

# Análisis comparativo y justificativo para el cambio a leds en instalaciones con lamparas de halogenuro metálico.

## Un paso más hacia la eficiencia energética en iluminación urbana

Manuel Jesús Hermoso-Orzáez de la Universidad de Jaen y José Ramón de Andrés-Díaz de la Universidad de Málaga

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5803>

### 1. INTRODUCCIÓN

El Alumbrado Público supone el 2,3% en el consumo eléctrico mundial [1], y hasta el 80% de la energía eléctrica municipal consumida [2] [3] [4]. Es por ello que en la actualidad son numerosos los estudios y análisis orientados a mejorar la eficiencia y el ahorro energético de los sistemas de iluminación [8].

Desde hace algún tiempo parecía que iba a ser posible sustituir lámparas de descarga tradicionales de halogenuros metálicos (en adelante HM), por luminarias con tecnología LED con prestaciones lumínicas semejantes [5]; de hecho se estimaban ahorros del consumo eléctrico entre el 20 y 40% con amortizaciones en torno a los 4 años [6] [7].

La iluminación urbana con LEDs, es ya una realidad que poco a poco tiende a imponerse en nuestras ciudades [9]. Aunque aún no parece recomendable realizar sustituciones masivas, debido a su elevado coste, la tendencia de los precios a la baja y la mejora en su eficiencia en los últimos años permite pensar, que a corto o medio plazo, puedan ser totalmente competitivas en términos de rentabilidad económica y prestaciones [11] [12].

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. En cambio los LEDs, al ser direccionales, tienen la ventaja de que todo su flujo de luz, sin apenas pérdidas llega al elemento que se quiere iluminar.

Este estudio de un caso real a un año, pretende analizar y exponer los resultados (lumínicos, eléctricos, energéticos y económicos) de sustituir 45 luminarias HM, por el mismo número de luminarias con tecnología LED.

## 2. MATERIALES, EQUIPOS DE MEDICIÓN Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

### 2.1. CARACTERÍSTICAS, NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE LAS LÁMPARAS ANALIZADAS

Para el estudio se ha seleccionado un vial residencial, en la localidad de Fuengirola (Málaga), con un ancho total de 12 m, (calzada de 6 m, y aceras de 3 m). De acuerdo con el Reglamento de Eficiencia Energética R.D 1890/2008 ITC-EA-02, dicho vial se ha clasificado como calle residencial suburbana con aceras para peatones y velocidad limitada (D3) y clase de alumbrado normal (S3).

Existían 45 farolas de 3,5 m de altura, equipadas con lámparas de HM de 150 W CDO TT/828, (Fig.1). Posteriormente, y tras estudio luminotécnico justificativo que se presenta más adelante, se sustituyeron por otras 45 luminarias de 51 W equipadas con LEDs ETI-LED60 NP (Fig.2) (Tabla.1)

Como pueden verse en las Figuras anteriores, existe gran similitud en la fotometría de las luminarias, aunque la de la luminaria LED, debido a su direccionalidad, aprovecha mejor el flujo luminoso emitido.

La fuente de alimentación para los LEDs serán del tipo LDAC-1500 I-75 con las siguientes características: (ver Tabla 2).



#### Lámpara:

Tipo: HM 150 T  
Potencia: 150 W (171.0 W)  
T color: 3000° K

Flujo: 14.5 Klm  
Casquillo: E40  
Eficacia luminosa: 93 lm/W

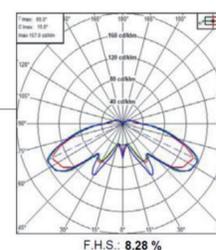


Fig.1: Luminaria ATP mod Villa lámpara HM -150 W. Fuente: Catalogo ATP



#### Lámpara:

Tipo: LED ETILED60 NP 4000 K  
Potencia: 51 W (51.0 W)  
T color: 4000° K

Flujo: 4.059 Kl  
Casquillo: PLACA  
Eficacia luminosa: 80 lm/W

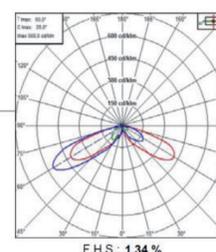


Fig. 2: Luminaria ATP modelo Villa y con fuente de luz LED 51 W. Fuente: Catalogo ATP

Tipo lámpara HM	Marca	Potencia (W)	Tº Color (ºK)	Flujo Luminoso (Lm)	Eficacia luminosa (Lm/W)	Vida Util (h)
MASTER CITY CDO-TT/828	PHILIPS	150	2.800	13.500	90	15.000
ETILED	ETI S.A	51	4.000	4.059	80	50.000

Tabla 1: Características de las fuentes de luz. Fuente: Catálogos PHILIPS y ETI

LDAC-1500 I-75	
Tension nominal:	110-240 Vac
Factor de potencia:	> 0,95
Corriente de salida:	1200 mA
Potencia máxima	75 W
Corriente de arranque:	45 A (230 Vac)
Frecuencia	50 Hz
Potencia Nominal	51 W
Rango de tensión	90-295 Vac
Corriente de fuga:	<0,75 mA (240 Vac)
Corriente de arranque:	45 A (230 Vac)

Tabla 2: Características de la fuente de alimentación de los LEDs. Fuente: ETI

Las lámparas de HM cuentan con equipo completo con reactancia, arrancador y condensador de corrección de f.d.p modelo VSI 15/22-3AF-150 de la marca ELT S.L.

## 2.2. CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS TEÓRICOS DE PARTIDA

Como se ha indicado antes, y previamente a la selección de los equipos de sustitución, se realizó estudio lumínico teórico para lámparas HM y LED (fig. 3 y 4), usando programa de Calculo Luminotécnico SIBA, elaborado para ATP por el Laboratorio de Luminotecnia de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Como puede verse por los valores obtenidos, teóricamente, las calidades de iluminación van a mantenerse a pesar de haber cambiado a una tecnología que nos va a permitir reducir el consumo en más de un 60%. Con ambas disposiciones cumple conforme a la Tabla 8 de ITC-EA-2 del Reglamento de Eficiencia Energética R.D 1890/2008. Para una situación de proyecto D3 y clase de alumbrado S3 tiene valores equivalentes a los valores de iluminancia media 7,5 lux e iluminancia mínima 1,5 lux recogidos en dicha tabla.

## 2.3. METODOLOGÍA Y EQUIPOS DE MEDIDA

Siguiendo las recomendaciones de estudios similares [13] [14] [15] la metodología consistió en:

1. Recopilar datos de los parámetros eléctricos registrados diariamente, durante un año, con el equipo de medida TELEASTRO fabricado por AFEISA, instalado en cabecera, contrastando estos resultados con el analizador de red tipo AR6 de CIRCUTOR.

2. Realizar mediciones luminotécnicas con el luxómetro marca GOSSEN modelo MAVOLUX 5032C/B del Área de Proyectos de Ingeniería de la Escuela de Ingenieros de la Universidad de Málaga [10].

Estos datos nos servirán para estudiar en su conjunto, contrastar resulta-

dos y realizar un análisis comparativo, para las 45 luminarias, antes y después de la sustitución de las lámparas de descarga HM por las lámparas LEDs. De esta forma podremos evaluar las minoraciones en el consumo y contrastar, comparativamente, los resultados al realizar la sustitución.

### 2.3.1. Equipos para la medida de los parámetros eléctricos

Los equipos utilizados para las medidas de los diferentes parámetros eléctricos son:

1. Equipo de medida TELEASTRO cuyas características y rango de medidas, se indican a continuación (Tabla 3).
2. Equipo de medida analizador de red tipo AR6 cuyas característica, se indican a continuación. (Tablas 4 y 5).

	Iluminancias (20 m interdistancia) (Lux)
Máxima	34,7
Media	12,2
Mínima	3,8
Umed	0.31
Uext	0.11

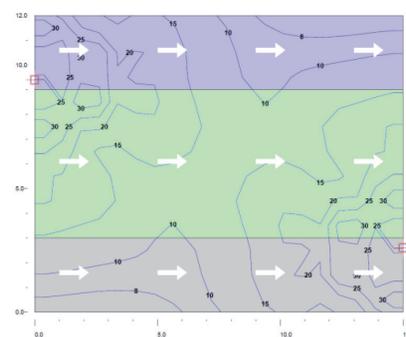


Fig. 3: Iluminancias y Curvas Isolux. Lámpara HM 150W. Fuente: Elaboración propia

	Iluminancias 20 m de interdistancia) (Lux)
Máxima	28,6
Media	10,6
Mínima	1,4
Umed	0.13
Uext	0.05

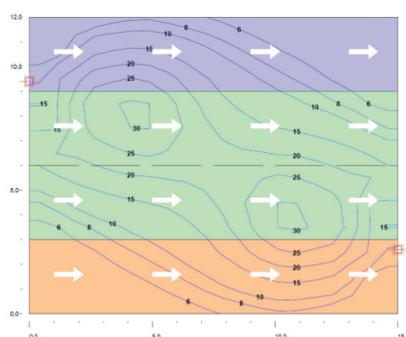


Fig. 4: Iluminancias y Curvas Isolux LED 51W. Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Equipos para la medida de los parámetros luminotécnicos

Se empleó un luxómetro con las características que se recogen en la Tabla 6.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. BA LANCE Y RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DURANTE 12 MESES

#### 3.1.1. Resultados medios obtenidos con equipo TELEASTRO

Los resultados medios comparativos registrados con el TELEASTRO durante 12 meses se recogen en la Tabla 7.

Las diferencias de potencia entre las líneas se deben a que la asignación de puntos de luz por fase no es exactamente igual, ya que en la práctica esta asignación viene condicionada por la forma y distribución de la calle. En nuestro caso, la fase L1 tiene conectadas 16 puntos de luz, la L2 tiene 12, y la L3 tiene 17.

Como podemos ver en la Tabla 7, las reducciones de potencia obtenidos son superiores al 60%, un valor que, como veremos más adelante, es muy elevado y por tanto va a permitir una recuperación de la inversión en poco tiempo de la nueva instalación.

#### 3.1.2. Resultados de contraste obtenidos con equipo analizador de red AR6 para las 45 luminarias LEDS.

Con el equipo analizador de red AR6 se realizaron mediciones de los parámetros eléctricos por fase para comprobar la calidad de los datos tomados con el equipo de AFEISA.

Al contrastar con el equipo AR6 las medidas del TELEASTRO, se observan coincidentes en general. Aquí es de destacar la aparición de armónicos debidos a los equipos electrónicos de los LEDS.

### 3.2. BALANCE LUMINOTÉCNICO

El método seleccionado para las mediciones luminotécnicas, ha sido el

método simplificado, denominado de los “nueve puntos”, descrito en la *R.D. 1890/2008*, ITC-EA-07.

El balance luminotécnico se recoge en la *Tabla 9*.

Como vemos los valores obtenidos analíticamente con el programa de cálculo luminotécnico SIBA son semejantes, a los obtenidos mediante la medición en

campo, lo que nos da fiabilidad a la hora de planificar futuras sustituciones. En la medición real también se cumplen los parámetros exigidos para nuestro tipo de vial y clase de alumbrado.

En las Figuras 5 y 6. se realiza una evaluación de la temperatura de color, mediante fotografía en la que se ha forzado el balance de blancos. Se

Transformadores de intensidad:		
Tipo Toroidal con núcleo cerrado		
Relación xA / 1,5 VAC		
Clase 2		

REGISTRO	UNIDADES	RANGO
VL	Voltios x 10	0...3000
PL	Wattios	0...65535
MAO	----	F_ESCALA_MAO..F_ESCALA_MAO
IL	Amperios x 10	0...F_ESCALA_I x 10 <sup>*(1)</sup>
QL	VAR	0...65535
PFL	----	-1...1
P_ACTIVIA_III	Wattios	0...196605
P_REACTIVA_III	VAR	0...196605
CNT_ACTIVIA	kWh x 10	0...4294967295
CNT_REACTIVA	kVARh x 10	0...4294967295

Tabla 3: Características, precisión y unidades y rangos de los registros de medida. Fuente: AFEISA

<b>AR6</b>	
Clase 0,5 en la medida	
Class B según UNE-EN 61000-4-30	
Medida y registro según EN 50160	

<b>AR6</b>	
Tensión nominal : 12 Vdc	
Corriente : 2 A	
Potencia máxima : 24 W	
Consumo : 30 VA	
Temperatura de funcionamiento : 0...50 °C	
Altitud : 2000 m	
Humedad sin condensación: 5...95 %	
Grado de contaminación : 2	

Tabla 4: Características técnicas generales del analizador AR6 (Fuente: CIRCUTOR)

Características entradas de tensión	Características entradas de corriente	Clase de precisión
Entradas de tensión U1, U2, U3, UN, Tierra,	Entradas de corriente I1, I2, I3, IN, Ifuga,	Tensión 0,5% +- 2 dígitos
Tensión de entrada 10...800 Vrms fase-neutro	Tensión de entrada 0...2 V	Corriente 0,5% +- 2 dígitos
Máxima tensión admisible 2.500 Vpic	Margen de medida 1...120 de In %	Potencia Activa 0,5% +-2 dígitos
Ancho de banda 3,2 kHz	Intensidad máxima 3 In A	Potencia Reactiva 1% +- 2 dígitos
	Impedancia de entrada 10 k_	

Tabla 5: Características técnicas y precisión del Analizador AR6. Fuente: CIRCUTOR

Especificaciones técnicas Luxómetro GOSSEN modelo MAVOLUX 5032C/B	
Modelo de luxómetro	5032C
Rangos (I...IV)	0,1...199,9 lx 1...1.999 lx 10...19.990 lx 100...199.900 lx
Resolución (I...IV)	0,1 lx 1 lx 10 lx 100 lx
Precisión	±3 % del valor de medición + 4 dígitos para luz de bombilla (luz normalizada clase A)
Cuota de medición	2,5 mediciones / segundo
Sensor de luz	Fotodiodo de silicio con filtro V (I) corresponde a la clase de precisión DIN 5032 apartado 7 clase C
Funciones	Data-Hold, Max-Hold y control de batería Auto-Power-Off a los 2 min no operativo

Tabla 6: Características técnicas y precisión Luxómetro MAVOLUX 5032C/B. Fuente: GOSSEN

PARAMETROS 45 LAMPARAS HM 150 W						PARAMETROS 45 LAMPARAS LEDS 51 W				
(Mediciones en cabecera del cuadro)						(Mediciones en cabecera del cuadro)				
FASES	Intensidad	Tensión	Potencia Activa	Potencia Reactiva	Factor de Potencia	Intensidad (A)	Tensión	Potencia Activa (Kw)	Potencia Reactiva (Kva)	Factor de Potencia
	(A)	(V)	(Kw)	(Kva)			(V)	(Kw)	(Kva)	
L1	9,7	235	2,140	0,687	0,92	3,5	236	0,830	0	-0,98
L2	8,0	236	1,810	0,357	0,94	2,7	237	0,639	0	-0,99
L3	10,0	234	2,280	0,220	0,95	3,9	235	0,889	0	-0,98

FASES	% de reducción al pasar de Halogenuros Metálicos a LEDs	
	Potencia Act (Kw)	Potencia React (Kva)
	L1	61,21%
L2	64,70%	100,00%
L3	61,01%	100,00%

Tabla 7: Resultados de las mediciones eléctricas y % de reducción. Fuente: Elaboración propia

observa que las temperaturas de color son distintas con las lámparas de HM de 150 W, blanco cálido, frente al color blanco frío de los LEDs [16] [17]. Esto puede entenderse porque, en general, los LEDs fríos tienen un mayor rendimiento lm/W que los LEDs cálidos. Los residentes en la zona en la que se ha producido la sustitución no han manifestado (después de un año) ninguna incomodidad por el cambio de temperatura de color, por lo que lo admitimos como válido.

#### 4. BALANCE ENERGETICO COMPARATIVO Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN. ESTUDIO DE AMORTIZACIONES Y RENTABILIDAD

Para el análisis del balance energético y económico, así como para la justificación de la inversión consideraremos que la sustitución de las 45 lámparas de HM por LEDs suponen unos costes aproximados de inversión de 13.500 Euros (45 luminarias x 300 Euros / luminaria = 13.500 Euros)<sup>1</sup>.



Fig. 5: Fotografía del vial y detalle de lámpara LED de 51 W



Fig. 6: Fotografía del vial y detalle de lámpara de HM de 150 W. Fuente: elaboración propia

<sup>1</sup> La justificación del desglose descompuesto para la sustitución de equipos sería:

219€ Material equipo LED 51 W

036€ Mano de obra oficial peón electricista 1 h

045€ Camión grúa con canasta 1 h

Total 300€/luminaria

RESULTADOS DE MEDICIONES DE CONTRASTE PARA LOS 45 LEDS CON ANALIZADOR DE RED AR6			
	L1	L2	L3
Tensión de Fase-Vf (V)	241,02	239,60	239,25
Intensidad por fase-I(A)	11,28	10,63	11,31
Potencia Activa por fase (Kw)	0,9	0,7	0,9
Potencia Reactiva Inductiva (KVARl)	0	0	0
Potencia Reactiva Capacitiva (KVAc)	0,1	0,0	0,2
Potencia Aparente (KVA)	1,8	1,5	1,8
Factor de Potencia (cos f)	1	1	-0,98
ARMÓNICOS DE CORRIENTE			
	L1	L2	L3
Armónicos Fundamentales- THDV (%)	17,412	12,952	17,282
Armónicos de orden Par -THDV par (%)	0	0	0
Armónicos de orden Impar -THDV impar (%)	3,28	3,45	3,38

Tabla 8: Resultados obtenidos con el analizador de red AR6. Fuente: Elaboración propia

	BALANCE LUMINOTECNICO CALLE SAN PABLO. Método de los Nueve puntos conforme REAL DECRETO 1890/2008, de 14 de noviembre ITC-EA-07				
	LAMPARA DE HM 150 W		LAMPARA LEDs 51 W		VARIACIÓN REAL %
	CALCULOS TEORICOS	MEDICIÓN REAL IN SITU	CALCULOS TEORICOS	MEDICIÓN REAL IN SITU	
Iluminancia media (lux) -Em	12,2	12,18	10,6	11,12	+ 8,70 % (+0.1,06)
Uniformidad media- Um	0,31	0,48	0,13	0,35	+27,08 % (+0.13)
Uniformidad extrema- Ug	0,11	0,28	0,05	0,15	+46.4% (+0.13)

Tabla 9: Balance luminotécnico realizado con luxómetro GOSSEN. Fuente: elaboración propia

Realizaremos el estudio comparativo para un uso diario estimado de 12 horas de media diaria de funcionamiento anual (tablas 10 y 11) [8]. Para este estudio comparativo tomaremos como valor de la energía el que actualmente está pagando el Ayuntamiento para el alumbrado público.

Vemos que la rentabilidad de la inversión es clara. Se obtiene un Pay-Back simple a 3'67, un Tasa Interna de Rentabilidad a 5 años del 15'86% y un Índice Beneficio Coste a 5 años de 1'33. Se ha tomado como referencia el precio de compra del KW.h por el Ayuntamiento a la empresa comercializadora.

## 5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Con este estudio queda demostrado, que la tecnología LED, a día de hoy, se encuentra ya lo suficientemente madura para su implantación progresiva en

iluminación urbana, alcanzando unos niveles calidad lumínica y prestaciones de ahorro energético lo suficientemente buenas como para poder competir con las lámparas de descarga, y en particular con las que utilizan HM.

Ha quedado demostrado que con la sustitución de las lámparas HM por lámparas LEDs se consiguen ahorros en el consumo, para el mismo número de horas de funcionamiento, porcentualmente iguales a la reducción de potencia que consigamos con la lámpara sustituta tipo LED. También se ha registrado un consumo prácticamente nulo de la energía reactiva para los LEDs. No obstante, sí hay que hacer notar que se ha registrado un incremento en la contaminación por armónicos en torno al 4% al instalar LEDs. Esta contaminación puede provocar deformaciones significativas en la modulación de la forma onda de la intensidad, y aconseja precaución a la hora de estimar la corriente que cir-

cula por el neutro de la instalación.

El balance luminotécnico es muy semejante, si bien es verdad que las uniformidades media y extrema son ligeramente inferiores. De la evaluación de la Temperatura de Color se observa una tendencia hacia una luz blanca fría para el caso de los LEDs más eficientes, frente a la más cálida para lámparas de HM.

Del análisis rentabilidad de la inversión realizada en este estudio, ha quedado comprobado que, a día de hoy, la inversión necesaria para la sustitución se hace viable para niveles medios de funcionamiento en torno a las 40000 horas anuales.

También es de destacar, desde el punto de vista de la fiabilidad, que después de un año y medio no se han registrado fallos en los equipos LEDs instalados.

Con este estudio ha quedado demostrado el alto potencial de ahorro ener-

Días de funcionamiento anual:	Horas diarias (Media anual)	Coste Euros/Kw-h	Periodo de Análisis (Años)	Consumo Anual HM 150 W	Consumo Anual LED 51 W	Inflacion Media Anual	Incremento Energético Anual
365	12	0,16	5	33.113 Kw-h	11.176,3 Kw-h	3 %	3%
<b>INSTALACIÓN 45 EQUIPOS HM 150 W</b>				<b>INSTALACIÓN 45 KITS ETILED 51 W</b>			
Potencia Lámpara HM		150 W		Potencia Lámpara MÓDULO LED		51 W	
<u>Datos Equipos</u>				<u>Datos Equipos</u>			
nº Luminarias:		<b>45</b>	unidades	nº Luminarias:		<b>45</b>	unidades
Potencia Unitaria		150	W	Potencia Unitaria		46	W
Potencia Consumida (Lámpara + Equipo)		168	W	Potencia Consumida (Módulo + Driver)		52	W
<u>Horario</u>				<u>Horario</u>			
Nivel Pleno		12	horas	Nivel Pleno		12,0	horas
Días Año		365	días	Días Año		365	días
<u>Costes de Consumo</u>				<u>Costes de Consumo</u>			
Media Energía Consumida diaria		90,720	kWh	Energía Consumida diaria		30,62	kWh
Energía Consumida Anual		<b>33.113</b>	<b>kWh</b>	Energía Consumida Anual		<b>11.176,3</b>	<b>kWh</b>
Coste Energía		0,16	€/kWh	Coste Energía		0,16	€/kWh
Coste Energético Anual		<b>5.298,05</b>	<b>€ / año</b>	Coste Energético Anual		<b>1.788,20</b>	<b>€ / año</b>
<u>Costes de Operación</u>				<u>Costes de Operación</u>			
Vida Útil Fuente de Luz		15.000	horas	Vida Útil Fuente de Luz		50.000	horas
Horas Utilización/Año		4.380	horas	Horas Utilización/Año		4.380	horas
Tiempo Reposición		3,42	Años	Tiempo Reposición		11,42	Años
Costes Reposición Lámpara		30,00	€ / año	Costes Reposición Lámpara		0	€ / año
Costes de Mantenimiento		<b>394,20</b>	<b>€ / año</b>	Costes de Mantenimiento		<b>0,00</b>	<b>€ / año</b>
<b>INSTALACIÓN EQUIPOS HM 150 W</b>				<b>INSTALACIÓN 45 KITS ETILED 51 W</b>			
<b>COSTES ANUALES TOTALES</b>		<b>5.692,25</b>		<b>COSTES ANUALES</b>		<b>1.788,20</b>	
<b>BALANCE ENERGÉTICO ANUAL</b>							
Ahorro Anual				<b>21.937</b>		<b>kWh</b>	
ESTANDAR HM 150 W vs ETILED 51 W				<b>21,93</b>		<b>MWh</b>	
Ahorro Anual				<b>3.904,05</b>		<b>€</b>	
Toneladas de CO <sub>2</sub> evitables				<b>8,57</b>		<b>t/año</b>	
<b>BALANCE ENERGÉTICO A CINCO AÑOS</b>							
	<b>INSTALACIÓN EQUIPOS ESTÁNDAR HM 150 W</b>			<b>INSTALACIÓN 45 KITS ETILED DIM</b>			
	<b>45 LUMINARIAS HM 150 W</b>			<b>45 LUMINARIAS LED 51 W</b>			
Año	Coste Energético	Coste Mantenimiento	Costes Totales	Coste Energético	Coste Mantenimiento	Costes Totales	AHORRO
1	5.298,05 €	394,20 €	5.692,25 €	1.788,20 €	0,00 €	1.788,20 €	3.904,05 €
2	5.456,99 €	406,03 €	5.863,02 €	1.841,84 €	0,00 €	1.841,84 €	4.021,18 €
3	5.620,70 €	418,21 €	6.038,91 €	1.897,01 €	0,00 €	1.897,01 €	4.141,90 €
4	5.789,32 €	430,75 €	6.220,07 €	1.954,00 €	0,00 €	1.954,00 €	4.266,07 €
5	5.963,00 €	443,68 €	6.406,68 €	2.012,62 €	0,00 €	2.012,62 €	4.394,06 €
<b>TOTAL</b>	<b>28.128,06 €</b>	<b>2.092,86 €</b>	<b>30.220,92 €</b>	<b>9.493,67 €</b>	<b>0,00 €</b>	<b>9.493,67 €</b>	<b>20.727,26 €</b>

Tabla 10: Balance energético y económico comparativo a 5 años. Fuente: elaboración propia

gético de los LEDs. No obstante estos equipos deben aún mejorar su precio

de mercado a la baja, para aumentar su rentabilidad, acortando los plazos de

amortización y haciendo más atractiva la inversión.

ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN Y AMORTIZACIÓN PARA EL CAMBIO DE 45 LAMPARAS DE HM DE 150 W A LEDS DE 51 W						
COSTE DE LA INVERSIÓN	13.500 €	AÑOS				
COSTE DEL CAPITAL (i)	5%	1	2	3	4	5
	Cuasi Rentas Anuales (Q)	3.904,05	4.021,18	4.141,90	4.266,07	4.394,06
CALCULAMOS EL VAN para un interés del $i = 5\%$	Años	1	2	3	4	5
Indice actualizado	$(1+i)^n$	1,05	1,10	1,16	1,22	1,28
Cuasirentas Anuales (Q) afectadas por (i)	$Q/(1+i)^n$	3.718	3.647	3.578	3.510	3.443
Sumatorio Quasirentas Anuales	$\sum Q/(1+i)^n$	- 9.782	-6.135	-2.557	<b>953</b>	<b>4.395,97</b>
VAN a 5 años	<b>4.395,97</b>					
Plazo de Recuperación simple	<b>4</b>					
Plazo de Recuperación	<b>3,67</b>					
Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R)	<b>15,86 %</b>					
Indice Beneficio Coste (IBC)	<b>1,33</b>					

Tabla 11: Análisis de la rentabilidad de la Inversión y Amortización afectada por el coste del dinero (para un tipo de interés del 5%). Fuente: elaboración propia

## AGRADECIMIENTOS

Expresar mi agradecimiento al Servicio Técnico de Alumbrado del Ayuntamiento de Fuengirola.

## PARA SABER MÁS

- [1] Kostic M, Djokic L. 2009. "Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting". *Energy*. August 2009. Vol. 34 num.10 p.1565-1572. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.056>)
- [2] Agencia Andaluza de la Energía. 2011. *Guía de ahorro y eficiencia energética en municipios*; Sevilla SE-232-2011. [www.agenciaandaluzadelaenergia.es](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es)
- [3] Saunders H.D, Tsao J.Y. 2012. "Rebound effects for lighting". *Energy Policy*. October 2012. Vol 49 p.477-478 (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.050>)
- [4] 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*. February 1993. Vol. 18 No. 2 p.145-158. (doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442\(93\)90098-X](http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442(93)90098-X))
- [5] Mills E, Piette M. A. 1993 "Advanced energy-efficient lighting systems: progress and potential". *Energy*. 1993. Vol. 18 No.2. p.75-97.(doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442\(93\)90092-R](http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442(93)90092-R))
- [6] Mahapatra S, Chanakya H.N, Dasappa S. 2009 "Evaluation of various energy devices for domestic lighting in India: Technology, economics and CO2 emissions", *Energy for Sustainable Development*. December 2009. Vol 13. Issue 4. p.271-279, ISSN 0973-0826. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2009.10.005>)
- [7] Radulovic D, Skok S, Kirincic V. 2011. "Energy efficiency public lighting management in the cities". *Energy*. April 2011. Vol. 36 No.4 p.1908 -1915.(doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.016>)
- [8] Hermoso Orzáez MJ, de Andrés Díaz JR. 2013. "Comparative study of energy-efficiency and conservation systems for ceramic metal-halide discharge lamps", *Energy*. 2013. Available online 7 March 2013 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.050>)
- [9] Rea M.S. 2010. "The future of LED lighting: Greater benefit or just lower cost". *Lighting Research and Technology*. 2010. Vol.42 p.370. (doi: <http://dx.doi.org/10.1177/1477153510390978>)
- [10] CIE Report 194:2011. "On site Measurement of the Photometric Properties of the road and Tunnel Lighting". ISBN 978 3 901906 92 3
- [11] Zalewski S. 2012. "A proposed method for the calculation of light emitting diode road lighting". *Lighting Research and Technology*. June 2012. Vol.44 2 p.186-196.(doi: <http://dx.doi.org/10.1177/1477153511423881>)
- [12] Svilainis L. 2008. "LED directivity measurement in situ", *Measurement*, July 2008. Vol 41 Issue 6 p. 647-654. ISSN 0263-2241. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2007.09.003>)
- [13] Gil-de-Castro A, Moreno Muñoz A, Larsson A, et al. 2012. "LED Street lighting: A power quality comparison among street light technologies". *Lighting Research and Technology*, 2012. Vol.0. p.1-19. 1 (doi: <http://dx.doi.org/10.1177/1477153512450866>)
- [14] 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*. 2011. Vol. 9 p.244-248. ISSN 1875-3892. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2011.06.156>)
- [15] Villanueva I, Lázaro I, Anzurez J. 2012. "Reliability analysis of LED-based electronic devices". *Procedia Engineering*. 2012. Vol.35 p. 260 - 269. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.189>)
- [16] Pousset N, Rougié B, Razet. A. 2010. "Impact of current supply on LED colour ". *Lighting Research and Technology*. Dec 2010. Vol. 42, 4 p.371-383. (doi: <http://dx.doi.org/10.1177/14771535103733159>)
- [17] CIE Report no 115:1995. Recommendations to illuminate roads for motorized vehicles and pedestrian transit.