

TECHNOLOGICAL LED'S CHANGE IN PUBLIC PROJECTS LIGHTING. "SWOT" ANALYSIS: STRENGTHS AND WEAKNESSES

Hermoso Orzáez, Manuel Jesús
Universidad de Jaén

Public Lighting accounts for 2.3% of global electricity consumption and up to 80% of the municipal electricity consumed currently numerous studies and analysis aimed at improving efficiency and energy saving lighting systems.

It demonstrates the interest in the field of urban lighting, LED technology awakening. With potential savings of over 50%, compared with the traditional discharge lamps (MH, HPS, etc.) and excellent lighting performance.

One of the great advantages of LEDs, in addition to its efficiency and service life, is the directionality.

Despite the massive discharge lamp replacement LED it is generating previously unknown problems associated with the peak currents in the cold start. These peaks of current, they can potentially cause ignition problems at startup and disconnection of circuits, dashboards and control. In addition, it worries harmonic distortion that could cause the sources of electronic nature, associated with this new technology, along with annoying glare or disturbing levels detected

It is intended by SWOT analysis, present the advantages and disadvantages associated with this new technological form

Keywords: public-lighting; LED; energy-efficiency; peak-currents; harmonics; glare

EL CAMBIO TECNOLÓGICO A LED EN LOS PROYECTOS DE ALUMBRADO PÚBLICO. ANÁLISIS DAFO: VENTAJAS E INCONVENIENTES

El Alumbrado Público supone el 2,3% del consumo eléctrico mundial y hasta el 80% de la energía eléctrica municipal consumida. En la actualidad son numerosos los estudios y análisis orientados a mejorar la eficiencia y el ahorro energético de los sistemas de iluminación.

Es manifiesto el interés dentro del ámbito de la iluminación urbana, que despierta la tecnología LED. Con posibilidades de ahorro superiores al 50 %, comparadas con las lámparas de descarga tradicionales (HM, VSAP, etc.) y excelentes prestaciones luminotécnicas.

Una de las grandes ventajas de los LEDs, además de su eficiencia y vida útil, es la direccionalidad.

No obstante la sustitución masiva de lámparas de descarga por LED está generando problemas hasta ahora desconocidos, asociados a las corrientes de pico en el arranque en frío. Estos picos de intensidad de corriente, pueden llegar a ocasionar problemas de encendido en el arranque y la desconexión de los circuitos, en los cuadros de mando y control. Además, preocupa la distorsión armónica que pudieran provocar las fuentes de naturaleza electrónica, asociadas a esta nueva tecnología, junto a los niveles deslumbramiento molesto o perturbador detectados.

Se pretende mediante análisis DAFO, presentar las ventajas e inconvenientes asociadas a esta nueva forma tecnológica.

Palabras clave: alumbrado-público; LED; eficiencia-energética; corrientes de pico; armónicos; deslumbramiento.

1. Introducción

La iluminación artificial supone casi el 20% de la producción total de electricidad mundial (Marimuthu & Kirubakaran, 2015) Este consumo de energía supone aproximadamente unos 1.900 millones de toneladas de emisiones de CO₂ al año, lo que representa el 70% de las emisiones de los vehículos de pasajeros de todo el mundo y tres veces más que las emisiones generadas por el sector de la aviación (De Almeida et al., 2014) Una parte muy significativa de este gasto es aplicable directamente al alumbrado público. Este, solo por sí, supone el 2,3% del Consumo eléctrico mundial (Lobao, Devezas, & Catalao, 2015) y según diferentes estudios, en municipios de países desarrollados puede alcanzar valores realmente importantes, entre el 40% (Ozadowicz & Grela, 2014) y el 60% (Fiaschi, Bandinelli & Conti, 2012)

Muchas de las instalaciones de alumbrado público se diseñaron y ejecutaron hace entre 30 y 40 años y por lo tanto tienen emisores ineficaces y caros sistemas de gestión (Jägerbrand, 2015). Hoy en día la iluminación LED o iluminación de estado sólido (SSL) son consideradas tecnologías de iluminación de bajo consumo y absolutamente respetuosas con el medio ambiente. El SSL ya ha llegado a un nivel de alta eficiencia (más de 276 lm / W) a costos cada vez menores. Además, la vida útil de las lámparas LED es varias veces superior a las lámparas de descarga (Lobao, Devezas, & Catalao, 2015).

Las nuevas políticas de ahorro energético impulsadas desde la Unión europea, aconsejan la sustitución de las lámparas de descarga tradicionales en las instalaciones de alumbrado público, ya sean de vapor de sodio o de halogenuro metálico (MH), por luminarias con tecnología LED con resultados lumínicos semejantes.

Numerosos estudios han analizado la eficiencia energética de estas nuevas luminarias comparándolas con las lámparas fluorescentes (Ryckaert, 2012), las lámparas de descarga MH (Hermoso-Orzáez & de Andrés Díaz, 2014) y otras tecnologías convencionales usadas en iluminación urbana (Gil-de-Castro, et al., 2013).

Analizados numerosos proyectos de renovación de instalaciones de alumbrado público en distintas ciudades del mundo, con luminarias LEDs, han demostrado unas posibilidades de ahorro promedio superiores al 50%. (Valentova, Quicheron & Bertoldi, 2015), (Rode, et al. 2014) (CDP Cities Report , 2015).

Desde el punto de vista económico, la rápida evolución de la tecnología LED, está permitiendo la reducción de los precios de estos nuevos equipos. Esto, junto con la elevada capacidad de control, regulación y telegestión gracias a su naturaleza electrónica, permiten ofrecer periodos de amortización de las inversiones de renovación de las instalaciones convencionales con plazos inferiores a los 3 años (Pipattanasomporn, et al., 2014).

Estudios realizados en la ciudad de Detroit han permitido calcular los periodos de retorno "simple payback " con amortizaciones en menos de 2,5 años (Kinze, 2015).

En este escenario global, distintas empresas y estudios han generado informes que aseguran que se espera que los países desarrollados puedan llegar a invertir más de 53,7 millones de dólares en alumbrado público LED 2015-2025 (Northeast Group, 2015).

No obstante, la sustitución lámparas de descarga por LED se está encontrando con problemas que no eran comunes en las instalaciones de iluminación con lámparas de descarga. Distintos estudios, (Blanco, Stiegler & Meyer, 2013) se han centrado en evaluar comparativamente ambas tecnologías centrándose en medir los índices de deslumbramiento molesto, la uniformidad, las corrientes en el neutro, las posibles

contaminaciones de la red eléctrica, por armónicos de corriente o tensión de orden par que pueden llegar a provocar distorsiones en la forma de onda de las señales (contaminación armónica) y tratando de medir en el encendido las temidas corrientes de pico en frío en los arranques (Hermoso-Orzáez, Rojas-Sola & Gago Calderón, 2016).

En el encendido inicial las "corrientes de pico de entrada", en el momento de la puesta en marcha (Arias, Vázquez & Sebastián, 2012) y la sobre excitación de los diodos que utilizan las fuentes LED debida a la tensión necesaria en el período de puesta en marcha pueden ocasionar problemas de sobre corrientes en el momento del encendido (Fan, et al. 2013) (Tech, Leber & Schwarzmeier, 2014), (Abd El-Moniem, Azazi & Mahmoud, 2014).

Este trabajo persigue analizar comparativamente las tecnologías de descarga tradicionales (HM, o VSAP) frente a las nuevas tecnologías LED. Para ello, se presentan un análisis DAFO de las ventajas e inconvenientes de la sustitución masiva de lámparas de descarga de VSAP o de HM por equipos de iluminación a base de tecnología LED. Finalmente, se discuten y analizan los resultados obtenidos antes y después de la renovación de los equipos.

2. Antecedentes y estudios previos de referencia para la realización del análisis DAFO (LED-HM)

En la actualidad, el Alumbrado Público supone el 2,3% del consumo eléctrico mundial (Saunders, & Tsao, 2012), y en el ámbito municipal la iluminación vial y residencial, el 80% de la energía eléctrica consumida y hasta el 60% de su factura energética. (Ozadowicz & Grela, 2014)

Distintos Programas de eficiencia energética y ahorro, llevados al efecto en Canadá y Estados Unidos, vaticinaron ya, a principios de la década de los noventa, sería posible a medio plazo, obtener ahorros del 57 % en la iluminación residencial.

Mediante la implementación de medidas de ahorro y la inversión en equipos de eficiencia energética, en iluminación vial, estos porcentajes podrían alcanzar un ahorro entre el 70 y el 80 % (Atkinson, McMahon & Nade, 1993)

En esta misma línea distintos autores se han centrado en el análisis de la cuestión energética para conseguir un desarrollo sostenible de nuestras ciudades. La gestión de la eficiencia energética, el análisis de las inversiones, los estudios de rentabilidad, la viabilidad financiera y la eficiencia energética aplicada a la iluminación urbana se ha convertido en una cuestión prioritaria para los gobiernos locales. (Radulovic, Skok, & Kirincic, 2011)

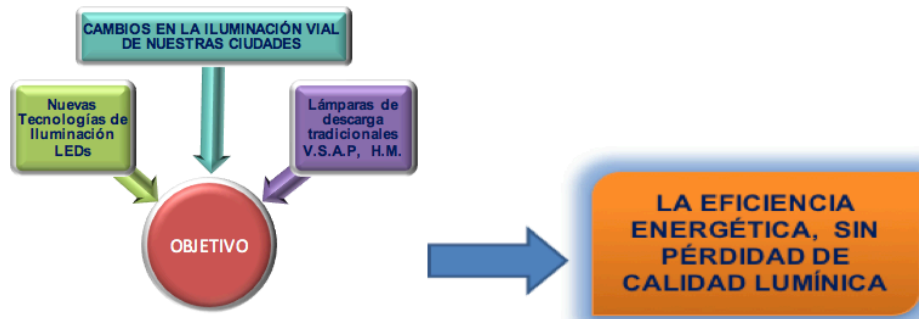
El análisis de la gestión energética del alumbrado público, realizado por Radulovic, D et al., en la ciudad croata de Rijeka, a fin de determinar los equipos de ahorro y eficiencia que mejor comportamiento demuestran, en función del tipo de lámparas, demostró que es posible conseguir ahorros muy significativos por encima del 50 %..

El futuro de la iluminación urbana, parece estar situada en los LEDs. Sin embargo, esta tecnología va evolucionando de manera muy rápida y no está aparentemente lo suficientemente contrastada y probada. Por esto, las lámparas de descarga están destinadas a convivir con las nuevas tecnologías LEDs a corto y medio plazo.

La iluminación urbana con LEDs es ya una realidad que poco a poco tiende a imponerse en nuestras ciudades, sin embargo, la mayoría de los estudios, se centran sólo en la parte de evaluación económica asociada a la rentabilidad de la inversión,

financiación y amortizaciones (Rea, 2010). (Figura.1) Es también necesario realizar simultáneamente un exhaustivo estudio eléctrico y lumínico del impacto, que puede suponer el cambio. (Hermoso-Orzáez, Rojas-Sola & Gago Calderón, 2016).

Figura 1: Planteamiento del problema



Se ha comprobado que los LEDs son capaces de desarrollar prestaciones luminotécnicas semejantes a las lámparas de descarga. Permitiendo ahorros que pueden llegar al 60 % comparativamente. Se señala como aspecto negativo asociado a los LEDs, su coste unitario y los nuevos problemas eléctricos asociados a la componente electrónica que los sustenta. Aspectos positivos de esta tecnologías son su mayor eficiencia energética, durabilidad y control de flujo luminoso.(Gil-de-Castro, et al., 2013).

Sustituir las lámparas de descarga tradicionales, por LED con prestaciones lumínicas semejantes, permite reducir el consumo eléctrico entre el 20 y 50% como se demuestra en los estudios de simulación y eficiencia energética para similares niveles de iluminancia en los hogares, realizados por (Wen-Shing, Chih-Hsuan & Yi-Han, 2011)

Así mismo los LEDs, al ser direccionales, tienen la ventaja de que todo su flujo de luz se emite, sin apenas pérdidas, llegando al elemento que se quiere iluminar.(Zalewski, 2012).

Una de las grandes ventajas de los LEDs, además de su eficiencia y vida útil, es la direccionalidad. Las fuentes de luz tradicionales, que emiten en muchas direcciones, necesitan utilizar reflectores, difusores, lamas, etc. para su correcta orientación. En definitiva elementos auxiliares que siempre disminuyen el rendimiento del punto de luz, aprovechando solo parcialmente el flujo de la fuente de luz.(Svilainis, 2008).

Hoy día, están apareciendo nuevos métodos para calcular el diseño de la iluminación de carreteras, en busca de la eficiencia energética y luminotécnica de las instalaciones de iluminación. (Gómez-Lorente, et al., 2013).

Figura 2: Definición de los Objetivos del estudio.



Si acometemos el salto tecnológico y sustituimos las lámparas HM por LEDs nos ponemos un objetivo principal (Figura 2) y nos plantearemos las siguientes cuestiones:

- ¿Qué % de ahorro energético seríamos capaces de obtener?
- ¿Afecta el cambio a la iluminación de los viales?
- ¿Es interesante desde un punto de vista económico y financiero emprender las sustituciones?. Y en cuanto a las prestaciones luminotécnicas ¿pueden verse devaluadas?.
- ¿Estamos en disposición de poder realizar sustituciones masivas de equipos de descarga tradicionales por lámparas LEDs con garantías de éxito?
- ¿Cuáles son las consecuencias, si las hay, desde el punto de vista electrico, potencia, intensidad, picos de arranque , armónicos, corriente en el neutro, etc...?

Figura. 3. Resultados esperados del estudio.



La figura 3 presenta los resultados esperados del estudio analítico con en el cambio tecnológico practicado.

3. Analisis económico/energetico y calculo del umbral de rentabilidad para un caso de estudio de cambio masivo de luminarias HM por LEDS.

A continuacion analizaremos en términos energéticos y económicos un caso de estudio práctico realizado a modo experimental por el Ayuntamiento de Fuengirola Málaga, supervisado por el redactor de esta comunicación.

Para este estudio práctico y en campo, se ha seleccionado como marco de trabajo la instalación de la iluminación por proyección de las playas urbanas de la localidad de Fuengirola (Málaga, Spain, Latitud: 36.53564&Longitud: -4.62139) (Figura 4).

Concretamente, se trabajó con 63 columnas de 7 m de altura, emplazadas con una inter distancia media de 35 m. Estas columnas contaban inicialmente con un único proyector equipado con lámpara de descarga de halogenuro metálico (MH). La potencia total de la lámpara del proyector MH es 1kW utilizando como equipo auxiliar un balasto electromagnético (985 W de consumo de la lámpara y 15 W del balasto), y por tanto, consumiendo potencia activa y reactiva.

Posteriormente, se sustituyeron estos 63 proyectores convencionales por 189 proyectores LED de 180 W de potencia total nominal cada uno incluyendo el consumo de la fuente. La elección de estas nuevas luminarias se planteó con el objetivo de conseguir unos resultados lumínicos similares, y su número y potencia se seleccionó a través de una simulación lumínica por ordenador (DIALUX). Las líneas eléctricas de alimentación de los proyectores de estas 63 columnas están distribuidas en 6 cuadros eléctricos, y cada uno de estos, alimenta con uno o varios circuitos de cable de sección de 6mm² en cobre, a un número fijo de columnas y variable de proyectores, manteniéndose este criterio tanto para el caso de MH como el de LED. La descripción y las características más significativas de estos cuadros eléctricos, con sus configuraciones y potencias instaladas, se detallan en la Tabla 1.

Figura. 4. Vista general de la zona de estudio.



Tabla 1. Cuadros eléctricos y potencia instalada por cuadro con lámparas de MH (antes del cambio) y LED (una vez procedido a la sustitución).

Cuadro eléctrico	Número de columnas	Número de proyectores MH	Potencia total (W) MH	Número de proyectores LED	Potencia total (W) LED
CM-005	12	12	12,000	36	6,480 W
CM-017	16	16	16,000	48	8,640 W
CM-022	10	10	10,000	30	5,400 W
CM-062	8	8	8,000	24	4,320 W
CM-107	9	9	9,000	27	4,860 W
CM-145	8	8	8,000	24	4,320 W
Total	63	63	63,000	189	34,020 W

Los resultados del estudio energético comparativo para el caso de estudio se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del Balance energético obtenidos con la sustitución

INSTALACIÓN 63 EQUIPOS HM 1000 W			INSTALACIÓN 189 EQUIPOS HM 180 W		
		Uds			Uds
Potencia Lámpara HM	1000	W	Potencia Lámpara LED	180	W
Nº Proyectores	63	Uds	Nº Proyectores	189	Uds
Potencia Total HM	63000	W	Potencia Total LED	34020	W
Horario Nivel pleno	7	horas	Horario Nivel pleno	7	horas
Días Año	365	Días/año	Días Año	365	Días/año
Costes de Consumo			Costes de Consumo		
Media Energía Consumida diaria	604,80	KWh	Media Energía Consumida diaria	326,59	KWh
Energía Consumida Anual	220.752,00	KWh	Energía Consumida Anual	119.205,35	KWh
Coste Energía (Pena Exceso Potencia)	0,14	Euros/kWh	Coste Energía	0,14	Euros/kWh
Coste Energético Anual	30.905,28	Euros/ año	Coste Energético Anual	16.688,75	Euros/ año
Costes Anuales Totales	30.905,28		Costes Anuales Totales	16.688,75	

Los resultados obtenidos del estudio económico y/o análisis de rentabilidad para la sustitución prevista permiten poder fijar el umbral de rentabilidad económica. Los valores de referencia serán los que aparecen en la tabla 2. En función de un precio fijado del Kwh de 0,14 Euros. Para distintos valores del precio unitario de sustitución, suponiendo unos tipos de interés fijo del 3 %, obtenemos distintos valores de determinan el umbral de rentabilidad (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis económico y financiero para el cálculo del precio unitario de la sustitución o umbral de rentabilidad

Precio unitario Sustitución Euros/ Proyector LED	Inversión Total (Euros)	Tipos de interés (%)	P.B (años)	V.A.N (5años)	T.I.R	IBC
190	35.910	3	2,53	29.197,55	28,12	1,81
250	47.250	3	3,32	17.857,55	15,36	1,38
300	56.700	3	3,99	8.407,55	8,04	1,15
325	61.424	3	4,32	3.682,55	5,07	1,06
350	66.150	3	4,65	-1.042,45	2,45	0,98
400	75.600	3	5,32	-10.492,45	-2,02	0,86

Los resultados de la tabla muestran que el umbral de rentabilidad estaría en un precio por equipo instalado por debajo de los 325 Euros/proyector LED. En este precio se incluye el desmontaje de los proyectores actuales, equipos auxiliares de elevación y el montaje de los nuevos proyectores LED, incluyendo materiales, mano de obra y equipos auxiliares de ayuda y montaje.

4. Analisis DAFO (LED-HM)

Los resultados de los estudios realizados se muestran en forma de análisis DAFO en la figuras 5 y 6.

Figura 5. Análisis DAFO de los resultados obtenidos con el cambio tecnológico



DEBILIDADES:

Temperatura de color fría, Se consiguen mejoras en el color pero a costa de un importante aumento del dopaje de los diodos, lo que implican elevación de la temperatura y mayores necesidades de disipación térmica, impactando en la reducción de la vida útil de los equipos LED

Excesiva dependencia de las subvenciones o créditos blandos. La pueden llevar a morir de éxito. Las fluctuaciones financieras pueden ocasionar estragos.

Constantes mejoras tecnológicas que generan incertidumbre en la selección del productor por parte del consumidor final. Madurez tecnológica aún no conseguida.

Falta de equipos mantenedores especializados en esta nueva tecnología.

AMENAZAS:

La disipación térmica desaconseja la adaptación directa de luminarias existentes con lámparas de descarga por equipos LED, fuente, driver y lámpara, sin estudiar aspectos asociados a la disipación térmica

Picos de corriente en el arranque en frío que pueden hacer saltar las protecciones magnetotérmicas de los cuadros de cabecera, si no están diseñadas con curva lenta o arranque progresivo temporizado.

Durabilidad no probada o contrastada fehacientemente, al ser una tecnología muy incipiente poco madura y no suficientemente probada en el tiempo y las condiciones de trabajo

Rápida reducción de costes a costa de pérdida de calidad lumínica

Deslumbramiento molesto (Discomfort Glare) y perturbador (SLI) por encima de los niveles de las lámparas de descarga

FORTALEZAS :

Ahorro energético y económico.

Buenas prestaciones luminotécnicas.

Óptima uniformidad asociada a la direccionalidad de las fuentes

Rentabilidad económica y financiera con la sustitución (VAN, TIR, PB e IBC)

OPORTUNIDADES:

Precio de mercado tendente claramente a la baja.

Mejora de las prestaciones luminotécnicas (uniformidad, flujo luminoso, RGB y temperatura de color)

Reducción de la contaminación por armónicos pares de corriente y tensión así como reducción de la corriente residual en el neutro en sistemas desequilibrados

Figura 6. Conclusiones del Análisis DAFO

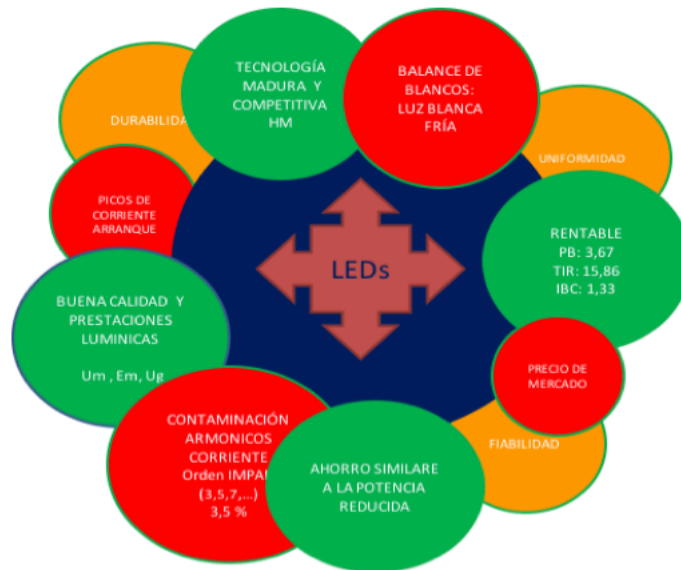
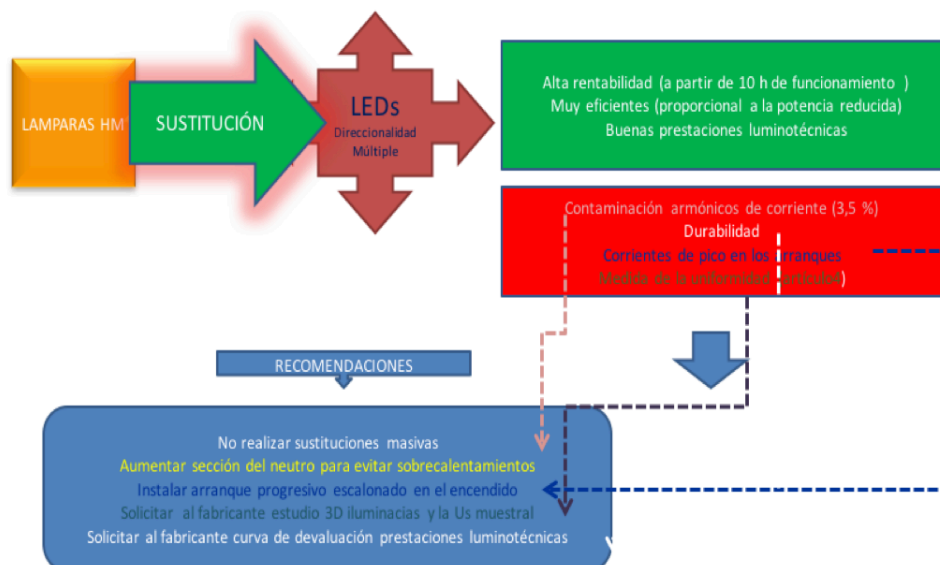


Figura 7. Conclusiones obtenidas del análisis DAFO de los los resultados obtenidos con el cambio tecnológico a LED



5. Conclusiones

Al día de hoy, la tecnología LED aplicada a la iluminación urbana es, aunque novedosa, muy eficiente en cuanto a prestaciones lumínicas, y prácticamente se encuentra al mismo nivel, que las lámparas de HM. No obstante, se ha podido comprobar en este estudio que los precios de mercado, aún siguen estando un poco elevados, aunque últimamente se observa una clara tendencia a la reducción de costes por equipo. Por

ello, las amortizaciones de los estudios de inversión para unos usos medio en torno a las 8 horas de funcionamiento, empiezan ya a ser interesantes, obteniéndose una rentabilidad moderada. Estos números se mejoran sensiblemente al aumentar las horas de funcionamiento, con amortizaciones a 3 años y rentabilidades próximas al 15 %. No obstante se espera que la tendencia a bajar los precios de los equipos puede hacer que a muy corto plazo, se obtengan amortizaciones y rentabilidades bastante mejores. Se puede concluir que a día de hoy, se desaconseja la sustitución masiva de las lámparas de descarga por LEDs, a menos que se obtengan líneas de financiación con interés a muy bajo coste. Se recomienda, como así se desprende del presente estudio, que hay que apostar de manera paulatina y progresiva por ir implantando esta nueva tecnología, que sin duda será en un futuro muy cercano la forma de iluminación vial en nuestras ciudades.

Con este balance comparativo de dos de las tecnologías de iluminación con mayor relevancia en la actualidad en una instalación de alumbrado público urbano, queda demostrado cómo las luminarias que utilizan tecnología LED frente a las lámparas de descarga con tecnología cerámica MH obtienen ahorros energéticos significativos, directamente proporcionales a la reducción de potencia activa. Esto se consigue gracias a la alta eficiencia de generación de fotones de estos dispositivos de estado sólido y al mejor aprovechamiento de la luz direccional emitida. Del mismo modo, la naturaleza electrónica de los drivers de alimentación de las lámparas LED permite una reducción significativa del factor de potencia de la instalación pasando a ser en este caso de carácter capacitivo.

Además, distintos estudios han verificado que el cambio tecnológico a LED permite una reducción de armónicos de corriente y tensión de orden par, provocando una menor deformación de las formas de onda tanto de la corriente como de la tensión.

No obstante por el contrario diversos estudios han verificado que en el encendido de las luminarias se ha comprobado que con la tecnología LED, se producen en el arranque en frío de las mismas unas corrientes de pico máximas por fase por encima del doble a las obtenidas para las lámparas de descarga (MH). Sin embargo, en el modo de funcionamiento nominal se ha observado que las corrientes en el neutro se reducen de forma similar a la reducción de potencia que se obtiene con el cambio de lámparas de descarga MH por LED.

Por todo lo anterior, se puede concluir que desde un punto de vista eléctrico, el cambio tecnológico de MH por LED, es en general beneficioso al reducir significativamente los armónicos y las corrientes tanto en fase como en el neutro, de manera general. No se generan problemas especialmente destacables salvo las corrientes de pico medidas en el momento del arranque de la instalación en frío, puesto que los valores obtenidos en este caso, son del orden del doble para los LED que para las lámparas de descarga MH. (Figura 7)

La forma de solucionar los problemas de desconexión en el encendido, debido a los picos de corriente, se pueden solventar mediante arranque escalonado con temporizadores o mediante la sustitución de las protecciones magnetotérmicas por equipos de protección con curva lenta tipo D.

Bibliografía

Abd El-Moniem, M.S., Azazi, H,Z, & Mahmoud, S.A.(2014). A current sensorless power factor correction control for LED lamp driver. *Alexandria Engineering Journal*,53(1),69-79. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2014.01.001>)

Arias, M., Vázquez, A. & Sebastián, J. (2012). An overview of the AC-DC and DC-DC converters for LED lighting applications. *Automatika—Journal for Control, Measurement,*

Electronics, Computing and Communications, 53(2),156-72.
(<http://dx.doi.org/10.7305/automatika.53-2.154>)

Atkinson,, B.A., McMahon, J.E. & Nadel, M. (1993). A review of U.S. and Canadian lighting programs for the residential, commercial, and industrial sectors. *Energy*, 18,145-158. (doi: 10.1016/ 0360-5442(93)90098-X)

Blanco AM, Stiegler R, Meyer J. Power quality disturbances caused by modern lighting equipment (CFL and LED). In: 2013 IEEE PowerTech, Grenoble, France, 2013: 1-6. (<http://dx.doi.org/10.1109/PTC.2013.6652431>).

CDP Cities 2015 Report. City of Sydney. <https://www.cdp.net/cities>.

De Almeida, A., Santos, B., Paolo, B., & Quicheron, (2014). M. Solid state lighting review–potential and challenges in Europe. Renewable and Sustainable. *Energy Reviews*,34,30-48. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.029>).

Fan, S., Wang, Y., Wang, Y., & Geng, L. (2013). Minimized start-up transient and initial inrush current of boost converter for LED lighting. In (ED) IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), (pp.1-69). Barcelona, Spain, (<http://dx.doi.org/10.1109/ISIE.2013.6563665>).

Fiaschi, D., Bandinelli, R., & Conti, S. (2012). A case study for energy issues of public buildings and utilities in small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables. *Applied Energy*. 97,101-14. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.008>).

Gil-de-Castro, A., Moreno-Muñoz, A., Larsson, A., de la Rosa, J.J.G.,& Bollen, M,H,J.(2013). LED Street lighting: A power quality comparison among street light technologies. *Lighting Research & Technology*,45(6),710-28. (<http://dx.doi.org/10.1177/1477153512450866>).

Gómez-Lorente, D., Rabaza, O., Espin Estrella, A. & Peña-Garcia, A. (2014).A new methodology for calculating roadway lighting design based on a multi-objective evolutionary algorithm. *Expert System with Applications*, 40,(6), 2156-2164. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.10.026>

Hermoso-Orzáez, M,J. & de Andrés Díaz, J,R. (2012).Comparative study of energy-efficiency and conservation systems for ceramic metal-halide discharge lamps. *Energy*, 52,258-64. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.050>).

Hermoso-Orzáez, M,J, Rijas Sola, J,I & Gago-Calderón, Alfonso. (2016). Electrical consequences of large-scale replacement of metal halide by LED luminaires. *Lighting Research & Technology*, 0: 1–12. (Accepted 30 March 2016). <http://dx.doi.org/10.1177/1477153516645647>

Jägerbrand, A.K. (2015). New framework of sustainable indicators for outdoor LED (Light Emitting Diodes) lighting and SSL (Solid State Lighting).*Sustainability*.7(1),1028-63. (<http://dx.doi.org/10.3390/su7011028>).

Kinzev, B.(2015).Restoring Detroit’s Street Lighting System. (U.S. Department of Energy No. PNNL-24692). Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US).

Lobao, J.A., Devezas, T. & Catalao, J.P.S. (2015). Energy efficiency of lighting installations: Software application and experimental validation. *Energy Reports*,1,110-15. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2015.04.001>).

Marimuthu, C. & Kirubakaran, V. (2015). Carbon and energy payback period for the solar street light using life cycle assessment. *Carbon*, 8(3), 1125-30.

Northeast Group, llc. Global LED and Smart Street Lighting: Market Forecast (2015 – 2025). Volume II April 2015 | www.northeast-group.com.

Ozadowicz, A., & Grela, J. (2014). The street lighting integrated system case study, control scenarios, energy efficiency. In: (Ed) IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA); (pp.1-4). Barcelona, Spain, (<http://dx.doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005345>).

Pipattanasomporn, M., Rahman, S., Flory, I. & Teklu, Y. (2014). Engineering design and assessment of a demand-sensitive LED streetlighting system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 136-46.

Radulovic, D., Skok, S., & Kirincic, V. (2011). Energy efficiency public lighting management in the cities. *Energy*, 36, 1908 -1915. (doi: 10.1016/j.energy.2010.10.016)

Rea, M.S. (2010). The future of LED lighting: Greater benefit or just lower cost. *Lighting Research and Technology*, 42, 370. (doi:10.1177/1477153510390978)

Rode, I., Moriarty, M., Beattie, C., McIntosh, J. & Hargroves, K. (2014). Technologies and Processes to Reduce Carbon Intensity of Main Road Projects (p. 2). *A research report and annotated bibliography for the Sustainable Built Environment National Research Centre* (SBEnc) by the Curtin University Sustainability Policy Institute.

Ryckaert, W.R., Smet, K.A.G., Roelandts, I.A.A., Van Gils, M., & Hanselaer, P. (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy and Buildings* 2012;49:429-36. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.042>).

Saunders, H.D., & Tsao, J.Y. (2012). Rebound effects for lighting. *Energy Policy*, 49, 477-478. (doi: 10.1016/j.enpol.2012.06.050).

Svilainis, L. (2008). LED directivity measurement in situ, *Measurement*, 41, 647-654, (doi:10.1016/j.measurement.2007.09.003)

Tech, H., Leber, D., & Schwarzmeier, A. (2014). A novel approach to efficient inrush current limitation for LED power applications. In: International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, En (ED) *Renewable Energy and Energy Management* (PCIM Europe), (pp-1-8). Nuremberg, Germany

Valentova, M., Quicheron, M., & Bertoldi, P. (2015). LED projects and economic test cases in Europe. *International Journal of Green. Energy*, 12(8), 843-51. (<http://dx.doi.org/10.1080/15435075.2014.887568>).

Wen-Shing, S., Chih-Hsuan, T., & Yi-Han, H. (2011). Simulating the Illuminance and Efficiency of the LEDs Used in General Household Lighting, *Physics Procedia*, 19, 244-248. (doi: 10.1016/j.phpro.2011.06.156).

Zalewski, S. (2012). A proposed method for the calculation of light emitting diode road lighting. *Lighting Research and Technology*, 44, 186-196. (doi: 10.1177/1477153511423881)