

05-029

REVIEW OF APPLICABILITY OF NEW LIGHTING TECHNOLOGIES IN HEAVY INDUSTRIAL SECTOR.

Alvarez Cabal, Jose Valeriano; Martinez Huerta, Gemma; Pecharroman Clemente, David; Vigil Berrocal, Miguel Angel
Universidad de Oviedo

In the last decade, a major change in the availability of lighting technology has been in progress. The constant improvement in SSL technologies (Solid State Technologies), mainly LED, has been the fundamental trigger. However, another technologies such as plasma and induction haven also been developed. A dragging effect has been produced and popular technologies as fluorescents and metal halide lamps have substantially improved their performance. With all these possibilities, the projects for lighting optimizing can be a relevant source of saving for businesses. Currently, there is a huge amount of information available, most of it having a commercial approach. This paper is intended to show the features of the new technological developments with their pros and cons and possible risks, also expecting to provide a basis for a reliable information on projects for improvement industrial lighting.

Keywords: *lighting systems; retrofit; LED*

REVISIÓN DE LA APLICABILIDAD DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN EN ENTORNOS INDUSTRIALES

A los largo de la última década se ha producido una importante cambio en las tecnologías de iluminación disponibles. La mejora constante de las tecnologías SSL (Solid State Technologies), principalmente los LED, han sido el detonante fundamental. Pero también han desarrollado tecnologías como inducción y plasma. Se ha producido un efecto arrastre y tecnologías asentadas como fluorescentes y lámparas de haluros metálicos han mejorado sensiblemente sus prestaciones. Con todas estas posibilidades, los proyectos de optimización de la iluminación pueden suponer una fuente de ahorro relevante para las empresas. En la actualidad hay una ingente cantidad de información disponible, la mayor parte de la cual tiene un enfoque comercial. Esta ponencia intenta mostrar las características de los nuevos desarrollos tecnológicos mostrando sus ventajas, pero también sus inconvenientes y posibles riesgos. Se intenta sirva de base para posibilitar una evaluación informada de los proyectos de mejora de iluminación industrial.

Palabras clave: *sistemas de iluminación; reemplazo; LED*

Correspondencia: Valeriano Alvarez Cabal valer@api.uniovi.es

1. Introducción

Aunque, en el sector industrial, el mayor consume eléctrico se produce en los procesos productivos, el consume en la iluminación es significativo. De acuerdo con los datos del 2005 recabados por la IEA (International Energy Agency) un 8,7% del consume de energía eléctrica en el sector industrial se corresponde con la iluminación. (IEA, 2006).

De acuerdo con los informes sobre uso de la energía eléctrica en el sector industrial llevados a cabo por el US Department of Energy in 2001 (Navigant, 2002) se estimó que el consumo de la iluminación en el sector industrial en USA fue de 108 TWh, lo que supuso el 10.6% del consumo total de energía eléctrica en el sector industrial.

La IEA estima una eficiencia media de las lámparas utilizadas en el sector industrial de 80 lum/W. Las tecnologías de iluminación más habituales son las lámparas fluorescentes y las lámparas de descarga de halogenuros metálicos (HID), que representaban el 67% y el 31% respectivamente. Las lámparas fluorescentes suponían en el año 2005 más del 75% del total en el sector de edificios comerciales según datos de la OECD. El consumo energético anual promedio varía en función del tipo de edificio industrial, yendo de 37 a 107 Kwh/m2.

Aunque en la mayor parte del siglo pasada, los intervalos entre cambios relevantes en la tecnologías se podían medir en décadas, en los últimos 25 años las tecnologías presenten en el sector se han modificado muy rápidamente. Los cambios se han reflejado muy rápidamente en el sector residencial dado la baja eficiencia de parte de las soluciones utilizadas. En cambio, tecnologías como los fluorescentes ofrecen buenas condiciones de eficiencia y duración y están siendo sustituidas de forma más progresiva. Nuevas tecnologías como los Light Emitting Diodes (LED) se están expandiendo muy rápidamente, aparecen otras tecnologías y también se produce una mejora progresiva de las ya existentes.

Hay muchas tecnologías de lámparas para iluminación En función del proceso físico o químico que genera la luz, se pueden clasificar en:

- Incandescentes. La luz se produce por el calentamiento de un filamento por el paso de corriente eléctrica.
- Descarga. La luz se produce por la excitación de un gas sujeto a una descarga eléctrica entre dos electrodos (fluorescentes, vapor de mercurio, halogenuros metálicos).
- SSL. La luz es emitida por un semiconductor (LED)
- Inducción: La excitación de mercurio por un potente campo electromagnético hace que se emita radiación ultravioleta que incide en el recubrimiento de fosforo del bulbo generando luz visible. (inducción, plasma, etc)

Desde el punto de vista de situación comercial, se puede clasificar las tecnologías en tres categorías: obsoletas, actuales y emergentes. La clasificación se puede observar en la siguiente ilustración:

Tabla 1. Tecnologías de iluminación.

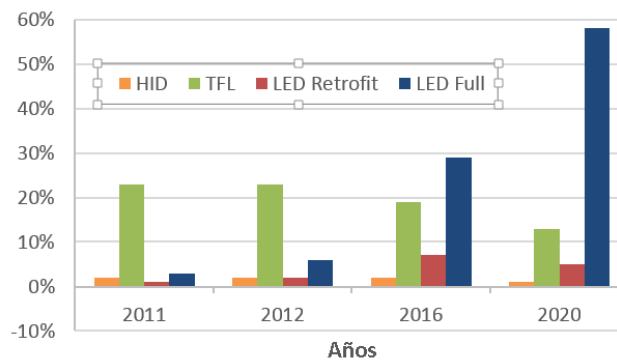
Obsoletas	Actuales	Emergentes
<ul style="list-style-type: none"> •Incandescentes Fluorescentes T12 Halogenas Sodio de Baja Presión Vapor de mercurio 	<ul style="list-style-type: none"> •Fluorescente T8 y T5 Halogenuros metálicos Sodio de Alta Presión Fluorescentes Compactas LED 	<ul style="list-style-type: none"> •LED Inducción Plasma

Las lámparas LED aparecen como tecnología actual y también como emergente, ya que son una realidad eficaz en el momento actual pero siguen en desarrollo y se esperan mejoras relevantes en sus características.

De acuerdo con los datos publicados el año 2012 de US DoE, las instalaciones industriales disponen de fluorescentes tubulares (89.2 %) y lámparas de descarga, halógenos metálicos (6.5 %) y sodio de alta presión (2.3 %). (US Department of Energy, 2012) El uso de tecnologías como incandescencia, halógenos y fluorescentes compactos era inferior al 1% en el año 2010 en el sector industrial.

En los próximos años se espera un crecimiento en la instalación de lámparas LED en detrimento de los fluorescentes, aunque pero no se espera un movimiento generalizado de actualización en las instalaciones existentes hasta después del año 2016. El uso de lámparas de descarga se mantendrá en instalaciones de gran altura y en exteriores. El comportamiento del mercado según el informe de la consultora McKinsey se muestra en la siguiente ilustración

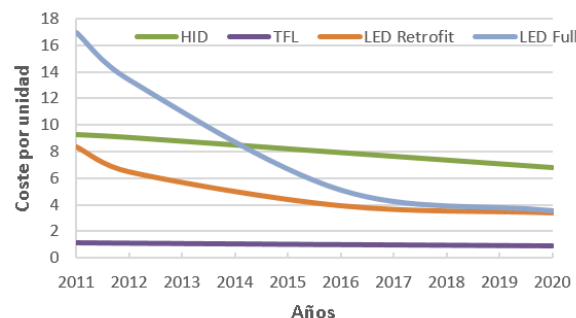
Figura 1. Porcentaje de los tipos de iluminación en el futuro próximo (Fuente: McKinsey).



El incremento de la difusión de los LED se verá apoyado en la reducción de precios y en la mejora gradual de calidades y disponibilidad de estas lámparas.

Se espera que todas las tecnologías reduzcan sus costes, pero en proporciones distintas. Los fluorescentes disminuirán su precio muy suavemente, pero en cambio los LED disminuirán su coste rápidamente, tal y como se muestra en la siguiente figura (McKinsey 2012)

Figura 2. Evolución de los costes de lámparas en los próximos años (Fuente Mckinsey)



2. Objetivos y metodología

El punto de partida de este trabajo es el interés de las grandes compañías industriales en optimizar sus consumos en iluminación. Aunque en compañías de sectores primarios el

gasto energético en iluminación es muy pequeño, algunas compañías están muy interesadas en la actualización de sus sistemas de iluminación. Las razones son variadas:

- Representan una alternativa de mejora que requiere una inversión relativamente pequeña
- Se relaciona fácilmente con parámetros de mejora medioambiental como la ecoeficiencia y la huella de carbono, siendo los departamentos relaciones con medio ambiente los que se convierten en motores del cambio,
- La evolución tecnológica en el sector es muy visible y despierta un interés por los nuevos tipos de lámparas disponibles.

Este trabajo se basa en el interés de una compañía del sector primario en revisar el estado del arte de las tecnologías existentes en iluminación con vista a establecer que tecnologías deberían tenerse en cuenta en los proyectos de actualización y en las nuevas iluminaciones.

En primer lugar se estableció cuáles eran las razones que las distintas instalaciones tenían al comenzar los proyectos de actualización, encontrándose dos motores básicos:

- Disminución de los costes. Se incluyen los costes de la energía eléctrica consumida y del mantenimiento. Este último aspecto es muy relevante en ciertas instalaciones en las que el acceso a las luminarias es difícil y costoso.
- Evitar mantenimientos correctivos. La búsqueda de respuestas mejores o más económicas para la iluminación de zonas como temperaturas relativamente altas, alta suciedad, o sufriendo golpes y vibraciones.

Si la motivación era una disminución de costes se habla de periodos de retorno bajos. La mayor parte de los estudios realizados utilizan valores de costes de la energía eléctrica relativamente altos (mercado del usuario doméstico o comercial) y no precios de suministro industrial (que para grandes consumidores puede alcanzar valores del orden de 40 a 50 euros el Mwh).

Con estas premisas se planteó orientar los esfuerzos en tres pasos sucesivos:

- Realizar una revisión de las tecnologías existentes y de las emergentes
- Establecer que factores deberían contemplarse en la selección de las tecnologías a evaluar para un caso concreto de iluminación industrial
- Evaluar el ciclo de vida de costes de las distintas tecnologías para diversas situaciones para seleccionar las alternativas de mejora idóneas.

Esta ponencia recoge las conclusiones extraídas del primero de los pasos. Se centra en las tecnologías emergentes, intentando mostrar sus ventajas pero también sus debilidades. En esta ponencia se repasan las características de las LED, lámparas de inducción y de plasma.

3. Tecnología Light Emitting Diode

El LED (Light Emitting Diode) es un semiconductor que emite luz. La luz se emite en un espectro muy estrecho, lo que permite buenas eficiencias. La luz producida por un único diodo LED no es suficiente, así que las lámparas LED se construyen a partir de grupos de diodos LED. Los diodos se alimentan en continua por lo que precisan de la adaptación de la alimentación en corriente alterna.

La principal dificultad de la tecnología LED es la dispersión del calor, que representa entre el 60 y el 80% de la energía suministrada. Por ello, los LED deben poseer elementos de disipación de calor como aletas. El problema es que el calor se concentra en un espacio muy pequeño y no es tan sencillo disiparlo como en otras tecnologías. Si se produce un sobrecalentamiento, la eficacia y la vida útil se rebajan. Los semiconductores se agrupan en

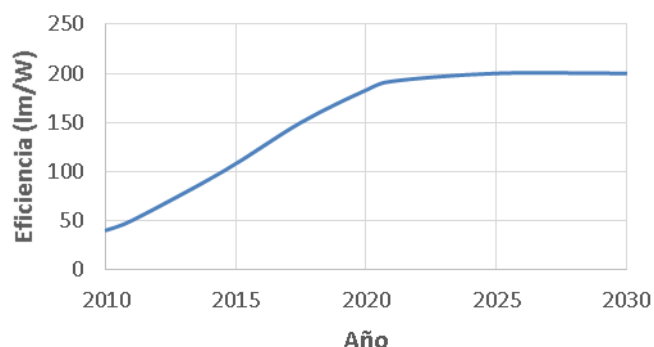
paquetes que contienen uno o varios chips montados sobre materiales buenos conductores del calor. El resultado que suele medir menos de 1 cm² se agrupa componiendo la lámpara. Inicialmente se manufacturaron como lámparas planas o bulbos, pero en la actualidad están presentes en el mercado LEDs tubulares que pueden reemplazar a los tubos fluorescentes.

Los LED tubulares tiene mayores vidas útiles que los fluorescentes, pero su precio es muy superior. El reemplazo de un tubo fluorescente por un tubo LED exige puentear el balasto, aspecto que no suele estar contemplado en las comparaciones..

Recientemente se han desarrollado lámparas usando semiconductores orgánicos, denominándose “organic LED” o “OLED”. Los OLED se han utilizado en monitores y televisores, y en general, en pantallas de dispositivos electrónicos. Las lámparas OLED son laminas planas lo que permite integrarlas en paredes o divisiones proporcionando iluminación general. Se obtienen eficacias del orden de 90lm/w, pero la tecnología está todavía en etapas iniciales de desarrollo, no considerándose aplicable al entorno industrial considerado

En cuanto a eficiencia, las lámparas LED alcanzan valores cercanos a los de las lámparas fluorescentes (que llegan a valores incluso superiores a 100 lumens/W). La progresión ha sido constante en los últimos años. Los bulbos alcanzaban valores promedio de eficiencia en productos presentes en el mercado de 80lm/W. La evolución en los próximos años, de acuerdo con los informes CALiPER se corresponde con un crecimiento constante.(CALiPER, 2012). Gran parte de la mejora está relacionada con la mejora de los sistemas de disipación. En la siguiente grafica se muestra el avance en eficiencia esperado por el US Department of Energy para los próximos años:

Figura 2. Mejora futura de la eficiencia LED. (Fuente DoE)



La depreciación del flujo luminoso en los LED es función de la tasa de fallo de los componentes. Se usa como medida del ciclo de vida el momento en el que el flujo luminoso es el 70% del flujo inicial. La depreciación es constante en el tiempo, siendo la vida útil estimada entre 25.000 y 100.000.

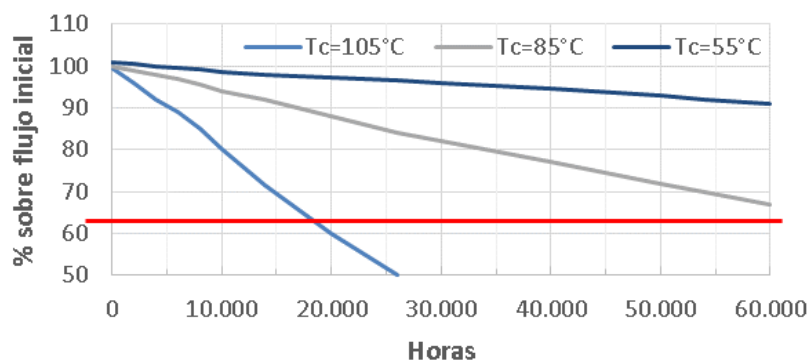
La vida de una lámpara LED más habitualmente considerada de una lámpara LED es de 50.000 horas. Este valor se mide por el momento en el que el flujo luminoso es el 70% del inicial. Este valor es superior a las 40.000 horas que pueden alcanzarse con tubos fluorescentes de larga duración y, mucho mejor que el habitual en las lámparas de descarga. Su larga vida útil es una de sus ventajas principales haciéndolos idóneos para casos en los que la sustitución de las lámparas es una tarea compleja.

Existe cierto debate en cuanto a la vida útil real, pues el efecto de las condiciones ambientales no es tenido en cuenta. Otro aspecto a considerar es que la vida útil de, por ejemplo, un fluorescente y de una lámpara LED se mide de forma distinta. Si el fluorescente tiene una vida de 20.000 horas, lo que indica es que el promedio de la vida de los fluorescentes será superior a esa cantidad y que si sigue funcionando a las 20.000 horas,

emite un 90% o más del flujo inicial. En cambio, para las lámparas LED, si la vida útil es 50.000 horas, al llegar a ese momento, las lámparas emiten un flujo luminoso promedio que es un 70% del inicial. Si ese cambio es constante a lo largo del tiempo, los estudios realizados indican que no se advierte por la mayor parte de los usuarios, pero en las LED se pueden llegar a observar zonas que no funcionan.

Además, el comportamiento de las lámparas LED depende en gran medida de la calidad constructiva. Hay grandes diferencias en la capacidad para disipar el calor en la unión p-n en función de los materiales utilizados, el diseño de los disipadores, etc. Por ejemplo, para una lámpara que mantiene la temperatura de la unión a 55°C en 20.000 horas la depreciación puede ser del 5%, mientras que con una temperatura de la unión de 100°C la depreciación sería del 40%. El efecto de la temperatura se describe en la siguiente gráfica. En cambio, al no tener electrodos, el número de encendidos y apagados no afecta a la vida útil.

Figura 3. Efecto de la temperatura en el flujo luminoso de una lámpara LED (Fuente CALiPER)



La reproducción del color ha sido uno de los aspectos en que mayor ha sido la mejora en la evolución de esta tecnología. La mayor parte de las lámparas tiene un CCT de 2,700 K, aunque existen ya muchas lámparas con valores superiores a 4000 K, valores más adecuados para espacios con exigencias de iluminación más altas.

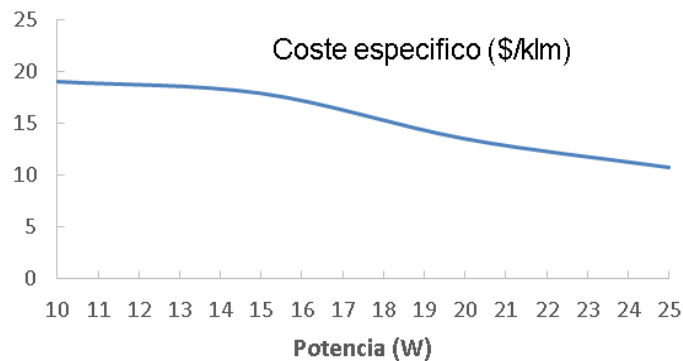
Las LED permiten un encendido prácticamente instantáneo y modificar linealmente el flujo luminoso con pérdidas pequeñas de eficiencia (5-10%). Esto las hace ideales para integrarse con sistemas de control. Pero hay que tener presente que no todas las lámparas LED lo permiten, debiendo asegurarse la compatibilidad entre el control de intensidad y el control de la lámpara.

Al carecer de electrodos, las LED no tienen problemas de funcionamiento en presencia de con las vibraciones de baja y media energía. Esto las hace muy interesantes en entornos industriales. También ofrecen una resistencia a la rotura mayor que otras lámparas en el transporte, almacenamiento e instalación ya que no contienen cristal. En cambio, su principal debilidad es el comportamiento ante altas temperaturas ambientales. Una temperatura ambiental alta impide la correcta disipación del calor generado en el diodo, lo que afecta a su eficiencia y vida útil. Hasta tal punto que muchas lámparas de alta potencia requieren sistemas para forzar la ventilación y mejorar la disipación de calor.

Las lámparas LED tienen unos costes específicos de fabricación más altos que tecnologías como los fluorescentes o las lámparas de descarga siendo su desventaja fundamental.

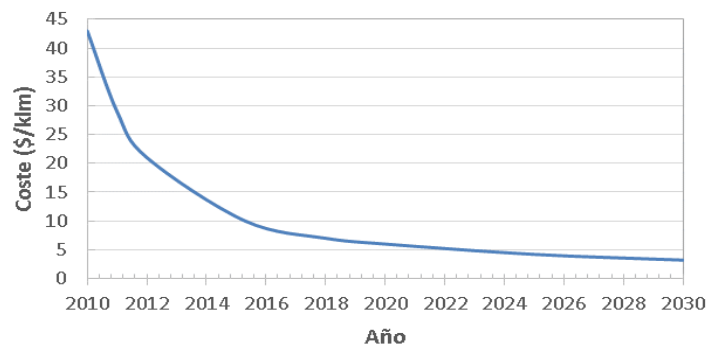
Por ejemplo en los tubos LED el coste específico se va reduciendo al aumentar la potencia, pero son muy altos en comparación con otras tecnologías, como se puede ver en la siguiente figura:

Figura 5. Coste específico de tubos LED (Elaboración propia a partir de datos de Osram y Philips).



Se están haciendo grandes esfuerzos para reducir el coste. De acuerdo con las expectativas del US DoE los precios descenderán rápidamente hasta el 2020, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 6. Evolución esperada del coste de lámparas LED.



4. Inducción

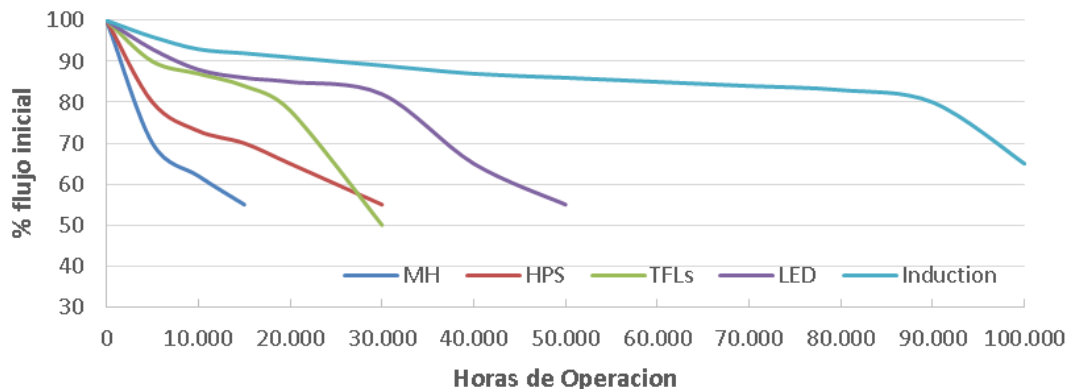
La lámpara de inducción es una lámpara de descarga de gas en la que la energía necesaria para producir luz no es transferida en forma de arco entre electrodos sino generando un campo electromagnético.

Los principios en que se basan era conocidos desde hace muchas décadas pero su introducción en el mercado es relativamente reciente. El desarrollo de la electrónica ha permitido producirlas.

El campo electromagnético excita gas de mercurio, lo que hace que emita radiación ultravioleta que es convertida en luz en el espectro visible por medio del recubrimiento de fósforo del bulbo. Al carecer de electrodos, la vida útil se extiende mucho, entre 50.000 y 100.000 horas.

La eficiencia promedio es de 80 lm/W pero oscila mucho dependiendo de la potencia de la lámpara. Se espera que la eficiencia mejore progresivamente de forma parecida a la tecnología LED. Lo que marca una diferencia apreciable es la baja depreciación. Una lámpara de inducción mantiene a las 20.000 horas el 90% del flujo inicial. A partir de ese momento la reducción en eficiencia es muy pequeña, llegando a las 60.000 horas con un 85% del flujo inicial. Al acercarse el final de su vida útil la depreciación se acelera. La siguiente figura compara la depreciación de distintos tipos de lámparas (descarga de halógenos y de mercurio, fluorescentes, LED e inducción) quedando patente el buen comportamiento de este tipo de lámparas.

Figura 7. Comparativa entre depreciación de diversas tecnologías.



La vida útil es de 80.000 a 100.000 horas dependiendo de si son modelos internos o externos (en cuanto a la posición del magnetrón). Pero la bibliografía consultada propone como valor más adecuado las 60.000 horas.

La sensación visual es muy similar a las LED, con un CCT entre 2,700 and 4,000 K y un CRI superior a 80.

Las lámparas de inducción son muy compactas y robustas, soportando muy bien las vibraciones y las temperaturas extremas. Es una tecnología muy adecuada para entornos industriales con condiciones extremas y que precisan de lámparas de larga vida útil.

Las lámparas de inducción tienen ignición casi instantánea y puede controlarse el flujo luminoso mediante el balasto.

Su coste es alto y el número de fabricantes limitado. Es una tecnología en expansión. Si no mejora en las cifras de eficiencia y rebaja los costes, quedara constreñida a usos en ambientes extremos o para aplicaciones específicas. Lo compacto de la lámpara facilita su uso en sistemas ya existentes de iluminación por descarga.

5. Plasma (LEP)

Aunque las lámparas LED son la tecnología en iluminación con mayor potencial de crecimiento, no son adecuadas cuando se requieren grandes potencias (grandes alturas sobre el plano de trabajo). Las LED sufren la restricción por el calentamiento y al aumentar la potencia se hace más difícil disipar el calor sobrante. Para este tipo de necesidades surgen un tipo de lámpara de inducción denominada lámpara de plasma (LEP, light emitting plasma). Estas lámparas son una tecnología SSL distinta de la LED. Las LED usan un dispositivo electrónico para generar radiofrecuencia que ioniza los gases convirtiéndolos en un plasma que emite luz blanca muy brillante (CRI 95). La primera lámpara de plasma sin electrodos fue desarrollada por Tesla pero las lámparas actuales se desarrollaron en la década del 2000.

Las LEP son lámparas muy potentes, a partir de 10.000 lúmenes. Reúnen las características de Resistencia de las lámparas de inducción y la direccionalidad de las LED. Son muy compactas lo que hace que se puedan adaptar para sustituir a lámparas de descarga en instalaciones ya existentes.

La eficiencia depende del tamaño de la lámpara alcanzando valores de hasta 110 lm/W con una depreciación lineal. Con una vida útil esperada de unas 50.000 horas en los que se mantiene el 70% del flujo luminoso inicial.

La sensación visual es ligeramente mejor que con lámparas LED y de descarga.

Son lámparas resistentes, que soportan bien vibraciones, pero tienen problemas con altas temperaturas ambientales.

Aunque su tiempo de encendido es grande (30 segundos), una característica muy conveniente es que puede modificarse el flujo luminoso mediante el balasto electrónico que lo controla sin afectar a la vida útil.

Se suelen utilizar para sustituir lámparas de descarga en lugares que precisan lámparas con una potencia unitaria alta y cuando se quiere espaciar lo más posible los reemplazos. El tamaño de la lámpara es pequeño, lo que permite adaptarlo a luminarias ya existentes y sustituir a lámparas de descarga con un ahorro que puede llegar al 40%.

Las lámparas de azufre son un tipo de lámpara de plasma que tiene como principal ventaja el ofrecer una iluminación similar a la de la luz del sol. Son un desarrollo relativamente reciente. Utilizan microondas para excitar gas de azufre y generar luz. El gas de azufre está contenido en un bulbo que está a muy alta temperatura pudiendo necesitar ventilación forzada en modelos de gran potencia. Desde el año 2005 las lámparas son comercializadas por Plasma Lighting System (grupo LG).

Son lámparas de larga vida (50.000-60.000 horas) y cuya principal ventaja es su temperatura de color (6000°C). El control es difícil ya que solo permite reducir un 15% el flujo luminoso sin que se vea afectada la calidad de la luz y el encendido toma 20 segundos.

Aunque su eficiencia es buena (cerca de 100 lm/W) su desarrollo está pendiente de que se reduzcan sus costes de fabricación. Otros problemas son la vida del magnetrón y del motor necesario para rotar el bulbo y el ruido que generan los ventiladores que precisa para disipar el calor. Ya existen lámparas que no precisan ventilación forzada siendo una de las vías de desarrollo futuro.

6. Conclusiones

De entre las tecnologías en vías de implantación que pueden considerarse en entornos industriales para una nueva instalación o para la mejora de una instalación existente, se analizan la tecnología LED, la de inducción y la de plasma (con la variante de la las lámparas de azufre).

En la siguiente tabla se reúnen las ventajas e inconvenientes más relevantes de las tecnologías revisadas:

	Ventajas	Inconvenientes
LED	<ul style="list-style-type: none"> • Buena eficiencia. • Vida útil muy larga • Resistentes a impactos y vibraciones • Puede ser controlado • Existen muchas opciones pensadas para sustituir lámparas de otras tecnologías ya existentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Son luces muy concentradas lo que puede producir deslumbramiento. • No soportan temperaturas ambientales altas. • Hay calidades muy diversas siendo difícil diferenciarlas. • El coste se reducirá en el futuro haciendo que pueda ser más interesante posponer la actualización.
Inducción	<ul style="list-style-type: none"> • Muy larga vida con poco depreciación • Buena eficiencia aunque inferior a otras tecnologías • Posibilidad de realizar control con el propio balasto. • Muy resistente a condiciones de 	<ul style="list-style-type: none"> • Su precio es todavía caro y es difícil recuperar el desembolso. • La oferta es amplia, pero no se puede comparar con la existente para otras tecnologías más asentadas.

	temperatura extrema y vibración	
Plasma	<ul style="list-style-type: none"> • Larga vida útil y alta eficiencia • Resistente a la vibración. • Alto confort visual (sin parpadeo y poco deslumbramiento) • Flujo luminoso controlable por el balasto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es una tecnología en desarrollo que sigue siendo cara en relación con otras tecnologías y pocas compañías la venden. Los problemas de interferencia que producían los primeros modelos ya se han solventado

Pensando en instalaciones industriales altura (distancia entre la luminaria y el plano de trabajo) superior a 3 metros, la recomendación de uso sería la mostrada en la siguiente tabla:

	Recomendado	No recomendado en
LED	<ul style="list-style-type: none"> • Si la inversión no es relevante • Si el mantenimiento es complicado y tener un largo ciclo de vida es relevante • Con vibraciones • En un futuro, con los precios más bajos 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones con bajo tiempo de uso • Si hay problemas de deslumbramiento (altas intensidad) • Ambientes de temperatura ambiente elevada • Si el coste de inversión es relevante
Inducción	<ul style="list-style-type: none"> • Actualizaciones de lámparas de haluros metálicos • Instalaciones con altos costes de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el coste de inversión es relevante • Todavía no ofertado por los mayores fabricantes •
Plasma	<ul style="list-style-type: none"> • Actualizaciones de lámparas de haluros metálicos • Excelente calidad de luz 	<ul style="list-style-type: none"> • Si el coste de inversión es relevante • No existen muchas referencias de uso • Pocos suministradores

Las recomendaciones están basadas en las modelizaciones efectuadas con un precio de energía de 40€ por Mwh.

Referencias

CALiPER Snapshot LED Lighting Facts Energy efficiency & renewable energy, DoE, 2013

McKinsey&Company, Lighting the way. Perspectives on the global lighting market, 2012

Navigant, 2002. U. S. Lighting Market Characterization Volume I: National Lighting, Washington: US DOE.

Energy Savings Potencial of Solid-State Lighting in General Illumination applications, US Department of Energy, 2013