05-016

ENERGY AUDIT OF PUBLIC LIGHTING. PROPOSAL FOR IMPROVEMENT IN AN URBANIZATION

Cruces Caro, Antonio David⁽¹⁾; Cerezo Narváez, Alberto⁽¹⁾; Otero Mateo, Manuel⁽¹⁾

(1)Universidad de Cádiz

One of the consequences of the real estate bubble in Spain suffered between 1998 and 2007 is the combination of an expansive growth of cities with a reduction in their density, what has left to the titular organisms -corporations mostly municipal- of the developed public spaces, mainly green areas and roads, an inheritance that conditions and limits their administration capacity, due to the conservation duty of the facilities received and their operating cost. Given the situation in which the electricity market is located and the increasingly demanding environmental regulations, the tendency of public administrations and organizations is to find a solution to the high emissions of polluting gases and decrease in maintenance costs and electric billing. Due to the great potential of LED technologies, an energetic study of the public lighting of an urbanization is carried out, analyzing the implementation of a series of corrective measures, in order to reduce consumption -and, therefore, the levels of CO2 emissions-, studying the amortization of the necessary investments, justifying compliance with current regulations and concluding with the technical and economic viability of the proposed actions.

Keywords: public lighting; energy audit; telemanagement; LED technologies; CO2 emissions; urbanization efficiency

AUDITORÍA ENERGÉTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO. PROPUESTA DE MEJORA EN UNA URBANIZACIÓN

Una de las consecuencias de la burbuja inmobiliaria en España sufrida entre 1998 y 2007 es la combinación de un crecimiento expansivo de las ciudades con una reducción de su densidad, lo que ha dejado a los organismos -corporaciones municipales en su mayoría- titulares de los espacios públicos desarrollados, principalmente zonas verdes y viales, una herencia que condiciona y limita su capacidad de administración, debido al deber de conservación de las instalaciones recepcionadas y a su coste de funcionamiento. Ante la situación en la que se encuentra el mercado de energía eléctrica y las cada vez más exigentes normativas medioambientales, la tendencia de las administraciones y organismos públicos es buscar una solución a las elevadas emisiones de gases contaminantes y disminución en costes de mantenimiento y facturación eléctrica. Debido al gran potencial de las tecnologías LED, se realiza un estudio energético del alumbrado público de una urbanización, analizando la puesta en marcha de una serie de medidas correctoras, con el fin de reducir el consumo -y, por tanto, los niveles de emisiones de CO2-, estudiando la amortización de las inversiones necesarias, justificando el cumplimiento de la reglamentación vigente y concluyendo con la viabilidad técnica y económica de las acciones propuestas.

Palabras clave: alumbrado público; auditoria energética; telegestión; tecnologías LED; emisiones CO2; eficiencia urbanística

Correspondencia: alberto.cerezo@uca.es



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

1. Introducción

El crecimiento urbano durante los años centrales de la "burbuja inmobiliaria" ha producido un cambio significativo en lo relativo a las densidades edificatorias, bajando sustancialmente y situándose por debajo de las 35 viviendas por hectárea. Asimismo, la comunidad autónoma de Andalucía ha representado, entre el año 1995 y 2006 casi el 20% de todo el crecimiento residencial experimentado en España (Pozueta, 2015). Durante este período, se han llegado a alterar -incluso destruir- 2 hectáreas diarias en los primeros 500 metros de la costa española (Greenpeace, 2013). Entre los 35 municipios más destruidos de las costas de España, 5 de los más afectados son andaluces -y 3 de ellos gaditanos-. En paralelo a este desarrollo desmedido de la sociedad urbana, crece el consumo energético, lo que junto a la tendencia alcista de los precios de la energía, hace necesaria la aplicación de medidas orientadas a la optimización de la demanda y el fomento del ahorro y la eficiencia energética. A este respecto, las instituciones municipales se encuentran ante el desafío de conseguir una gestión energética que les permita abordar el crecimiento económico y lograr el bienestar social, contribuyendo, además, a la sostenibilidad de los recursos no renovables y a la preservación del medio natural.

Las instalaciones de alumbrado público suponen para los Ayuntamientos una fuente de consumo energético elevado, puesto que son sistemas con largos períodos de funcionamiento -pueden llegar a suponer entre un 50% y un 70% del consumo municipal-, por lo que las mejoras en su gestión puede llegar a implicar un gran ahorro energético, lo que supone un aspecto muy atractivo para las Administraciones y Comunidades en particular y la sociedad en general, tanto a nivel económico, como medioambiental, al reducirse el consumo de energía de origen no renovable, las emisiones de gases de efecto invernadero, el nivel de contaminación lumínica y el consumo de recursos materiales, al optarse por fuentes lumínicas con una mayor vida útil. El brillo o resplandor del cielo nocturno -luz perturbadora, molesta y con capacidad de generar alteraciones nerviosas-, consecuencia del modo de vida actual, afecta al ecosistema urbano, como subraya el Decreto 357/2010 sobre la protección de la calidad del cielo nocturno (Andalucía, 2010). Sin embargo, una instalación de iluminación exterior optimizada brinda mayor confianza de circulación, cuida la reflexión y desperdicio hacia el cielo, conserva los ciclos naturales de la flora y fauna y racionaliza el consumo energético (Pozo, 2014).

Con el propósito de identificar medidas de eficiencia y ahorro energético que contribuyan al desarrollo sostenible en el ámbito municipal, se emprenden auditorías energéticas de las instalaciones de alumbrado público, basadas en el análisis situacional que posibilita conocer el modo de explotación, funcionamiento y prestaciones de las instalaciones de alumbrado, el estado de sus componentes, consumo energético y costes de explotación. A partir del "Protocolo de auditoría energética de las instalaciones de alumbrado público exterior" del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía -IDAE- (2008), se han de llevar a cabo las siguientes actividades:

- Inventariar los principales elementos que forman la instalación: cuadros de contadores, cuadros de mando y protección y puntos de luz
- Realizar una evaluación técnica del funcionamiento y diagnóstico de las principales deficiencias, con observaciones relativas a las medidas correctoras que deberían adoptarse para una perfecta explotación de la instalación
- Proponer las principales actuaciones con las que conseguir la máxima disminución del consumo energético de la instalación, sin perjudicar los parámetros de calidad y servicio de la misma
- Valorar la viabilidad técnica y cuantificar en términos energéticos y económicos las propuestas de actuación

2. Objetivos

La presente investigación tiene por objeto analizar técnicamente el estado actual de unas instalaciones de alumbrado público existentes en una urbanización de un municipio costero andaluz -y gaditano- de menos de 20.000 habitantes, para proponer una serie de medidas correctoras con el fin de reducir el consumo energético y, por tanto, los niveles de emisiones de CO₂. Seguidamente se realiza un estudio económico para valorar la viabilidad de acometer las inversiones necesarias para ejecutar las mejoras en el alumbrado público exterior y analizar la amortización de las mismas, considerando la inclusión de una subvención enmarcada dentro del Programa de Construcción Sostenible de la Junta de Andalucía (2016), una vez se ha comprobado que se cumplen los requisitos solicitados para acogerse a la misma. Finalmente, se propone la sustitución de luminarias se realiza con el propósito de obtener:

- Menor consumo
- Menor mantenimiento
- Menor contaminación lumínica
- Larga vida útil
- Alta eficiencia energética

3. Caso de estudio

El alcance del trabajo comprende la sustitución de las luminarias existentes en el alumbrado público de una urbanización, como muestra la Figura 1, que abarca 105 hectáreas de uso residencial destinado a 2ª vivienda, por otras de mayor eficiencia energética -con tecnología led-, además de añadir equipos de control y medida para la regulación del flujo luminoso y consumo de las instalaciones -mediante telegestión-. A partir del análisis del estado actual de las luminarias existentes, se realizan una serie de estudios lumínicos previos, localizando luminarias que satisfagan las necesidades lumínicas -uniformidad, iluminancia, etc.-, y proponiendo nuevos equipos, más eficientes, con posibilidad de regular el flujo lumínico, controlar las horas de funcionamiento y monitorizar su consumo. Con ello, se pretende obtener un ahorro considerable en consumo energético y, por consiguiente, recuperar sobradamente la inversión. Asimismo, al instalar equipos de control y gestión, se sustituyen las células fotoeléctricas por un sistema basado en un reloj astronómico, mejorando el mantenimiento del alumbrado.

Figura 1: Situación y Emplazamiento de la Urbanización a auditar





Igualmente, se solicita un incentivo tramitado a través de la Agencia Andaluza de la Energía, cofinanciado con Fondo Europeo de Desarrollo Sostenible -FEDER-, denominado Programa de Incentivos para el Desarrollo Sostenible de Andalucía 2020. El objetivo de estos fondos es fomentar inversiones de ahorro y eficiencia energética y aprovechamiento de energías renovables en edificios de uso privado o público e infraestructuras ubicadas en la Comunidad Autónoma de Andalucía, que ayuden a la sociedad a mejorar las condiciones en las que usa la energía, a través de obras de adecuación para la reducción de la demanda de la energía en edificios y mejora en la eficiencia de las instalaciones de iluminación, entre otros. El incentivo, para servicios municipales en poblaciones menores de 20.000 habitantes, es del 60% del total de la actuación, siempre que se cumplan una serie de exigencias técnicas:

- Renovación de uno o varios equipos que mejoren la eficiencia energética de los actuales, sin que se incremente la potencia instalada
- Reducción del consumo anual
- Inclusión de sistemas de gestión energética que hagan uso de tecnologías de información y comunicación -TIC- de uso exclusivo para iluminación, que incluyan funciones de control, conectividad, zonificación y que permitan una gestión remota de las instalaciones, en caso de proyectos destinados a la implantación o mejora de sistemas de control de encendido y regulación
- Aplicación del RD 1890/2008, REEIAE, para alumbrado de viales
- Certificado previo y posterior de las instalaciones

Las instalaciones de alumbrado público objeto de estudio fueron instaladas y puestas en marcha en los años 2007-2008, hace aproximadamente 10 años. La tecnología más eficiente para atender a las necesidades del alumbrado público de los viales, en el contexto geográfico, social y económico concurrente, era la que proporcionaban las luminarias con lámparas de descarga de Vapor de Sodio de Alta Presión -VSAP-, dotadas de reflectores y difusores para conseguir uniformidad en la vía y distribuir el flujo luminoso. También eran utilizadas las lámparas de mercurio -Hg-, si bien presentaban consumos muy elevados y, prácticamente, sin posibilidad de regulación. El sistema de iluminación exterior con luminarias de VSAP ha sido utilizado masivamente hasta que se fueron introduciendo en el mercado las luminarias con tecnología LED, ofreciendo una mayor prestación energética y rendimiento lumínico y un menor mantenimiento de las mismas, provocando que muchas localidades se planteen reemplazar sus sistemas de iluminación urbana exteriores, puesto que las inversiones, previo estudio técnico y económico, se acaban recuperando en no muchos años, debido al gran ahorro de energía que se va consiguiendo.

Con la entrada en vigor del Real Decreto 1890/2008 (España, 2008) por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior -REEIAE- y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, se regulan definitivamente los niveles de iluminación, así como las uniformidades, luminancias y otros parámetros que garantizan una iluminación eficiente de una vía. El desarrollo del trabajo consiste en la sustitución de las luminarias existentes por otras de mayor eficiencia energética y sostenibilidad medioambiental, incluyéndose la telegestión de los cuadros del alumbrado público, acogiéndose a la subvención antes referida y particularizando los períodos de funcionamiento y sus intensidades de funcionamiento. No se modifican columnas, báculos y brazos existentes, respetándose, por tanto, la disposición de los puntos de luz, interdistancias, alturas y tipologías de viales, dando lugar a que la única variable interviniente, para el cumplimiento del REEIAE, es la potencia y fotometría de las luminarias, así como su control telemático, compatible con otros servicios orientados a lograr ciudades más inteligentes (Castro, Jara & Skarmeta; 2013).

De acuerdo al Protocolo de Auditoría Energética de las instalaciones de alumbrado público exterior del IDEA (2008), ha de recopilarse la siguiente información:

- Localización:
 - Denominación área de estudio
 - o Situación de los cuadros de alumbrado mediante coordenadas UTM
 - Número de luminarias
 - Tipo de luminarias
- Datos generales:
 - o Tensión
 - Protecciones
 - o Resistencia de tierra
 - Sistema de encendido, regulación y control
- Datos energéticos:
 - o Consumo
 - Potencia contratada
 - o Tarifa contratada

3.1. Análisis situacional

El uso general de la urbanización es residencial, segunda vivienda principalmente, que está formada por diferentes viales pero tipológicamente semejantes, cuyas características, para definir las clases de alumbrado, son las siguientes:

Velocidad típica del usuario:
 Baja, entre 5 y 30 km/h

Principales usuarios de la vía: Todos (tráfico, ciclistas, peatones, etc.)

Grado de dificultad de navegación: Alto
Densidad de peatones y ciclistas: Alta
Complejidad del campo de visión: Alta
Riesgo de criminalidad del área: Alto
Elementos de restricción del tráfico: Sí
Vehículos estacionados: Sí

verticulos estacionados.

Reconocimiento facial:

Los requisitos de diseño de la propuesta de sustitución de luminarias pueden sintetizarse en:

- Condiciones de partida:
 - o Misma posición de puntos de luz
 - Misma tipología de viales
 - Misma altura del punto de luz
- Construcción sostenible:
 - o Renovación de equipos que mejoren la eficiencia de los actuales
 - o Reducción del consumo anual
 - o Necesidad de incluir tecnología ICT
- Cumplimiento de normativa:
 - Real Decreto 1890/2008 Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior -REEIAE-
 - Decreto 357/2010 Reglamento para la protección de la calidad del cielo nocturno frente a la contaminación lumínica

De acuerdo al RD 1890/2008 y Decreto 357/2010, las clases de alumbrado de los viales de la urbanización son:

- Zona general de clase S1, lo que supone que la lluminancia media será de 15 lux sin sobrepasar un 150% y la iluminancia mínima será de 5 lux
- Zona de acceso a la playa de clase CE2 -viales tipo E, con espacios peatonales de conexión, paradas de autobús con espera y flujo alto de peatones, cuyos niveles mínimos de iluminación son de 20 lux, con una uniformidad media superior a 0,40

3.2. Resultados lumínicos

A continuación, se recopilan los datos de campo, de forma ordenada, clara y concisa, para valorar el estado de partida de estas instalaciones. Seguidamente, se diseña una identificación de las instalaciones, divididas por los CMP, tal y como muestra la Figura 2, como cabecera de cada una de ellas, los cuales, a su vez, se dividen en zonas. Luego, se analizan en su conjunto, cuadro a cuadro, y finalmente, se realiza un estudio global del alumbrado de la urbanización.

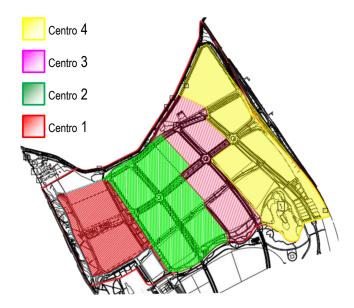


Figura 2: Delimitación de la urbanización por los CMP

En las Tablas 1 al 4, se resumen los datos diferenciales de localización -zonas, marca y serie de luminarias, unidades, disposición, interdistancias, alturas de apoyo y grados de protección-, generales -anchos de calzada, clases de alumbrado, iluminancias medias, iluminancias recomendadas y uniformidades, energéticos –fuentes de luz, potencias de lámparas, consumos de equipos, potencias instaladas, consumos, eficiencias energéticas, índices de eficiencia y emisiones de CO₂- y etiquetas.

Las luminarias actuales, tanto las de VSAP como las de Hg, disponen de condensadores, no siendo estos necesarios con las nuevas luminarias con tecnología LED. Por el contrario, si bien las luminarias actuales no pueden regularse, las nuevas luminarias, gracias a la telegestión, sí que pueden. Por otro lado, las horas de funcionamiento contabilizadas son 4481 para las VSAP, 2085 para las Hg y 4311 para las nuevas LED -tras ajustar según el REEIAE-. Asimismo, tanto las luminarias actuales como las propuestas disponen de puesta a tierra y pueden dividirse en dos familias:

- Funcionales (Indal IQD1, LEC Spal MV)
- Decorativas (Socelec Ioana, BJC Delta, LEC Lydia)

Tabla 1. Cuadro resumen del CMP 1

Conceptos	Estado Previo					Propuesta						
Zonas	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Marca	In	;	BJC			LI	EC					
Serie	IQ	D1		Ioana	••••••	Delta	Spa	IMV		Ly	dia	
Unidades	23	23	15	24	45	8	23	23	15	24	45	9
Disposición	Р	U	Т		U		Р	U	Т		U	
Interdistancia (m)	25	25	18	18	14	15	25	25	18	18	14	15
Apoyo (m)	9	9 5					9 5					
Grado Protección		65							6	67		
Ancho Calzada (m)	18	3		6		4	18	3		6		4
Clase Alumbrado			CE2			S2		CE2 S				S2
Iluminancia Media (lux)			2	21			23,67	32,54	20,41	21,87	24,58	10,82
I. Recomendada (lux)			2	20			20				10	
Uniformidad (lux)	0,015	0,02		0,015		0,02	0,66	0,46	0,41	0,44	0,6	0,63
Fuente de luz	VS	AP		H	lg		LED					
Potencia Lámparas (W)	250	100		12	25		141 56,7 35,7			35,7		20
Consumo Equipos (W)	27	16		1	4		8	10		7		4
Potencia Instalada (W)	6370	2670	2065	3335	6255	1250	3425	1535	640	1025	1920	215
Consumo (kWh/año)	28550	11955	9345	14950	28030	5605	14775	6615	2760	4420	8285	930
Eficiencia Energética	34,12	13,58	16	,32	12,69	9,06	71,49	36,59	51,62	55,32	48,35	27,05
Índice de Eficiencia	1,28	0,51	0,61		0,48	0,34	2,53	1,14	1,96	2,10	1,67	2,50
Emisiones CO2 (Tm/año)	17,7	7,4	15,1	9,3	17,4	3,5	9,2	4,1	4,5	2,7	5,1	0,6
Etiqueta	Α		D		Е	F				A		

Tabla 2. Cuadro resumen del CMP 2

Conceptos	Estado Previo							Prop	uesta			
Zonas	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
Marca			Indal			BJC			LE	EC		
Serie			IQD1	••••••		Delta		(Spal MV	/	••••••	Lydia
Unidades	31	14	15	24	22	12	31	14	15	24	22	13
Disposición	Т	U	Т	l)	U	Т	U	Т	l)	U
Interdistancia (m)	20	40	17	20	25	20	20	40	17	20	25	20
Apoyo (m)	9	5	9		9	5	9	5	9		9	5
Grado Protección		65							6	7		
Ancho Calzada (m)	16	4	12	24	18	2	16	4	12	24	18	2
Clase Alumbrado	S1				CE2	S1	S1 CE2			CE2	S1	
lluminancia Media (lux)	22	1	0	22	21	22	20,45	19,68	20,3	16,2	21,68	18,6
I. Recomendada (lux)		1	5		20	15		1	5		20	15
Uniformidad (lux)		0		0,01	0,015	0	0,663	0,344	0,291	0,503	0,44	0,509
Fuente de luz			VSAP			Hg			LE	ED		
Potencia Lámparas (W)	250	100		250		125	91,6	16	141	91,6	141	20
Consumo Equipos (W)	27	16		27		14	11	3	8	11	8	4
Potencia Instalada (W)	8590	1625	4155	6650	6095	1810	3180	265	2235	2460	3280	310
Consumo (kWh/año)	38480	7275	18620	29790	27305	8100	13710	1145	9635	10615	14130	1345
Eficiencia Energética	25,42	13,79	7,36	38,12	34,12	6,33	63,78	165,73	27,79	75,79	65,48	31,00
Índice de Eficiencia	0,93	0,77	0,41	1,4	1,28	0,23	2,43	6,42	1,17	3,2	2,46	1,14
Emisiones CO2 (Tm/año)	23,9	4,5	11,5	18,5	16,9	5,1	8,5	0,7	6,0	6,6	8,8	0,8
Etiqueta	В	D	E		4	F			/	4		

Tabla 3. Cuadro resumen del CMP 3

Conceptos	Estado Previo								Prop	uesta		
Zonas	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
Marca	Indal							LEC				
Serie			IQ	D1					Spa	l MV		
Unidades	35	16	24	5	5	7	35	16	24	5	5	7
Disposición	Т	U	Р	Т	U	Т	Т	U	Р	Т	U	Т
Interdistancia (m)	20	40	2	0	40	20	20	40	2	0	40	20
Apoyo (m)	9	5	9	9	5	9	9	5	(9	5	9
Grado Protección		65							6	7		
Ancho Calzada (m)	16	4	24	14	7	14	16	4	24	14	7	14
Clase Alumbrado			S	1			S1					
lluminancia Media (lux)	22	10	22		10		17,56	15,07	15,97	18,6	16,57	20,1
I. Recomendada (lux)			1	5			15					
Uniformidad (lux)			()			0,65	0,364	0,527	0,32	0,40	0,387
Fuente de luz			VS	AP			LED					
Potencia Lámparas (W)	250	100	250	250	100	250	91,6	16	91,6	141	16	141
Consumo Equipos (W)	27	16	27	27	16	27	11	3	11	8	3	8
Potencia Instalada (W)	9695	1855	6650	1385	580	1940	3590	305	2460	745	95	1045
Consumo (kWh/año)	43445	8315	29790	6205	2600	8690	15480	1310	10615	3210	410	105
Eficiencia Energética	25,42	13,79	38,12	10,11	24,14	10,11	54,77	126,91	74,71	34,95	244,19	37,77
Índice Eficiencia	0,93	0,77	1,4	0,56	1,34	0,56	2,23	5,52	3,17	1,39	10,20	1,45
Emisiones CO2 (Tm/año)	26,9	5,2	18,5	3,9	1,6	5,4	9,6	0,9	6,6	2,0	0,3	0,6
Etiqueta	В	D	Α	Е	Α	Е			-	4		

Tabla 4. Cuadro resumen del CMP 4

Conceptos	Estado Previo							Prop	uesta				
Zonas	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	
Marca		Indal		Socelec		LEC				•			
Serie		IDQ1	•••••	loana				Spal MV			Lydia		
Unidades	14	35	12	8	4	4	14	35	12	8	4	3	
Disposición	Р	Т	С	Р	Į	J	Р	Т	С	Р	Į	J	
Interdistancia (m)		20		15	20	30		20		15	20	30	
Apoyo (m)	9				5		9				5	-	
Grado Protección		65					67						
Ancho Calzada (m)	25	14	18	9	2	3	25	14	18	9	2	3	
Clase Alumbrado		S1						S1				2	
lluminancia Media (lux)	2	22		12	22	10	15,97	17,2	21	16,27	10,7	13,6	
I. Recomendada (lux)			1	15			15			10	10		
Uniformidad (lux)	0,015	0,045		()		0,515	0,65	0,686	0,44	0,49	0,22	
Fuente de luz		VSAP			Hg				LE	ED			
Potencia Lámparas (W)		250			125		91	1,6	76,6	68	20	35,7	
Consumo Equipos (W)		27			14		1	1	6	7	4	7	
Potencia Instalada (W)	3880	9695	3325	1110	555	415	1435	3590	990	600	95	125	
Consumo (kWh/año)	17380	43445	14895	4980	2490	1870	6190	15480	4440	2585	415	550	
Eficiencia Energética	39,71	22,24	13	11,65	6,33	6,47	77,83	46,94	91,53	29,29	17,83	28,67	
Índice Eficiencia	1,46	0,82	0,72	0,58	0,23	0,36	3,30	1,93	3,44	1,24	0,99	1,33	
Emisiones CO2 (Tm/año)	10,8	26,9	9,2	3,1	1,6	1,2	3,8	9,6	2,8	1,6	0,3	0,3	
Etiqueta		A D F							1	4			

A continuación, en la Tabla 5 se resumen las principales características de la instalación -potencia instalada, consumo y emisiones de CO_{2^-} , por CMP y, en la Tabla 6, de toda la instalación. Tras la sustitución de 305 luminarias VSAP -Indal IQD1- y 120 Hg -100 Socelec loana y 20 BJC Delta- por 425 luminarias LED -305 LEC Spal MV y 120 LEC Lydia-, como sintetiza la Figura 3, se obtiene una reducción en el consumo energético y en las emisiones de CO_2 del 63,8%.

Tabla 5. Resumen de la Auditoría Energética por CMP

Conceptos	Estado Previo	Propuesta	Reducción (%)		
	Cuad	ro 1			
Potencia Instalada (W)	21.945	8.760	60,1%		
Consumo (kWh/año)	98.435	37.785	61,6%		
Emisiones CO2 (Tm/año)	70,4	26,2	62,8%		
	Cuad	ro 2			
Potencia Instalada (W)	28.925	11.730	59,4%		
Consumo (kWh/año)	129.570	50.580	61,0%		
Emisiones CO2 (Tm/año)	80,4	31,4	60,9%		
	Cuad	ro 3			
Potencia Instalada (W)	22.105	8.240	62,7%		
Consumo (kWh/año)	99.045	31.130	68,6%		
Emisiones CO2 (Tm/año)	61,5	20	67,5%		
	Cuad	ro 4			
Superficie (m²)	1.40	05	-		
Potencia Instalada (W)	18.980	6.835	64,0%		
Consumo (kWh/año)	85.060	29.660	65,1%		
Emisiones CO2 (Tm/año)	52,8	18,4	65,2%		

Tabla 6. Resumen de la Auditoría Energética de la Urbanización

Conceptos	Estado Previo	Propuesta	Reducción (%)
Potencia Instalada (W)	91.955	35.565	61,3%
Consumo (kWh/año)	412.110	149.155	63,8%
Emisiones CO2 (Tm/año)	265,1	96,0	63,8%

Figura 3: Resumen de Luminarias





3.3. Resultados económicos

Para finalizar, se procede a realizar un balance económico de la intervención, discutiendo los términos de costes, beneficios, amortizaciones, subvención por el Programa de Construcción Sostenible y el tipo de interés anual.

En relación al coste, es necesario afrontar una inversión inicial de 437.217,6 €, incluyendo gastos generales y beneficio industrial, en concepto de material, maquinaria y mano de obra. Asimismo, hay que incluir el mantenimiento del servidor Wellight para propiciar la telegestión, con una cuota inicial de 360,00€ e incremento anual del 6 % -primer año de servicio incluido en el presupuesto inicial-, y la limpieza de las luminarias, cada 4 años, a razón de 2.007,90€ y una tasa de actualización del 3% anual.

En relación al beneficio, en primer lugar, se trata de estimar el ahorro anual de energía, a partir del análisis de la facturación por CMP, a partir del RD 1164/2001 (España, 2001), para el establecimiento de las tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica, estudiando los términos de facturación por potencia, de energía activa, comparando las modalidades discriminatorias de 2 -tarifas 2.0, 2.1- o 3 períodos -tarifas 3.0-y sistemas de ahorro por reducción de flujo, y de potencia reactiva. Seguidamente, es preciso incidir sobre el término de energía activa, y de cómo se logra mediante la reducción de flujo que permite la telegestión. Las luminarias comienzan con el ocaso al 100% de su flujo luminoso hasta la tercera hora de servicio, que bajan un 30%. 1 hora más tarde, se vuelve a disminuir hasta un 40% del flujo luminoso total hasta pasada cinco horas nocturnas, momento en el que los puntos de alumbrado volverían a funcionar con el 100% del flujo luminoso, para terminar el ciclo con el corte del alumbrado a la hora que marque el reloj astronómico con el orto correspondiente. La Tabla 7 resume la diferencia económica por consumo energético y modificaciones contractuales en el año 1, momento en que se considera una subida del 10% anual.

Estado Previo Propuesta Diferencia CMP 1 12.880,88 € 4.222,96 € 8.657,92 € CMP 2 14.297,18€ 4.319,99 € 9.977,19€ CMP 3 19.366,94 € 4.687,36 € 14.679,58 € CMP 4 11.728,82 € 3.451,31 € 8.277,51 € 41.592,20 € Total 58.273,82 € 16.681,62€

Tabla 7. Ahorro en la factura eléctrica de la urbanización

Los costes en mantenimiento habituales para lámparas de VSAP y Hg, con sus equipos auxiliares de encendido (balastros y reactancia), consisten en la reposición de lámparas y equipos fundidos, cuya vida útil es de 15.000 horas de funcionamiento en condiciones adecuadas pero que, por el hecho de estar expuestas a sobretensiones, se estima una vida útil corregida de 6.000 horas. Tanto lámparas como los equipos se sustituyen, en la primera hipótesis, cada 2 años-, empezando por el año 0. Con la sustitución de luminarias, en concepto de mantenimiento se ahorran 21.876,09€ cada dos años, con un incremento del 3% anual.

Otra cuestión a tener en cuenta es el cálculo del valor residual de las luminarias del estado previo –un total de 425 luminarias VSAP -funcionales- o Hg -decorativas-, al ser sustituidas por otras de tecnología LED. Considerando una depreciación del 8% anual, se estima una valor residual de la instalación actual del 20% sobre el precio de las luminarias, 532,00€ para las VSAP y 326,00€ para las Hg. Con esta operación, se estima un valor residual de 44.456.00 €.

En relación a la amortización, y pese a que los módulos LED con tensión estabilizada tienen una vida útil de hasta 70.000 horas -a 4311 hora por año de funcionamiento se alcanzarían unos 16 años-, se elige una amortización lineal a 10 años, coincidiendo con los 10 años de garantía en las luminarias que ofrece el fabricante, por lo que los costes de reposición podrían reducirse.

Por último, a partir de las bases reguladoras para la concesión de incentivos para el desarrollo energético sostenible de Andalucía en el período 2017-2020, la actuación 31 CS recoge obras de adecuación para la reducción de la demanda de energía e instalaciones energéticamente eficientes en los edificios e infraestructuras de las ciudades. La cantidad a incentivar, dado que la urbanización pertenece a un municipio con menos de 20.000 habitantes -según el censo de 31/12/2015-, se eleva al 60% del total del presupuesto de contrata, 262.330,63€.

La Tabla 8 presenta el estudio económico a 10 años de la auditoría energética. Considerando una tasa de actualización del 7%, se obtiene un VAN a 10 años -vida económica- de 304.304,67 € y un TIR del 43,8%.

Tabla 8. Estudio económico a 10 años

Denominación	Total	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	
Ahorro													
Energía	662.872,55	0,00	41.592,20	45.751,42	50.326,56	55.359,22	60.895,14	66.984,65	73.683,12	81.051,43	89.156,57	98.072,23	
Residuo	44.446,00	44.446,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mantenimiento	183.653,79	26.329,09	0,00	27.908,84	0,00	29.583,37	0,00	31.358,37	0,00	33.239,87	0,00	35.234,26	
Suma	890.972,34	70.775,09	41.592,20	73.660,26	50.326,56	84.942,58	60.895,14	98.343,02	73.683,12	114.291,30	89.156,57	133.306,49	
Costes													
Telegestión	-4.136,87	0,00	0,00	-360,00	-381,60	-404,50	-428,77	-454,49	-481,76	-510,67	-541,31	-573,79	
Limpieza	-4.256,75	0,00	0,00	0,00	0,00	-2.007,90	0,00	0,00	0,00	-2.248,85	0,00	0,00	
Amortización	-174.887,08	0,00	-17.488,71	-17.488,71	-17.488,71	-17.488,71	-17.488,71	-17.488,71	-17.488,71	-17.488,71	-17.488,71	-17.488,71	
Suma	-183.280,70	0,00	-17.488,71	-17.848,71	-17.870,31	-19.901,10	-17.917,47	-17.943,20	-17.970,47	-20.248,22	-18.030,01	-18.062,49	
Beneficios													
Beneficio	707.691,64	70.775,09	24.103,49	55.811,55	32.456,25	65.041,48	42.977,67	80.399,82	55.712,65	94.043,08	71.126,56	115.244,00	
Impuesto 21%	148.615,24	14.862,77	5.061,73	11.720,42	6.815,81	13.658,71	9.025,31	16.883,96	11.699,66	19.749,05	14.936,58	24.201,24	
Beneficio Neto	559.076,40	55.912,32	19.041,76	44.091,12	25.640,44	51.382,77	33.952,36	63.515,86	44.012,99	74.294,03	56.189,98	91.042,76	
Amortización	174.887,08		17.488,71	17.488,71	17.488,71	17.488,71	17.488,71	17.488,71	17.488,71	17.488,71	17.488,71	17.488,71	
Recursos	733.963,48	55.912,32	36.530,47	61.579,83	43.129,15	68.871,48	51.441,06	81.004,57	61.501,70	91.782,74	73.678,69	108.531,47	
					9	Salida							
Desembolso	-437.217,65-	437.217,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Subvención	262.330,63	262.330,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Suma	-174.887,09	174.887,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Flujo Caja	559.076,39-	118.974,77	36.530,47	61.579,83	43.129,15	68.871,48	51.441,06	81.004,57	61.501,70	91.782,74	73.678,69	108.531,47	
Descuento		1	0,9346	0,8734	0,8163	0,7629	0,7130	0,6663	0,6227	0,5820	0,5439	0,5083	
Actualización	334.304,67-	118.974,77	34.141,37	53.783,82	35.206,32	52.542,05	36.677,48	53.973,34	38.297,11	53.417,55	40.073,84	55.166,55	
Acumulación	-	118.974,77	-84.833,39	-31.049,57	4.156,75	56.698,80	93.376,28	147.349,63	185.646,73	239.064,29	279.138,13	334.304,67	

4. Conclusiones

El caso de estudio se centra en dar prioridad a paliar el gasto energético y la contaminación lumínica. La propuesta de sustitución de luminarias en una urbanización residencial extensiva para segunda vivienda, reemplazando lámparas de VSAP y Hg por lámparas LED es viable, tanto desde el punto de vista económico, reduciendo drásticamente el consumo y la emisión de gases contaminantes -casi 2/3-, como medioambiental, mitigando la contaminación lumínica.

También es conveniente indicar que, gracias al control sobre los horarios y flujos lumínicos, se mejora la calidad del servicio a los ciudadanos y se fomenta el impulso a las ciudades inteligentes. Para concluir, gracias a la elección de la empresa fabricante de las nuevas luminarias, se fomenta la economía local y se depura el ciclo de vida del proceso.

Los resultados obtenidos -con un VAN de 304.304,67 € para 105 hectáreas y un TIR del 43,8%- apoyan la exportación del modelo a otras localidades, especialmente aquellas con menos de 20.000 habitantes situadas en la comunidad autónoma de Andalucía que, con una densidad de viviendas relativamente baja, se encuentran con unas infraestructuras urbanas a mantener que merman considerablemente sus presupuestos.

5. Referencias

- Andalucía (2010). Decreto 357/2010 para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía -BOJA- de 3 de agosto de 2010, 159,* 77-336. ISSN: 2253-802X.
- Andalucía (2016). Orden para la aprobación de las bases reguladoras para la concesión de incentivos para el desarrollo energético sostenible de Andalucía en el período 2017-2020. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía -BOJA- de 30 de diciembre de 2016, 249, 77-336. ISSN: 2253-802X.
- Castro, M.; Jara, A.J.; Skarmeta, A.F.G. (2013). Smart lighting solutions for smart cities. 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 1374-1379. Barcelona: IEEE. DOI: 10.1109/WAINA.2013.254.
- España (2001). Real Decreto 1164/2001 para el establecimiento de las tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. *Boletín Oficial del Estado BOE- de 8 de noviembre de 2001*, 268, 40618-40629. ISSN 0212-033X.
- España (2008). Real Decreto 1890/2008 para la aprobación del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior -REEIAE- y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. *Boletín Oficial del Estado -BOE- de 19 de noviembre de 2008. 279.* 45988-46057. ISSN 0212-033X.
- Greenpeace (2013). Los municipios más destruidos de España. Obtenido el 10/04/2018. http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/reports/Municipios-mas-destruidos-de-la-costa/
- IDAE (2008). Protocolo de auditoría energética de las instalaciones de alumbrado público exterior. Comité Español de Iluminación -CEI-: Madrid.
- Pozo, J. (2014). Análisis de eficiencia del alumbrado público en el sector El Girón en la ciudad de Quito. *MASKANA I+D+ingeniería 5(E)*, 1-9. ISSN 1390-6143.
- Pozueta, J. (2015). Rasgos urbanísticos del crecimiento residencial asociado a la burbuja inmobiliaria, 1995-2006. *CIUR Cuadernos de Investigación Urbanística 100(E)*, 87-94. ISSN 1886-6654.