



TRILUX
SIMPLIFY YOUR LIGHT.

TECNOLOGÍA LED Y RETROFIT

CONTEXTO



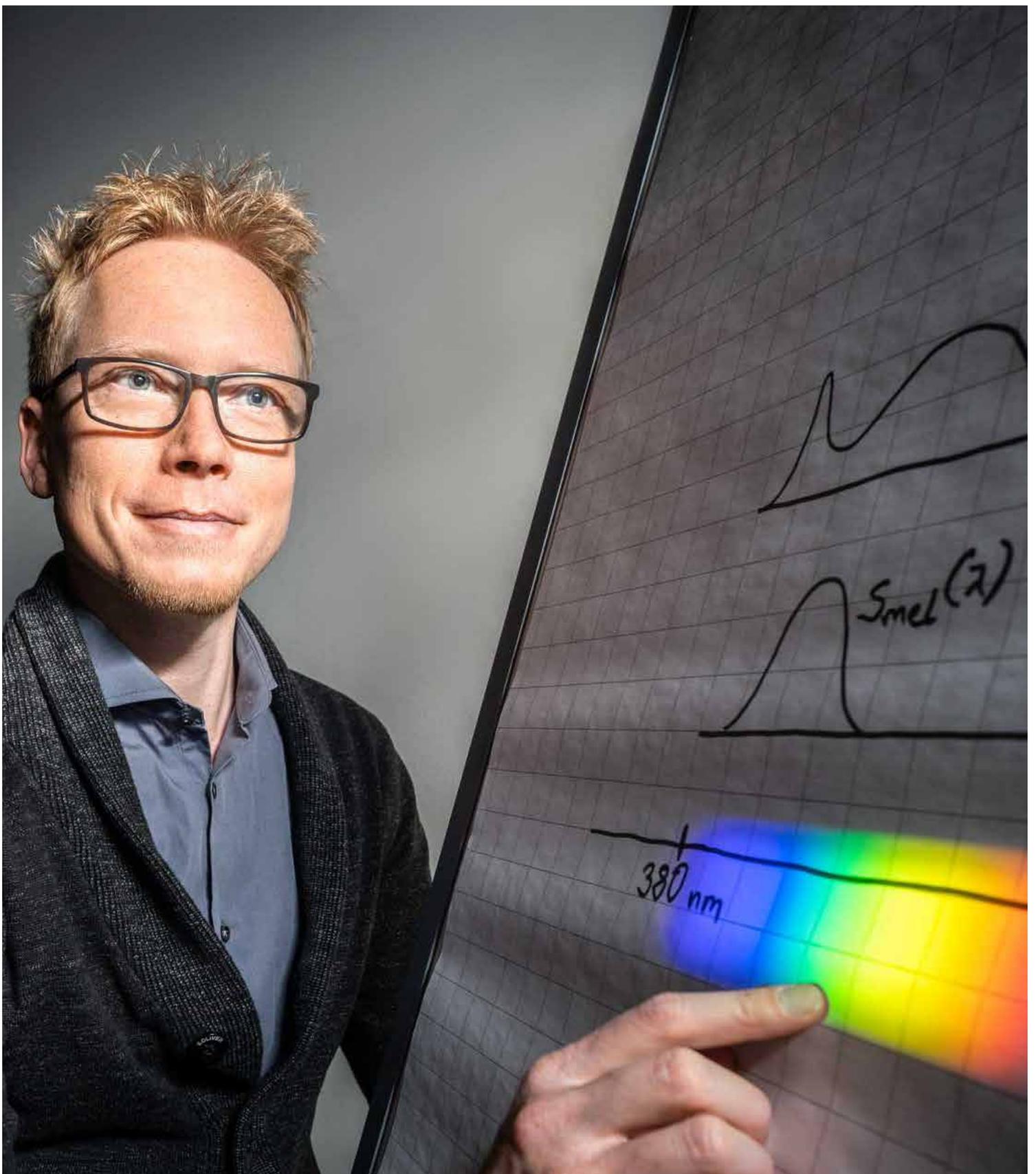
LO QUE DEBE SABER SOBRE LA PROHIBICIÓN DE LÁMPARAS, LAS LÁMPARAS RETROFIT Y EL PASO A LA TECNOLOGÍA LED

Las lámparas fluorescentes que contienen mercurio se han establecido desde hace ya varias décadas como productos estándar para la iluminación de los lugares de trabajo debido a su gran rendimiento luminoso. Por este motivo, hasta hace poco existían exenciones para las lámparas de descarga con mercurio respecto a la prohibición general del uso de mercurio en productos, que se introdujo en Europa en 2011 con la segunda edición de la Directiva RoHS.

Ahora que las fuentes de luz LED blancas se han consolidado en el mercado (desde 2013, aproximadamente), la situación ha cambiado de manera radical. Hoy en día existen soluciones LED perfeccionadas a nivel técnico y económicas para prácticamente todas las tareas de iluminación. En muchos casos, consumen la mitad de energía que las lámparas fluorescentes.

Por ello, en febrero de 2022, los legisladores europeos decidieron suprimir de forma progresiva las autorizaciones especiales para el uso de mercurio en lámparas de descarga. En particular, en Europa ya no se permite comercializar lámparas fluorescentes compactas desde el 25 de febrero de 2023 ni lámparas fluorescentes con forma de varilla desde el 25 de agosto de 2023, es decir, ya no pueden producirse ni importarse para su distribución.

En consecuencia, estas lámparas ya no están o dejarán de estar disponibles en el mercado una vez agotadas sus existencias. En ese momento, como máximo, ya no podrán sustituirse las fuentes de luz actuales por una tecnología idéntica. Así pues, ha llegado la hora de plantearse un cambio de tecnología.



TECNOLOGÍA LED Y RETROFIT

1. REFORMA LED POR SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS:
UNA ECUACIÓN CON MUCHAS INCÓGNITAS

1. REFORMA LED POR SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS: UNA ECUACIÓN CON MUCHAS INCÓGNITAS

Por lámpara retrofit, se entiende una lámpara de sustitución basada en tecnología moderna que puede utilizarse como el simple recambio de luminarias. Hoy en día, esto suele designar el cambio de fuentes de luz convencionales por tecnología LED. Si, para que la lámpara de sustitución funcione, es necesario intervenir en los componentes eléctricos de la luminaria (por ejemplo, desactivar el balasto), ya no se habla de una lámpara retrofit, sino de una lámpara de conversión. En ambos casos, se sustituye la fuente de luz en lugar de las luminarias.

El objetivo de las soluciones retrofit es aprovechar las ventajas de la tecnología moderna sin tener que modificar por completo la instalación de iluminación.

Lo que suena tan sencillo y convincente en la teoría suele resultar complejo en la práctica. El uso de lámparas retrofit y de conversión en luminarias técnica y estructuralmente muy heterogéneas de una amplia gama de fabricantes plantea muchas cuestiones en detalle. Se trata, en particular, de:

- Seguridad eléctrica, responsabilidad de producto y garantía
- Calidad y uso de la iluminación
- Cumplimiento de normas y reglamentos de seguridad laboral.

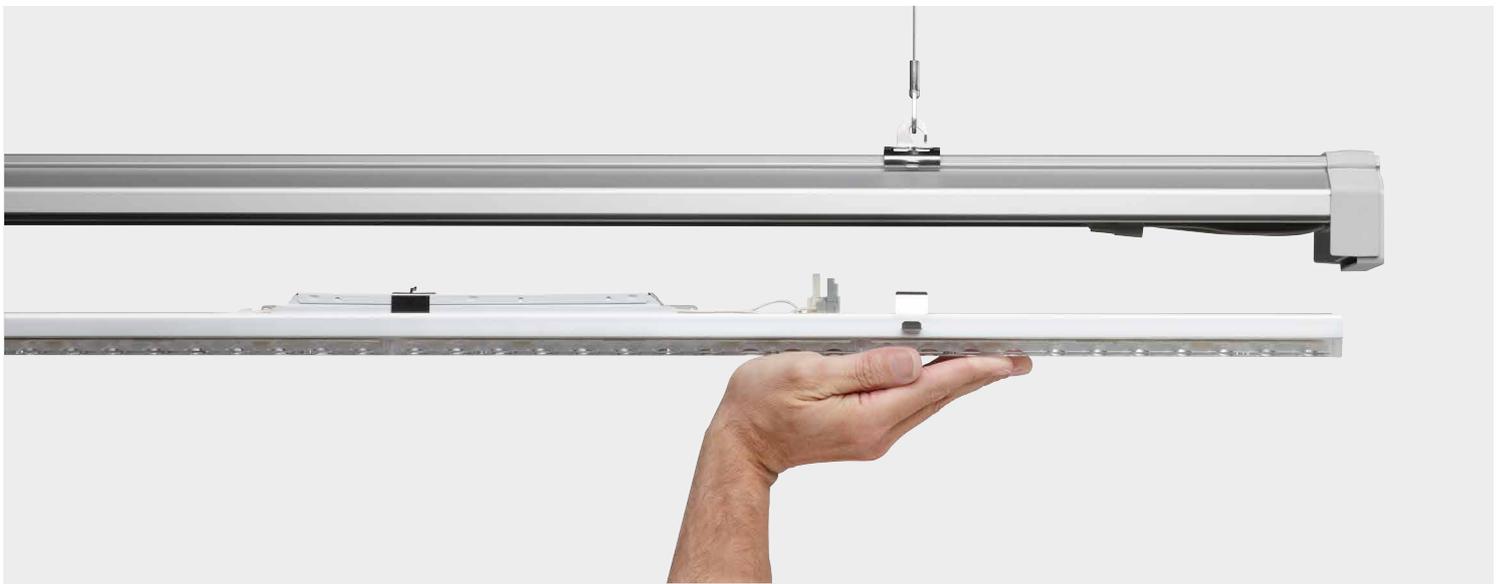
Por un lado, el cambio de lámparas fluorescentes T5/T8 obsoletas por lámparas LED de sustitución promete un ahorro rápido, sencillo y relativamente cuantioso en los gastos energéticos, pero, por otro lado, se requieren exhaustivas pruebas preliminares en un entorno profesional. Para su uso en edificios de la administración pública, se hace referencia explícita a este hecho en la publicación «Beleuchtung, Hinweise für die Beleuchtung öffentlicher Gebäude» («Iluminación, indicaciones para la iluminación de edificios públicos», versión de julio de 2023) del Grupo de Trabajo en Maquinaria y Electrotecnia de las Administraciones Estatales y Locales (AMEV, por sus siglas en alemán).

En lo que respecta al flujo luminoso del que se dispone, su distribución espacial, la calidad de luz exigida por normativa y la vida útil de las luminarias y las fuentes de luz, solo tras la reforma se podrá determinar si la lámpara y la luminaria funcionan juntas y cómo es dicho funcionamiento. Muchos defectos no se manifiestan hasta después de un funcionamiento prolongado.

En comparación, las luminarias LED de fabricantes de calidad con módulos LED integrados de fábrica destacan por cada uno de sus componentes por separado y sus parámetros de calidad y eficiencia predecibles con precisión.

También deben incluirse en esta comparación su rentabilidad general y su sostenibilidad.





1.1 Seguridad y garantía

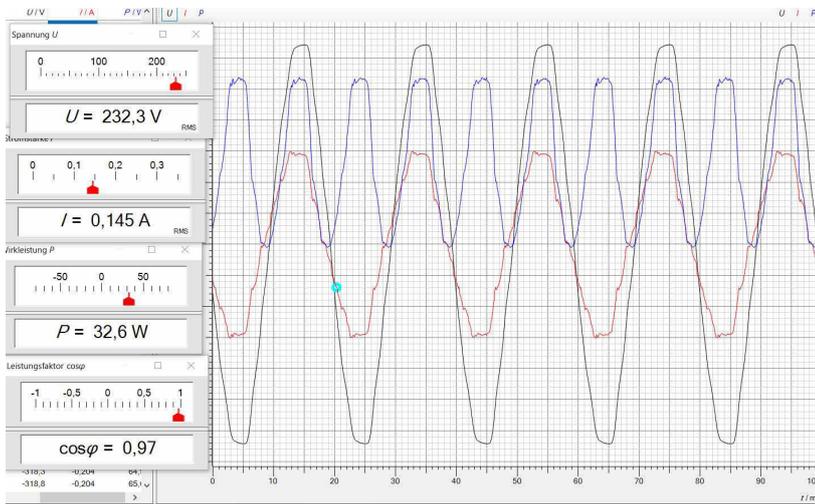
1.1.1 Retrofit

Antes de utilizar lámparas LED retrofit en luminarias para lámparas fluorescentes, tenga en cuenta lo siguiente:

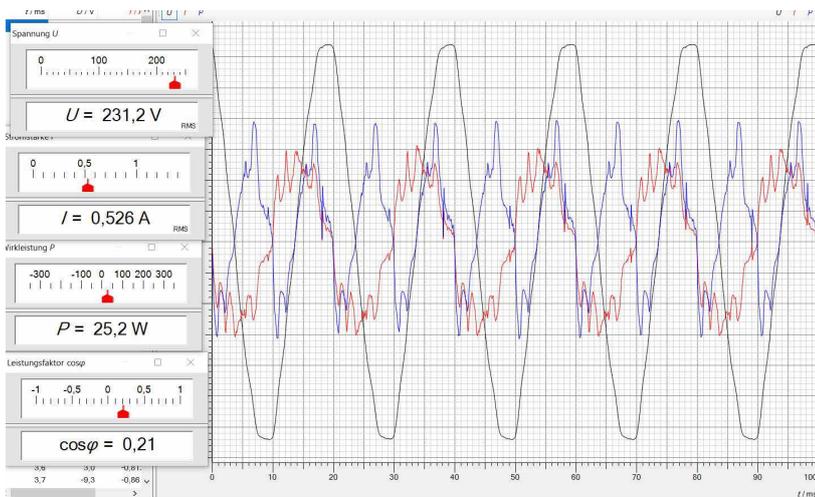
- La garantía del fabricante de la luminaria y su responsabilidad por el producto se extinguen.
- Esto también sucede aunque las lámparas LED retrofit que se vayan a utilizar lleven marcado VDE. Que una lámpara retrofit cuente con marcado VDE indica que la Federación alemana de industrias eléctricas, electrónicas y de tecnología de la información ha comprobado la lámpara de conformidad con la norma europea DIN EN 62776:2015-12 (VDE 0715-16:2015-12) sin que se hayan detectado peligros inmediatos¹.
- El fabricante de la lámpara retrofit pasa a ser el responsable del producto.
- Si se quiere utilizar una lámpara LED retrofit en el balasto electrónico de una lámpara fluorescente (el llamado funcionamiento HF), debe tenerse en cuenta que los fabricantes de lámparas retrofit solo conceden, **con reservas**², una homologación para los tipos de balasto electrónico que figuran en una lista de compatibilidad de las lámparas retrofit. Por lo tanto, el adaptador debe garantizar que, como mínimo, cada luminaria de una instalación de iluminación solo contenga un balasto electrónico de dicha lista (véase también la figura 1 a). Hay que incluir en los cálculos el elevado coste de estas pruebas preliminares.
- Las luminarias regulables solo se pueden convertir con lámparas LED retrofit en casos especiales y teniendo en cuenta en todo momento las posibles limitaciones que figuren en la lista de compatibilidad del balasto electrónico. En la mayoría de los casos, sería necesaria una solución de conversión (véase más abajo).
- En el caso de las luminarias compensadas en paralelo, las lámparas LED retrofit se pueden ajustar con un factor de potencia $\cos(\varphi)$ muy reducido y obtener una corriente reactiva elevada en la instalación eléctrica (véanse también la figura 1 b y el enlace <https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/betrieb-von-leuchten-fuer-entladungslampen/blindleistungskompensation/>).
- En el caso de los circuitos en tándem (2 lámparas fluorescentes conectadas en serie a un balasto), el tipo de conexión habitual en las luminarias multilámpara con lámparas T8 de 18 W, la posibilidad de funcionamiento de las lámparas LED retrofit se debe comprobar individualmente. Podría resultar necesario convertir la luminaria (véase más abajo).

¹ Esta norma únicamente hace referencia a las lámparas retrofit de sustitución directa, no a las lámparas de conversión, para cuyo funcionamiento es necesario intervenir en los componentes eléctricos de la luminaria. Las lámparas de conversión no pueden recibir el marcado VDE.

² En las listas de compatibilidad del balasto electrónico de los fabricantes de lámparas, se señala, por ejemplo, que esta lista de compatibilidad es meramente informativa y debe tratarse como una recomendación. Por ejemplo, la información se basa en pruebas realizadas en un entorno simulado en laboratorio, en condiciones que pueden diferir en la práctica. Por lo tanto, el fabricante de lámparas retrofit no asume ninguna responsabilidad, garantía ni obligación de compatibilidad cuando los equipos indicados se empleen en condiciones distintas a las probadas en concreto por este o cuando se utilicen modelos sucesores de los equipos indicados. En tales casos, pueden producirse defectos: por ejemplo, parpadeo, ausencia de luz, sobrecalentamiento, desgaste prematuro, fallo de equipos, etc. El flujo luminoso también puede variar en función del balasto utilizado.



a) Medición con una lámpara LED retrofit 23 W/4000 K 1500 mm en una luminaria TRILUX con un balasto electrónico no homologado. Se requiere más energía para que la lámpara funcione (32,6 W en lugar de 23 W).



b) Medición con una lámpara LED retrofit 23 W/4000 K 1500 mm en una luminaria estanca de TRILUX (Aragón 158K, fecha de fabricación aprox. 2010) con balasto inductivo y compensación en paralelo. El factor de potencia de $\cos(\varphi) = 0,21$ conduce a una corriente reactiva elevada y, si se trata de una instalación de iluminación con muchas luminarias, se podría producir una carga excesiva de la línea que disparara el disyuntor. El certificado VDE para las lámparas retrofit no tiene en cuenta estos fallos prácticos; solo evalúa la posible aparición de un riesgo de seguridad y, en este caso, esta se evita en las instalaciones adecuadas con el disyuntor.

Figura 1: Mediciones con lámparas retrofit

1.1.2 Conversión

Antes de intervenir en la luminaria para su uso con una lámpara de conversión, tenga en cuenta lo siguiente:

- La persona que realiza la transformación se convierte en fabricante de esta luminaria como consecuencia de la adaptación.
- La garantía del fabricante de la luminaria y su responsabilidad por el producto se extinguen y se transfieren a quien haya efectuado la conversión.
- La declaración de conformidad del fabricante de la luminaria caduca: se hace referencia explícita a este hecho en el folleto 2005 de la VdS (octubre de 2021).
- La persona que realice la transformación deberá redactar una nueva declaración de conformidad de la luminaria.
- La placa de características de la luminaria debe retirarse y sustituirse por una nueva con la información necesaria.
- Debe garantizarse que la luminaria no suponga ningún peligro cuando se utilice otra lámpara confundible, p. ej., una lámpara fluorescente.

1.1.3 Vida útil y fiabilidad

- El índice de fallo de las lámparas LED de sustitución no se suele comunicar o bien se proporciona una información relativamente desfavorable (por ejemplo, un fallo máximo del 10 % en 6000 h).
- La vida útil nominal de las lámparas LED de sustitución se suele especificar para una degradación L70 (disminución del flujo luminoso del 30 % hasta un flujo luminoso residual del 70 % al final de la vida útil). Por eso, desde el punto de vista de la seguridad laboral (véase más abajo), se debe tener en cuenta que al final de la vida útil solo queda disponible el 70 % del flujo luminoso inicial, que se ha ido reduciendo.
- La vida útil nominal de las lámparas LED de sustitución suele especificarse para una temperatura ambiente de 25 °C. Esta temperatura está normalizada como temperatura ambiente en el interior. En una luminaria cerrada, el funcionamiento de la lámpara puede aumentar significativamente la temperatura en su interior y, por tanto, reducir de forma notable la vida útil de la lámpara.
- El uso de lámparas LED de sustitución en atmósferas con presencia de productos químicos puede dar lugar a incompatibilidades que, a su vez, pueden provocar daños y fallos en ellas. También se pueden producir daños debido a interacciones con los componentes de la luminaria.
- En aplicaciones especiales (temperaturas elevadas, esfuerzo mecánico debido a vibraciones, etc.), las lámparas LED de sustitución pueden experimentar grandes desviaciones en su comportamiento de funcionamiento, incluso en comparación con el funcionamiento de las lámparas fluorescentes.
- Las lámparas LED de sustitución con un peso superior al de las lámparas fluorescentes pueden dañar los portalámparas. Esto puede dar lugar a resistencias de contacto entre las clavijas y los contactos del portalámparas, con temperaturas excesivas no permitidas. En consecuencia, pueden producirse fallos de funcionamiento o incluso el fallo total de la luminaria. Si los portalámparas ya están envejecidos y frágiles debido al periodo de uso anterior, existe un mayor riesgo en este sentido.

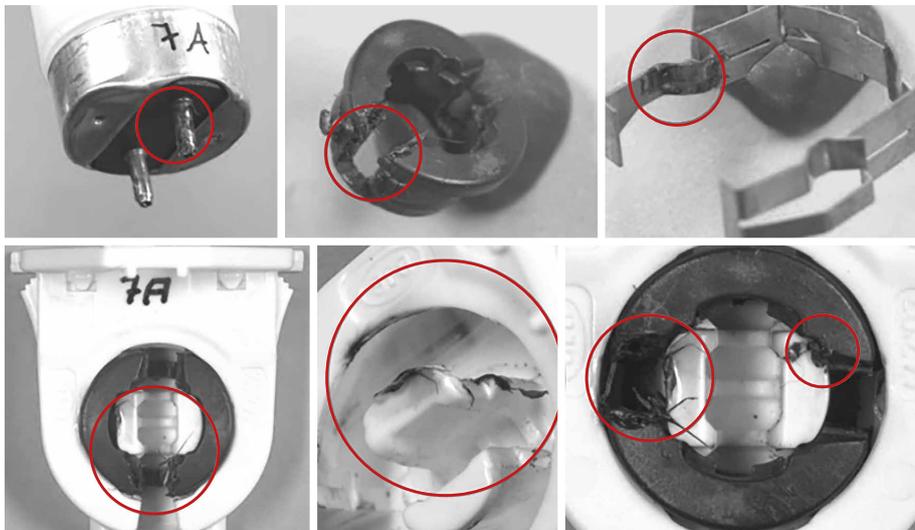


Figura 2: Portalámparas dañados en los que se han utilizado lámparas retrofit con un peso excesivo

1.2 Calidad de luz y seguridad laboral

1.2.1 Flujo luminoso e iluminancia

- Las lámparas LED de sustitución disponibles en el mercado tienen un flujo luminoso significativamente inferior al de las correspondientes lámparas fluorescentes. Por tanto, la sustitución directa conlleva una reducción significativa de la iluminancia.
- Incluso el flujo luminoso de las lámparas LED de sustitución con los valores más altos disponibles en el mercado suele estar muy por debajo del valor de las lámparas fluorescentes utilizadas hasta ahora (por ejemplo, 3700 lm frente a los 5000 lm de una lámpara T8-58W; véase la tabla 1).
- Debe tenerse en cuenta que, en el caso de las lámparas LED de sustitución, por lo general debe calcularse una reducción del flujo luminoso al 70 % del flujo luminoso inicial especificado (por ejemplo, $3700 \text{ lm} \cdot 0,7 = 2590 \text{ lm}$, véase más abajo) al final de la vida útil.

- Las cifras de rendimiento luminoso de las lámparas LED de sustitución se indican para su funcionamiento en radiación libre, sin tener en cuenta las pérdidas asociadas a su funcionamiento en una luminaria. Sin embargo, las mediciones muestran que las pérdidas reales (o grados de rendimiento de las luminarias) suelen ser comparables al funcionamiento con lámparas fluorescentes.
- Como consecuencia, el nivel de iluminación a menudo deja de ser conforme a la normativa y no cumple las disposiciones legales de seguridad laboral.

Tipo de lámpara

Longitud	T8 (referencia)	Ejemplo de retrofit 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3	Ejemplo 4
600 mm	18 W 1300 lm	7,5 W 1100 lm (-15 %)	6,6 W 720 lm (-45 %)	8 W 1050 lm (-19 %)	8 W 900 lm (-31 %)
1200 mm	36 W 3200 lm	15,0 W 2400 lm (-25 %)	15 W 1800 lm (-44 %)	14,7 W 2500 lm (-22 %)	18 W 2000 lm (-38 %)
1500 mm	58 W 5000 lm	22 W 4100 lm (-21 %)	18,3 W 2200 lm (-56 %)	21,7 W 3700 lm (-26 %)	23 W 2700 lm (-46 %)

Tabla 1: Tubos LED retrofit para T8: Ejemplos de consumo de potencia y flujo luminoso de productos disponibles en el mercado (versión de noviembre de 2023)

1.2.2 Distribución de luz y uniformidad

- Las lámparas LED de sustitución tienen una característica de radiación diferente a la radiación con simetría cilíndrica (360 grados) de las lámparas fluorescentes, lo que puede conducir a un cambio significativo en la distribución de la intensidad luminosa de las luminarias.
- Esto puede conllevar una menor uniformidad de la iluminancia en la sala. Por ello se debe comprobar que se cumplan las normas de seguridad laboral a este respecto.
- Las lámparas LED de sustitución usadas en luminarias suspendidas con componente indirecto tienen una característica de radiación diferente a las lámparas fluorescentes, lo que provoca una reducción significativa de la iluminación del techo, con el correspondiente riesgo de reclamaciones por parte de los usuarios.

1.2.3 Calidad de luz general

- Las lámparas LED de sustitución pueden presentar un comportamiento de parpadeo considerable, que supera con creces el de las lámparas fluorescentes con balastos (véase también la figura 3.191 b) en <https://www.trilux.com/de/beleuchtungspraxis/leuchten/betrieb-von-leuchten-fuer-entladungslampen/vorschaltgeraete/induktive-vorschaltgeraete/>.
- Las lámparas LED de sustitución suelen tener una baja consistencia cromática. Los fabricantes reconocidos suelen especificar un valor de la tolerancia cromática (MacAdam inicial) ≤ 6 SDCM y, en algunos productos más potentes, se utiliza un valor ≤ 5 SDCM. Pero incluso con 5 SDCM se aprecian claramente desviaciones de color. En comparación, los valores de las luminarias de calidad son de 3 SDCM.

1.2.4 Estado de la técnica, requisitos de la norma DIN EN 12464-1 vigente

Por lo general, la sustitución directa de lámparas fluorescentes por lámparas LED de sustitución solo está cubierta por la cláusula de derechos adquiridos si las condiciones de trabajo no han cambiado desde el momento de la instalación. Por tanto, el objetivo es únicamente mantener el statu quo. No se tienen en cuenta los requisitos según el estado actual de la técnica, que se describen en la última versión (de 2021) de la norma DIN EN 12464-1. Por ello, hoy en día se recomienda lo siguiente:

- Ajustar, en caso necesario, una iluminancia superior en uno o dos niveles. Esto se puede lograr mediante luminarias regulables y un sistema de gestión de la iluminación adecuado.
- Establecer una distribución de la iluminancia adecuada con niveles mínimos en paredes y techos, algo que a menudo no se puede lograr en los edificios existentes (por ejemplo, con luminarias con óptica de distribución intensiva o luminarias de luz oscura; véase el ejemplo de «Iluminación de una oficina»).



2. REFORMA EN LUGAR DE RETROFIT

Para cambiar a la tecnología LED de forma segura y sostenible, se ofrecen diversas opciones de reforma, que pueden ajustarse a las condiciones técnicas y del espacio.

El mayor potencial de optimización reside en un nuevo concepto de iluminación totalmente libre, independiente de la situación existente. No obstante, en muchos casos basta con sustituir las luminarias para obtener un resultado satisfactorio. Debe prestarse atención a que las luminarias seleccionadas cumplan los requisitos actuales de luminotecnia y electrotecnia en la configuración existente tras la sustitución.

Si no se desea sustituir luminarias completas por razones estructurales o de otro tipo, TRILUX puede suministrar a petición insertos de luminarias sin portalámparas con módulos LED: los llamados kits de reforma. En casos concretos, también se puede sustituir el sistema óptico completo por luminotecnia moderna.³

En todas las opciones de reforma, pueden utilizarse sistemas de gestión de la iluminación para un mayor ahorro de energía; dado el caso, esto también permite el control circadiano de la temperatura de color en función del transcurso del día.

³ Si un fabricante ofrece kits de conversión para productos de terceros, la garantía, la responsabilidad sobre el producto y otras obligaciones, como en el caso de la conversión, recaen inicialmente en la persona que lleva a cabo la conversión. Deberán aclararse de antemano tanto el alcance de cualquier aceptación por parte del fabricante como el suministro de registros técnicos para las luminarias resultantes.

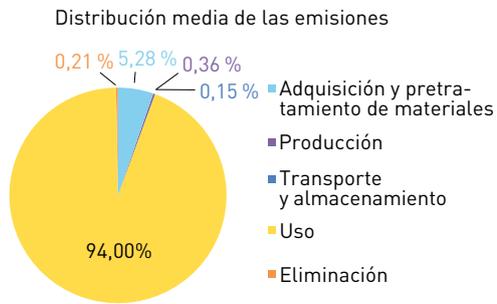
2.1 Seguridad, calidad y rentabilidad

Principales ventajas de una reforma con luminarias LED de TRILUX respecto a una conversión con lámparas LED de sustitución:

- Se dispone de registros de luminotecnia para poder comprobar el cumplimiento de los requisitos de seguridad laboral antes de efectuar una conversión.
- En este caso, la garantía y la responsabilidad por el producto son ilimitadas.
- Los datos electrotécnicos de funcionamiento se conocen en detalle y están garantizados.
- La vida útil se expresa con un flujo luminoso residual de al menos el 80 % ($L \geq 80$).
- Apenas se producen fallos a lo largo de toda su vida útil (tasa de fallos cercana a cero).
- A la temperatura ambiente permitida en la sala, cabe esperar la vida útil documentada, que no se reduce por un aumento de la temperatura en la luminaria.
- En muchos casos, también hay disponibles versiones para temperaturas ambiente más elevadas.
- Se pueden ajustar factores de parpadeo reducidos que evitan las perturbaciones del confort visual debidas al parpadeo de 100 hercios.
- Se cumplen los requisitos actuales en cuanto a calidad de iluminación.
- También hay disponibles luminarias regulables y un sistema de gestión de la iluminación adecuado para cada aplicación.
- Si es necesario, también se ofrecen luminarias con temperatura de color variable para el control circadiano.
- Con la luminotecnia optimizada, es posible distribuir la luz de forma mucho más selectiva de lo que era posible con las luminarias fluorescentes.
- Por ello, las luminarias LED son especialmente eficientes desde el punto de vista energético.
- Gracias al binning de gran calidad, tienen una consistencia cromática elevada (tolerancia cromática ≤ 3 SDCM).
- No es necesario sustituir ningún portalámparas defectuoso de las luminarias existentes.
- Se consigue una mayor eficiencia y rentabilidad que en el caso del cambio de lámparas por lámparas LED de sustitución.

2.2 Sostenibilidad

Un aspecto importante para evaluar la sostenibilidad ecológica puede obtenerse analizando la huella de CO₂ de las luminarias. Además del consumo de energía durante el funcionamiento de un producto, también se tienen en cuenta las emisiones de CO₂ necesarias para su preparación. Por tanto, se incluye todo el ciclo de vida del producto en el cálculo del CO₂ equivalente (CO₂e). De este modo, pueden compararse, entre otros, los costes de preparación y de funcionamiento de un producto.



Adquisición y pretratamiento de materiales

Producción

Transporte y almacenamiento

Uso

Eliminación



Figura 3.21:
Arimo Fit
Datos característicos:
Flujo luminoso: 4.200 lm
Vida útil: mín. 50 000 h
Temperatura ambiente: 25 °C
Grado de protección: IP40
Potencia conectada: 31 vatios
Peso total: 4,67 kg
713,935 kg CO₂e

Figura 3

Los datos característicos de la figura 3 muestran que, cuando se utiliza una luminaria estándar típica para aplicaciones de oficina con carcasa de chapa de acero y cubierta de PMMA, el funcionamiento representa casi el 95 % de las emisiones de CO₂.

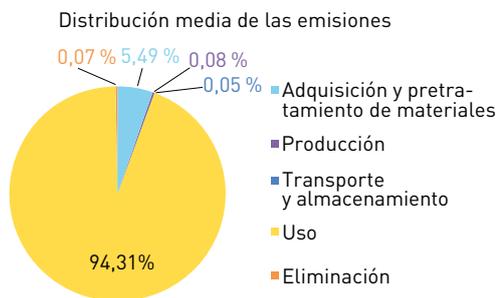


Figura 3.22:
Mirona Fit
Datos característicos:
Flujo luminoso: 26.000 lm
Vida útil: mín. 50 000 h
Temperatura ambiente: 50 °C
Grado de protección: IP65
Potencia conectada: 188 vatios
Peso total: 7,2 kg
3344,412 kg CO₂e

Figura 4

La figura 4 muestra una luminaria de la serie Mirona Fit para la iluminación de naves industriales de gran altura. Una óptica de lente produce una distribución de luz óptima, mientras que su cuerpo de luminaria, sofisticado tanto técnicamente como desde el punto de vista de los materiales, garantiza la gestión térmica necesaria para un funcionamiento duradero y eficiente a temperaturas ambiente elevadas. Los datos característicos de la figura muestran que la proporción relativa de emisiones de CO₂ para la preparación y la eliminación sigue siendo similar para esta luminaria más sofisticada. La complejidad técnica y los requisitos de material aumentan uniformemente con el gran paquete de flujo luminoso, que puede utilizarse a altas temperaturas.

Los ejemplos citados evidencian que, en el caso de las aplicaciones de luminotecnía típicas, más del 90 % de las emisiones de CO₂ son atribuibles al uso de la iluminación. Por tanto, el 6 % de las emisiones de CO₂ causadas por la preparación y la eliminación de la luminaria tiene un papel secundario en ambos casos. Esto significa que, en estos casos, aumentar la eficiencia de la iluminación en un 6 % sustituyendo la luminaria por una luminaria LED de consumo optimizado es suficiente para compensar la energía necesaria para preparar la luminaria. Por tanto, el uso de cuerpos de luminaria y componentes luminotécnicos sofisticados y de alta calidad es razonable para lograr una huella de CO₂ reducida.

También existe, como mínimo, el mismo potencial en la planificación de especialistas cualificados con respecto a la tarea de iluminación en cuestión. En particular, el uso selectivo de luminotecnías específicas optimizadas para la aplicación respectiva, disponibles en la diversidad de variantes de las series de luminarias LED modernas, constituye una base segura para la eficiencia y la sostenibilidad.

TRILUX minimiza el consumo de recursos de materiales de disponibilidad limitada gracias a su alta reparabilidad, en particular, la sustitución por separado de los módulos LED y la electrónica, así como la garantía de larga disponibilidad de piezas de repuesto.



3. EJEMPLO DE OBSERVACIÓN

Para un ejemplo de observación, se realizaron mediciones específicas en los laboratorios TRILUX sobre el funcionamiento de lámparas LED retrofit en luminarias TRILUX clásicas. En particular, se utilizaron dos lámparas con los mayores flujos luminosos disponibles, definidas como de alta calidad por sus fabricantes:

Retrofit 1: 1500 mm, 4100 lm, 22,1 W, 4000 K

Retrofit 2: 1500 mm, 3700 lm, 23,0 W, 4000 K

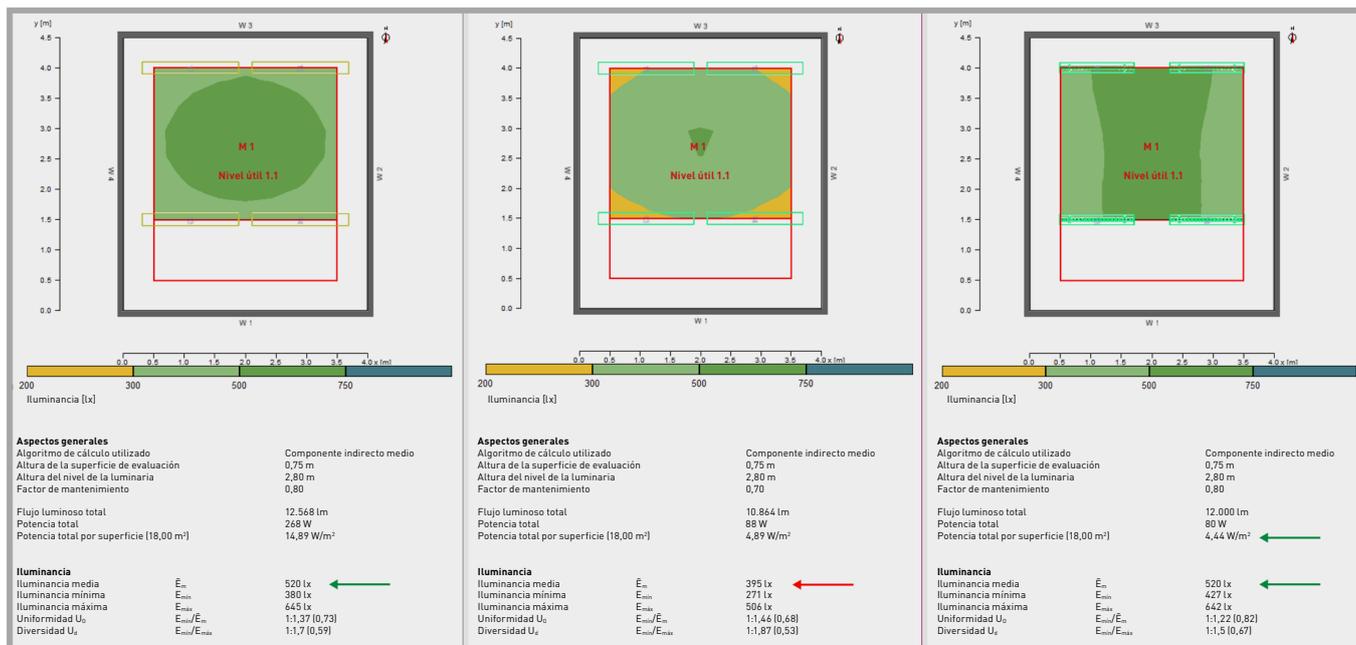
Se llevaron a cabo mediciones durante el funcionamiento de las distintas lámparas tanto en una luminaria con cubierta de rejilla para espejo BAP de la serie TRILUX Atirion como en una luminaria estanca de la serie Oleveon.

A continuación, los datos recogidos se utilizaron para cálculos comparativos en disposiciones típicas de aplicaciones de iluminación.

3.1 Ejemplo de oficina

En una oficina modelo, la superficie entre las dos líneas continuas del ejemplo representado a continuación se define como área de tareas visuales conforme a la norma EN 12464-1, en la que deben situarse las áreas de actividad.

Longitud	4,00 m	Requisitos de seguridad laboral:
Ancho	4,50 m	$\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$
Altura	2,80 m	$U_0 = E_{\min}/\bar{E}_m \geq 0,6$
Altura del nivel útil	0,75 m	
Líneas continuas	2 x 2 luminarias	



	\bar{E}_m	MF	U_0	ϕ_{total}	W_{total}	W/A	W/(A x \bar{E}_m /100)
T8	520 lx	0,8	0,76	12.568 lm	268 W	14,89 W/m ²	3,12 W/(m ² · 100 lx)
Retrofit 1	395 lx	0,7	0,68	10.864 lm	88 W	4,89 W/m ²	1,31 W/(m ² · 100 lx)
Creavo	520 lx	0,8	0,83	12.000 lm	80 W	4,44 W/m ²	0,88 W/(m ² · 100 lx)

Figura 5: Resultados del cálculo de la iluminación de una oficina antes y después de la conversión con una lámpara LED retrofit en comparación con el uso de una luminaria LED. El factor de mantenimiento reducido a 0,7 para la lámpara retrofit tiene en cuenta la mayor degradación de esta lámpara, cuya vida útil se especifica como L₇₀.

Se comparan los cálculos luminotécnicos para el funcionamiento de la lámpara T8 original, de 58 W, en una luminaria con óptica de la serie TRILUX Atirion como referencia, así como el equipamiento de la luminaria idéntica con la lámpara retrofit indicada, de 4100 lm, y una luminaria LED actual de TRILUX (CREAVO D2-L LW19-03 30-840 ETDD 01, TOC 7728451) con módulos LED integrados.

El ejemplo muestra claramente que, en el caso de esta disposición estándar, los requisitos de seguridad laboral con respecto a la iluminancia requerida dejarían de cumplirse tras la conversión retrofit.

Sin embargo, la sustitución 1:1 de las luminarias existentes por luminarias LED permite cumplir los requisitos con un consumo de energía inferior al de la conversión retrofit. La eficiencia y la calidad de la iluminación aumentan considerablemente.

3.2 Ejemplo de nave de envasado

Otro ejemplo es una pequeña nave en la que se realizan trabajos de envasado.

Longitud	20,00 m	Requisitos de seguridad laboral:
Ancho	15,00 m	$\bar{E}_m \geq 300 \text{ lx}$
Altura	2,80 m	$U_0 = E_{\min}/\bar{E}_m \geq 0,6$
Altura del nivel útil	0,75 m	
Líneas continuas	4 x 8 luminarias	

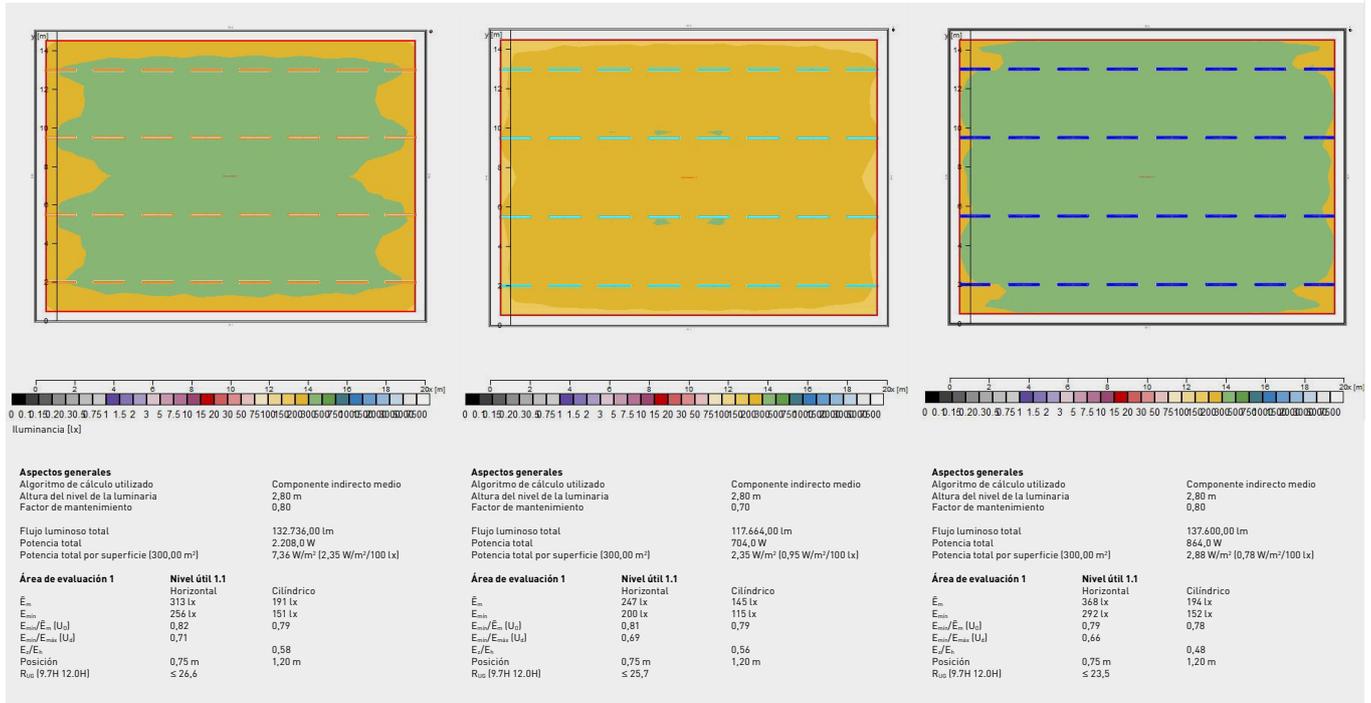


Figura 6: Resultados del cálculo de la iluminación de una nave de envasado antes y después de la conversión con una lámpara LED retrofit en comparación con el uso de una luminaria LED sencilla. El factor de mantenimiento reducido a 0,7 para la lámpara retrofit tiene en cuenta la mayor degradación de esta lámpara, cuya vida útil se especifica como L70.

Se comparan los cálculos luminotécnicos para el funcionamiento de la lámpara T8 original, de 58 W, en una luminaria estanca de la serie TRILUX Oleveon como referencia, así como el equipamiento de la luminaria idéntica con la lámpara retrofit indicada, de 4100 lm, y una versión actual de una luminaria estanca de TRILUX de la serie Aragon Fit (ARAGF 15 PVW 44-840 ETDD, TOC 7401451) con módulos LED integrados.

El ejemplo muestra claramente que, en el caso de esta disposición estándar, los requisitos de seguridad laboral dejarían de cumplirse tras la conversión retrofit.

- El flujo luminoso no es suficiente para proporcionar la iluminancia requerida.
- No se cumple el valor de limitación del deslumbramiento $R_{UGL} \leq 25$ exigido actualmente por la norma EN 12464-1.

Sin embargo, la sustitución 1:1 de las luminarias existentes por luminarias LED permite cumplir con creces los requisitos de seguridad laboral y aumentar la eficiencia y la calidad de la iluminación.

- A tal fin, hoy en día existen luminarias LED con una amplia gama de especificaciones luminotécnicas en términos de flujo luminoso, distribución de luz y limitación del deslumbramiento.
- La iluminancia requerida se consigue de forma fiable con la luminaria LED seleccionada.
- La luminaria LED cumple el valor de limitación del deslumbramiento $R_{UGL} \leq 25$ exigido actualmente por la norma EN 12464-1.
- El rendimiento luminoso de la luminaria LED es un 22 % superior al de la luminaria existente con la lámpara LED retrofit.

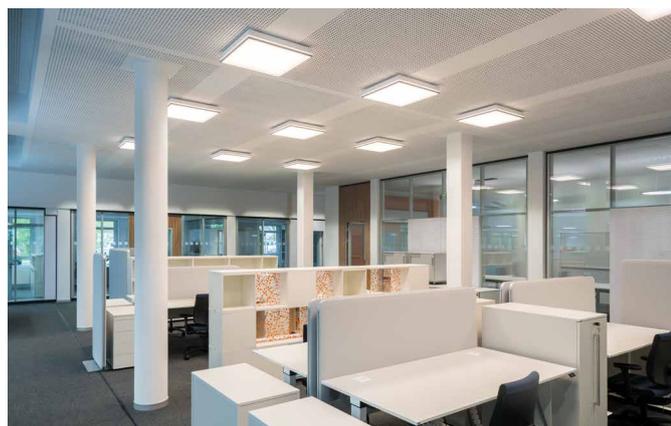
4. CONCLUSIÓN

Tras sustituir las lámparas fluorescentes por lámparas LED retrofit, en el caso más favorable se pueden cumplir los requisitos de iluminación establecidos en el momento de instalar el sistema de iluminación. En el mejor de los casos, se mantienen en el nivel anterior de seguridad laboral, que se fija a continuación para el periodo de funcionamiento de las lámparas retrofit. Sin embargo, ni siquiera esto puede garantizarse en muchas ocasiones, lo que significa que no pueden cumplirse los requisitos de seguridad laboral y funcionamiento seguro de la instalación de iluminación.

En contraposición a esto, la sustitución profesional de las luminarias permite obtener una calidad de iluminación moderna, que tiene en cuenta el estado actual de la técnica. Por lo general, también se cumplen los requisitos de los criterios de iluminación según la nueva norma de iluminación DIN EN 12464-1; 2021-11 sin necesidad de trabajos adicionales. Se puede incluso optar por una iluminación controlada con efectos melanópicos que favorecen los ritmos circadianos. Se abre así un potencial de ahorro de energía adicional con una mayor calidad de iluminación.

En términos de huella de CO₂ a lo largo del ciclo de vida de la instalación de iluminación, la sustitución de las luminarias es también una solución mucho más sostenible que el retrofit.

La consideración de un nuevo concepto optimizado puede generar un potencial adicional considerable.



(a) A primera hora de la mañana y a partir de la tarde



(b) Por el día, a mediodía

Figura 7: Evolución de la iluminación artificial de una oficina que adapta su temperatura de color a la luz diurna.



Más información en:

www.trilux.com/beleuchtungssanierung



También le invitamos a visitar nuestra TRILUX Akademie, con interesantes ofertas en cuanto a la formación en iluminación:
www.trilux-akademie.com