tiene potencia suficiente.

La seguridad óptica responde a normas y lineamientos internacionales [16,17]. Los productos LED EyeComfort marca Philips de Signify se clasifican todos en el Grupo de riesgo 0 o 1 (RG0/RG1), lo que significa que el uso de estos productos LED no representa un peligro fotobiológico en circunstancias de limitaciones normales del comportamiento, o que la lámpara no representa ningún peligro fotobiológico.

3. Deslumbramiento

El deslumbramiento es uno de los aspectos que mayor insatisfacción causa en relación con una iluminación confortable. El deslumbramiento puede dividirse en deslumbramiento perturbador y

PHILIPS

deslumbramiento molesto. El deslumbramiento perturbador se refiere a la reducción del rendimiento visual provocado por una fuente de deslumbramiento en el campo de visión. El deslumbramiento molesto se define como la sensación de molestia causada por fuentes de luz brillante. La sensación de molestia depende de muchos parámetros, por ejemplo, la luminancia de origen, el área de origen, la posición de origen en el campo de visión, las condiciones de iluminación ambiente, el tipo de actividad y la duración de la exposición a la fuente de luz brillante. Durante años, los investigadores han tratado de cuantificar la cantidad de molestia visual. La evaluación del deslumbramiento para los lugares de trabajo cerrados (entorno profesional) suele hacerse empleando la medida UGR (Unified Glare Rating, Índice unificado de deslumbramiento). Esta medida se basa en niveles de luminancia promedio calculados a partir de una distribución de intensidad de campo lejano. En las soluciones de iluminación mediante LED se suelen ver ventanas de salida no uniformes o pixeladas con contrastes de alta luminancia. Hay estudios que han demostrado que las ventanas de salida pixeladas que tienen la misma luminancia promedio que las ventanas de salida uniformes (y, por ello, el mismo valor UGR) producen un deslumbramiento más incómodo [19-35]. Esto significa que el UGR actual no siempre resulta adecuado para utilizarse con las ventanas de salida no uniformes.

Investigar la aplicabilidad o la mejora del UGR actual y explorar formas alternativas de predecir el deslumbramiento molesto es materia importante de investigación. Las mejoras que se realizan en el UGR actual tienen como objetivos principales corregir el índice de posición en la fórmula de UGR a fin de tomar en cuenta la dependencia del ángulo de visión, corregir la luminancia promedio, corregir la superficie luminosa observada y realizar una corrección general mediante el agregado de un intercepto adicional que permita expresar el contraste de luminancia dentro de la fuente de deslumbramiento [36-44]. Las sugerencias de métodos alternativos para describir el deslumbramiento se basan en la modelización de los campos receptivos retinianos del sistema visual humano (Human Visual System, HVS) y en la aplicación de este modelo a los mapas de luminancia de la habitación para evaluar el deslumbramiento molesto [34]. El último enfoque es idéntico a las medidas de TLA que también se basan en la modelización del sistema visual humano.

Para las lámparas de consumo, no hay actualmente ninguna medida de deslumbramiento disponible que permita cuantificar el deslumbramiento. Además, el deslumbramiento percibido de un foco también dependerá de la aplicación. Un foco desnudo sobre la mesa, cerca del observador y a la altura de los ojos, producirá más deslumbramiento que el mismo foco en una lámpara en la esquina de la habitación. En general, el deslumbramiento se debe a una combinación de alta luminancia, alto contraste y tamaño de la fuente. Las medidas antideslumbramiento deberían apuntar a resolver, al menos, una de esas causas: bajar la luminancia, reducir el contraste o reducir el tamaño de la fuente. En el catálogo de iluminación mediante LED marca Philips de Signify, se distinguen las lámparas con control de deslumbramiento de aquellas que no lo tienen. Una lámpara con control de deslumbramiento contiene materiales difusores o una banda pixelada en la parte superior del foco, y se percibe como menos deslumbrante en comparación con las lámparas que no tienen ningún control de deslumbramiento a igual flujo e igual adaptación al fondo. Actualmente, no se dispone de una medida adecuada para indicar el nivel de deslumbramiento y es un tema que deberá investigarse en el futuro.

PHILIPS

4. Regulación de la intensidad

La función de regulación de los productos LED se define como la posibilidad de cambiar la intensidad de la luz según la preferencia del usuario. La regulación de la intensidad de los productos LED permite crear la atmósfera perfecta o la iluminación justa para la tarea que se esté realizando en cualquier ambiente. Hay varios motivos por los que los usuarios desean modificar la intensidad de la iluminación artificial. Primero, quieren poder cambiar la atmósfera del ambiente (acogedora con luz tenue, o brillante y llena de energía). Segundo, la regulación de la intensidad puede proporcionar diferentes niveles de flujo a lo largo del día, según las actividades que se realicen o según los niveles de luz exterior. Por ejemplo, por la tarde, es posible que desee disminuir la intensidad de la luz para suavizar el contraste entre el ambiente oscuro y la luz LED a fin de reducir el deslumbramiento potencial. Por último, la regulación de la intensidad se emplea también para ahorrar energía.

Una implementación deficiente de la regulación de la intensidad puede ocasionar ciertas molestias o efectos no deseados, como un parpadeo visible cuando se reduce mucho la intensidad, transiciones poco estables, niveles altos de iluminación mínima. Estos problemas se originan en el circuito del controlador LED, variaciones en la tensión de la red eléctrica, cargas conectadas a la red eléctrica e interacción con el regulador. Un diseño electrónico inteligente resuelve el problema de un exceso de regulación y elimina las variaciones repetitivas o irregulares visibles en el nivel de luz.

Los productos regulables del catálogo LED EyeComfort marca Philips de Signify ofrecen una regulación gradual inteligente con preajustes (SceneSwitch) o de manera continua a lo largo de todo el intervalo de intensidad.

5. Personalización

La iluminación mediante LED personalizable puede definirse en tres categorías:

1. Regulación cálida: la capacidad de imitar el comportamiento incandescente (por ejemplo, la CCT cae de 2700 K a 2200 K durante la regulación).
2. Blanco personalizable: la capacidad de cambiar la tonalidad blanca de una luz (por ejemplo, de 2700 K a 6500 K).
3. Color personalizable: la capacidad de cambiar el color de la iluminación (RGB).

La regulación de un foco incandescente brinda una experiencia de iluminación diferente que la regulación de las luces LED blancas comunes. Debido a la tecnología que se utiliza, una espiral incandescente pierde temperatura durante la regulación y, por lo tanto, emitirá una luz blanca más rojiza (una menor temperatura del color). En cambio, el color del chip LED no cambia durante la regulación. Por eso, el foco incandescente proporciona variación tanto en la intensidad como en la temperatura del color, mientras que la luz LED solo brinda una variación en la intensidad y la temperatura del color permanecerá invariable.

Los usuarios aprecian la configuración cálida con bajos niveles de luz para crear atmósferas agradables y acogedoras [45], pero esto puede ser diferente por región. Algunos productos LED EyeComfort marca Philips de Signify ofrecen la función de regulación WarmGlow. Mediante la combinación de dos LED diferentes (2200 K y 2700 K), puede imitarse el comportamiento de la regulación que se produce en los

PHILIPS

focos incandescentes. La función WarmGlow viene en dos variantes. SceneSwitch con ajustes fijos y la regulación WarmGlow suave a lo largo de todo el intervalo. (2700 K-2200 K).

Junto con el efecto en la atmósfera, una función de regulación combinada con un cambio de la CCT también tiene ventajas en relación con el ritmo circadiano de las personas. Nuestro reloj biológico nos indica cuándo despertarnos y cuándo dormirnos. La intensidad y el espectro de acción de la luz constituyen uno de los parámetros que controlan tales respuestas [46]. La luz de alta intensidad que contiene mucho color azul nos hace sentir más despiertos y alertas, mientras que la luz de baja intensidad con menor cantidad de azul activa la liberación de la hormona del sueño, la melatonina, lo que nos hace sentir somnolientos. Los trabajos de investigación han demostrado que se recomienda la iluminación brillante con un fuerte componente azul por la mañana para que resulte más fácil despertarse, mientras que tal iluminación debería evitarse por la noche, porque suprime la producción de melatonina y hace que resulte más difícil conciliar el sueño. Los ambientes con intensidad regulada y CCT cálida por la noche son ideales para acompañar el ritmo biológico [46].

Los productos LED EyeComfort marca Philips de Signify con la función de regulación WarmGlow favorecen tanto la creación de atmósfera como el ritmo circadiano de las personas.

6. Reproducción del color

La calidad del color se relaciona con la preferencia y la apreciación de los usuarios respecto de cómo perciben la iluminación en una aplicación dada. La calidad del color de las fuentes de luz blanca afectan el espacio, los objetos y la apariencia humana. Una calidad del color deficiente puede reducir la discriminación visual y la precisión en la reproducción de los espacios, personas u objetos iluminados. Por ejemplo, los tonos de la piel humana, las plantas y la comida pueden verse opacos o infrasaturados con una luz que tiene baja reproducción del color o baja saturación del color.

La reproducción del color de una fuente de luz blanca se define como el efecto de la iluminación sobre la apariencia del color de los objetos, por comparación consciente o no de su apariencia de color bajo una iluminación de referencia [47]. Se utiliza el índice de reproducción cromática general (IRC-Ra) para medir y especificar la capacidad de una fuente de luz blanca de reproducir el color, según un conjunto de ocho muestras específicas de color de prueba (Test-Color Samples, TCS), moderadamente saturadas, correspondientes a la norma CIE 1974. Un IRC de 100 significa que la reproducción de los colores bajo la fuente de prueba es igual en comparación con la reproducción de los colores bajo la fuente de referencia (la referencia es incandescente para las CCT <5000 K).

La preferencia de los usuarios no siempre se corresponde directamente con el valor IRC. Una fuente con mayor IRC no siempre se prefiere más. La saturación del color (intensidad), especialmente la saturación del color rojo, también es un componente importante de la preferencia [48,49,50]. En general, las personas suelen preferir algo de sobresaturación, porque los objetos se ven más coloridos. La preferencia en cuanto a la apariencia del tono de la piel es diferente, incluso entre las distintas culturas.

Es importante encontrar el equilibrio adecuado entre la fidelidad del color (IRC) y la saturación del color para una aplicación específica. Los productos LED EyeComfort marca Philips de Signify buscan mejorar la diferenciación del color y perfeccionar la estética a través del uso de luces LED con buenas propiedades de calidad del color.

7. Ruido

Las luces LED pueden sufrir ruido audible, específicamente si se usan con grandes niveles de regulación. Los voltajes y la corriente que se emplean pueden crear una resonancia mecánica en los componentes. Este ruido puede percibirse como muy molesto e incómodo. Es por eso que Energy Star ha publicado requisitos respecto de los niveles de ruido audible.

Según lo que establecen los requisitos de Energy Star para el ruido audible, las lámparas no deben emitir un ruido que supere los 24 dBA a 1 metro de distancia [51]. Este umbral no es lo suficientemente estricto para las lámparas que se encuentran en una sala de estar en completo silencio (alrededor de 20 dBA) ni para las lámparas ubicadas cerca de la gente (luz de lectura, velador de noche). Todos los productos LED EyeComfort marca Philips de Signify toman en cuenta las reglamentaciones publicadas.

Referencias:

- [1] Małgorzata Perz, Dragan Sekulovski, Ingrid Vogels e Ingrid Heynderickx (2017): Quantifying the Visibility of Periodic Flicker (Cómo cuantificar 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 en 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. (Parpadeo de la iluminación mediante LED y posibles preocupaciones para la salud: estándar IEEE PAR1789. Actualización). En el Congreso y Exposición sobre Conversión de energía de IEEE (Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE) de 2010, 171–78.
- [6] Jaen, M., J. Sandoval, E. Colombo y T. Troscianko, “Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting” (El rendimiento visual de los trabajadores de oficina y la modulación temporal de la iluminación fluorescente), LEUKOS, vol. 1, pág. 27–46, 2005.
- [7] Veitch, J. A., and S. L. McColl, “Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort” (Modulación de la luz fluorescente: índice de parpadeo y los efectos de la fuente de luz sobre el rendimiento y la comodidad visuales”, Lighting Research and 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 esfuerzo ocular). Lighting Research and 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 peligros para la salud del parpadeo, incluido el parpadeo que no se ve por ser demasiado rápido). 15/02/10, Estándar 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 producido por la iluminación de estado sólido en cuanto a la detección, aceptabilidad y comodidad). Lighting Research and Technology, vol. 43, pág. 337–348, 201.

- [11] Harding, G. F. A. y P. Jeavons, *Photosensitive Epilepsy*. (Epilepsia fotosensible). 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 fotosensible y seguridad de las imágenes), *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 fóticas e inducidas por patrones: una revisión para el grupo de trabajo de la Fundación Estadounidense sobre Epilepsia), *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* (Seguridad óptica y fotobiológica de las luces 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, *Aplicación de la norma IEC 62471 para la evaluación del peligro de la 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 causado por fuentes de luminancia no uniforme). En el *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 el *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 e incomodidad a causa de las lámparas LED blancas). *Actas de la Sesión N.º 26 de CIE, Beijing, 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.): Actas de la Sesión N.º 26 de CIE, Beijing, 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 sobre UGR para fuentes de luminancia no uniforme). *Actas 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 que provoca deslumbramiento con ventana de distribución no uniforme de la luminancia), *Actas del Tercer Simposio Internacional sobre Edificios Saludables 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 en luces LED blancas con distribución espacial diferente). *Actas de la Sesión N.º 27 de CIE, Sun City, Sudáfrica*, pág. 583–588.
- [27] BULLOUGH, J.D. (2011): *Luminance versus luminous intensity as metric for discomfort glare*. (Comparación de la luminancia con la intensidad luminosa como métrica del 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 tamaño del 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 las luminarias con distribución de luces LED). En el Journal of the Illuminating Engineering Institute, Japón 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 en los sistemas de iluminación mediante LED). Actas 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 en las fuentes LED blancas de distribuciones espaciales diferentes), Actas de la Conferencia CIE del Centenario, 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 las fuentes de luz no uniformes en un ambiente 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 unificado de deslumbramiento para luminarias LED no uniformes). Actas de la Sesión N.º 28 de CIE, Manchester, 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 del deslumbramiento molesto tanto en aplicaciones de interior como de exterior). Actas de la Sesión N.º 28 de CIE, Manchester, 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 del índice unificado de deslumbramiento para las 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 matricial). En el 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 de la posición, el tamaño, la distribución de los chips LED y BCD con el deslumbramiento molesto). Actas de CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency” (Calidad de la 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 producido por matrices LED blancas no uniformes). Actas de la Sesión N.º 28 de CIE, Manchester, 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). Actas de CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency” (Calidad de la 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 en luces LED blancas con distribución espacial diferente). Actas de la Sesión N.º 27 de CIE, Sun City, Sudáfrica, pág. 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 unificado de deslumbramiento basado en 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 análisis de la luminancia), Actas de la Sesión N.º 28 de CIE, Manchester, 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 del deslumbramiento molesto en la iluminación mediante LED para los lugares de trabajo cerrados. La modificación de la clasificación G utilizando la distribución de la luminancia de las partes luminosas), Actas de la Conferencia CIE del Centenario, 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 las luminarias LED blancas no uniformes). Actas de CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency” (Calidad de la iluminación y eficiencia energética), Melbourne, Australia, pág. 451–456.
- [45] Seuntjens, P.J.H. y Vogels, Ingrid. (2008). Atmosphere creation: The relation between atmosphere and light characteristics. (Creación de atmósfera: la relación entre la atmósfera y las características de la iluminación). Actas de la Sexta Conferencia sobre Diseño y 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 la melatonina en los seres humanos: evidencia para un nuevo fotorreceptor circadiano). *J Neurosci.* 2001;21:6405–6412.
- [47] CIE 013.3-1995 - Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources (Método para medir y especificar las propiedades de reproducción del color de las fuentes de luz).
- [48] Teunissen C, van der Heijden FFW, 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 de los usuarios para las fuentes de luz LED blancas con el índice CIE de reproducción cromática combinado con un índice de área de gama tonal relativa). *Lighting Research and 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 (Percepciones humanas de cómo varía la reproducción del color con fidelidad promedio, gama tonal promedio y forma de la gama tonal). *Lighting Research and 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 LED por parte de usuarios holandeses y chinos en tres áreas de aplicación). *Lighting Research & Technology* (2018)
- [51] Energy Star, Energy Star Program Requirements for Lamps (light bulbs) (Requisitos del Programa Energy Star para lámparas (focos), 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 (Equipos para propósitos de iluminación general: requisitos de inmunidad de EMC, Parte 1: un método objetivo de prueba de inmunidad de la fluctuación del voltaje), edición 2.
- [53] IEC 61000-4-15, Electromagnetic compatibility (EMC) (Compatibilidad electromagnética). Part 4-15: Testing and measurement techniques. Flickermeter. Functional and design specifications. (Parte 4-15: Técnicas de prueba y medición. Medidor de parpadeo. Especificaciones funcionales y de diseño).
- [54] NEMA 77-2017, Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria (Fenómenos temporales de la luz: métodos de prueba y lineamientos para los criterios de aceptación).