

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN BASADOS EN TECNOLOGÍA LED Y REGULACIÓN PUNTO A PUNTO

M^a Victoria Vázquez Godoy

Martín Cobos Rodríguez

Aida Redrado Bonilla

Agencia Extremeña de la Energía

Fernando López Rodríguez

Antonio Ruiz Celma

Universidad de Extremadura

Abstract

Promoting energy efficiency is a key factor to meet Kyoto Protocol targets. According to this order, it will be needed to take into account the responsibility in consumption energy management and introducing energy efficiency measures.

In local field, approximately 60% of energy consumption is due to the public street lighting.

Last years Extremenian Energy Agency, as technical consultant on the region of Extremadura has carried out Energy Optimization Plans of Public Street Lighting addressing the problems in these lighting systems.

At present, a pilot project to improve energy efficiency by introducing LED technology in compliance with current regulations is running in a public street lighting in San Francisco de Olivenza, a modest town near the Spanish-Portuguese border and Badajoz (Spain).

The current paper carries out a comparative study between the original and future situation that provides data regarding actual energy savings obtained, verified by the RD 1890/2008 lighting controls. Thus, it will provide the key points for the implementation of public street lighting with LED technology in Portuguese and Extremenian towns.

Keywords: *Energy Saving; Street Lighting; Energy Efficiency; LED; Reglamento Eficiencia Energética de las Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEAE)*

Resumen

El fomento de la eficiencia energética es un factor clave para cumplir los objetivos del Protocolo de Kyoto. Bajo este propósito será necesario tener en cuenta la responsabilidad en la gestión del consumo y la introducción de medidas de eficiencia energética. En el ámbito municipal, aproximadamente el 60% del consumo energético es debido al alumbrado público. En los últimos años la Agencia Extremeña de la Energía, como servicio a la Comunidad Autónoma de Extremadura, ha llevado a cabo Planes de Optimización Energética de Instalaciones de Alumbrado Público abordando la problemática existente en las instalaciones presentes. En la actualidad se está ejecutando un proyecto piloto de mejora de la eficiencia energética introduciendo tecnología led en el alumbrado urbano de

S. Francisco de Olivenza, municipio próximo a la frontera hispano-portuguesa y a Badajoz (España), en cumplimiento con la normativa vigente. En la presente ponencia se lleva a cabo un estudio comparativo entre la situación actual y futura que arroje datos reales en cuanto al ahorro energético obtenido, verificando mediante controles luminotécnicos el RD 1890/2008. De esta forma, se obtendrán los puntos clave para la puesta en marcha de instalaciones de alumbrado público con tecnología led en municipios extremeños y portugueses.

Palabras clave: *Ahorro energético; alumbrado público; eficiencia energética; LED; Reglamento Eficiencia Energética de las Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEAE)*

1. Introducción

La evolución de la tecnología led en el alumbrado exterior es una realidad. Gracias a la vertiginosa carrera tecnológica en la mejora de la eficiencia de los LEDs [1], combinada con los avances en los sistemas ópticos, hoy por hoy es ya una fuente de luz de mayor eficiencia y calidad luminosa que el vapor de sodio de alta presión (VSAP) y el vapor de sodio a baja presión (VSBP). Pero lo que realmente está haciendo que esta tecnología se imponga aún más rápido, es su capacidad de reducir los niveles lumínicos respecto a otras tecnologías de baja reproducción cromática.

Con el ánimo de acelerar la adopción de esta tecnología el siguiente trabajo reseñará un caso práctico de experiencia en alumbrado público con LEDs.

La localidad de San Francisco de Olivenza es una población rural cuya creación se incluyó dentro del Plan Badajoz, contando con una vida de 54 años. Se trata de una pedanía perteneciente al municipio de Olivenza.

El alumbrado público que se concibió en su momento era acorde a la situación social existente en esa época, sufriendo reformas y modificaciones a lo largo de su vida según las necesidades.

Básicamente, la instalación de alumbrado público de San Francisco de Olivenza constaba de unos faroles de diseño exclusivo y fabricados de forma artesanal en chapa de acero, pletinas y redondos y la instalación de un casquillo para una lámpara. Posteriormente se incluyó en estas luminarias un equipo de encendido externo para poder utilizar lámparas de descarga, así como bases fusibles de protección individual.

En la actualidad, esta instalación, además de obsoleta, presentaba serias deficiencias en cuanto al nivel de iluminación y uniformidad lumínica, no cumpliendo los requisitos exigidos en el Reglamento de eficiencia energética de las Instalaciones de alumbrado exterior (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008).

Ante esta situación, el Ayuntamiento de Olivenza, debido a la necesidad de mantener este servicio esencial en unas condiciones óptimas y seguras, además de adoptar todas las medidas necesarias encaminadas a la mayor eficiencia de las instalaciones y al ahorro energético, llevó a cabo la reforma integral del alumbrado de la citada localidad, bajo el cumplimiento de la normativa vigente, previendo pueda servir como directriz a seguir en futuras ampliaciones.

Como objetivos básicos se estableció mejorar las instalaciones de alumbrado existentes, abastecer las calles de una mejor visibilidad nocturna, optimizar el consumo energético y reducir el impacto ambiental, aplicando para ello las últimas tecnologías en iluminación.

2. Fases del proyecto.

2.1 Descripción de la situación inicial

Como se comentó anteriormente, la localidad de San Francisco de Olivenza poseía un alumbrado público compuesto por luminarias tipo farol y líneas montadas sobre fachada, existiendo algunas en columna con alimentación subterránea. Las lámparas utilizadas eran de Vapor de Mercurio (VM [2]), principalmente de 125W de potencia unitaria (potencia del equipo auxiliar no incluida), no disponiendo de ningún sistema de regulación.

Figura 1: Luminaria tipo instalación alumbrado público inicial.



El municipio de San Francisco de Olivenza dispone de un solo contrato de suministro eléctrico con un único centro de mando que abastece a toda la instalación de alumbrado público.

Los parámetros de contratación con la compañía eléctrica Endesa Energía XXI, S.L. se indican en la Tabla 1:

Tabla 1: Parámetros de Contratación Eléctrica

Tarifa	Potencia Contratada	Discriminación Horaria	Modo Facturación
T.U.R. BT \leq 10 kW	9,13 kW	Con D.H. (2 Periodos)	Modo 1 (Sin maxímetro)

Según los datos recogidos en las facturas eléctricas, el consumo energético anual durante el periodo 2010 ascendió a 45.244 kWh, con un coste económico de 5.041 €

La instalación inicial estaba compuesta por los puntos de luz que se recogen en la Tabla 2:

Tabla 2: Componentes Instalación Alumbrado Inicial

Nº Puntos de Luz	Tipología	Potencia unitaria (incluido equipo auxiliar)	Luminaria
34	VM	139W	Columna Farol
4	VM	139W	Columna Globo
6	VM	139W	Brazo Globo
86	VM	139W	Brazo Farol

Total Puntos de Luz: 130
Total Potencia Instalada: 18.070W

2.2 Fase de ejecución

La sustitución de los puntos de luz existentes por otros de tecnología más eficiente, además de una modernización tecnológica de las instalaciones de alumbrado público, da lugar a una valorización más intensa del territorio y a una mejora del aspecto urbano de la zona afectada.

Aprovechando la elevada eficiencia de los componentes de la nueva instalación de alumbrado, es posible obtener al mismo tiempo un ahorro energético y un aumento sustancial de los niveles actuales de iluminación.

Las actuaciones que se han llevado a cabo para lograr los objetivos de ahorro y eficiencia energética se indican a continuación:

- Sustitución de las luminarias existentes tipo farol por luminarias viario-residencial, sobre columnas de 7 metros de altura. Las luminarias se instalarán con LED, lo cual repercutirá en un mayor ahorro energético, ahorro de mantenimiento y calidad lumínica, entre otros aspectos.
- Mayor iluminación en zonas que requieren una mayor visibilidad, como en escaleras, aumentando el número de puntos de luz.
- Uniformidad en el color de luz: zonas como el parque en las que se mantiene la luminaria actual, se procede al cambio de lámpara vapor de mercurio por lámpara de halogenuro metálico cerámico, de tal manera que toda la pedanía tenga el mismo color de luz.
- Se desinstala las luminarias tipo globo para instalar columna tradicional y luminaria tipo farol villa con lámpara halogenuro metálico cerámico.
- Se realiza una ampliación para dar servicio a futuro acerado de acceso al centro de enseñanza.
- Implantación en las luminarias de sistemas de control punto a punto.
- Renovación del cuadro general de mando por otro acorde a las nuevas instalaciones.

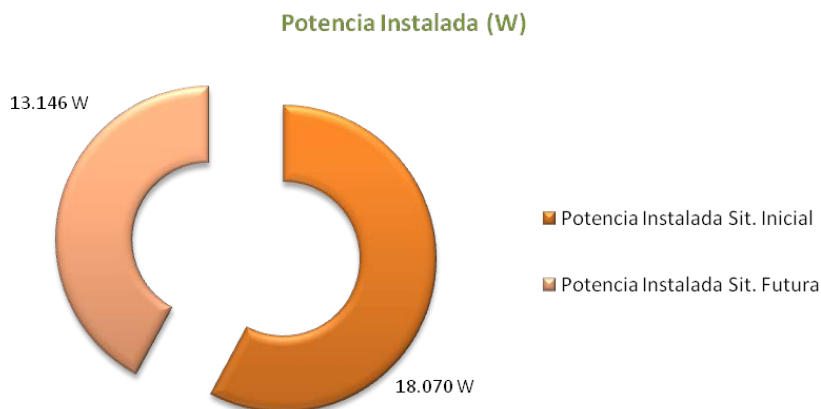
En la Tabla 3 se representan los componentes de la instalación en la situación prevista.

Tabla 3: Componentes Instalación Alumbrado Previsto

Nº Puntos de Luz	Tipología	Potencia unitaria (incluido auxiliar)	Luminaria
16	LED	56W	Columna
104	LED	77W	Columna
3	Halogenuro Metálico	170W	Proyector
40+1 Triple	Halogenuro Metálico Cerámico	84W	Columna Farol
8	Fluorescente Compacta	15W	Baliza
Total Puntos de Luz: 174			
Total Potencia Instalada: 13.146W			

De esta forma, se representa en la Figura 2 un gráfico donde se compara la potencia instalada en la situación inicial y la situación prevista.

Figura 2: Potencia teórica instalada en alumbrado público en el municipio de San Francisco de Olivenza (Situación inicial y prevista)



Como homenaje a ese alumbrado público formado por los citados faroles artesanales, se proyecta una actuación especial en la zona de la Plaza de la Iglesia, el arco de entrada y la zona del centro cultural consistente en la reparación de los mismos, modificación de la posición de la lámpara, mejora de la eficacia luminosa con la instalación de un reflector de tipo extensivo en la parte superior interna y de recuperadores de flujo de aluminio anodizado, así como difusores de policarbonato opal antivandálico.

La modernización tecnológica de las instalaciones de alumbrado público se consigue esencialmente cambiando los componentes tecnológicamente obsoletos por componentes de nueva generación, fabricados con las técnicas más modernas, e introduciendo tecnologías innovadoras, en este caso LEDs.

En San Francisco de Olivenza se ejecuta la instalación con luminarias diseñadas por Enel Sole [3]. Este diseño se basa en un sistema con lámpara de LEDs y balasto electrónico dimmable integrado.

Las características técnicas de la luminaria Archilede se describen en la Figura 3.

Figura 3: Características técnicas luminaria Archilede

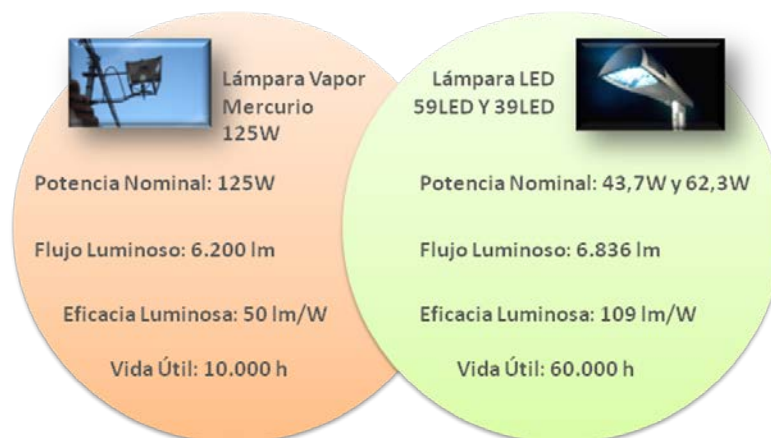


Bastidor/Cubierta:	Aluminio Fundido
Cierre:	Policarbonato
Óptica:	Aluminio sometido a cromatación
Clase aislamiento:	II/III
Grado de protección:	IP67
Clasificación fotométrica:	Cut-Off
Temperatura Máx. Junta:	39led: 61°C 59led y 84led: 63°C
Potencia:	39led: 56W (auxiliares inclusive) 59led: 77W (auxiliares inclusive) 84led: 107W (auxiliares inclusive)
Eficacia lámpara:	> 100 lm/W
Rendimiento cromático:	IRC > 80
Temperatura de Color:	5.600 K

Según datos de fabricante, en condiciones de laboratorio, el sistema Archilede posee una vida media de cada lámpara LED de más de 60.000 horas, lo que equivaldría a unos 15 años de funcionamiento, mientras que para los accesorios electrónicos se establece un valor superior a las 200.000 horas (más de 45 años).

En la Figura 4 se establece la relación existente entre la tipología de lámpara utilizada en la instalación inicial y la prevista, indicándose los valores característicos de las mismas.

Figura 4: Comparativa de la tecnología de la lámpara existente (VM) frente a la prevista (LED)

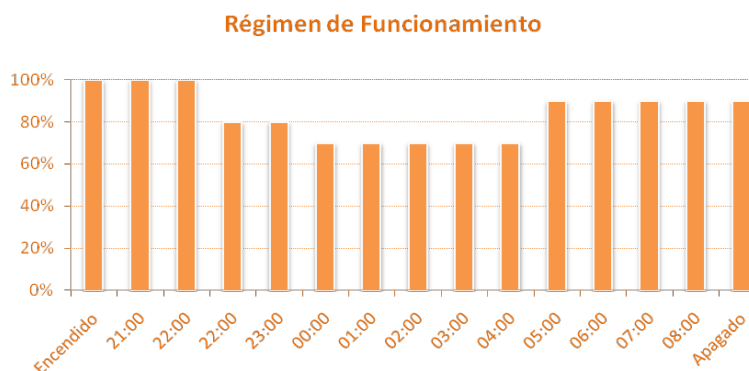


El sistema instalado en San Francisco de Olivenza posee una electrónica inteligente que permite regular cada punto de luz según los perfiles establecidos para ello.

El régimen implementado en el sistema de regulación se expresa en la Figura 5, disponiendo de los intervalos siguientes:

- 100% desde el encendido hasta 2 horas antes de medianoche
- 80% desde 2 horas antes de medianoche hasta 1 hora antes de la medianoche
- 70% desde 1 hora antes de medianoche hasta 4 horas después de medianoche
- 90% desde 4 horas después de medianoche hasta el apagado.

Figura 5: Régimen de operación de la instalación de alumbrado público mediante balastos electrónicos con autoaprendizaje

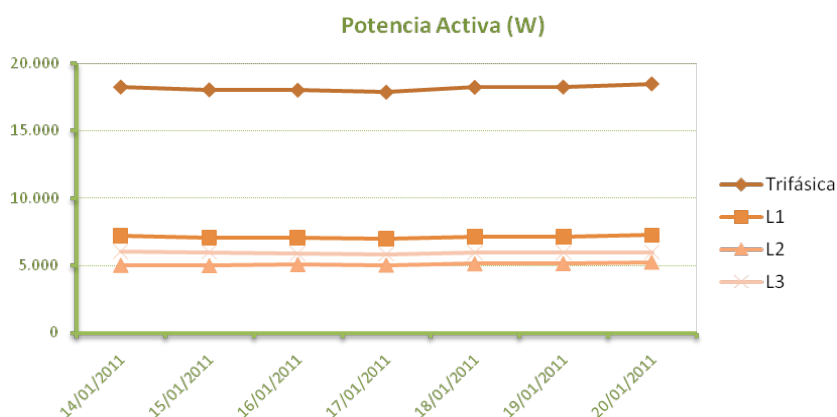


Es importante indicar que cualquiera de estos perfiles de regulación puede modificarse a voluntad según los requerimientos existentes en la zona.

3. Fases del proyecto.

Tras la instalación del analizador de redes [4], los valores obtenidos durante el periodo de medición del 14 al 20 de enero de 2011 arrojan los resultados indicados en la Figura 6.

Figura 6: Valores medios de potencia activa medidos en la instalación de alumbrado público en la situación de partida



La potencia instalada teórica en el municipio de San Francisco de Olivenza antes de la sustitución de la instalación de alumbrado era de 16.250 W, estando compuesta por luminarias tipo brazo farol con lámparas de tecnología vapor de mercurio de 125 W de potencia.

Según se observa en la Figura 6, la potencia activa media real está en torno a los 18 kW, valor superior al establecido. Entre otros motivos, debe tenerse en cuenta para la justificación de esta diferencia el envejecimiento que sufren las lámparas de vapor de mercurio durante su vida útil que eleva la tensión de alimentación.

Tras la sustitución del alumbrado por luminarias con lámparas de tecnología led, renovación y adaptación de algunos faroles tradicionales recuperados con lámpara de tecnología Halogenuro Metálico Cerámico de 70W y sustitución de luminarias tipo globo por luminarias tipo farol ornamental dotadas de reflector con lámpara de tecnología Halogenuro Metálico Cerámico de 70W, la potencia instalada teórica supone 13.671W.

De esta forma, la potencia instalada en San Francisco de Olivenza se reduce, tras la puesta en marcha de la nueva instalación de alumbrado, en un 33,91% respecto a la situación existente.

Una vez puesta en marcha la nueva instalación, se realiza un nuevo registro mediante el uso de un analizador de redes durante el periodo de medición del 11 al 17 de marzo de 2011, cuyos valores arrojan los resultados indicados en la Figura 7.

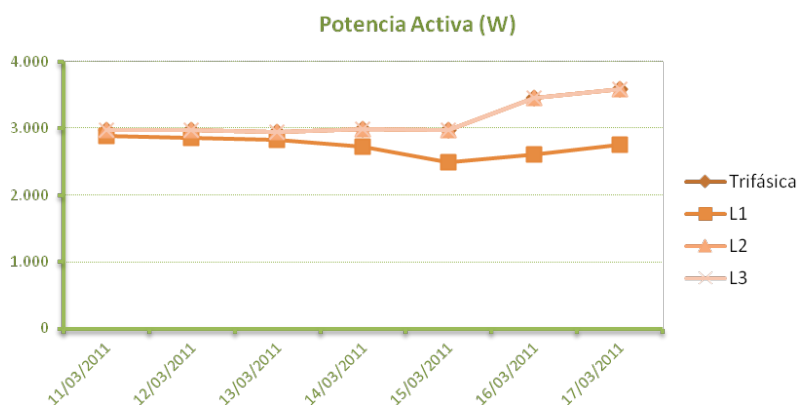


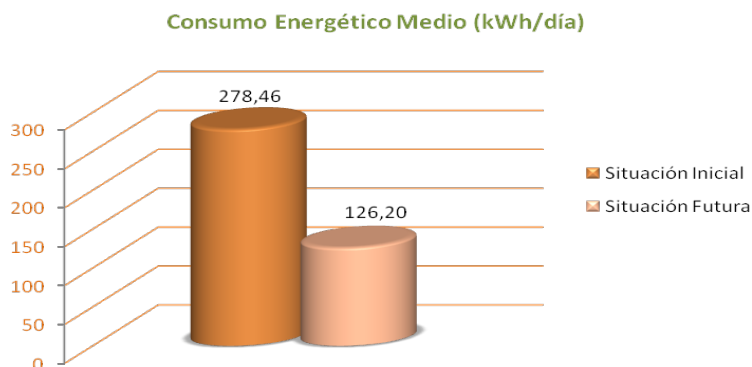
Figura 7: Valores medios de potencia activa medidos en la instalación de alumbrado público en la situación prevista

Tal y como se observa, la potencia activa media baja de forma considerable en la nueva situación respecto a la inicial, valor superior al previsto en proyecto, el cual se estimaba en un 33,91%.

Por tanto, teniendo en cuenta la reducción de potencia y considerando el ahorro conseguido con la regulación del flujo luminoso, se concluye que la reducción de potencia equivalente es de un 52%.

Si extrapolamos los resultados al consumo energético de la instalación se establece un consumo energético medio de 278,46 kWh/día, estimando 126,20 kWh/día para la situación prevista. Estos resultados arrojan un ahorro energético de un 54,68%, teniendo en cuenta la nueva potencia de la lámpara y la instalación del sistema de regulación (Figura 8).

Figura 8: Resumen de resultados



4. Resultados luminotécnicos. Eficiencia energética de la instalación de alumbrado público.

Conforme al cumplimiento de la normativa según el RD 1890/2008, se verifican los valores obtenidos para la clase de alumbrado correspondiente a la mayoría de las calles existentes en San Francisco de Olivenza, establecida como ME4b.

Tras la comparación de las mediciones luminotécnicas realizadas en las calles se comprueba un nivel de iluminación significativamente mejor, con un aumento promedio de 7,08 lux (valor por debajo del exigido en normativa para esta clase de alumbrado, correspondiente a 11,25 lux) a 19,91 lux, esto es, una mejora del 181,29%.

Esta mejora se consigue gracias a la distribución uniforme de los puntos de luz y al uso de tecnología eficiente, en este caso LED, así como del resto de componentes de la instalación de alumbrado (luminaria, óptica, equipos auxiliares, etc.).

Cabe destacar el hecho de que en algunas calles se produce una bajada de niveles de iluminación, como es el caso de la calle Ronda de Portugal, donde pasamos de 27,86 lux a 17,31 lux, pero la percepción es excelente gracias a la mejora de la uniformidad global y a la polarización que se consigue con la iluminación LED. Esto es posible gracias a la precisión del sistema óptico, que concentra todo el flujo en la vía principal, evitando así que se cree un efecto túnel y la aparición de puntos oscuros en la vía.

En la Figura 9 se representan dos viales característicos del municipio, concretamente se representa la situación inicial con tecnología obsoleta donde se puede apreciar la aparición de puntos oscuros debido a un nivel de iluminación insuficiente y falta de uniformidad frente a la situación prevista con tecnología led. De esta forma comprobamos la mejora sustancial experimentada.

Figura 9: Nivel de iluminación y Uniformidad lumínica en Ronda del Sol y C/ Buenavista en la situación actual y la prevista respectivamente.



Igualmente se establece un aumento promedio de la Eficiencia Energética de la Instalación de alumbrado de un 7,51 m²lux/W a 39,95 m²lux/W, esto es, una mejora del 432,28% respecto de la situación inicial. (Tabla 4).

Este aumento en la eficiencia energética de la instalación se debe básicamente al uso de lámparas eficientes con un bajo consumo energético.

Tabla 4. Resultados Mediciones Luminotécnicas en los viales más representativos de San Francisco de Olivenza

VIAL	Situación Inicial		Situación Prevista	
	Iluminancia Media (E_m)	Eficiencia Energética (ϵ)	Iluminancia Media (E_m)	Eficiencia Energética (ϵ)
C/ Ronda de Portugal	27,86 lux	18,83 m ² lux/W	17,31 lux	34,26 m ² lux/W
C/ Doña María	4,76 lux	5,64 m ² lux/W	18,69 lux	36,19 m ² lux/W
C/ Luna	10,52 lux	9,99 m ² lux/W	21,20 lux	44,11 m ² lux/W

Basándonos en lo indicado en el REEAE, el valor promedio del Índice de Clase Energética en la situación inicial obtenido tras las mediciones luminotécnicas y aplicación de las fórmulas anteriormente descritas, es de 0,91, mientras que para las condiciones establecidas en la nueva situación es de un 0,24. Esto supone que la letra que se asigna a la instalación pasa de una B a una A, aumentando de manera significativa la eficiencia energética de la misma.

5. Resultado económico.

El análisis económico teórico resultante de las medidas implantadas en San Francisco de Olivenza arroja un ahorro económico por punto de luz de 14,13 €/año, lo que supone un ahorro total de la instalación de alumbrado de 1.836 €/año.

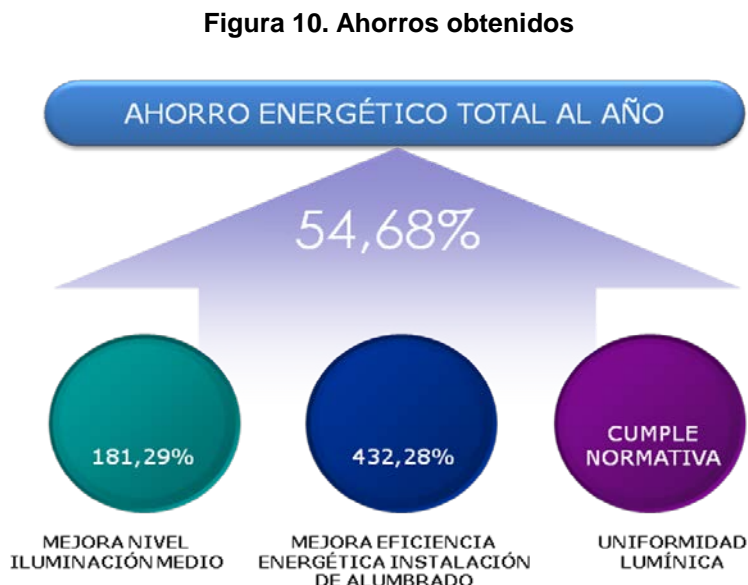
Según se indicó anteriormente, el coste económico real (datos de facturación) ascendió a 5.041 € en el periodo 2010. Analizando los datos anteriores, la renovación de la instalación de alumbrado de San Francisco de Olivenza supone un ahorro económico porcentual del 36,4%.

6. Conclusiones

1. Para el caso concreto de San Francisco de Olivenza, la renovación de la instalación de alumbrado público por tecnología led ha supuesto un antes y un después. La mejora del nivel de iluminación medio establecido en las vías del municipio junto con el ahorro energético conseguido han hecho que este proyecto piloto puede considerarse un

modelo para llevar a cabo en poblaciones similares a la estudiada, promoviendo de esta forma el futuro comercial, residencial y turístico de estas zonas rurales.

En la Figura 10 se puede ver de forma esquemática los resultados globales obtenidos.



2. Según los resultados obtenidos tras la aplicación de las expresiones establecidas en la normativa de aplicación, los valores de uniformidad garantizan una luz uniforme, sin zonas de sombra, sin dispersión de flujo en el hemisferio superior, contribuyendo de forma eficaz a las políticas de reducción de la contaminación luminosa, con el fin de crear un entorno ecosostenible.

No obstante, en algunos viales del municipio estudiado se han registrado valores de uniformidad lumínica que rondan el límite establecido para el cumplimiento de lo exigido en el REEAE.

3. La iluminación con LED provoca que, con niveles lumínicos inferiores a los inicialmente existentes, exista una percepción de que aquellos son mayores, debido fundamentalmente a la mejora de la uniformidad y a la polarización que se consigue con este tipo de iluminación, lo que determina menores potencias eléctricas y por tanto un ahorro energético y una mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado público.
4. De acuerdo con lo sugerido por ANFALUM [5], todo tipo de modificación y actualización de los alumbrados debería llevarse a cabo por parte de aquellas empresas que han ofrecido y ofrecen garantías de cuanto suministran.

Conviene contrastar todo tipo de ofertas ante las firmas profesionales del sector, cuyo crédito y prestigio no son fruto de improvisaciones ni oportunismos. No debemos olvidar que las luminarias son productos con una vida útil media superior a 25 años en algunos casos.

5. El cambio tecnológico requiere de un tiempo que determina la experiencia y el posterior análisis de lo que se va incorporando. En España se ha comenzado a instalar nuevas fuentes de luz (LEDs) para concretas aplicaciones, teniendo en cuenta que no todo vale por igual ni ofrece las mismas garantías. Hay un proceso lógico que requiere de tiempo y

que, en su momento, dará las aportaciones precisas para obtener la mejor alternativa para cada aplicación.

Un resumen de los resultados obtenidos se ofrece en la Figura 11.

Figura 11. Resumen de resultados

Potencia Instalada Inicial	19.890 W
Potencia Instalada Prevista	13.146W
% Reducción Potencia	33,91%
Consumo Energético Medio Inicial	278,46 kWh/día
Consumo Energético Medio Previsto	126,20 kWh/día
Ahorro Energético Estimado	54,68%
PORCENTAJE MEJORA EFICIENCIA ENERGÉTICA INSTALACIÓN	
Nivel de Iluminación Inicial	7,08 lux (mínimo según normativa 11,25 lux)
Nivel de Iluminación Previsto	19,91 lux
Nivel de Iluminación (Em)	181,29%
Eficiencia Energética (ϵ)	432,28%
Clase Energética Nueva Instalación	A

Referencias

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008. RD 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.

- [1] LED, ó Diodo Emisor de Luz (Light Emitting Diode). Es un diodo, un dispositivo electrónico que, polarizado directamente entre el ánodo (positivo) y el cátodo (negativo), emite luz al producirse el fenómeno conocido como electroluminiscencia.
- [2] Tecnología Vapor de Mercurio (VHg). Tipología de lámpara de descarga cuyo funcionamiento está basado en la excitación de los átomos o moléculas como consecuencia de los choques con electrones o iones acelerados por un campo eléctrico, transformándose en energía radiante una parte de la energía cinética de la partícula incidente. En este caso, se obtiene la emisión luminosa por la descarga eléctrica en el seno de mercurio gasificado y de un gas inerte, generalmente argón. Actualmente, según la normativa española, queda prohibido su uso para alumbrado vial.
- [3] Ente Nazionale per l'Energía eLettrica. Se trata de la mayor empresa italiana del sector eléctrico. Propietaria de la empresa española Endesa.
- [4] Analizador de redes. Instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas. Miden directamente o calculan los parámetros eléctricos de una red, normalmente en baja tensión, tales como tensión, intensidad, potencia, energía activa, energía reactiva, factor de potencia, etc.
- [5] ANFALUM. Asociación Española de Fabricantes en Iluminación.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Agencia Extremeña de la Energía

Phone: + 34 924 262 161

Fax: + + 34 924 258 421

E-mail: mcobos.agenex@dip-badajoz.es

ferlopez@unex.es

URL: <http://www.agenex.org>