

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

ESTUDIO Y MEJORA DEL ALUMBRADO EXTERIOR DEL CAMPUS DE  
LEGANÉS BASADO EN TECNOLOGÍA LED

Autora: LAURA DE LA FUENTE GIL

Tutora: DRA. MORENO LÓPEZ DE SAA, MARÍA ÁNGELES

Leganés, Septiembre de 2014

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1. Objeto del proyecto .....	13
1.2. Motivación .....	13
1.3. Fase de desarrollo .....	13
1.4. Estructura de la memoria .....	14
<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>15</b>
2.1. Temperatura de color .....	15
2.2. Índice de reproducción cromática (IRC) .....	15
2.3. Magnitudes luminosas .....	16
2.3.1. Flujo luminoso ( $\Phi$ ) .....	16
2.3.2. Rendimiento luminoso ( $\epsilon$ ) .....	16
2.3.3. Energía luminosa (Q) .....	17
2.3.4. Intensidad luminosa (I) .....	17
2.3.5. Iluminancia (E) .....	17
2.3.6. Luminancia (L) .....	18
2.3.7. Coeficiente de iluminación o utilización ( $\eta$ ) .....	18
2.3.8. Reflectancia ( $\rho$ ) .....	18
2.3.9. Absortancia ( $\alpha$ ) .....	18
2.3.10. Transmitancia ( $\tau$ ) .....	18
2.3.11. Factor de uniformidad media ( $U_m$ ) .....	19
2.3.12. Factor de uniformidad extrema ( $U_e$ ) .....	19
2.3.13. Factor de uniformidad longitudinal (UL) .....	19
2.3.14. Factor de uniformidad general ( $U_0$ ) .....	19
2.4. Representación gráfica de magnitudes luminosas .....	19
2.4.1. Curvas de distribución luminosa o curvas fotométricas .....	19
2.4.2. Diagrama de curvas de distribución polar .....	20
2.4.3. Diagrama de curvas isocandelas .....	21
2.4.4. Diagrama de curvas isolux .....	21
<b>CAPÍTULO 3. ALUMBRADO EXTERIOR.....</b>	<b>22</b>
3.1. Eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior .....	22
3.2. La contaminación lumínica .....	23
3.3. Componentes de las instalaciones de alumbrado Exterior .....	25
3.3.1. Luminarias.....	25
3.3.2. Lámparas.....	30
3.3.3. Equipos auxiliares.....	46
3.3.4. Sistemas de accionamiento .....	51
3.3.5. Sistemas de regulación de los niveles luminosos.....	52
3.3.6. Mantenimiento y conservación de las instalaciones de alumbrado público.....	54
<b>CAPÍTULO 4. AUDITORÍA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXISTENTES EN EL CAMPUS DE LEGANÉS DE LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.....</b>	<b>62</b>

4.1. Justificación de la elección de la instalación de alumbrado exterior .....	62
4.2. Características del alumbrado exterior auditado .....	62
4.2.1. Luminarias.....	67
4.2.2. Lámparas.....	70
4.2.3. Equipos auxiliares.....	70
4.2.4. Sistemas de accionamiento .....	71
4.2.5. Mantenimiento de las instalaciones .....	72
4.2.6. Niveles de iluminación.....	73
4.2.7. Clasificación de las vías y selección de los tipos de alumbrado.....	74
4.2.8. Balance energético de la instalación actual y emisión de CO2 .....	76
4.2.9. Análisis del resplandor luminoso nocturno .....	79
4.2.10. Mediciones lumínicas .....	81
4.2.11. Panel de indicadores de sostenibilidad de la instalación actual de las áreas auditadas .....	81
<b>CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO AUDITADA: SUSTITUCIÓN DE LAS LUMINARIAS ACTUALES POR OTRAS EQUIPADAS CON TECNOLOGÍA LED.....</b>	<b>83</b>
5.1. Descripción y justificación de la solución propuesta .....	83
5.1.1. Reglamentos y normas .....	87
5.1.2. Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado .....	90
5.1.3. Criterios de calidad.....	91
5.1.4. Criterios para la elección de los materiales .....	95
5.1.5. Sistema de telegestión punto a punto .....	100
5.1.6. Calificación energética de la instalación.....	102
5.2. Reducción de potencia, ahorro energético, económico y reducción de emisiones de CO2 .....	105
5.2.1. Reducción de potencia .....	105
5.2.2. Consumo anual de energía eléctrica .....	107
5.2.3. Ahorro anual de la energía consumida.....	107
5.2.4. Reducción de emisiones de CO2 a la atmósfera .....	107
5.2.5. Ahorro económico anual .....	107
5.3. Coste de implantación de la medida de ahorro, periodo de retorno de la inversión y relación inversión / ahorro energético anual .....	108
5.3.1. Coste de implantación de la medida de ahorro.....	108
5.3.2. Periodo de retorno simple de la inversión necesaria para implantar la medida de ahorro.....	108
5.3.3. Relación inversión / ahorro energético anual.....	108
5.3.4. Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR).....	108
5.4. Programa de mantenimiento propuesto para el alumbrado renovado con tecnología LED y apliques existentes. ....	109
5.4.1. Descripción de la propuesta .....	109
5.4.2. Verificación del cumplimiento del REEIAE con el programa de mantenimiento propuesto .....	110
5.4.3. Ahorro anual de la energía consumida, reducción de emisiones de CO2 a la atmósfera y ahorro económico anual.....	113
5.4.4. Coste de implantación de la medida de ahorro, periodo de retorno de la inversión y relación inversión / ahorro energético anual .....	113

---

5.5 Panel de indicadores de sostenibilidad de la instalación propuesta .....	114
5.6. Presupuesto .....	115
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....</b>	<b>116</b>
6.1. Tecnología LED. ....	116
6.2. Caso de estudio.....	116
6.3. Líneas futuras de actuación .....	117
<b>ANEXO I: PLANOS DE LA INSTALACIÓN.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO II: CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS Y DOCUMENTACIÓN TÉCNICA .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO III: SALIDAS Y PUESTAS DE SOL EN LA CIUDAD DE MADRID EN 2014 Y TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO DEL ALUMBRADO PÚBLICO ACCIONADO CON PROGRAMADORES ASTRONÓMICOS. ....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO IV: MEDICIONES DEL NIVEL LUMINOSO MEDIANTE LUXÓMETRO. ....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO V: CÁLCULO DEL VAN Y EL TIR .....</b>	<b>156</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Lux.....	17
Figura 2.2 Luxómetro .....	17
Figura 2.3 Sólido fotométrico .....	20
Figura 2.4 Curva fotométrica .....	20
Figura 2.5 Curva de distribución polar simétrica .....	20
Figura 2.6 Curva de distribución polar asimétrica .....	20
Figura 2.7 Diagrama de curvas isocandelas.....	21
Figura 2.8 Diagrama de curvas isolux.....	21
Figura 3.1 Atlas nocturno de Europa [10] .....	24
Figura 3.2 Recomendación para un buen diseño de luminaria vial.....	24
Figura 3.3 Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima, que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance.....	30
Figura 3.4 Apertura o dispersión .....	30
Figura 3.5 Espectro electromagnético visible por el ojo humano .....	31
Figura 3.6 Esquema de posiciones de funcionamiento.....	34
Figura 3.7 Lámpara incandescente convencional.....	35
Figura 3.8 Lámpara halógena convencional.....	36
Figura 3.9 Partes de una lámpara fluorescente.....	37
Figura 3.10 Elementos auxiliares de una lámpara fluorescente.....	37
Figura 3.11 Partes de una lámpara de vapor de sodio a baja presión .....	38
Figura 3.12 Partes de una lámpara de vapor de mercurio.....	39
Figura 3.13 Partes de una lámpara de luz de mezcla.....	39
Figura 3.14 Partes de una lámpara de halogenuros metálicos .....	40
Figura 3.15 Partes de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.....	41
Figura 3.16 Partes de una lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos .....	42
Figura 3.17 Lámpara de descarga de gas por inducción .....	43
Figura 3.18 Esquema de un LED .....	43
Figura 3.19 Longitud de onda dominante para diferentes LEDs .....	44
Figura 3.20 Esquema de circulación de corriente y tensión en un diodo .....	44
Figura 3.21 Esquema de conexión de un LED.....	45
Figura 3.22 Esquema de montaje de la reactancia de choque.....	47
Figura 3.23 Esquema de montaje de reactancia autotransformadora .....	48
Figura 3. 24 Esquema de montaje de reactancia autorreguladora .....	48
Figura 3.25 Ejemplo de esquema de montaje de balasto electrónico.....	49
Figura 3.26 Esquema de montaje arrancador en serie .....	49
Figura 3.27 Esquema de montaje arrancador en serie-paralelo .....	50
Figura 3. 28 Esquema de montaje de un arrancador en paralelo .....	50
Figura 3.29 Interruptor crepuscular.....	51
Figura 3.30 Reloj astronómico.....	52

Figura 4.1 Datos técnicos de Luminarias del Catálogo de Philips.....	69
Figura 4.2 Datos técnicos de Lámparas de descarga del Catálogo de Philips. ....	77
Figura 5.1 Características técnicas luminarias bajo consumo y LED.....	85
Figura 5.2 Vías iluminadas con fuentes de luz de distintas temperaturas de color Tc.....	94
Figura 5.3 Imágenes de las luminarias de LED modelo TECEO.....	96
Figura 5.4 Imágenes de las luminarias de LED modelo KIO LED.....	96
Figura 5.5 Imágenes de los proyectores de LED modelo NEOS.....	96
Figura 5.6 Mantenimiento del flujo luminoso a lo largo de la vida del LED. Curva del sistema CLO.....	98
Figura 5.7 Calificación energética de las instalaciones de alumbrado.....	103
Figura Anexo II.1 Área iluminada KIO LED.....	124
Figura Anexo II.2 Características KIO LED.....	124
Figura Anexo II. 3 Diagrama polar KIO LED.....	125
Figura Anexo II. 4 Curvas Isolux KIO LED.....	125
Figura Anexo II 5 Diagrama de utilización KIO LED.....	126
Figura Anexo II. 6 Resumen de malla KIO LED.....	126
Figura Anexo II.7 Características luminaria KIO LED.....	128
Figura Anexo II.8 Características TECEO-1.....	129
Figura Anexo II.9 Diagrama polar TECEO-1.....	130
Figura Anexo II.10 Curva isolux TECEO-1.....	130
Figura Anexo II.11 Curva de utilización TECEO-1.....	130
Figura Anexo II.12 Resumen de malla TECEO-1.....	131
Figura Anexo II.13 Características luminaria TECEO-1.....	132
Figura Anexo II.14 Área iluminada NEOS 2.....	133
Figura Anexo II.15 Características NEOS 2.....	134
Figura Anexo II.16 Diagrama polar NEOS 2.....	134
Figura Anexo II.17 Curvas isolux NEOS 2.....	135
Figura Anexo II.18 Curva de utilización NEOS 2.....	135
Figura Anexo II.19 Resumen de malla NEOS 2.....	135
Figura Anexo II.20 Características NEOS 2.....	137
Figura Anexo IV.1 Medición luxómetro columnas 54, 55, 59 y 60.....	150
Figura Anexo IV.2 Medición luxómetro columnas 62, 63, 50 y 51.....	151
Figura Anexo IV.3 Medición luxómetro columnas 3 y 4.....	152
Figura Anexo IV. 4 Medición luxómetro apliques 5 y 6.....	153
Figura Anexo IV.5 Medición luxómetro apliques 2 y 3.....	154
Figura Anexo IV.6 Medición luxómetro apliques 9 y 10.....	155
Figura Anexo V.1 Tabla de Cálculo de VAN y TIR.....	156

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 2.1 Equivalencia entre apariencia de color y temperatura de color .....	15
Tabla 2.2 Fuentes luminosas, temperatura de color Tc e índice de reproducción cromática IRC.....	16
Tabla 3.1 Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial funcional ....	23
Tabla 3.2 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo (1ª cifra).....	27
Tabla 3.3 Clasificación EN 60598 por grado de protección contra el agua (2ª cifra).....	27
Tabla 3.4 Clasificación EN 60598 contra impactos mecánicos .....	27
Tabla 3.5 Correspondencia entre código IK y la energía de impacto .....	28
Tabla 3.6 Clasificación de la EN-60598 para montaje de luminarias .....	28
Tabla 3.7 Color de luz y Temperatura de color.....	32
Tabla 3.8 Características lámpara incandescente [8] .....	35
Tabla 3.9 Características lámpara halógena [8].....	36
Tabla 3.10 Características lámpara fluorescente [8] .....	37
Tabla 3.11 Características lámpara de vapor de sodio a baja presión [8].....	38
Tabla 3.12 Características lámpara de vapor de mercurio. [8].....	39
Tabla 3.13 Características lámpara de luz de mezcla. [8] .....	40
Tabla 3.14 Características lámpara de halogenuros metálicos. [8] .....	40
Tabla 3.15 Características lámpara de vapor de sodio a alta presión [8] .....	41
Tabla 3.16 Características lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos [15] .....	42
Tabla 3.17 Características lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos. [19] .....	43
Tabla 3. 18 Características LED [22] .....	46
Tabla 4.1 Relación de centros de mando auditados y su situación .....	64
Tabla 4.2 Alumbrado exterior del Campus de Leganés ordenado por centros de mando (CM).....	65
Tabla 4.3 Inventario de luminarias del Campus de Leganés .....	67
Tabla 4.4 Requisitos mínimos de las luminarias exigidos por el ITC-EA-04.....	68
Tabla 4.5 Lámparas Campus de Leganés.....	70
Tabla 4.6 Horas anuales de funcionamiento del alumbrado público a tensión plena y reducida.....	71
Tabla 4.7 Clasificación de las vías según REEIAE.....	74
Tabla 4.8 Clasificación de las vías según REEIAE y tipo de alumbrado .....	75
Tabla 4.9 Potencia de Lámparas y balastos del Campus de Leganés.....	78
Tabla 4.10 Clasificación de las zonas de protección contra la contaminación lumínica. REEIA ITC-EA-03, Tabla 1 .....	79
Tabla 4.11 Valores límite del flujo hemisférico superior instalado. REEIA ITC-EA-03, Tabla 2.....	80
Tabla 4.12 Mediciones lumínicas de la instalación actual.....	81
Tabla 4.13 Panel de sostenibilidad de las áreas auditadas .....	82
Tabla 5.1 Requisitos fotométricos aplicables a las vías correspondientes a las diferentes clases de alumbrado. ....	84
Tabla 5.2 Valores fotométricos para las distintas vías. ....	84
Tabla 5.3 Comparación de la eficacia lumínica de lámparas de bajo consumo y LED .....	84

---

Tabla 5.4 Valores iluminancias calculados para la instalación de alumbrado con tecnología LED .....	90
Tabla 5.5 Luminarias de tecnología LED previstas .....	96
Tabla 5.6 Factores de utilización par a las distintas zonas .....	100
Tabla 5.7 Calificación energética de la instalación de alumbrado con tecnología LED y bajo consumo	104
Tabla 5.8. Consumo anual de energía con la instalación de luminarias de tecnología LED .....	106
Tabla 5.9 Programa de mantenimiento propuesto. ....	110
Tabla 5.10 Factor de depreciación de las luminarias.....	112
Tabla 5.11 Factor de mantenimiento de las luminarias.....	113
Tabla 5.12 Panel de sostenibilidad de la instalación propuesta.....	114
Tabla 5.13 Presupuesto de sustitución de luminarias actuales por otras equipadas con tecnología LED	115
Tabla Anexo II.1 Características Generales. ....	127
Tabla Anexo II.2 Características Luminaria KIO LED.....	129
Tabla Anexo II.3 Características Generales .....	131
Tabla Anexo II.4 Características luminaria TECEO-1 .....	133
Tabla Anexo II.5 Características Generales .....	136
Tabla Anexo II.6 Características NEOS 2.....	138
Tabla Anexo III.1 Tabla de ortos, ocasos y tiempos de funcionamiento del alumbrado accionado con programadores astronómicos para la ciudad de Madrid.....	139



## **GLOSARIO**

### **MAGNITUDES**

c	Velocidad de propagación de la luz (300.000 km/s)
E	Iluminancia
FHSinst	Flujo hemisférico superior instalado
$f_m$	Factor de mantenimiento
I	Intensidad luminosa
L	Luminancia
Q	Cantidad de luz
Q	Energía luminosa
$U_m$	Factor de uniformidad media
$U_e$	Factor de uniformidad extrema
$U_L$	Factor de uniformidad longitudinal
$U_o$	Factor de uniformidad general

### **ACRÓNIMOS**

CEI	Comité Español de Iluminación
CIE	Acrónimo del francés: Commission Internationale de l'Éclairage –Comisión Internacional de la Iluminación-.
CM	Centro de mando: centro de mando, protección y control de una instalación de alumbrado público
EA	Eficiencia en alumbrado
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía
LED	Acrónimo de Inglés: Lighting Emiting Diode –Diodo Emisor de Luz-.
RD	Real Decreto
REBT	Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
REEIAE	Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior
S.I.	Sistema Internacional
TI	Acrónimo de Inglés: Threshold Increment -Incremento del Umbral de Contraste-.
UNE	Una Norma Europea
VSAP	Vapor de sodio alta presión



**LETRAS GRIEGAS**

$\eta$	Rendimiento de la luminaria
$\phi$	Flujo luminoso
$\varepsilon$	Eficacia luminosa
$\eta$	Coefficiente de iluminación
$\rho$	Reflectancia
$\alpha$	Abosortancia
$\tau$	Transmitancia

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Objeto del proyecto**

El presente proyecto tiene como objeto la renovación y mejora de las instalaciones de alumbrado exterior existentes en el Campus de Leganés de la Universidad Carlos III de Madrid, con el propósito de hacerlas más eficientes energéticamente y reducir la contaminación lumínica y la emisión de gases contaminantes.

El proyecto comprende el diseño, cálculo, medición y valoración.

### **1.2. Motivación**

La necesidad de aumentar la eficiencia energética de las instalaciones constituye un objetivo incuestionable, tanto para gobiernos como para empresas y ciudadanos. Esto se obtiene mediante una renovación del alumbrado ineficiente por otras tecnologías más eficientes energéticamente (en nuestro caso se optará por la tecnología LED).

Gracias a un aumento de la eficiencia energética es posible reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y de otros gases contaminantes a la atmósfera. Otro factor importante a considerar es el ahorro energético que se deriva de este aumento, obteniendo por ello un ahorro económico.

### **1.3. Fase de desarrollo**

Para la realización del proyecto se han llevado a cabo las siguientes fases:

1. Búsqueda y ampliación de conocimientos teóricos sobre luminotecnia y alumbrado exterior.
2. Recopilación de datos técnicos con la ayuda del personal de mantenimiento.
3. Toma de datos y mediciones “in situ”, identificando sobre el terreno los puntos de luz y centros de mando, para ello se han llevado a cabo varias visitas a todas las áreas objeto del proyecto.
4. Evaluación de la situación actual, comprobando si se cumplen los requisitos establecidos por el reglamento.
5. Cálculos luminotécnicos para el desarrollo y propuesta de la sustitución de las luminarias actuales por otras basadas en tecnología LED.
6. Análisis de los resultados obtenidos como consecuencia de esta mejora de la eficiencia energética.

#### **1.4. Estructura de la memoria**

La memoria se organiza en cinco capítulos, además de esta introducción.

En el capítulo dos se hace una breve introducción teórica de los términos luminotécnicos más empleados.

En el siguiente capítulo se profundiza en el alumbrado exterior ya que es el tema de interés de este proyecto.

En el capítulo cuatro se habla del estado actual de las instalaciones existentes en el Campus de Leganés de la Universidad Carlos III.

En el capítulo cinco se propone la sustitución de las luminarias actuales por otras basadas en tecnología LED y se comentan las mejoras que obtienen con este nuevo sistema.

Y en el último capítulo se exponen las conclusiones obtenidas tras realizar este Trabajo Fin de Grado.

## CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se van a explicar y desarrollar los fundamentos teóricos de la luminotecnia, con el propósito de un mayor entendimiento de los siguientes capítulos.

Las características luminotécnicas y parámetros descritos en este capítulo conforman la base de la luminotecnia y son fundamentales para el entendimiento de este trabajo, ya que se citarán más adelante como justificación de la solución adoptada.

### 2.1. Temperatura de color

Este parámetro se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de ésta con el color del cuerpo negro. Como cualquier otro cuerpo incandescente, el cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, adquiriendo al principio el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y, finalmente, el blanco, el blanco azulado y el azul. El color, por ejemplo, de la llama de una vela es similar al de un cuerpo negro calentado a unos 1.800 K, y la llama se dice entonces que tiene una temperatura de color de 1.800 K [1], véase Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Equivalencia entre apariencia de color y temperatura de color

Grupo de apariencia de color	Apariencia de color	Temperatura de color K
1	Cálida	Por debajo de 3.300
2	Intermedio	De 3.300 a 5.300
2	Frío	Por encima de 5.300

### 2.2. Índice de reproducción cromática (IRC)

El IRC mide la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores. Este índice se define como el aspecto que muestran los cuerpos iluminados por una fuente de luz tomando como referencia el aspecto cromático que presentan los cuerpos iluminados por un cuerpo. Lo deseable es que el índice de reproducción cromática sea próximo a 100 para poder distinguir bien los colores de los cuerpos iluminados [2], véase Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Fuentes luminosas, temperatura de color Tc e índice de reproducción cromática IRC

Fuentes luminosas	Tc (K)	IRC
Cielo azul	10.000 a 30.000	85 a 100 (grupo 1)
Cielo nublado	7.000	85 a 100 (grupo 1)
Luz solar día	6.000	85 a 100 (grupo 1)
Luz día (halogenuros)	6.000	96 a 100 (grupo 1)
Blanco neutral (halogenuros)	3.000 a 5.000	70 a 84 (grupo 2)
Blanco cálido (halogenuros)	Menos de 3.000	470 a 69 (grupo 3)
Lámparas de descarga SAP	2.900	Menos de 40
Lámpara incandescente	2.100 a 3.200	85 a 100 (grupo 1)
Lámpara fotográfica	3.400	85 a 100 (grupo 1)
Llama de vela o de bujía	1.800	40 a 69 (grupo 3)

A mayor temperatura de color mayor rendimiento, peor IRC y mayor sensación de luz fría [3].

## 2.3. Magnitudes luminosas

### 2.3.1. Flujo luminoso ( $\phi$ )

El flujo luminoso ( $\phi$ ) es la cantidad de energía total emitida o radiada por una fuente de luz, en un segundo, en todas direcciones y que es percibida por el ojo humano. Su unidad es el lumen (lm).

El lumen como unidad de potencia corresponde a 1/680 W emitidos a una longitud de onda de 550 nm [4].

### 2.3.2. Rendimiento luminoso ( $\epsilon$ )

El rendimiento luminoso o eficacia luminosa ( $\epsilon$ ), relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente ( $\phi$ ) y la potencia empleada para obtener tal flujo (P). Se mide en lumen/vatio (lm/W). A través de esta cifra es posible evaluar el ahorro que puede dar una lámpara con respecto a otra [5].

$$\epsilon = \frac{\Phi}{P} \text{ (lm/W)} \quad [\text{Ec 2.1}]$$

El rendimiento luminoso que se puede conseguir en el caso más favorable actualmente es de 683 lm/W [1].

### 2.3.3. Energía luminosa (Q)

Se representa por la letra Q. Es la potencia luminosa o flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo. Su unidad es el lumen por hora (lm·h) [1].

$$Q = \Phi \cdot t \text{ (lm} \cdot \text{h)} \quad [\text{Ec 2.2}]$$

### 2.3.4. Intensidad luminosa (I)

Se define como el flujo emitido en una dirección por un ángulo sólido en esa dirección. Su símbolo es I y su unidad la candela (cd) [1].

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \text{ (lm/sr)} \quad [\text{Ec 2.3}]$$

### 2.3.5. Iluminancia (E)

Es el flujo luminoso por unidad de área de la superficie iluminada. Se representa por la letra E y se mide en lux (lx) [6], véase Figura 2.1.

$$E = \frac{\Phi}{S} \text{ (lx = lm/m}^2\text{)} \quad [\text{Ec 2.4}]$$

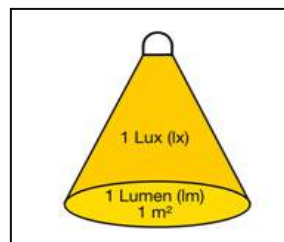


Figura 2.1 Lux

La medición del nivel de iluminación se realiza con un luxómetro (véase Figura 2.2). El luxómetro es un aparato formado por una célula fotoeléctrica que genera una corriente eléctrica cuando incide luz sobre la superficie de la célula. Esta corriente aumenta en función de la luz incidente.



Figura 2.2 Luxómetro

### 2.3.6. Luminancia (L)

La luminancia mide el brillo de las fuentes luminosas y de las fuentes que constituyen los objetos iluminados.

Es el cociente entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según la dirección. Se representa por la letra L y se mide en candela/m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>) [1].

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos \beta} \quad [\text{Ec 2.5}]$$

Donde  $S \cdot \cos \beta$  es la superficie aparente.

### 2.3.7. Coeficiente de iluminación o utilización ( $\eta$ )

Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por una fuente luminosa. Es un parámetro adimensional que normalmente se mide en % [1].

$$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_e} \quad [\text{Ec 2.6}]$$

### 2.3.8. Reflectancia ( $\rho$ )

Es la relación entre el flujo reflejado por un cuerpo (con o sin difusión) y el flujo recibido. Es un parámetro adimensional y se suele medir en % [1].

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi} \quad [\text{Ec 2.7}]$$

### 2.3.9. Absortancia ( $\alpha$ )

Relación entre el flujo luminoso absorbido por una superficie y la radiación total de flujo que incide sobre ella. Es un parámetro adimensional que normalmente se mide en % [7].

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi} \quad [\text{Ec 2.8}]$$

### 2.3.10. Transmitancia ( $\tau$ )

Es la relación entre el flujo luminoso transmitido por un cuerpo y el flujo recibido. Es un parámetro adimensional que normalmente se mide en % [1].



$$\tau = \frac{\Phi t}{\Phi} \quad [\text{Ec 2.9}]$$

### 2.3.11. Factor de uniformidad media ( $U_m$ )

Es la relación entre la iluminación mínima y la media de una instalación de alumbrado. Es un parámetro adimensional que normalmente se mide en % [1].

$$U_m = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}} \quad [\text{Ec 2.10}]$$

### 2.3.12. Factor de uniformidad extrema ( $U_e$ )

Es la relación entre la iluminación mínima y la máxima de una instalación de alumbrado. Es un parámetro adimensional que normalmente se mide en % [1].

$$U_e = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \quad [\text{Ec 2.11}]$$

### 2.3.13. Factor de uniformidad longitudinal ( $U_L$ )

Es la relación entre la luminancia mínima y máxima longitudinal de una instalación de alumbrado. Es un parámetro adimensional que normalmente se mide en % [1].

$$U_L = \frac{L_{\min \text{ longitudinal}}}{L_{\max \text{ longitudinal}}} \quad [\text{Ec 2.12}]$$

### 2.3.14. Factor de uniformidad general ( $U_o$ )

Es la relación entre la luminancia mínima y media de una instalación de alumbrado. Es un parámetro adimensional que normalmente se mide en % [1].

$$U_o = \frac{L_{\min}}{L_{\text{med}}} \quad [\text{Ec 2.13}]$$

## 2.4. Representación gráfica de magnitudes luminosas

### 2.4.1. Curvas de distribución luminosa o curvas fotométricas

Las curvas de distribución luminosa representan el conjunto de valores la intensidad luminosa en las infinitas direcciones desde el centro de la lámpara o luminaria [1, 8]. De esto resulta un cuerpo llamado sólido fotométrico representado en tres dimensiones, como el mostrado en la Figura 2.3. Como trabajar

en tres dimensiones no es cómodo, a efectos de representación, se corta el sólido empleando planos verticales para distintos ángulos alrededor de la fuente luminosa obteniendo una representación mediante curvas fotométricas. [2], como la mostrada en la Figura 2.4.

En las curvas fotométricas el radio de las circunferencias representa el valor de la intensidad luminosa en candelas y el ángulo representa el ángulo de emisión en grados, es decir, la dirección del rayo luminoso con dicho valor de intensidad.

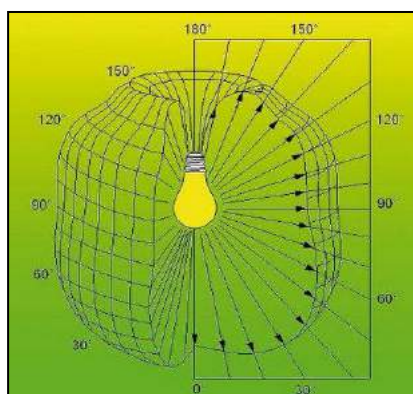


Figura 2.3 Sólido fotométrico

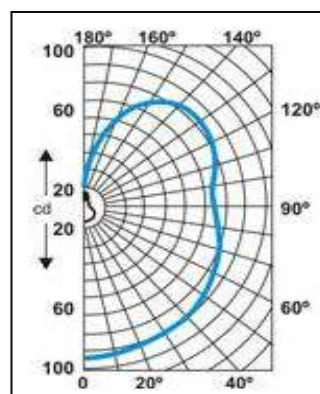


Figura 2.4 Curva fotométrica

### 2.4.2. Diagrama de curvas de distribución polar

Representación gráfica de la distribución de la intensidad luminosa de una lámpara o de un conjunto de lámpara-luminaria para un flujo luminoso de 1000 lúmenes. Este diagrama tiene la ventaja de que las curvas pueden usarse para lámparas de distintos flujos luminosos para un valor fijo del flujo luminoso [6]. La Figura 2.5 muestra un ejemplo de curva de distribución polar simétrica y la Figura 2.6 un ejemplo de curva asimétrica.

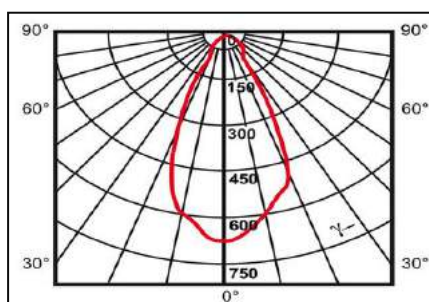


Figura 2.5 Curva de distribución polar simétrica

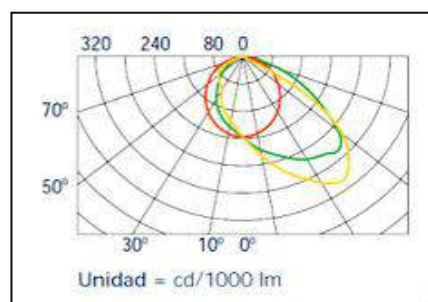


Figura 2.6 Curva de distribución polar asimétrica

### 2.4.3. Diagrama de curvas isocandelas

Se representan proyectando las intensidades luminosas en candelas de un sólido fotométrico sobre un plano perpendicular al eje de la luminaria y se unen las de igual intensidad luminosa. Y y C son dos ángulos que identifican cada punto en el espacio con el correspondiente punto de las curvas. A cada curva le corresponde un valor de intensidad que se expresa en tanto por ciento respecto a la intensidad máxima [2], como se muestra en el diagrama de la Figura 2.7.

Es una forma de representación muy completa pero requiere mayor experiencia para su interpretación.

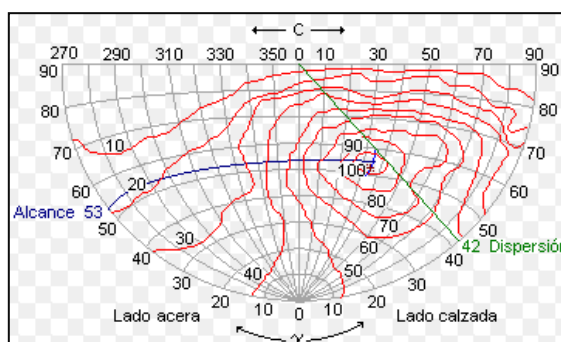


Figura 2.7 Diagrama de curvas isocandelas

### 2.4.4. Diagrama de curvas isolux

Representan información referente a la iluminancia. Se obtienen uniendo los puntos del plano del trabajo que tienen el mismo valor de iluminancia.

La luminaria se sitúa en el punto 0-0. El eje de coordenadas representa las distancia entre la luminaria y la acera más cercana (lado acera), y la distancia entre la luminaria y la acera más lejana (lado calzada); y el de abscisas representa la distancia longitudinal de la calzada desde la luminaria. Los valores de los ejes dependerán de la altura de montaje de la luminaria [2], véase la Figura 2.8.

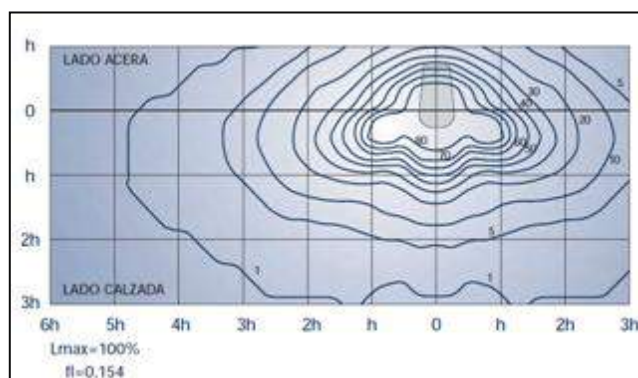


Figura 2.8 Diagrama de curvas isolux

### CAPÍTULO 3. ALUMBRADO EXTERIOR

En este capítulo se pretende analizar todos los parámetros a tener en cuenta para un correcto alumbrado exterior, tanto los elementos que lo componen, como el correcto uso y mantenimiento de los mismos para sacar el mayor rendimiento posible.

#### 3.1. Eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior

La eficiencia y el ahorro energéticos constituyen objetivos prioritarios para cualquier economía, ya que mejoran la competitividad de sus procesos productivos y reducen tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como la factura energética [9].

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left( \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{\text{W}} \right) \quad [\text{Ec 3.1}]$$

Donde:

$\varepsilon$  = Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior, se mide en ( $\text{m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W}$ ).

$P$  = Potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares), sus unidad es el (W).

$S$  = Superficie iluminada se mide en ( $\text{m}^2$ ).

$E_m$  = Iluminancia media en servicio de la instalación, se mide en (lux).

La eficiencia energética se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

- $\varepsilon_L$  = Eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ( $\text{lum}/\text{W} = \text{m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W}$ ); es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.
- $f_m$  = factor de mantenimiento de la instalación (en valores por unidad); es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.
- $f_u$  = factor de utilización de la instalación (en valores por unidad); es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias. Depende del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y del rendimiento de las luminarias, así como de la

geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), como a la disposición de las luminarias en la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \left( \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{W} \right) \quad [\text{Ec 3.2}]$$

Para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado se podrá actuar incrementando el valor de cualquiera de los tres factores anteriores, la instalación más eficiente será aquella en la que el producto de los tres factores -eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares y factores de mantenimiento y utilización de la instalación- sea máximo [9].

En la Tabla 3.1 se muestran los requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial funcional según los criterios establecidos por el REEIAE [9]

Tabla 3.1 Requisitos mínimos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado vial funcional

Iluminancia media en servicio $E_m$ (lux)	Eficiencia energética mínima $\left( \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{w} \right)$
$\geq 30$	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Nota- Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrá por interpolación lineal

### 3.2. La contaminación lumínica

La contaminación lumínica es el resultado de un consumo inadecuado e innecesario de energía. Se origina cuando se emite un flujo luminoso en direcciones, intensidades y rangos espectrales innecesarios. Otros de los factores que afectan a dicha contaminación pueden ser un uso indebido del alumbrado exterior; como puede ser un empleo de niveles luminosos excesivo, la ausencia de horarios de apagados de la iluminación ornamental, etc. Todo esto se podría evitar con un buen diseño de las instalaciones de alumbrado exterior y una gestión eficiente de su funcionamiento y mantenimiento.

Las consecuencias negativas de dicha contaminación son la alteración del proceso natural nocturno de iluminación que puede afectar a los ciclos biológicos de los seres vivos, la dificultad para llevar a cabo las observaciones astronómicas y un derroche de energía innecesario. El fenómeno de la contaminación lumínica puede observarse en los conocidos atlas nocturnos de Cinzano, Falchi & Elvidge [10], como el que se muestra en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Atlas nocturno de Europa [10]

Tanto las imágenes por satélite como los mapas de contaminación lumínica demuestran que España es uno de los países a la cola en eficiencia energética con un elevado consumo en alumbrado [11].

Para reducir la contaminación lumínica se debe efectuar un correcto diseño de la iluminación artificial y llevar a cabo una buena ejecución de la misma, lo que produciría una reducción de la contaminación lumínica y un ahorro notable de energía. A modo de ejemplo, la Figura 3.2 muestra la recomendación para un buen diseño de la luminaria vial.



Figura 3.2 Recomendación para un buen diseño de luminaria vial

Para España y la Unión Europea tanto la eficiencia energética como la reducción de la contaminación lumínica son un objetivo prioritario. El 29 de Julio de 2011, el Consejo de Ministros aprobó el 2º Plan Nacional de Eficiencia Energética de España 2011-2020 [12]. Este plan da continuidad a los planes de ahorro y eficiencia energética anteriormente aprobados por el Gobierno español en el marco de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2010, y que da cumplimiento a la Directiva 2006/32/CE sobre eficiencia en el uso final de la energía y los servicios energéticos. El objetivo de este plan es garantizar el cumplimiento de los objetivos 20-20-20 (20% de reducción del consumo energético, 20% de energía final con proveniente de fuentes de energías renovables y 20% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>). En este último plan se da una gran importancia a la mejora de la eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado público.

El Plan de Acción 2011-2020 presenta la relación completa de medidas y mecanismos para hacer posible la consecución de los objetivos previstos. El capítulo 10 se refiere a los Servicios Públicos, que agrupa las instalaciones de alumbrado exterior en vías y espacios públicos y las de suministro de agua a la población. Como instalaciones de alumbrado exterior se entiende las instalaciones de iluminación funcional, ambiental y ornamental de vías y espacios abiertos.

El 95% del alumbrado exterior corresponde a instalaciones propiedad de los ayuntamientos [12]. Este subsector ha experimentado un importante crecimiento en los últimos 15 años, asociado al gran desarrollo urbanístico habido en los distintos municipios de España y al consiguiente equipamiento asociado a los nuevos viales y otros espacios e infraestructuras asociadas.

### 3.3. Componentes de las instalaciones de alumbrado Exterior

#### 3.3.1. Luminarias

Una luminaria es un aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación [13].

Los elementos que componen una luminaria son los siguientes:

- **Armadura o carcasa:** Es el elemento físico mínimo que sirve de soporte y delimita el volumen de la luminaria conteniendo todos sus elementos. Pueden distinguirse varios tipos:
  - Para interiores o exteriores.
  - De superficie o empotradas.
  - Suspendidas o de carril.
  - De pared, para brazo o sobre columna.
  - Abierta, cerrada o estanca.
  - Para ambientes normales o de riesgo (de corrosión o explosión).
  
- **Equipo eléctrico:** Se debe adecuar a los distintos tipos de fuentes de luz artificial en función de la siguiente clasificación:
  - Incandescentes normales sin elementos auxiliares.
  - Halógenas de alto voltaje a la tensión normal de la red, o de bajo voltaje con transformador o fuente electrónica.
  - Fluorescentes. Con reactancias o balastos, condensadores e ignitores, o conjuntos electrónicos de encendido y control.
  - De descarga. Con reactancias o balastos, condensadores e ignitores, o conjuntos electrónicos de encendido y control.
  
- **Reflectores:** Superficies en el interior de la luminaria que modelan la forma y dirección del flujo de la lámpara. En función de cómo se emita la radiación luminosa pueden ser:
  - Simétrico (con uno o dos ejes) o asimétrico.
  - Concentrador (haz estrecho menor de 20º) o difusor (haz ancho entre 20 y 40º; haz muy ancho mayor de 40º).

- Especular (con escasa dispersión luminosa) o no especular (con dispersión de flujo).
  - Frío (con reflector dicroico) o normal.
- **Difusores:** Elemento de cierre o recubrimiento de la luminaria en la dirección de la radiación luminosa. Los tipos más usuales son:
    - Opal liso (blanca) o prismática (metacrilato traslúcido).
    - Lamas o reticular (con influencia directa sobre el ángulo de apantallamiento).
    - Especular o no especular (con propiedades similares a los reflectores).
  - **Filtros:** En posible combinación con los difusores sirven para potenciar o mitigar determinadas características de la radiación luminosa.

### **Clasificación de las luminarias por el grado de protección eléctrica**

Las luminarias deben asegurar la protección de las personas contra los contactos eléctricos. Según el grado de aislamiento eléctrico, las luminarias pueden clasificarse como [14]:

- Clase 0: Aislamiento normal, sin toma de tierra.
- Clase I: Aislamiento normal, con toma de tierra.
- Clase II: Doble aislamiento, sin toma de tierra.
- Clase III: Previstas para ser alimentadas a una tensión inferior a 50 V.

### **Clasificación de las luminarias por condiciones operativas**

El sistema IP (International Protection – Protección Internacional) fijado por la UNE-EN 60598 clasifica las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen contra el ingreso de cuerpos extraños, polvo y humedad, como se indica en las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

La designación para indicar los grados de protección consiste en las letras características de IP seguidas por dos o tres números que indican el cumplimiento de las condiciones establecidas en las tablas 3.2., 3.3 y 3.4. El primero de estos números es una indicación de la protección contra el ingreso de cuerpos extraños y polvo y el segundo número indica el grado de sellado para evitar el ingreso de agua, mientras que el tercer número indica el grado de resistencia a los impactos [1].



Tabla 3.2 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo (1ª cifra)



Primer nº característico	Breve descripción	Símbolo
0	No protegida	No tiene
1	Protegida contra objetos sólidos mayores de 50 mm	No tiene
2	Protegida contra objetos sólidos mayores de 12,5 mm	No tiene
3	Protegida contra objetos sólidos mayores de 2,5 mm	No tiene
4	Protegida contra objetos sólidos mayores de 1 mm	No tiene
5	Protegida contra polvo	
6	Hermética al polvo	

Tabla 3.3 Clasificación EN 60598 por grado de protección contra el agua (2ª cifra)







Segundo nº característico	Breve descripción	Símbolo
0	No protegida	No tiene
1	Protegida contra gotas de agua en caída vertical	
2	Protegida contra caída de agua verticales con una inclinación máxima de 15º de la envolvente	No tiene
3	Protegida contra el agua en forma de lluvia fina formando 60º con la vertical como máximo	
4	Protegida contra proyecciones de agua en todas direcciones	
5	Protegida contra chorros de agua en todas las direcciones	
6	Protegida contra fuertes chorros de agua en todas direcciones	No tiene
7	Protegida contra efectos de inmersión temporal en agua	
8	Protegida contra la inmersión continua en agua	

Tabla 3.4 Clasificación EN 60598 contra impactos mecánicos

Tercer nº característico	Breve descripción	Símbolo
0	Ninguna protección	No tiene
1	Protección contra un impacto de 0,225 J de energía	No tiene
3	Protección contra un impacto de 0,5 J de energía	No tiene
5	Protección contra un impacto de 2 J de energía	No tiene
7	Protección contra un impacto de 6 J de energía	No tiene
9	Protección contra un impacto de 20 J de energía	No tiene

En lugar de esta tercera cifra, también es de aplicación la Norma EN-50102 sobre “Grados de Protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra impactos mecánicos externos (código IK)”.

En dicha Norma, el grado de protección proporcionado por una envolvente contra los impactos se indica mediante el código IK de la siguiente forma:

- Letras del código (protección mecánica internacional): IK.
- Grupo de cifras características: De 00 a 10.

Cada grupo de cifras características representa un valor de la energía de impacto, cuya correspondencia se presenta en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Correspondencia entre código IK y la energía de impacto

Código IK	IK00	IK01	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energía de impactos en Julios	*	0,15	0,2	0,35	0,7	1	2	5	10	20


### **Grado de inflamabilidad de la superficie de montaje**

Las luminarias no pueden ser montadas sobre cualquier superficie. La inflamabilidad de cada superficie y la temperatura del cuerpo de la luminaria imponen ciertas restricciones al respecto.

La EN-60598 define a las superficies inflamables como normalmente inflamables o fácilmente inflamables, véase Tabla 3.6.

- La clasificación **normalmente inflamable** corresponde a materiales con una temperatura de ignición de al menos 200 °C y que no se debilitan ni deforman a esa temperatura.
- La clasificación **fácilmente inflamable** es para materiales que no pueden ser clasificados como normalmente inflamables o no-combustibles. No pueden ser utilizados como superficie de montaje para luminarias. El montaje suspendido es la única alternativa en estos casos [1].

Tabla 3.6 Clasificación de la EN-60598 para montaje de luminarias

Clasificación	Símbolo
Luminarias adecuadas para montaje directo sólo sobre superficies no combustibles	Sin símbolo, sólo se requiere una nota de advertencia
Luminarias adecuadas para montaje directo sobre superficies normalmente inflamables	 Sobre la placa de tipo

### **Clasificación de las luminarias por sus condiciones de servicio**

Las luminarias se pueden clasificar de la siguiente manera según sus condiciones de servicio:

- Luminarias para instalaciones de iluminación interior.
- Luminarias para instalaciones de iluminación pública.
- Luminarias para instalaciones de iluminación por proyección.

En nuestro caso hablaremos solo de aquellas luminarias para instalaciones de alumbrado exterior, pues son las que nos interesan para nuestro caso de estudio [1].

### **Luminarias para instalaciones de iluminación pública**

Esta clasificación engloba dos tipos:

- Luminarias de parques y jardines e iluminación pública viaria.
- Vías urbanas, autopistas, túneles, etc.

En nuestro caso de estudio atenderemos solo al primer tipo.

La C.I.E. (Commission Internationale de l'Éclairage –Comisión internacional de la Iluminación) ha introducido un nuevo sistema para la clasificación de las luminarias para iluminación de viales y así sustituir al sistema que introdujo en el año 1965, en el que se hacía la clasificación cut-off, semi-cut-off y non-cut-off. No obstante, el antiguo sistema sigue siendo utilizado en ciertas recomendaciones nacionales para la iluminación de viales.

La nueva clasificación de luminarias de la C.I.E. se basa en tres propiedades básicas de las luminarias:

1. La extensión a la cual la luz de la luminaria se distribuye a lo largo de un camino: El “alcance” de la luminaria.
2. La cantidad de diseminación lateral de la luz, a lo ancho de un camino: La “apertura”.
3. El alcance de la instalación para controlar el deslumbramiento producido por la luminaria: El “control” de la luminaria.

El alcance está definido por el ángulo  $\gamma_{\max}$  que forma el eje del haz con la vertical que va hacia abajo. El eje del haz está definido por la dirección de la bisectriz del ángulo formado por las dos direcciones de 90%  $I_{\max}$  en el plano vertical de intensidad máxima, como se muestra en la Figura 3.3.

Se definen tres grados de alcance de la manera siguiente:

- $\gamma_{\max} < 60^\circ$ : alcance corto.
- $70^\circ \geq \gamma_{\max} \geq 60^\circ$ : alcance medio.
- $\gamma_{\max} > 70^\circ$ : alcance largo.

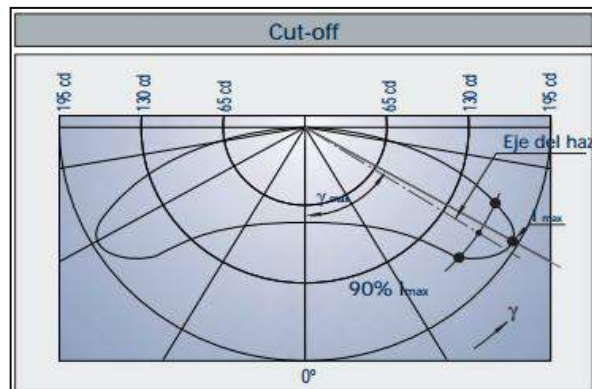


Figura 3.3 Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima, que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance

La apertura o dispersión está definida por la posición de la línea, que corre paralela al eje del camino y que apenas toca el lado más alejado del 90%  $I_{max}$  en el camino. La posición de esta línea está definida por el ángulo  $\gamma_{90}$ , como se muestra en la Figura 3.4.

Los tres grados de apertura se definen de la siguiente manera:

- $\gamma_{90} < 45^\circ$ : apertura estrecha.
- $55^\circ \geq \gamma_{90} \geq 45^\circ$ : apertura media.
- $\gamma_{90} > 55^\circ$ : apertura ancha.

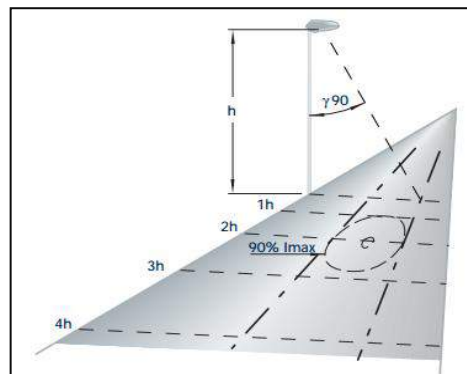


Figura 3.4 Apertura o dispersión

Tanto el alcance como la apertura de una luminaria pueden ser mejor determinados a partir de un diagrama de isocandela en la proyección acimutal, como el mostrado en la Figura 2.7 del capítulo anterior.

### 3.3.2. Lámparas

Se define lámpara como un dispositivo eléctrico de iluminación artificial.

En este punto trataremos las lámparas empleadas para alumbrado de exteriores.

## **Requisitos que deben cumplir las lámparas**

Los requisitos que deben cumplir las lámparas son los que se indican a continuación.

### **1. Distribución espectral de la radiación total**

Es deseable que la luz emitida por las lámparas sea blanca como la luz del día y con buena reproducción cromática. Esto se consigue con un espectro continuo que contenga todos los colores. Al ser la sensibilidad del ojo máxima para la radiación con una longitud de onda de aproximadamente 555 nm, es decir, para la radiación amarillo-verdosa, lo más favorable en cuanto a rendimiento luminoso es obtener un porcentaje mayor de radiación en dicha longitud de onda [1], véase figura 3.5.

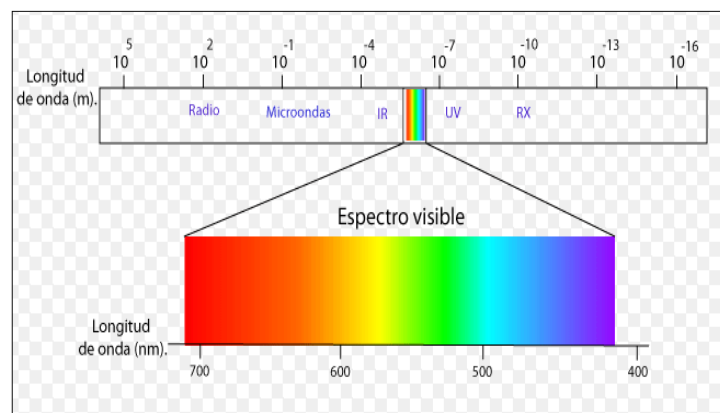


Figura 3.5 Espectro electromagnético visible por el ojo humano

### **2. Luminancia**

La luminancia debe mantenerse dentro de unos niveles para así evitar el deslumbramiento molesto.

La luminancia de una lámpara depende de la naturaleza física de la fuente y de si ésta es puntual, lineal o plana. La luminancia de las lámparas nunca puede aumentarse mediante cualquier sistema óptico pero sí debilitarse, por ejemplo con capas difusoras [1].

### **3. Distribución de la intensidad luminosa**

La radiación de una lámpara no es igual en todas las direcciones del espacio. Este parámetro varía en función de la posición del casquillo, los soportes del cuerpo luminoso, etc.

Las curvas de distribución luminosa son esenciales para proyectar instalaciones de alumbrado, así como para el diseño de luminarias, porque su sistema óptico debe ajustarse a la curva de distribución luminosa de la lámpara para que la luz sea dirigida al lugar o punto de máxima necesidad [1].

#### 4. Temperatura de color

Como mencionamos anteriormente la Temperatura de color más deseable será la de 6000 K ya que se desea conseguir que la luz emitida por las lámparas sea blanca como la luz del día. En la Tabla 3.7 se muestran las distintas temperaturas de color según los colores de la luz.

Tabla 3.7 Color de luz y Temperatura de color

Color de Luz	Temperatura de color
Incandescente-fluorescente	2600-2700 K
Blanco cálido	2900-3000 K
Blanco o blanco neutral	3500-4100 K
Blanco frío	4000-4500 K
Blanco luz día	6000-6500 K

#### 5. Reproducción cromática

El índice de reproducción cromática (IRC), como se comentó en el apartado 2.2, mide la capacidad de una lámpara para reproducir los colores. El valor máximo que puede alcanzar el índice de reproducción cromática es 100 y se refiere a la luz del cuerpo negro [2].

La mayoría de las veces se exige que una lámpara tenga una buena reproducción cromática (con IRC cercano a 100), esto requiere una distribución espectral diferente a la que necesaria para conseguir un elevado rendimiento luminoso.

#### 6. Rendimiento luminoso

Como explicamos anteriormente, el rendimiento luminoso es la relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y la potencia eléctrica absorbida.

Por lo tanto se buscará obtener una alta iluminación al menor coste posible, es decir, consumiendo poca potencia.

No obstante, en muchos casos hay que decidir cuál es la propiedad de la lámpara que resulta más valiosa, si un elevado rendimiento luminoso o una reproducción cromática buena.

#### 7. Vida útil

La vida útil es un parámetro que indica el número de horas tras las cuales se experimenta una disminución del flujo luminoso del 80% de su valor inicial [15].

## 8. Variaciones de la tensión de alimentación

Las variaciones de la tensión de alimentación producen una notable disminución de la vida útil; así como efectos negativos en la temperatura de color. Por tanto el objetivo es minimizar lo máximo posible la variación de la tensión de alimentación, aproximándola a la tensión nominal de la lámpara [1].

## 9. Posibilidad de reencendido inmediato

Es la probabilidad de que una lámpara tras ser apagada tenga un reencendido inmediato y con una emisión del flujo luminoso total.

Cada tipo de lámpara tiene un comportamiento diferente de reencendido inmediato como se muestra a continuación:

- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión: necesitan un tiempo de enfriamiento de algunos minutos para poder reencender en caliente, y otro tiempo para alcanzar el flujo luminoso total.
- Lámparas de halogenuros metálicos: se comportan igual que las de vapor de mercurio, existiendo algunos tipos que pueden reencender en caliente mediante aparatos especiales.
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión: los tipos que poseen aparato de encendido separado reencienden en caliente dentro de un minuto y alcanzan el flujo total prácticamente sin demora. Los otros tipos sin aparato de encendido separado se comportan de forma similar a las lámparas de vapor de mercurio.
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión: se comportan como las lámparas de vapor de mercurio [1].

## 10. Efecto estroboscópico

En todas las fuentes de luz artificiales que funcionan con corriente alterna se para su emisión cada vez que la corriente pasa por cero. Esto sucede dos veces por periodo, es decir para una frecuencia de 50 Hz se producirán 100 instantes de oscuridad por segundo.

El filamento de las lámparas incandescentes posee mucha inercia térmica, por lo que se produce un ligero descenso de la emisión luminosa por tal circunstancia, que pasa desapercibido por el ojo excepto cuando lámparas de poca potencia funcionan con redes de 25 Hz.

En las lámparas de descarga que funcionan con redes de 50 Hz, el ojo no es capaz de apreciar las variaciones tan rápidas de luz que se producen, pero puede darse el caso de que las lámparas iluminen zonas en las que se realicen movimientos rápidos, observándose entonces como si estos

movimientos se realizaran de forma intermitente e incluso como si estuvieran parados.

Este fenómeno se conoce como *efecto estroboscópico* y se puede reducir hasta hacerlo insensible por medio de montajes especiales de alimentación de las lámparas, o donde se disponga de línea trifásica, distribuyendo su conexión entre las tres fases [1].

### 11. Posición de funcionamiento

Una lámpara eléctrica generalmente está construida para una determinada posición de funcionamiento en la que presenta unas óptimas propiedades de trabajo. Fuera de esta posición, las propiedades cambian desfavorablemente, llegando a producir un agotamiento prematuro de la lámpara.

Los catálogos de los distintos fabricantes indican las tolerancias para evitar una incorrecta posición de funcionamiento.

Principales posiciones de funcionamiento:

- S (s) = Vertical (de pie, casquillo abajo).
- H (h) = Vertical (colgando, casquillo arriba).
- P (p) = Horizontal (casquillo a un lado).
- HS (hs) = Vertical (casquillo arriba o abajo).
- Universal = Permite cualquier posición de colocación.

Ángulos de inclinación admisibles:

- A la posición principal de funcionamiento sigue una cifra que señala la inclinación admisible en grados con respecto a aquella, según se muestra en la Figura 3.6.

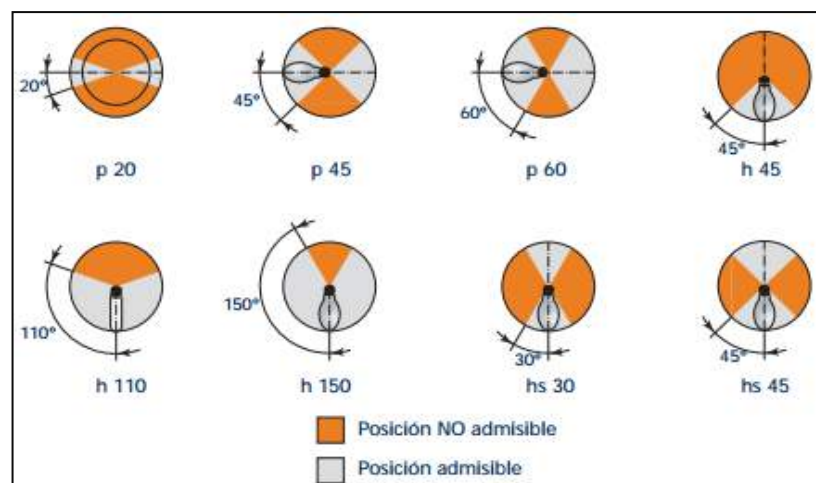


Figura 3.6 Esquema de posiciones de funcionamiento



## Tipos de Lámparas

### 1. Lámparas incandescentes

Este tipo de lámparas se basan en el principio del termorradiador. En el que la emisión de luz es el resultado del paso de corriente eléctrica a través de un filamento de tungsteno, que se comporta como una resistencia; el aumento de la temperatura en dicho filamento hace que se emitan radiaciones visibles por el ojo humano.

Las lámparas incandescentes se dividen en dos grupos: Incandescentes convencionales y halógenas.

#### Lámparas incandescentes convencionales

Están formadas por un filamento de wolframio, un casquillo metálico con rosca y una ampolla de vidrio con gas de relleno, véase Figura 3.7.

Este tipo de lámparas han sido suprimidas progresivamente desde 2009 hasta su extinción en el mercado a petición de la Unión Europea, para promover la eficiencia energética [16].

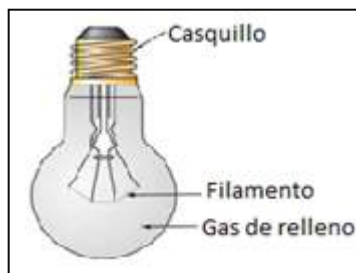


Figura 3.7 Lámpara incandescente convencional

Las características técnicas de este tipo de lámparas vienen indicadas en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Características lámpara incandescente [8]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
700-30000	10-22	100	2700	1000	Inmediato

#### Lámparas halógenas

Una lámpara halógena es una derivación de la lámpara incandescente, en la que además del gas de llenado, se introduce una determinada cantidad de elementos químicos denominados halógenos (cloro, bromo y yodo), véase Figura 3.8.

El halógeno y el wolframio en estado gaseoso pueden combinarse a temperaturas mayores de 250 °C y disociarse a partir de los 1400° esto produce un proceso regenerativo del filamento de la lámpara que aumentara su vida útil conocido como ciclo del halógeno.

Por tanto, las características de las lámparas halógenas respecto a las incandescentes convencionales mejoran en cuanto a vida útil, mayor temperatura de color y aumento de eficiencia luminosa [17].

Este tipo de lámparas se utiliza normalmente en alumbrado de interiores para iluminar edificios, pabellones de deporte, comercios, etc.

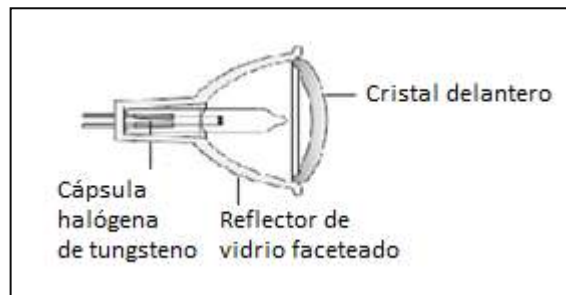


Figura 3.8 Lámpara halógena convencional

Características técnicas:

Tabla 3.9 Características lámpara halógena [8]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (°K)	Vida útil (h)	Encendido
2500-45000	10-29	100	3000	2000	Inmediato

## 2. Lámparas de descarga

Emiten luz debido a la descarga eléctrica a través de vapores metálicos o gases. Se clasifican como:

Baja presión:

- Lámparas fluorescentes.
- Vapor de sodio a baja presión.

Alta presión:

- Vapor de mercurio.
- Luz de mezcla.
- Halogenuros metálicos.
- Vapor de sodio a alta presión.

### Lámparas fluorescentes

Son fuentes luminosas en las que la luz se forma como consecuencia de un fenómeno llamado luminiscencia. Este fenómeno es consecuencia de una descarga eléctrica en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión que da lugar a rayos ultravioleta, que son transformados en luz visible por el ojo humano mediante polvos fluorescentes situados en la pared interior del tubo [2].

Una lámpara fluorescente está formada por los casquillos, tubo de descarga que contiene vapor de mercurio a baja presión, recubrimiento fluorescente y dos electrodos, véase Figura 3.9.

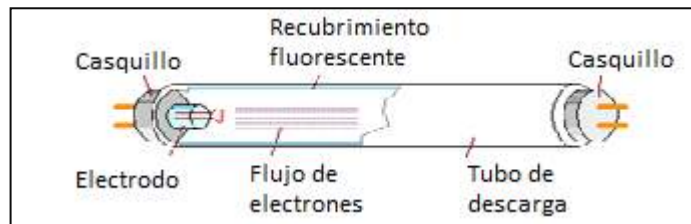


Figura 3.9 Partes de una lámpara fluorescente

Este tipo de lámparas además dispone de tres elementos auxiliares: un cebador, una reactancia o balasto y un condensador del cebador. El cebador está formado por una ampolla de cristal en cuyo interior contiene el bimetálico. En paralelo con el bimetálico se encuentra un condensador que actúa de apaga chispas alargando la vida útil del par bimetálico cuando trabaja a altos voltajes [18], véase Figura 3.10. La función del cebador es iniciar la descarga en el tubo de la lámpara (las lámparas fluorescentes de arranque rápido y de arranque instantáneo no necesitan cebador). El balasto, formado por una bobina y un núcleo magnético, suministra una corriente de arranque suficiente para el encendido y limita la corriente que atraviesa la lámpara [2].

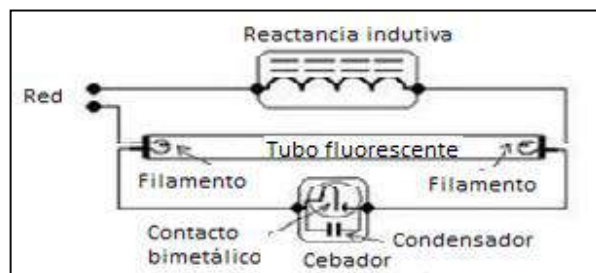


Figura 3.10 Elementos auxiliares de una lámpara fluorescente

Este tipo de lámparas se usa en oficinas, almacenes, comercio, escuelas, hospitales, etc. Sus características técnicas se muestran en la Tabla 3.10:

Tabla 3.10 Características lámpara fluorescente [8]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (°K)	Vida útil (h)	Encendido
450-5500	40-100	50-90	3000-7500	5000-7500	Pocos seg/inmediato

### Vapor de sodio a baja presión

Producen luz basándose en el fenómeno de la electroluminiscencia, que consiste en la producción de luz por el paso de una descarga eléctrica a través de gases luminiscentes. En el caso de la lámpara de vapor de sodio a baja presión se produce la descarga eléctrica a través del sodio vaporizado y esto da lugar a radiaciones de aproximadamente 589 nm, es decir emiten luz de color amarillo monocromático [14].

La tensión necesaria para el encendido suele estar entre los 390 y 600 V, por lo que al ser más elevada que la tensión de la red de alimentación este tipo de lámparas necesitarán de autotransformadores que limitan la corriente circulante por la lámpara y elevan la tensión de red al valor de la tensión de encendido, también se suelen colocar condensadores en paralelo con la entrada de los autotransformadores para mejorar el factor de potencia de dichas lámparas [2].

Están formadas por un casquillo, electrodos, ampolla exterior, gas de relleno y tubo de descarga, véase Figura 3.11.

Este tipo de lámparas son empleadas en lugares donde se necesite luz de poca calidad: túneles, carreteras, puertos, aparcamientos, etc [14]. Sus características técnicas se muestran en la Tabla 3.11.



Figura 3.11 Partes de una lámpara de vapor de sodio a baja presión

Tabla 3.11 Características lámpara de vapor de sodio a baja presión [8]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
1800-8000	170-200	nulo	nulo	12000	7-12 minutos

### Vapor de mercurio

Su funcionamiento se basa en la electroluminiscencia, que como ya explicamos anteriormente, consiste en producir luz a partir de una descarga eléctrica producida en los gases luminiscentes. En este tipo de lámparas las radiaciones emitidas corresponden a los colores violeta, azul, verde y amarillo y una pequeña parte de radiaciones ultravioletas [2].

Las lámparas de vapor de mercurio, como se puede observar en la Figura 3.12, están compuestas por casquillo, electrodos, una ampolla que contiene el gas neutro y un tubo de descarga en cuyo interior se encuentra el gas de relleno.

Este tipo de lámparas se utilizan en iluminación de grandes áreas interiores como polideportivos e industrias y también en alumbrado de fachadas, calles, etc. Sus características técnicas se resumen en la Tabla 3.12.

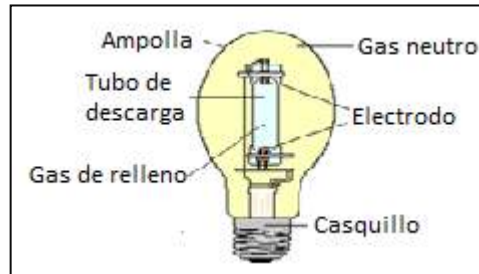


Figura 3.12 Partes de una lámpara de vapor de mercurio

Tabla 3.12 Características lámpara de vapor de mercurio. [8]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
1800-22000	35-60	50	3000-4500	16000	4-5 minutos

### Luz de mezcla

Este tipo de lámparas combinan incandescencia y vapor de mercurio a alta presión [8].

Se componen de casquillo, ampolla, sustancia fluorescente, gas de relleno, filamento incandescente, alambre, resistencia de arranque, tubo de descarga y electrodos, véase Figura 3.13.

La luz de mezcla se usa en industrias pero tiene tendencia a desaparecer. Las características técnicas de este tipo de lámparas se presentan en la Tabla 3.13.

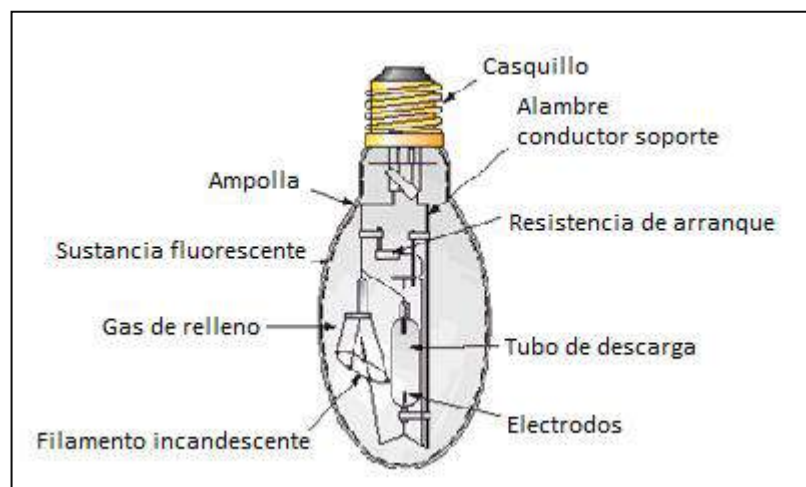


Figura 3.13 Partes de una lámpara de luz de mezcla

Tabla 3.13 Características lámpara de luz de mezcla. [8]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
3100-14000	20-30	68	3500-4000	6000	Inmediato

### Halogenuros metálicos

La producción de luz es similar a la de las lámparas de mercurio, pero se diferencian de estas en que contienen halogenuros como talio, indio, holmio, etc. Esto hace que se consiga una buena reproducción cromática y se aumente el rendimiento luminoso sin usar polvos fluorescentes [15].

Las partes que lo componen, ilustradas en la Figura 3.14, son el casquillo, la ampolla, electrodos y un tubo de descarga.

Se utilizan para alumbrado deportivo, comercial, de monumentos, etc. Sus características técnicas se muestran en la Tabla 3.14.

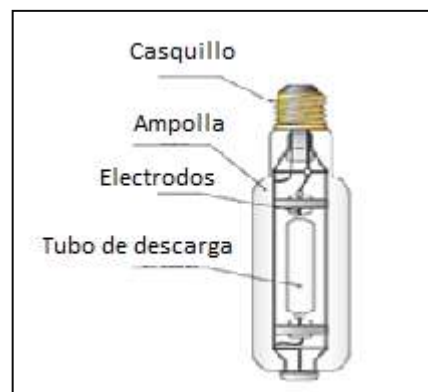


Figura 3.14 Partes de una lámpara de halogenuros metálicos

Tabla 3.14 Características lámpara de halogenuros metálicos. [8]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
5000-170000	70-120	60-100	3000-6000	1000-10000	3 minutos

### Vapor de sodio a alta presión

La producción de luz está basada en la luminiscencia donde, como expusimos anteriormente, la luz se produce por descarga eléctrica a través de un gas; en este caso de sodio, mercurio y un gas noble, vaporizados a alta presión [15].

Están compuestas, al igual que las lámparas de vapor de sodio a baja presión, por un casquillo, gas de relleno, ampolla exterior, tubo de descarga y electrodos, véase Figura 3.15.

Son utilizadas tanto en interiores como en exteriores, donde hay elevadas alturas de montaje y sin grandes exigencias cromáticas; como es el caso de alumbrado público de calles o en naves industriales y almacenes.

Las características técnicas de este tipo de lámparas se indican en la Tabla 3.15.

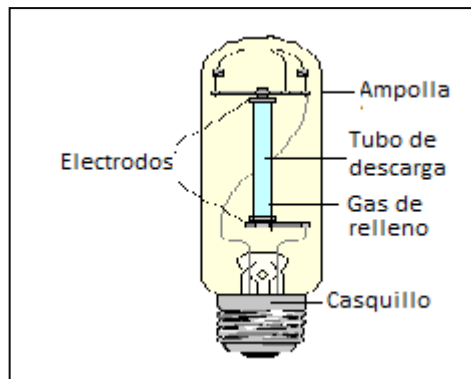


Figura 3.15 Partes de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

Tabla 3.15 Características lámpara de vapor de sodio a alta presión [8]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
7000-130000	70-150	25-80	2000-2500	15000	4-6 minutos (2 minutos con eq. electrónico)

### 3. Lámparas de inducción

Este tipo de lámparas se basan en el principio de descarga de gas de baja presión y lo que las caracteriza es no necesitan de electrodos para ionizar el gas. Lo cual se traduce en un aumento de la eficiencia de la lámpara y de su vida útil [1].

Las lámparas de inducción se subdividen en lámparas fluorescentes de alta potencia sin electrodos y en lámparas de descarga de gas a baja presión por inducción.

#### Lámparas fluorescentes de alta potencia sin electrodos

Para poder prescindir del uso de los electrodos, en esta lámpara el vidrio tiene forma de anillo cerrado y la energía que se precisa para la descarga del gas es abastecida por un campo magnético exterior. Dicho campo magnético es producido por dos anillos de ferrita [1].

Las principales partes que constituyen la lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos las podemos observar en la Figura 3.16 y son el núcleo de ferrita, un tubo de vidrio en forma de anillo, recubrimiento fluorescente y bobinas.

Este tipo de lámparas están indicadas para aplicaciones donde la sustitución de lámparas incrementa excesivamente los costos de mantenimiento, por ejemplo para la iluminación de túneles, naves de techos muy altos y de difícil acceso, etc.

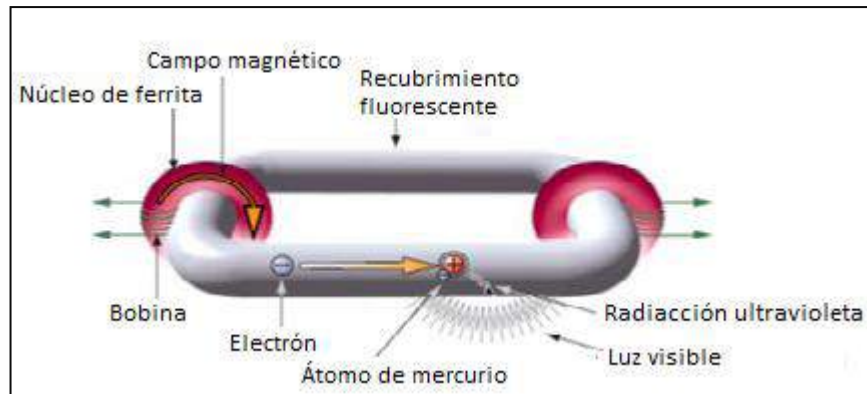


Figura 3.16 Partes de una lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos

La Tabla 3.16 muestra las características técnicas de este tipo de lámparas:

Tabla 3.16 Características lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos [15]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
12000	70	80	2700-6500	60000	Inmediato

### Lámparas de descarga de gas a baja presión por inducción

Estas lámparas están formadas por un tubo con gas a baja presión y un acoplador de potencia (antena) que sustituye a los electrodos. Este acoplador está compuesto por un núcleo cilíndrico de ferrita que crea un campo electromagnético dentro de la ampolla que induce una corriente eléctrica en el gas provocando su ionización, véase Figura 3.17. Esta ionización se mantiene por la energía suministrada a la antena por un generador de alta frecuencia que forma parte del circuito oscilador [1].

Al igual que en el caso anterior estas lámparas están indicadas para zonas de difícil acceso con el objetivo de reducir los costos de mantenimiento derivados de la sustitución de lámparas.





Figura 3.17 Lámpara de descarga de gas por inducción

La Tabla 3.17 muestra las características técnicas de las lámparas fluorescentes de alta potencia sin electrodos:

Tabla 3.17 Características lámpara fluorescente de alta potencia sin electrodos. [19]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
12000	65-81	80	2700-4000	60000	Inmediato

#### 4. El diodo LED

El diodo LED o Diodo Emisor de Luz (Light-Emitting Diode), es un dispositivo electrónico semiconductor que polarizado directamente entre ánodo y cátodo emite luz al producirse el fenómeno conocido como electroluminiscencia [17].

Se trata de una lámpara en estado sólido, ya que no posee ni filamento, ni gas, ni ampolla de vidrio [19].

#### Detalles constructivos

En la Figura 3.18, podemos observar las partes constructivas de un LED.

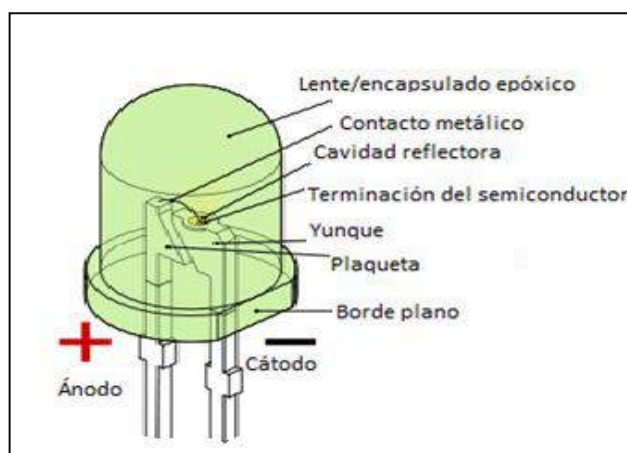


Figura 3.18 Esquema de un LED

## Funcionamiento

Un diodo al ser de material semiconductor está hecho fundamentalmente de silicio (Si).

Para aplicaciones optoelectrónicas (aquellas en las que se genera luz) deben utilizarse otros materiales semiconductores como el InGaP (formado por Indio, Galio y Fósforo) de que emite luz ámbar y roja o el InGaN (compuesto por Indio, Galio y Nitrógeno) que emite luz verde y azul. Por este motivo, el material semiconductor empleado en la fabricación del chip es el responsable del color de la luz que emitirá.

Normalmente los LEDs de blanco se generan a partir de LEDs de color azul, o incluso ultravioleta, a los que mediante técnicas variadas (volumétrica / fósforo a distancia, capa fina) se añaden una serie de fósforos en el encapsulado que absorben la radiación ultravioleta y emiten luz blanca en longitudes de onda visibles [20], véase Figura 3.19.

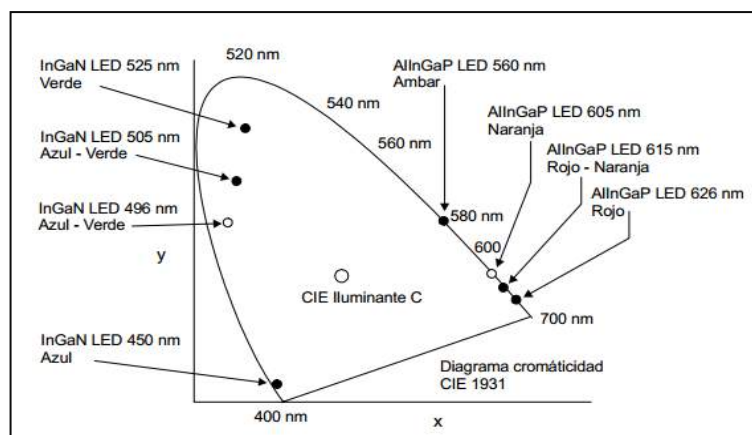


Figura 3.19 Longitud de onda dominante para diferentes LEDs

Los LEDs son dispositivos diseñados para una corriente determinada que solo puede circular en un único sentido, de ánodo a cátodo; y una tensión que circula en sentido contrario para una polarización directa, véase Figura 3.20.

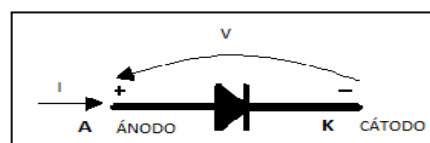


Figura 3.20 Esquema de circulación de corriente y tensión en un diodo

El funcionamiento del LED consiste en una fuente de corriente continua en la que se conecta el ánodo al polo positivo y el cátodo al polo negativo. De esta forma se polariza el diodo en sentido directo consiguiendo la iluminación del mismo; si por el contrario la conexión fuera al revés, se produciría polarización inversa y el diodo no funcionaría.

En Serie con el diodo se conecta una resistencia que actúa como limitadora de la corriente para un correcto funcionamiento, véase Figura 3.21.

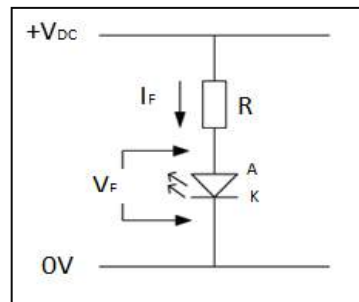


Figura 3.21 Esquema de conexión de un LED

### Ventajas y desventajas

Las ventajas de los LED frente a otros materiales son las siguientes [19], [20], [21]:

- Alta eficacia luminosa.
- Se pueden fabricar lámparas de todos los colores del espectro visible en función de los materiales.
- Vida útil muy larga.
- Eficiencia energética.
- Robustez ante golpes y vibraciones al ser objetos sólidos.
- Reducido tamaño.
- Bajos calentamientos, lo que permite disminuir el tamaño de las luminarias.
- Reducidos costes de mantenimiento debido a la robustez y a la vida útil tan elevada.
- Luz direccional que incrementa la eficiencia del sistema.
- Rapidez de respuesta, ya que tiene un encendido y apagado instantáneo del orden de microsegundos.
- Sin pérdidas en los filtros.
- Bajo consumo comparado con el resto de fuentes de luz, incluso inferior a las lámparas de bajo consumo y tubos fluorescentes.

Como desventajas tenemos:

- Precio elevado.
- Necesidad de usar fuentes de tensión estabilizadas.

### El LED en alumbrado exterior

La tecnología LED ya está disponible para su incorporación al alumbrado exterior y los resultados de las actuaciones y experiencias realizadas por los profesionales del sector, hasta la fecha, han dado buenos resultados, tanto en los ahorros energéticos obtenidos como luminotécnicos. La incorporación de la tecnología LED en al alumbrado ha supuesto el mayor avance tecnológico desde la invención de la lámpara incandescente.

El hecho de que sean absolutamente regulables y con un encendido y reencendido instantáneo, junto con su pequeño tamaño, que nos permite poner la luz justo donde la necesitamos, posibilita jugar con la luz y los colores en una gran libertad de diseño.

**Características técnicas:**

Tabla 3. 18 Características LED [22]

Flujo (lm)	Eficacia (lm/W)	Repr.Cromática (IRC)	Tª Color (ºK)	Vida útil (h)	Encendido
8-2000	15-105	+80	2700-8000	+50000	Inmediato

**Aplicaciones**

Los LEDs son dispositivos en constante evolución y se emplean en actividades nuevas constantemente.

Algunas de las aplicaciones más comunes en las que se emplean los LEDs son: rótulos, semáforos, alumbrado de emergencia, señales de tráfico, alumbrado ornamental, alumbrado de interior y alumbrado de exterior.

**3.3.3. Equipos auxiliares**

Un equipo auxiliar es un dispositivo asociado eléctricamente a una lámpara para ejercer un control sobre la lámpara en el encendido, apagado o regulación de la intensidad, estabilizar los valores nominales de funcionamiento y para programar el mantenimiento mediante el monitoreo de los parámetros de funcionamiento de la lámpara [21].

Necesitan equipos auxiliares todas las lámparas de descarga, ya que sin estos equipos no funcionarían, y las lámparas halógenas de baja tensión. Las incandescentes y halógenas no necesitan de estos equipos ya que la tensión de red y la intensidad que las atraviesa son proporcionales [23].

Hay dos tipos de equipos auxiliares: los balastos y arrancadores.

**Balastos**

Los balastos o reactancias se utilizan en instalaciones con lámparas de descarga.

Los más utilizados son los balastos inductivos y los inductivos-capacitivos. Los balastos resistivos no se utilizan debido a las elevadas pérdidas en forma de calor que ocasionarían y los capacitivos por

provocar deformaciones en la forma de onda de la corriente de lámpara y obtener como consecuencia una baja potencia en la misma [24].

Debido a la gran variedad de lámparas de descarga existentes en tipo, potencia, tamaño, etc., se requieren reactancias adecuadas a cada una de ellas y que les suministre los parámetros precisos en cada caso y en cada momento, es decir, satisfaga las necesidades de arranque y posteriormente las de funcionamiento.

Las principales funciones de estos dispositivos consisten en limitar y estabilizar la corriente, regular la tensión y proporcionar la tensión necesaria para el arranque [23].

Existen dos tipos de balastos. Los balastos electromagnéticos y los balastos electrónicos.

- **Balastos electromagnéticos**

El balasto electromagnético está compuesto por un núcleo de láminas de acero rodeadas por dos arrollamientos de cobre o aluminio que transforman la potencia eléctrica en una corriente apropiada para el arranque y un condensador que mejora el factor de potencia [23].

Para cada tensión de red se necesita un balasto diferente, por lo que dependiendo de la tensión de red se utilizan distintos tipos de reactancias:

- Reactancia de choque: Donde el balasto está formado por una bobina conectada en serie con la lámpara. Se debe conectar un condensador en paralelo con la red para aumentar el factor de potencia, ya que en este caso es muy bajo [23], véase Figura 3.22.

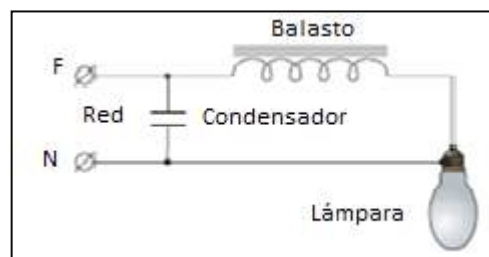


Figura 3.22 Esquema de montaje de la reactancia de choque

- Reactancia autotransformadora: Se utiliza en redes con una tensión de alimentación inferior a 230 V, ya que en este tipo de redes se requiere un sistema de elevación de la tensión para conseguir el encendido de la lámpara. Otra característica importante de este tipo de balasto es que también regula la intensidad que circula por la lámpara [23], véase Figura 3.23.

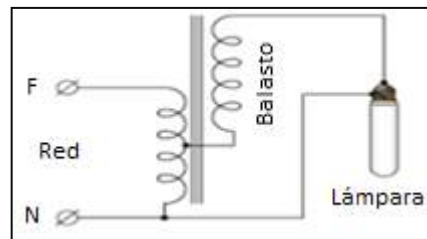


Figura 3.23 Esquema de montaje de reactancia autotransformadora

- Reactancia autorreguladora: Este tipo de balastos son muy similares a los autotransformadores. Están compuestos por la combinación de un autotransformador y un condensador en serie. Dichas reactancias regulan la corriente y la potencia de la lámpara frente a las variaciones de tensión. Esto trae como consecuencia un aumento de la lámpara lo que implica un aumento de las pérdidas, véase Figura 3.24.

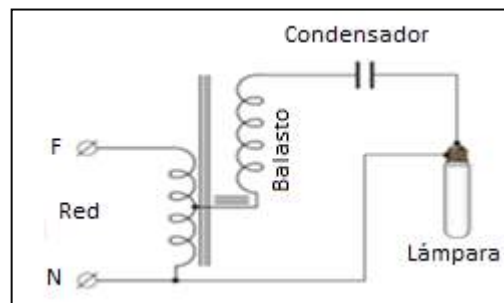


Figura 3. 24 Esquema de montaje de reactancia autorreguladora

- **Balastos electrónicos**

Los balastos electrónicos están formados por componentes y circuitos electrónicos. Tienen el mismo principio de funcionamiento que los electromagnéticos como limitadores de corriente pero trabajan a frecuencias mayores a los 20KHz. Los balastos electrónicos se utilizan para lámparas fluorescentes, halogenuros metálicos y vapor de sodio a alta presión hasta 150W [23], véase Figura 3.25.

Presentan una serie de ventajas frente a los electromagnéticos tales como [23], [24]:

- Mejora de la eficiencia de la lámpara y el sistema disminuyendo las pérdidas.
- Aumento de la vida útil de la lámpara hasta el 50%, disminuyendo así los costes de mantenimiento.
- Factor de potencia elevado muy próximo a la unidad.
- Producen menos calentamiento.
- Menor peso y menor volumen, lo que hace que las dimensiones sean más reducidas.
- Simplificación de la instalación.
- Rápido encendido de las lámparas, eliminando de esta forma el parpadeo.

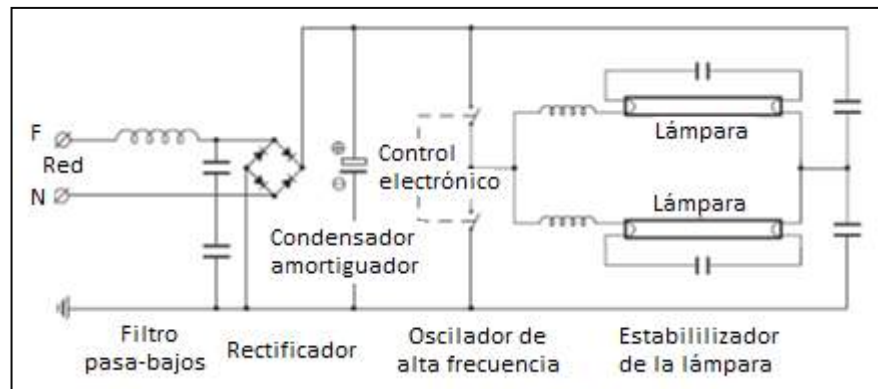


Figura 3.25 Ejemplo de esquema de montaje de balasto electrónico

### Arrancadores

Los arrancadores proporcionan la tensión necesaria en el momento de encendido cuando la lámpara requiere una tensión mayor que la de la red. Estos equipos son utilizados por las lámparas de vapor de mercurio con halógenos metálicos y las lámparas de vapor de sodio a alta y baja presión [23].

Hay dos tipos de arrancadores, arrancadores en frío y arrancadores en caliente.

- **Arrancadores de encendido en frío**

Son arrancadores que no precisan de un tiempo para encender la lámpara pero si requieren del enfriamiento de la lámpara para el reencendido. Estos arrancadores se clasifican según su conexión por:

- Arrancador en serie: Incorpora un transformador que eleva la tensión de impulso que funciona independientemente de la reactancia, véase Figura 3.26.

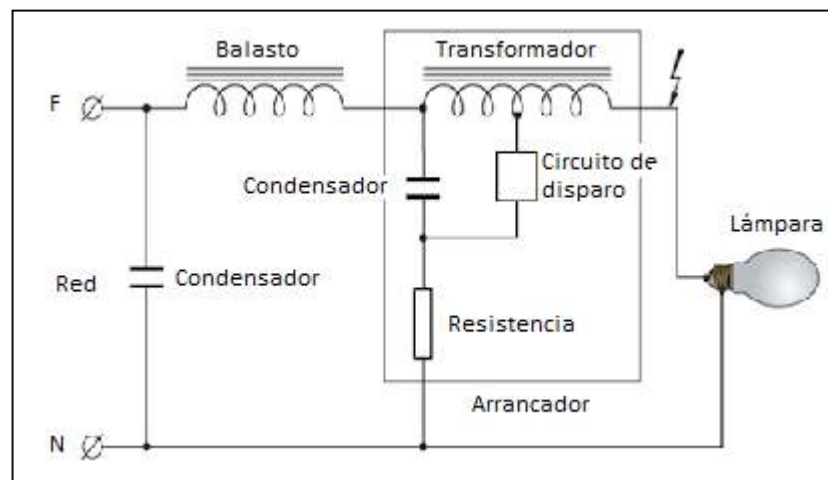


Figura 3.26 Esquema de montaje arrancador en serie

- Arrancador en serie-paralelo: Se basa en la utilización de una reactancia como transformador elevador con una toma intermedia para soportar las tensiones de pico, véase Figura 3.27.

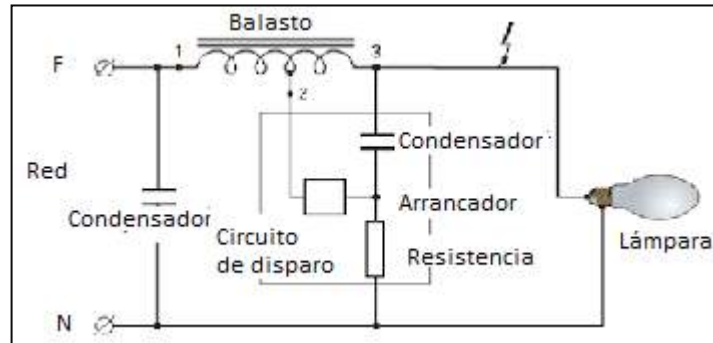


Figura 3.27 Esquema de montaje arrancador en serie-paralelo

- Arrancador de tipo paralelo: No depende de la reactancia ni tiene transformador de impulsos, véase Figura 3.28.

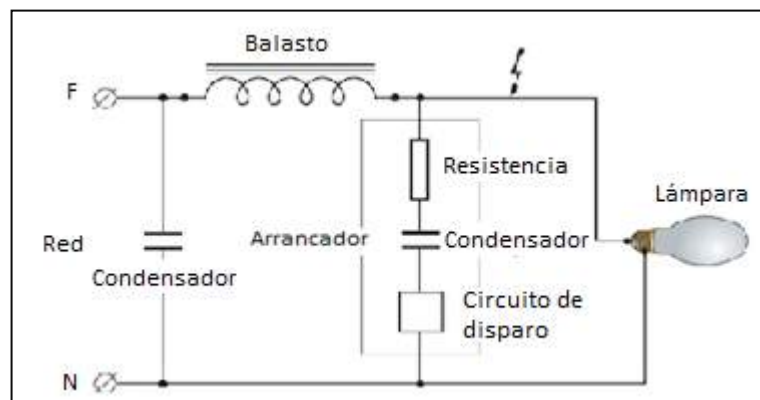


Figura 3. 28 Esquema de montaje de un arrancador en paralelo

- Cebador: Es un tipo de arrancador utilizado para el encendido de lámparas fluorescentes que, como ya explicamos anteriormente, está formado por una ampolla que contiene un bimetálico con un condensador en paralelo. El bimetálico tiene distinto coeficiente de dilatación, provocando una deformación en el electrodo por acción de la temperatura, conectando así las láminas que cierran el circuito. Una vez enfriadas las láminas se abre el circuito permitiendo al balasto emitir el impulso para crear la descarga del arco y provocar de esta manera el funcionamiento de la lámpara [23].

- **Arrancadores de encendido en caliente o instantáneo**

Permiten encender la lámpara de forma instantánea incluso para el reencendido. Son arrancadores poco comunes ya que deben proporcionar una tensión de hasta 60 kV.



### 3.3.4. Sistemas de accionamiento

En este apartado nos ocuparemos de los sistemas de accionamiento de las instalaciones de alumbrado público, es decir, los dispositivos encargados de realizar el encendido en el ocaso solar y el apagado en el orto. El desajuste de estos dispositivos implica un consumo innecesario de energía.

#### **Interruptores crepusculares**

Son dispositivos electrónicos que conmutan un circuito en función de la luminosidad del ambiente utilizando un componente sensible a la luz (célula fotoeléctrica), este componente detecta la cantidad de luz natural en la zona de la instalación y lo compara con un valor ajustado previamente. Dependiendo del valor, abre o cierra sus contactos mediante un relé, véase Figura 3.29.

Es deseable que estos dispositivos se sitúen en la parte superior de un soporte de alumbrado público y fuera de la influencia de cualquier otro alumbrado, esto dificulta las labores de mantenimiento [16].

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el ensuciamiento, debido a la polución, de las envolventes o cristales que protegen las células fotoeléctricas; para evitarlo es deseable que dicha envolvente se limpie con cierta frecuencia, aproximadamente cada seis meses.



Figura 3.29 Interruptor crepuscular

#### **Interruptores horarios astronómicos**

Es un dispositivo automático programado para regular la hora de encendido y apagado de la instalación de alumbrado en función de la hora de salida y puesta del sol (orto y ocaso) del lugar donde está instalado [23]. Además tiene la posibilidad de poder retrasar o adelantar a voluntad, y de manera uniforme los tiempos de maniobra, consiguiendo así un ahorro adicional. Estos dispositivos incorporan el ajuste automático de los cambios de la hora oficial, véase Figura 3.30.

Cuando se realizan correcciones superiores a los 15 minutos, en los días nublados el alumbrado enciende excesivamente tarde y apaga demasiado pronto. Pueden incorporar dos circuitos independientes, uno para el encendido y apagado y otro para la reducción del flujo luminoso durante las horas nocturnas de menor actividad.

El Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE) en la ITC-EA-04 apto. 5, obliga a que las instalaciones de alumbrado exterior, de potencia superior a 5 kW, incorporen un sistema de accionamiento mediante reloj astronómico (véase Figura 3.30) o sistema de encendido centralizado.



Figura 3.30 Reloj astronómico

### **Accionamiento centralizado mediante telecontrol**

Este accionamiento requiere que el centro de mando disponga de un sistema de telecontrol que se encargue de realizar los encendidos y apagados. Estos sistemas normalmente también permiten conocer los parámetros de los cuadros de alumbrado, así como disparo de protecciones, robo de cables, etc.

### **3.3.5. Sistemas de regulación de los niveles luminosos**

El vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) en la ITC-BT-09 apto. 3 [25] establece: “Con el fin de conseguir ahorro energéticos y siempre que sea posible, las instalaciones de alumbrado público se proyectarán con distintos niveles de iluminación, de forma que ésta decrezca durante las horas de menor necesidad de iluminación”.

El REEIAE en la ITC-EA-02 apto. 9 [9], dice que “con la finalidad de ahorrar energía, disminuir el resplandor luminoso nocturno y limitar la luz molesta, a ciertas horas de la noche, deberá reducirse el nivel de iluminación en las instalaciones de alumbrado vial, alumbrado específico, alumbrado ornamental y alumbrado de señales y anuncios luminosos, con una potencia instalada superior a 5 kW salvo que, por razones de seguridad, a justificar en el proyecto, no resultara recomendable efectuar variaciones temporales o reducción de los niveles de iluminación”.

Este reglamento, en su apartado 6, dice que “con la finalidad de ahorrar energía, las instalaciones de alumbrado recogidas en el capítulo 9 de la ITC-EA-02, se proyectarán con dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante alguno de los sistemas siguientes:

- Balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia.
- Reguladores – estabilizadores en cabecera de línea.
- Balastos electrónicos de potencia regulable.

Los sistemas de regulación del nivel luminoso deberán permitir la disminución del flujo emitido hasta un 50% del valor en servicio normal, manteniendo la uniformidad de los niveles de iluminación durante las horas con funcionamiento reducido”.

Se va a explicar el funcionamiento de cada uno de los dispositivos para la regulación del flujo luminoso anteriormente mencionados:

#### **Balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia**

Este sistema se basa en una reactancia, que permite variar la impedancia del circuito mediante un relé exterior, reduciendo la tensión que circula por las lámparas y consiguiendo ahorro del 40%. La orden de activación viene dada por un hilo de mando o por un temporizador interno [26].

Las desventajas de estos dispositivos son que no estabilizan la tensión de la lámpara, provocan una caída brusca al nivel de reducción y tiene un alto coste en la instalación [27].

#### **Reguladores – estabilizadores en cabecera de línea**

Estos dispositivos solucionan los problemas generados por la inestabilidad de la red, estabilizando la tensión de alimentación de la línea en régimen normal y disminuyendo la tensión de las luminarias conectadas durante las horas de régimen reducido; esto trae como consecuencia un ahorro adicional.

Se instalan en las cabeceras de líneas, es decir, en los centros de mando, ya que así pueden incorporarse tanto en instalaciones existentes como en instalaciones futuras de una manera sencilla.

Estos dispositivos tienen una serie de ventajas que se enumeran a continuación [26], [27]:

- Evita el sobreconsumo de la instalación, consecuencia de las sobretensiones que se producen en las redes de alimentación, sobretodo en horas nocturnas.
- La reducción de la tensión de alimentación de las lámparas supone reducir la potencia y el consumo en cantidades que pueden llegar a ser de hasta un 40% respecto de los valores nominales.
- Mantienen la uniformidad del alumbrado.
- Prolonga la vida de las lámparas.
- Rápida amortización.
- Su instalación en los CM facilita el acceso para las labores de mantenimiento que, por otra parte es sencillo y económico.

Las desventajas de estos equipos son:

- Las lámparas tienen una tensión mínima de funcionamiento, limitando considerablemente la regulación del equipo.

### **Balastos electrónicos de potencia regulable.**

Como se expuso en el apartado 3.3.3, el balasto electrónico es una reactancia electrónica de potencia regulable que limita la corriente circulante por la lámpara, con lo que se reduce el consumo de energía y el flujo luminoso emitido.

Los balastos electrónicos precisan de una intervención punto a punto de luz, al contrario que los balastos reguladores en cabecera de línea, este tipo de telecontrol dificulta las labores de mantenimiento y de conexión de instalaciones futuras.

Sin embargo tiene varias ventajas que enumeramos a continuación:

- Mayor regulación del flujo luminoso, adquiriendo como consecuencia mayores ahorros energéticos y económicos.
- Vigila la situación de encendido o apagado de cada punto.
- Permite conocer el estado de cada punto de luz en cuanto a sus características eléctricas (medidas de tensión de red, intensidad y factor de potencia) y fotométricas.
- Permite tener información del estado de cada lámpara y de los fallos.

### **3.3.6. Mantenimiento y conservación de las instalaciones de alumbrado público**

Un correcto mantenimiento consigue aumentar la calidad de las instalaciones y reducir los costes energéticos; ya que las prestaciones de una instalación de alumbrado público experimentan una disminución a lo largo del tiempo a causa del envejecimiento propio de sus componentes y de la acción de agentes externos.

Aunque las causas de esta depreciación son conocidas, son difícilmente cuantificables por su propia naturaleza o por no existir un modelo para su cuantificación. Esto dificulta que se tengan en cuenta en los proyectos y durante la explotación de las instalaciones, lo que conduce muchas veces a un innecesario gasto de energía eléctrica y a no aprovechar la inversión realizada, al no conseguirse, de forma económica, los objetivos básicos de calidad de la instalación de alumbrado [28].

El programa de conservación que se imponga a las instalaciones influirá muy directamente en el factor de mantenimiento que se empleará al realizar los cálculos y, por tanto, en la potencia que de las lámparas que se deba considerar y en el coste del consumo de la instalación.

En este apartado analizaremos las principales causas que producen la depreciación de las instalaciones y las medidas que hay que adoptar para mantenerlas adecuadamente.

### **Causas de la depreciación**

Entre las causas que producen una alteración de las prestaciones de una instalación de alumbrado público cabe destacar:

- **Depreciación del flujo luminoso**

Las lámparas de descarga que se utilizan habitualmente en alumbrado público presentan una disminución gradual del flujo luminoso a lo largo de su vida útil, según curvas facilitadas por los fabricantes.

- **Pérdida por ensuciamiento**

Descenso del flujo distribuido por la luminaria debido al ensuciamiento del bloque óptico por penetración y acumulación de polvo, humedad, agua, etc.

- **Vibraciones**

El conjunto luminaria-lámpara montado sobre un soporte está sometido a vibraciones debidas a la acción del viento y al paso de los vehículos.

Si estas vibraciones alcanzan la frecuencia propia del conjunto, el soporte estará sometido a unos esfuerzos extraordinarios, que pueden suponer la destrucción de algunos elementos, el aflojamiento de algún tornillo o de lámpara, etc.

- **Corrosión**

La corrosión es, sin duda, una de las principales causas de depreciación de las instalaciones de alumbrado público, especialmente en zonas de atmósferas agresivas, como pueden ser las costeras, muy húmedas o industriales.

- **Variación de la tensión de alimentación**

El hecho de que la tensión de alimentación en bornes de la lámpara sea diferente a la prevista, produce variaciones en el flujo emitido e influye en su vida. Una tensión superior a la nominal produce un sobre consumo y somete a las diferentes partes de la instalación a un calentamiento que acelera el envejecimiento y acorta la vida de la lámpara.

- **Variación excesiva de la temperatura**

Una temperatura excesivamente alta afecta negativamente a la instalación produciendo:

- Deterioro más rápido de los elementos plásticos, pintura, barnices, aislamientos, etc. Este deterioro también se puede producir en ambientes demasiado fríos.

- Reducción del flujo luminoso emitido por la lámpara al producirse el ciclo de descarga alejado de su temperatura óptima.
- Envejecimiento prematuro de los componentes eléctricos de la instalación, tales como condensadores, arrancadores, reactancias y cableado.

- **Vandalismo**

Con demasiada frecuencia nos encontramos que las instalaciones de alumbrado público, como muchas otras instalaciones y elementos urbanos, son víctimas de actos vandálicos, sobretodo en determinadas zonas, que habrá que prever como otra causa de disminución de las prestaciones de la instalación.

El estudio económico de la instalación también deberá incluir no sólo el coste económico de la primera instalación, sino también el coste asociado de estos programas de mantenimiento.

### **Principales operaciones que comprende el servicio de mantenimiento de las instalaciones de alumbrado público:**

Si se quiere mantener las prestaciones de una instalación de alumbrado público a un nivel adecuado, habrá que establecer un programa de mantenimiento.

Para reducir los costes de mantenimiento, tanto para la mano de obra como de los medios empleados, resulta más económico y aconsejable programar las diferentes operaciones de mantenimiento por grupos (calles, distritos, etc.) y reducir al mínimo las operaciones puntuales o fuera de programa.

Las principales actuaciones propias del mantenimiento son:

- Mantenimiento preventivo, inspecciones y comprobaciones.
- Mantenimiento correctivo: Localización y reparación de averías.
- Operaciones programadas.

### **Mantenimiento preventivo, inspecciones y comprobaciones**

Revisión de los elementos de la instalación para evitar averías y/o fallos que acorten la vida de las instalaciones y puedan provocar accidentes a personas, animales o cosas [29].

Las inspecciones se efectuarán por personal debidamente cualificado y mentalizado en la importancia de la ejecución de operaciones que, aunque repetitivas, deben realizarse todas y cada una de las veces con el mayor esmero, dada la repercusión que puede tener en el funcionamiento de

las instalaciones. Esta preparación del personal, unido a un efectivo sistema de control, permitirá mantener las instalaciones con su eficiencia máxima. La revisión será “diurna” y “nocturna”.

Los resultados de las inspecciones constituirán una base de datos que nos permitirá elaborar informes sobre el comportamiento de los materiales instalados.

Las tareas habituales son:

- **Inspección del encendido y apagado:**

El titular de la instalación determinará la periodicidad de esta operación y el tiempo en que ha de realizarse desde el momento del encendido y desconexión teórico. Los inspectores deberán subsanar las anomalías observadas. En aquellas instalaciones de alumbrado dotadas de sistemas de telecontrol no será necesario realizar estas operaciones.

- **Inspección nocturna de funcionamiento:**

Por la noche se revisarán todos los puntos de luz para detectar las lámparas que estén fuera de servicio o por debajo de su nivel útil, circuitos o centros de mando apagados y cualquier otra incidencia que afecte al funcionamiento de las instalaciones, facilitando partes detallados con los fallos observados. El titular de la instalación determinará la periodicidad de esta operación (diaria, días alternos, semanal, etc.)

- **Inspección de las luminarias:**

Las labores de mantenimiento preventivo de luminarias y faroles se efectuará siempre que se haga reposición de lámparas y, al menos, otra más entre cada dos reposiciones consecutivas, coincidiendo con la limpieza.

Se encargarán de ello equipos cualificados que dispondrán de un vehículo dotado de plataforma hidráulica o cesta capaz de elevar al personal a la altura que necesite. Dicho vehículo contará con un compresor para la limpieza de los componentes eléctricos y el equipo dispondrá de un medidor de aislamiento y un nivel adecuado para comprobar la inclinación de la luminaria y posibilitar su perfecta colocación. Para la inspección de faroles y globos no será necesaria la plataforma hidráulica o cesta.

El inspector también se responsabilizará de la puesta a punto de los componentes constructivos de la luminaria o de informar, en su caso, sobre las anomalías observadas que no hayan sido corregidas por la propia inspección. En el caso de que se observasen defectos en la instalación de los accesorios de las lámparas o de los equipos y que no puedan ser adecuadamente subsanados “in situ”, reemplazará todos ellos, e incluso la luminaria completa si fuera necesario o conveniente, por otra similar y en perfectas condiciones, a fin

de que pueda ser reparada en taller. En cualquier caso el inspector procurará que el punto de luz quede en servicio el mismo día, aunque sea de forma provisional.

Se comprobará que el condensador está en perfectas condiciones y cumple con su misión de corrección del factor de potencia, sustituyéndose en caso de tener deficiencias.

En esta inspección también se detectarán los puntos de luz afectados por el arbolado o vegetación, o cualquier otro obstáculo, de manera tal que queden notoriamente alteradas o disminuidas las funciones propias del mismo, e informará de ello para ejecutar las acciones pertinentes.

- **Mantenimiento preventivo de centros de mando, equipos estabilizadores-reductores de flujo, equilibrado de fases y mantenimiento del factor de potencia:**

Los centros de mando se inspeccionarán con una determinada periodicidad, definida por el titular de la instalación (semestral, anual), dejándolos en perfectas condiciones, efectuándose las lecturas de los consumos de energía activa y reactiva, si existiese este contador, y se comprobarán, revisarán y pondrán a punto los contactores, interruptores automáticos magnetotérmicos y diferenciales, conexiones, fusibles, puestas a tierra, reloj, equipos reductores y estabilizadores de tensión, etc., realizándose asimismo la limpieza de los cuadros de mando, del espacio en el que se alojan y se reparará la pintura y estado general de los elementos metálicos de ambos, despegando cartelería y poniendo especial cuidado en el aspecto de los armarios montados en el exterior.

Para ello se dispondrán los equipos necesarios con la cualificación adecuada y dispondrán de aparatos para medir aislamientos, resistencia de tierras, tensiones, intensidades, etc. Dispondrán de un compresor de aire para las operaciones de limpieza.

- **Inspección de líneas eléctricas, conexiones, soportes y canalizaciones:**

Este mantenimiento comprende la comprobación del estado de las canalizaciones eléctricas, soportes, puertas de báculos, tapas de arquetas, colocación y estado de luminarias, conexiones en soportes y sobre fachada, reposiciones de pavimento, cimentaciones cierres, pintura, y, en general, todos los elementos o componentes visibles de las instalaciones de alumbrado. Aquellas anomalías que supongan un riesgo para las propias instalaciones o para las personas, animales o cosas se subsanarán de forma inmediata.

A fin de asegurarse que los tendidos de cables, tanto subterráneos como aéreos, conexiones en cajas de empalme, etc. se hallan en perfectas condiciones, se realizarán las pruebas de aislamiento y rigidez dieléctrica necesarias, efectuándose la medición de las instalaciones conectadas a cada centro de mando, según la normativa establecida en el vigente Reglamento Electrotécnico de B.T.



Igualmente, se realizarán las medidas de intensidad y tensión durante el periodo de encendido y en servicio, tanto en el cuadro como en los finales de línea.

En cuanto a las conexiones en los soportes, junto con la inspección se hará la limpieza y puesta a punto de los cuadros o cajas de conexión situados en báculos, candelabros y postes. Se comprobará el estado de las puertas de todos los soportes, reponiendo o sustituyendo aquellos componentes que estén deteriorados, repasando pequeños defectos de pintura que puedan existir y asegurándose de que quede perfectamente cerrado el hueco de acceso a la caja de protección.

En lo que a las conexiones sobre fachada se refiere, el cometido de esta inspección es revisar, comprobar y poner a punto los componentes eléctricos y constructivos de las luminarias situadas sobre brazo mural, las correspondientes cajas de derivación y, en su caso, reemplazarlos si su aislamiento o estado fuese ruinoso. Por lo demás la revisión será similar a las de las conexiones en los soportes [29], [30].

### **Mantenimiento correctivo: Localización y reparación de averías**

El mantenimiento correctivo consiste en la localización y reparación de las averías e incidencias del sistema. Las averías deberán ser localizadas y reparadas dependiendo del alcance y del riesgo que representen, en los periodos establecidos para ello. Para la localización se dispone de equipos localizadores de averías y una vez localizada la avería se pone en disposición los equipos de maquinaria y humanos previstos para efectuar los trabajos de puesta a punto y adecuación de las instalaciones [30].

La reparación de averías o instalaciones provisionales se realizarán de acuerdo con las normas de buena construcción, señalizando la vía pública según las ordenanzas y cumpliendo con las prescripciones del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Los componentes o equipos de las instalaciones que sea necesario o aconsejable reponer o reemplazar se sustituirán por otros iguales o similares a los que se retiran, o por otros que satisfagan las exigencias de los normalizados por el titular de la instalación. No obstante, en el supuesto de los equipos que se deban reparar o sustituir estén obsoletos, tengan una calidad inferior a la que debieran, no alcancen la economicidad posible o sus elementos visibles no permitan conseguir una armonía con las características de la zona y su equipamiento se sustituirán por otros de mayor calidad.

La tarea realizada habitualmente en el mantenimiento correctivo es la **sustitución de lámparas y/o luminarias y reparación de sus equipos de encendido**.

La sustitución de las lámparas cuando queden fuera de servicio de forma casual o por ser su flujo luminoso inferior al mínimo correspondiente al final de su vida útil, o cuando falle alguno de los componentes de su equipo de encendido, se efectuará en un plazo inferior a 48 horas, contadas a

partir del momento en que se produce la baja. Este plazo será reducido en el caso de que quedasen fuera de servicio dos o más lámparas en puntos de luz consecutivos. Las sustituciones casuales se realizarán con lámparas nuevas.

En todos los casos de reposición casual se realizará la limpieza de las luminarias tal como se describe más adelante en las limpiezas programadas.

La realización de todos los trabajos que exijan las operaciones casuales deberá efectuarse sin conectar la instalación, ni total ni parcialmente, salvo casos excepcionales autorizados [29].

Se pueden dividir las averías en normales, urgentes y muy urgentes dependiendo de la peligrosidad que supongan para personas o animales, así como para la propia instalación. En función de la urgencia de la avería se dispondrán unos tipos y unos tiempos de actuación.

### **Operaciones programadas**

Este tipo de tareas se realizan de forma general o por zonas, con un plan establecido. Gracias a estas tareas de mantenimiento se pueden alcanzar ahorros de un 50% de lo que supondría el coste de operaciones de mantenimiento correctivo [28].

Las tareas llevadas a cabo en este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- **Reposición de lámparas en grupo y revisión de luminarias**

Las reposiciones de las lámparas en grupo, que incluyen las revisiones y limpiezas de luminarias, se ajustarán a los programas que se establezcan, que cumplirán con las exigencias del vigente Reglamento de Eficiencia Energética en las Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE) [9] y el factor de mantenimiento  $f_m$  con que se proyectó la instalación. Una vez aprobado por el titular de la instalación se procederá a su puesta en marcha. Tendrán como objeto la totalidad de los puntos de luz existente. Las fechas precisas de su realización se fijarán de forma coordinada con los demás programas de conservación.

La reposición en grupo de las lámparas se efectuará durante la jornada laboral diurna.

Los tiempos previstos para realizar las reposiciones masivas de lámparas en función de su vida media serán los que determine el titular de la instalación, de acuerdo con los datos facilitados por los fabricantes de lámparas.

- **Limpieza de luminarias**

La limpiezas de luminarias “in situ” se ajustarán a los programas que establezcan, que cumplirán con las exigencias del vigente Reglamento de Eficiencia Energética en las Instalaciones de Alumbrado Exterior (REEIAE). Estos programas se establecerán en base a los

resultados de las inspecciones de las iluminancias, de los datos de la polución ambiental, etc. a fin de mantener la iluminancia media dentro de los límites deseados, los cuales, normalmente, deberán coincidir con el factor de mantenimiento  $f_m$  con que se proyectó la instalación. Una vez aprobado por el titular de la instalación se procederá a su puesta en marcha.

Cuando el estado de la luminaria lo requiera se desmontará y trasladará al taller para su restauración y limpieza.

Para que la instalación de alumbrado no sufra reducción de nivel de iluminación, se podrá organizar el trabajo de modo que las unidades desmontadas a primera hora de la mañana vuelvan a su emplazamiento el mismo día, antes de la hora de encendido. En caso contrario deberán ser sustituidas provisionalmente por unidades de características similares

- **Limpieza de soportes**

La limpieza de los báculos y columnas se realizará cuando el titular de la instalación lo considere necesario y se efectuará desde el suelo hasta tres metros de altura. Incluye el despegue de carteles y pegatinas de todo tipo que puedan haberse colocado sobre el soporte.

- **Pintura y numeración**

La pintura de los elementos metálicos de las instalaciones, estén o no galvanizados, se realizará de acuerdo con los programas que se apruebe el titular de la instalación, independientemente de los parcheos o repasos que efectúen los inspectores de los centros de mando y de las conexiones en los soportes o reparaciones de puertas de registro.

Los programas se confeccionarán de acuerdo con los resultados de las inspecciones y con las características climáticas existentes, de forma que se asegure su adecuada conservación y el buen aspecto de las instalaciones.

Se señalarán, convenientemente, las calles para la ejecución de los trabajos de pintura y una vez realizada se colocarán los avisos necesarios indicando que los soportes están recién pintados. Además se colocará una valla perimetral en cada soporte o centro de mando durante el período en que la pintura esté fresca y pueda manchar.

## **CAPÍTULO 4. AUDITORÍA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXISTENTES EN EL CAMPUS DE LEGANÉS DE LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

En este capítulo se van a analizar las instalaciones existentes en el Campus de Leganés de la Universidad Carlos III de Madrid, donde se ubica la Escuela Politécnica Superior.

### **4.1. Justificación de la elección de la instalación de alumbrado exterior**

La principal razón para la elección del Campus de Leganés se debe a cercanía y facilidad para efectuar las mediciones, cálculos y obtención de datos. En este Trabajo Fin de Grado nos limitamos a realizar las propuestas de mejora de la eficiencia del alumbrado exterior del Campus. El alumbrado interior de los edificios no es objeto de nuestro proyecto, pudiendo serlo de futuros trabajos.

### **4.2. Características del alumbrado exterior auditado**

Según los datos del inventario facilitados por el personal de mantenimiento, la instalación de alumbrado exterior del Campus de Leganés de la Universidad Carlos III de Madrid consta de:

- |  |  |
|--|--|
| • Centros de mando:                    | 7 Ud.                                    |
| • Soportes:                            | 349 Ud.                                  |
| • Luminarias tipo farol de VSAP:       | 120 Ud.                                  |
| • Luminarias tipo farol de LED         | .10 Ud.                                  |
| • Luminarias tipo vial:                | 8 Ud.                                    |
| • Proyectors:                          | 16 Ud.                                   |
| • Apliques pared:                      | 42 Ud.                                   |
| • Apliques techo                       | 153 Ud.                                  |
| • Lámparas:                            | 825 Ud.                                  |
| • Potencia (lámparas)                  | 46.085 W                                 |
| • Potencia (lámparas + eq. auxiliares) | 50.096,2 W.                              |
| • Sistemas de encendido:               | Telecontrol centralizado con fotocélula. |
| • Equipos auxiliares:                  | Balastos electromagnéticos.              |

La realización de la auditoría se ha realizado llevando a cabo diferentes fases, las cuales se detallarán a continuación.

#### **Fase 1. Recopilación de datos técnicos**

La recopilación de datos técnicos se ha llevado a cabo con la ayuda del personal de mantenimiento de la Universidad, que nos ha proporcionado la situación de los centros de mando así como el área que gobiernan, y de la Unidad Técnica de Mantenimiento y Obras de la Universidad, que nos ha facilitado los planos del Campus de Leganés.

## **Fase 2. Trabajo de campo para la toma de datos y mediciones**

En esta fase se llevó a cabo la identificación sobre el terreno de los centros de mando y puntos de luz. Para ello se han realizado visitas, tanto diurnas como nocturnas, a las áreas objeto del proyecto.

En esta fase se identificaron todos los elementos que constituyen las instalaciones de alumbrado exterior, distinguiendo entre otros:

- Tipo de iluminación existente: vial (funcional y ambiental), decorativa, etc.
- Características de la instalación: altura y separación de los puntos de luz, disposición, etc.
- Tipo y características de los soportes: altura, interdistancias, longitud del brazo, etc.
- Tipo y características de las luminarias, altura de instalación y equipos de encendido.
- Tipo y características de las lámparas.
- Sistemas de accionamiento para la conexión y desconexión de los equipos de iluminación.
- Presencia de sistemas de ahorro por reducción del flujo luminoso (reductores estabilizadores en cabecera, bastos doble nivel, etc.)

Una vez concluida la toma de datos se realizaron las mediciones luminotécnicas en horas nocturnas.

## **Fase 3. Análisis y evaluación de la situación actual y elaboración de propuesta de mejora de la eficiencia energética**

Una vez concluida la fase dos, se llevó a cabo el análisis de los datos recogidos para realizar las propuestas de mejora de la eficiencia energética basadas en tecnología LED y que, básicamente, consisten en:

1. Reducir el consumo de energía, de la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera y reducción de la contaminación lumínica.
2. Reducir el coste de mantenimiento del alumbrado exterior por ser mayor la vida útil de estas fuentes de luz.
3. Propuesta de mejora de las actividades de control.

## **Fase 4. Panel de indicador de sostenibilidad**

Por último se elaboró el panel de sostenibilidad de la instalación actual y de la solución propuesta.

### **Auditoría realizada**

Los planos con las instalaciones de alumbrado público de las áreas auditadas se adjuntan en el Anexo I. En ellos hemos marcado los centros de mando (CM) auditados.

Se aportan las siguientes tablas resumen con los resultados obtenidos:

1. Tipos de alumbrado, ordenadas por CM.
2. Clasificación de las vías según REEIAE.

Cada área auditada se designa con un código, compuesto por las letras CM (Centro de Mando), seguido de la primera o las dos primeras iniciales del nombre del edificio en el que se encuentra. En caso de haber más de un centro de mando en el mismo edificio se añaden números correlativos.

En la tabla 4.1 se relacionan los centros de mando auditados y su situación en los planos que se incluyen en el Anexo I.

Tabla 4.1 Relación de centros de mando auditados y su situación

<b>CM Campus de Leganés</b>	
<b>Edificio de situación CM</b>	<b>Nombre del CM</b>
Sabatini	CM-SA
Agustín de Betancourt	CM-B1
Agustín de Betancourt	CM-B2
Padre Soler	CM-PS
Torres Quevedo	CM-PA
Torres Quevedo	CM-PV
Rey Pastor	CM-RP

A continuación, en la Tabla 4.2, se muestra la tabla resumen del alumbrado de las áreas auditadas.

Tabla 4.2 Alumbrado exterior del Campus de Leganés ordenado por centros de mando (CM)

Dirección	Soporte			Luminaria		Lámpara			Potencia Total (W)
	Tipo	Altura (m)	Uds	Tipo	Marca	Tipo	Potencia (W)	Uds	
<b>CM-SA</b>									
Exterior Edificio Sabatini	Columna	3,7	22	Farol de luz indirecta	Desconocida	VSAP	250	22	5.500
Exterior Edificio Sabatini	Columna	3,7	10	Farol de LED (36 LED)	Desconocida	LED	46	36	460
Patio Edificio Sabatini	Proyector	15	16	Proyector	Desconocida	VSAP	400	16	6.400
Soportales Edificio Sabatini	Aplique empotrado en techo	4	60	Aplique	Desconocida	Bajo consumo	25	120	3.000
Puertas edificio Sabatini	Aplique empotrado en pared	2,6	23	Aplique	Desconocida	Bajo consumo	25	23	575
<b>CM-B1</b>									
Exterior Edificio A. Betancourt	Aplique adosado en techo	3	17	Aplique	Desconocida	Bajo consumo	25	34	850
<b>CM-B2</b>									
Exterior Edificio A. Betancourt	Aplique adosado en techo	3	15	Aplique	Desconocida	Bajo consumo	25	30	750
Exterior Edificio J. Benet	Aplique adosado en pared	2,8	19	Aplique	Desconocida	Bajo consumo	25	19	475



Dirección	Soporte			Luminaria		Lámpara			Potencia Total (W)
	Tipo	Altura (m)	Uds	Tipo	Marca	Tipo	Potencia (W)	Uds	
Exterior Edificio J. Benet	Brazo Mural	5	8	Vial cerrada	Desconocida	VSAP	150	8	1.200
<b>CM-PS</b>									
Exterior Edificio P. Soler	Aplique adosado en techo	4	34	Aplique	Desconocida	Bajo consumo	25	68	1.700
<b>CM-PA</b>									
Centro Campus y detrás Edificio T. Quevedo	Columna	3,7	98	Farol de Luz indirecta	Desconocida	VSAP	250	98	24.500
<b>CM-PV</b>									
Fachada Polideportivo	Aplique adosado en techo	2,8	7	Aplique	Desconocida	Bajo Consumo	25	7	175
<b>CM-RP</b>									
Exterior Edificio R. Pastor	Aplique adosado en techo	3	20	Aplique	Desconocida	Bajo Consumo	25	20	500



#### 4.2.1. Luminarias

Como se comentó en el punto 3.3.1, las luminarias se encargan de proporcionar luz y comprenden todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas. Están formadas por la armadura, el equipo eléctrico, reflectores, difusores y filtros. Las luminarias dependen de varios factores como son el rendimiento, la distribución lumínica, etc. Todos estos factores hacen que sea un componente de vital importancia en la eficiencia energética de una instalación de alumbrado.

En el caso del Campus de Leganés se desconoce el fabricante de las luminarias de la instalación de alumbrado exterior, por lo que el dato de los rendimientos mostrados en la Tabla 4.3 se ha determinado asimilando el modelo existente a otros de fabricantes conocidos, obteniendo el rendimiento de sus catálogos.

En este caso se van a asimilar los rendimientos del proyector y de vial cerrada a los rendimientos proporcionados por luminarias similares del catálogo de Philips. La asimilación de modelos se basa en la geometría de las luminarias y sus características constructivas. El catálogo de este fabricante se muestra en la Figura 4.1.

Para el resto de luminarias, por lo particular de sus características constructivas, no hemos encontrado ningún modelo con el que poder comparar.

Tabla 4.3 Inventario de luminarias del Campus de Leganés

Tipo	Unidades	Rendimiento	% Unidades Instaladas
Farol de luz indirecta con VSAP (1)	120	-	34,38
Farol de LED	10		2,87
Proyector	16	63% (2)	4,58
Aplique	195	-	55,87
Vial cerrada	8	75%(3)	2,29
Total	349		100%

- (1) Se trata de una luminaria de diseño, de la que no hemos encontrado ninguna información en la amplia búsqueda realizada. Tampoco nos costa que esté instalada en ninguna otra instalación. Por sus características constructivas (la lámpara se aloja en el interior del soporte metálico, sin ningún tipo de óptica que dirija el haz de luz, con una chapa a 30 cm por encima del soporte, que actúa de reflector y que proyecta la luz hacia el suelo) y por el nivel luminoso existente en el campus podemos decir que presenta muy bajo rendimiento.
- (2) Asimilado al proyector PHILIPS modelo TEMPO 3 RVP 351-400W.
- (3) Asimilado a la luminaria PHILIPS modelo SGP-340 FG TP SELENIUM.

A continuación comprobamos si las luminarias cumplen los requisitos mínimos exigidos por el ITC-EA-04 que exponemos en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Requisitos mínimos de las luminarias exigidos por el ITC-EA-04

Parámetro	Alumbrado Vial		Resto Alumbrados	
	Funcional	Ambiental	Proyectores	Luminarias
Rendimiento	≥ 65%	≥ 55%	≥ 55%	≥ 60%

En este caso se tiene que cumplir un rendimiento mayor del 55% para proyectores y mayor del 60% para el resto de luminarias.

Las luminarias analizadas, proyector y vial cerrada, tienen un rendimiento mayor que el exigido por el REEIAE. El resto de luminarias, al ser de iluminación indirecta, tienen un rendimiento mucho menor que el exigido.

Sin embargo se propone la sustitución de los tres tipos de luminarias por otras tecnologías más eficientes.

FABRICA	MODELO	REFLECTOR	LAMPARA:	ASIMETRIZ	INCLIN	APUNTAM.	OBSERVACIONES
		<b>C=270°-90°</b>	<b>igual o inferior</b>	(frontal)	10cd/A 90°	<b>MAXIMO</b>	
PHILIPS	POWER-VISION MVF-024	SIMETRICO-M-N	VSAP, VMH 1000W	0	70	70	Medium 6 Narrow, Con deflector
PHILIPS	POWER-VISION MVF-024	SIMETRICO-M-N	VSAP, VMH 2000W	0	65	65	Medium 6 Narrow, Con deflector
PHILIPS	POWER-VISION MVF-024	SIMETRICO-W	VSAP, VMH 1000-2000W	0	30	30	Wide + deflector, Hasta 85° con rejilla
PHILIPS	TEMPO 3 RVP351 A/50	ASIMETRICO	VSAP, VMH 250-400W	50	5	55	ángulo V: 0°-85°, H 2x40°- 63%
PHILIPS	TEMPO 2 RVP251 A/45	ASIMETRICO	VSAP 70/150W	45	5	50	ángulo V: 30°-50°, H 2x30°- 59%
PHILIPS	TEMPO 2 RVP251 A/47,5	ASIMETRICO	VMHM 150W	48	5	53	ángulo V: 20°-60°, H 2x30°- 60%
PHILIPS	SNF-300/9	SIMETRICO	VSAP 400W	11	10	21	ángulo V: 2x30, H, 2x40°- 83%
PHILIPS	RENNES PMMA INT 118	SIMETRICO	Fluorescente TL-18/36/58W	0	10	10	Para alumbrado de letreros
PHILIPS	SGP-340 FG TP SELENIUM	Vidrio Plano	VSAP igual o inferior a 250W	NP	NP	0,00	Imax C-05/25 a 55/66, I max/Io =360/200, disper 20/40°, 75%
PHILIPS	SRS-421 MILEWIDE VP	Vidrio Plano	VSAP igual o menor a 250W y 35 W	NP	NP	0,00	
PHILIPS	SGS 203/403	Vidrio Plano	VSAP igual o inferior a 250W 90W	NP	NP	0,00	
PHILIPS	SGS 203/403	Vidrio Plano	VSEP igual o menor a 35W	NP	NP	0,00	
PHILIPS	H-SRP-482	Abierta	VSEP =< 1x35W	NP	NP	0,00	
PHILIPS	H-SRP-483-2B	Abierta	VSEP =< 1x55W Y 2x55W	NP	NP	0,08-0,13%	
PHILIPS	H-SRP-483	Vidrio Plano	VSEP =< 1x55W Y 2x55W	NP	NP	0,12-0,15%	
PHILIPS	H-SRP-483	Vidrio Plano	VSAP=< 150 W + VSEP =<55W	NP	NP	0,00	
PHILIPS	H-SRP-483	Vidrio Plano	VSEP=<55 W y =< 2xPLL35W	NP	NP	0,00	
PHILIPS	TRAFFVISION SGS306-406	Vidrio Plano	VSAP igual o inferior a 400W	NP	NP	0,12-0,15%	
PHILIPS	TRAFFVISION SGS306-406	Vidrio Plano	VSAP igual o inferior a 150W	NP	NP	0,14	
PHILIPS	IRIDIUM VP SGS-253/453 FG	Vidrio Plano	VSAP igual o inferior a 250W	NP	NP	0,00	
PHILIPS	IRIDIUM VP SGS-252/452 FG	Vidrio Plano	VSAP igual o inferior a 70W	NP	NP	0,00	Imax C20 a 66 con P1, Imax/Io=460/148, dispersion 35°

Figura 4.1 Datos técnicos de Luminarias del Catálogo de Philips

#### 4.2.2. Lámparas

En el apartado 3.3.2, se habló de las lámparas utilizadas en alumbrado público. Las lámparas transforman una parte de la energía eléctrica que consumen en radiación electromagnética y otra en calor. El objetivo principal es que las lámparas trabajen con un alto rendimiento, de modo que transformen la mayor cantidad posible de la energía que absorben en radiación visible, con una buena reproducción cromática.

Según la información facilitada por el personal de mantenimiento, el alumbrado exterior del Campus de Leganés consta de las siguientes lámparas como puede verse en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Lámparas Campus de Leganés

Tipo	Unidades	Potencia Unitaria (W)	% Unidades Instaladas	Potencia Total (W)
Bajo consumo	321	25	38,91	8.025
LED	360	-	43,64	460
VSAP	120	250	14,55	30.000
VSAP	16	400	1,94	6.400
VSAP	8	150	0,97	1.200
TOTAL	825	-	100	46.085

#### 4.2.3. Equipos auxiliares

Como se comentó en el apartado 3.3.3, la misión de los equipos de auxiliares es realizar el encendido de las lámparas. Pueden ser electromagnéticos, electrónicos y arrancadores. Pueden mejorar el rendimiento de la instalación al reducir los consumos de energía activa y reactiva y contribuir a que las lámparas trabajen de una forma más óptima y aumentar su vida.

Gracias a la información facilitada por el personal de mantenimiento se sabe que en este caso se tienen balastos electromagnéticos.

Estos balastos son mucho menos eficientes que los electrónicos, ya que como se explicó anteriormente los balastos electrónicos presentan ciertas ventajas frente a los electromagnéticos. Es posible obtener un importante ahorro sustituyendo los actuales balastos electromagnéticos por electrónicos.

Las luminarias que proponemos para sustituir a las existentes vienen equipadas con un driver electrónico.

#### 4.2.4. Sistemas de accionamiento

Gracias a la información facilitada por el personal de mantenimiento sabemos que el accionamiento (encendido y apagado) de las instalaciones de alumbrado exterior del Campus de Leganés es de tipo telecontrol centralizado, y la orden de mando la da una foto célula, situada en el Edificio Sabatini.

El REEIAE ITC-EA-04 apto. 5, obliga a que las instalaciones de alumbrado exterior de más de 5 kW dispongan de un programador astronómico. Según los cálculos realizados que se aportan en el Anexo III. El número anual de horas de funcionamiento de instalaciones accionadas con estos dispositivos es de 4.297. Para reducirlas se proponen dos soluciones:

- **Actuar sobre los programadores astronómicos retrasando el encendido y adelantando el apagado**, ajustando el periodo de funcionamiento a las necesidades reales del servicio. Este ajuste lo realizamos empleando los periodos de funcionamiento correspondientes al *ciclo urbano* que figuran en la Tabla 4.6 siguiente, obtenida del fabricante de equipos reguladores de flujo estabilizadores de tensión Scorpio Elektro XXI, 2009) [3] y que hemos comprobado se ajusta a las necesidades reales del servicio.

Tabla 4.6 Horas anuales de funcionamiento del alumbrado público a tensión plena y reducida

Horas año de utilización	Ciclo urbano	Ciclo autopista	Ciclo turístico
H <sub>1</sub> Tensión reducida	2.280	2.900	3.640
H <sub>2</sub> Tensión plena	1.928	1.308	568
H Total	4.208	4.208	4.208

Reducir el tiempo anual de funcionamiento de las instalaciones se consigue atrasando el encendido unos 7,32 minutos y adelantando el apagado otros 7,32, sin que los días nublados esta variación afecte a los usuarios del alumbrado. De esta forma se reduce unas 89 horas el tiempo anual de funcionamiento, pasando de las actuales 4.297 h/año a unas 4.208 h año. El funcionamiento anual del alumbrado a tensión reducida o tensión de ahorro es de 2.280 h (se inicia a las 24:00 h y permanece hasta las 06:15 h y es el instalado en este municipio, según vimos en el apartado 3.5.5. Regulación de los niveles luminosos), y el de funcionamiento a tensión plena de 1.928 h. Esta solución permite conocer el número anual de horas de funcionamiento de la instalación de alumbrado y es la que empleamos para realizar los cálculos de las propuestas de ahorro energético.

- **Combinar ambos sistemas de accionamiento.** Las células fotoeléctricas realizan el encendido y apagado de las instalaciones en función del nivel luminoso existente y las consignas de programación, y si están en buen estado se pueden ajustar mejor que los programadores astronómicos a las necesidades reales del servicio. Se puede combinar ambos sistemas de accionamiento, realizando un montaje en serie entre el programador astronómico, previamente programado para las coordenadas geográficas de la instalación y sin realizar ninguna corrección, y una célula fotoeléctrica, convenientemente regulada y mantenida, de

modo que no se produzca el accionamiento del circuito hasta que el nivel luminoso alcance los valores de consigna. De esta forma se consigue para los días que no estén nublados, que en estas latitudes son, con diferencia, la mayoría, una reducción del tiempo de funcionamiento de las instalaciones que pueden superar los quince minutos diarios. Esta solución, a diferencia de la anterior, no permite conocer el número anual de horas de funcionamiento de la instalación de alumbrado y por esta razón no la empleamos para realizar los cálculos.

#### 4.2.5. Mantenimiento de las instalaciones

Cuando se calcula una instalación de alumbrado público se prevé un factor mantenimiento. En el apartado 3.1, viene definido el Factor de mantenimiento  $f_m$  como la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales. El factor de mantenimiento siempre será menor que la unidad ( $f_m < 1$ ) e interesará que sea lo más elevado posible lo que conlleva una frecuencia en las operaciones de mantenimiento menor. El plan de mantenimiento ha de buscar la ponderación entre el coste de su implantación y la calidad del servicio que proporciona. El factor de mantenimiento dependerá:

- Del tipo de lámpara.
- De la estanqueidad del sistema óptico de la luminaria.
- De la naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria.
- De la calidad y frecuencia de las operaciones de mantenimiento.
- Del grado de contaminación de la zona [9].

De acuerdo con REEIAE, ITC-EA-06, “el factor de mantenimiento será el producto de los factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas, de su supervivencia y de la depreciación de la luminaria, de forma que se verificará.

$$f_m = FDFL \cdot FSL \cdot FDLU \quad [\text{Ec 4.1}]$$

Donde:

- FDFL = factor de depreciación del flujo de luminoso de la lámpara.
- FSL = factor de supervivencia de la lámpara.
- FDLU = factor de depreciación de la luminaria”.

Las tablas con los factores de depreciación y supervivencia máximos admitidos pueden consultarse en el REEIAE, ITC-EA-06 apto. 2.

Mantener el factor de mantenimiento previsto en los cálculos obliga a realizar una serie de tareas y con una determinada periodicidad. Según el nivel de mantenimiento adoptado así será la evolución

de la depreciación lumínica de las instalaciones. Por lo tanto es preferible tener mayor mantenimiento preventivo y programado en detrimento del mantenimiento correctivo.

#### 4.2.6. Niveles de iluminación

La iluminancia o nivel de iluminación de una superficie es la relación entre el flujo que recibe la superficie y su área. Se representa por la letra E y su unidad es el Lux (lx).

Para cada tarea visual o clasificación de vía existe un nivel luminoso adecuado. Por eso es importante conocer la tipología y la clasificación de la vía para establecer los niveles adecuados. En las vías con alto tránsito de vehículos y de elevada velocidad, por motivos de seguridad, será necesario un alto nivel de iluminación. En las zonas de tránsito de peatones, para su correcta iluminación se considerará, además de la presencia de peatones, el tipo de actividad desarrollada: actividad comercial, lúdica, etc. También influirán, a la hora de determinar los niveles de iluminación, los criterios de seguridad ciudadana y ambientales (consideraciones paisajísticas, de edificación, etc.). Casi siempre, las zonas que tenemos que iluminar presentan características que corresponden a diversas tipologías, por lo que requerirán un análisis específico de la zona.

Las instalaciones de alumbrado público deben proyectarse y ejecutarse para atender estas necesidades y además ser energéticamente eficientes. Abordar el problema de la eficiencia energética y la afección sobre el medio ambiente causado por las instalaciones de alumbrado exterior dio lugar a la aprobación del REEIAE. Este reglamento establece en sus Artículos 1 y 2 el objeto y ámbito de aplicación:

- “...Establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad de:
  - a) Mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.
  - b) Limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación lumínica y reducir la luz intrusa o molesta.
- No es objeto del presente reglamento establecer valores mínimos para los niveles de iluminación en los distintos tipos de vías o espacios a iluminar, que se regirán por la normativa que les sea de aplicación”.

El REEIAE establece que los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia establecidos en la ITC-EA-02.

Les corresponde a los titulares de las instalaciones de alumbrado público, normalmente Ayuntamientos, establecer los niveles mínimos de iluminación.

Si los niveles luminosos registrados en las calles de un municipio son superiores a los establecidos por el reglamento, significará que el consumo de energía es superior al necesario.

#### 4.2.7. Clasificación de las vías y selección de los tipos de alumbrado

En el presente apartado se clasifican las vías de las áreas auditadas en el Campus de la Universidad Carlos III de Leganés, según establece el REEIAE, en función del criterio selectivo de la velocidad del tráfico rodado, de la intensidad media de tráfico y del flujo de peatones y ciclistas.

Según el REEIAE, ITC-EA-02, apto. 2.1., el criterio principal de clasificación de las vías es la velocidad de circulación, según podemos ver en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Clasificación de las vías según REEIAE

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	...
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

De acuerdo a esta clasificación tenemos para las áreas auditadas en el Campus de Leganés:

- A: Vías de alta velocidad ( $v > 60$  km/h): ninguna
- B: Vías de moderada velocidad ( $30 < v \leq 60$  km/h): ninguna
- C: carriles bici. ninguno
- D: Vías de baja velocidad ( $5 < v \leq 30$  km/h): entradas a los parking
- E: Vías peatonales ( $v \leq 5$  km/h): el resto

Mediante otros criterios, tales como el tipo de vía y la intensidad media de tráfico diario (IMD) se establecen subgrupos dentro de la clasificación anterior. Por lo tanto, en función de la intensidad media del tráfico tenemos:

- $IMD \geq 25.000$ : ninguna
- $15.000 \leq IMD < 25.000$ : ninguna
- $7.000 \leq IMD < 15.000$ : ninguna
- $7.000 < IMD$ : todas

En la Tabla 4.8, se incluye la clasificación de las vías según REEIAE teniendo en cuenta los datos del Anexo IV. En algunos casos no hay datos debido a que no se ha podido realizar medición en la zona.



Tabla 4.8 Clasificación de las vías según REEIAE y tipo de alumbrado

Nombre	Clasificación de las vías según Reglamento de Eficiencia Energética									Resplandor luminoso nocturno
	Situación de proyecto	Tipo de vía	Velocidad tráfico rodado km/h	Densidad tráfico IMD	Flujo tráfico de peatones y ciclistas	Clase de alumbrado	$E_m$ lx	$E_{min}$ lx	$U_m$ (mínima) %	Clasificación zona
Exterior Edificio Sabatini	E1	Vía accesos	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3
Exterior Edificio Sabatini	D1-D2	Parking	$5 < v \leq 30$	< 7.000	Normal	S3	10	-	40	CE4
Patio Edificio Sabatini	E1	Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3
Soportales Edificio Sabatini	E1	Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3
Puertas edificio Sabatini	E1	Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3
Exterior Edificio A. Betancourt	E1	Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3
Exterior Edificio J. Benet	E1	Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S1	15	5	--	E3
Detrás Edificio T. Quevedo	D1-D2	Parking	$5 < v \leq 30$	< 7.000	Normal	S3	10	-	40	CE4
Exterior Edificio P. Soler	E1	Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3
Centro Campus	E1	Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3
Fachada Polideportivo		Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3
Exterior Edificio R. Pastor	B	Vía peatonal	--	< 7.000	Normal	S2	10	5	--	E3

#### **4.2.8. Balance energético de la instalación actual y emisión de CO<sub>2</sub>**

Según los datos de la auditoría, la potencia total de las instalaciones de alumbrado es de 46.085 W, como se puede observar en la Tabla 4.5, y la potencia total de equipos y lámparas es la mostrada en la tabla 4.9.

Para calcular la potencia instalada en los CM se ha tenido en cuenta la potencia nominal de las lámparas, y la correspondiente a los equipos auxiliares, cuyo porcentaje varía con respecto a la de las lámparas desde un 24% para las de menor potencia hasta menos de un 8% para las de mayor potencia. El REEIAE en la ITC-EA-04 apto. 4 incluye una tabla con las potencias máximas de los distintos conjuntos de lámpara y equipo auxiliar.

En este trabajo, para realizar los cálculos de los consumos de energía y emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, se va a utilizar la tabla de potencias consumidas por las lámparas y balastos electromagnéticos, Tabla 4.9, para ello en la Figura 4.2 se pueden observar las potencias de los balastos tomadas del catálogo comercial disponible del fabricante Philips [31].

Datos técnicos				Datos técnicos			
Balasto		EOC	Lámpara	Voltaje/Frecuencia	Consumo lámpara (W)	Consumo Balasto (W)	Corriente Nominal (A)
<b>Balastos Electromagnéticos</b>				<b>Balastos Electromagnéticos</b>			
<b>BSL para Sodio Blanco</b>							
BSL 35 K327 - 230-240V Basic	94037400	I X SDW-T 35W		230-240/50	33	6	0,20
BSL 50 K307 - 230-240V Basic	94039800	I X SDW-T 50W		230-240/50	50	9,4	0,35
BSL 100 K307 - 230-240V Basic	94058900	I X SDW-T 100W		230-240/50	100	15	0,55
<b>BMH, BHD para Halogenuros Metálicos</b>							
BMH 35 K407 ITS - 230-240V Basic	94021300	I X CDM 35W		230-240/50	47	8,2	0,24
BMH 70 K407 ITS - 230-240V Basic	94027500	I X CDM/MH 70W		230-240/50	88	14	0,45
BHD 2000 L76 380-400-415V Heavy Duty	74276600	I X MH 1800W/2000W		360,380,400,415/50	2032	72	5,3/5,9
<b>BSN para Sodio Alta Presión y Halogenuros Metálicos</b>							
BSN 50 K407 ITS - 230-240V Basic	88693100	I X SON/CDO 50W		230-240/50	53	11	0,30
BSN 70 K407 ITS - 230-240V Basic	88694800	I X SON/CDO 70W		230-240/50	73	13	0,45
BSN 100 K407 ITS - 230-240V Basic	88695500	I X SON/CDO 100W		230-240/50	100	15,4	0,60
BSN 150 K407 ITS - 230-240V Basic	88698600	I X SON/CDO/CDM/MH 150W		230-240/50	150	19,9	0,85
BSN 250 K407 ITS - 230-240V Basic	88702000	I X SON/MH/HPI 250W		230-240/50	250	27,7	1,40
BSN 400 K407 ITS - 230-240V Basic	88704400	I X SON/HPI 400W		230-240/50	400	33	2,20
BSN 600 K302 ITS - 230-240V Basic	88705100	I X SON 600W		230-240/50	600	34	3,10
BSN 70 L33 TS - 230V Heavy Duty	05968031	I X SON CDO 70W		230/50	70	11	0,45
BSN 100 L33 TS - 230V Heavy Duty	05972731	I X SON CDO 100W		230/50	100	13,6	0,60
BSN 150 L33 TS - 230V Heavy Duty	05960430	I X SON/CDO 150W		230/50	150	19	0,85
BSN 250 L33 TS - 230V Heavy Duty	05964230	I X SON/MH/HPI 250W		230/50	250	29	1,40
BSN 400 L33 TS - 230V Heavy Duty	05976530	I X SON/HPI 400W		230/50	400	28	2,20
BSN 1000 L78 - 230-240V Heavy Duty	06236900	I X SON/MH 1000W		230-240/50	1000	54	5,4/6,0
<b>BHL para Vapor de Mercurio y Halogenuros Metálicos</b>							
BHL 50/80 K407 - 230-240V Basic	94007700	I X HPL 50W/80W; SON H 68 W		230-240/50	50/80	9,3	0,30/0,45
BHL 80/125 K407 - 230-240V Basic	94013800	I X HPL 80W/125W; SON H 110W		230-240/50	80/125	11,7	0,45/0,70
BHL 250 K307 - 230-240V Basic	88701300	I X HPL/HPI 250W; SON H 220W		230-240/50	250	19	1,35
BHL 400 K307 - 230-240V Basic	88703700	I X HPL/HPI 400W; SON H 350W		230-240/50	400	23,5	2,15
BHL 1000 L78 - 230-240V Heavy Duty	06237600	I X HPL/HPI 1000W		230-240/50	1000	35	5,30
L 2000 L78 - 230-240V Heavy Duty	06385400	I X HPI 2000W		230-240/50	1960	92	10,60
BHL 2000 L76 380-400-415V Heavy Duty	06384700	I X HPI 2000W		380-400/50	1930	77	6,00
<b>BSX para Sodio Baja Presión</b>							
BSX 18 L81 - 230V Basic	92048530	I X SOX-E 18W		230/50	18	7,7	0,14
BSX 26 L81 - 230V Basic	92049230	I X SOX-E 26W		230/50	27	9,4	0,16
BSX 35 L81 - 230V Basic	92050830	I X SOX 35W		230/50	37	11,7	0,22

Figura 4.2 Datos técnicos de Lámparas de descarga del Catálogo de Philips.

Tabla 4.9 Potencia de Lámparas y balastos del Campus de Leganés

Tipo	Ud	Potencia unitaria (W)	Potencia total de las lámparas (W)	Potencia unitaria del balasto (W)	Potencia de lámpara y balasto (W)	Potencia total de lámparas y balastos (W)
Bajo Consumo	321	25	8.025	-	-	-
LED	360	-	460	-	-	-
VSAP	120	250	30.000	27,7	277,7	33.324
VSAP	16	400	6.400	33	433	6.928
VSAP	8	150	1.200	19,9	169,9	1.359,2
TOTAL	825		46.085			50.096,2

Considerando un periodo de funcionamiento de 4.208 h/año, según la Tabla de ortos y ocasos del Anexo III. Por tanto, el consumo anual de energía será:

$$50.096,2 \text{ W} \times 4.208 \text{ h/año} = \mathbf{210.804,81 \text{ kWh/año.}}$$

Al realizar los cálculos de los consumo de energía eléctrica de una instalación de alumbrado público de lámparas de descarga, se tienen en cuenta la potencia de las lámparas y de los equipos auxiliares (REEIAE ITC-AE-04).

Un dato de interés medioambiental es la cantidad del gas de efecto invernadero CO<sub>2</sub>, emitido a la atmósfera por la instalación de alumbrado público de las áreas auditadas. Tomando como base la tasa de emisión de CO<sub>2</sub> para España del año 2013, según la cual se emiten 0,178 kg de CO<sub>2</sub> por cada kWh de energía eléctrica producida [32], y la energía total anual consumida por al alumbrado público de las áreas auditadas es de 210.804,81 kWh/año tenemos:

$$210.804,81 \text{ kWh/año} \times 0,178 \text{ kg/kWh} = 37.523,26 \text{ kg de CO}_2 = \mathbf{37,52 \text{ Tm de CO}_2}$$

Por tanto, se puede decir que el alumbrado público de las áreas auditadas es el responsable de la emisión a la atmósfera de 37,52 Tm de CO<sub>2</sub>.

Para realizar los cálculos consideramos un precio de la energía de 0,15 €/kW. Este precio es el medio proporcionado por titulares de instalaciones de alumbrado público (ayuntamientos). Para nuestro trabajo hemos tomado este precio al no habernos sido facilitado el precio de la energía eléctrica correspondiente al alumbrado exterior del Campus de Leganés.

$$210.804,81 \text{ kWh/año} \times 0,15 \text{ €/kW} = \mathbf{31.620,72 \text{ €}}$$

#### 4.2.9 Análisis del resplandor luminoso nocturno

El REEIAE define el resplandor luminoso nocturno o contaminación lumínica como la luminosidad producida en el cielo nocturno por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión de la atmósfera, procedente, entre otros orígenes, de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas, como ya se comentó en el apartado 3.2.

Como consecuencia, la oscuridad de la noche disminuye y desaparece progresivamente la luz de las estrellas y de los demás astros. Las neblinas y la presencia de partículas en suspensión propias de una atmósfera contaminada aumentan la dispersión y potencian el efecto, hasta el extremo de formarse una capa de color gris que adopta la forma de una nube luminosa sobre las ciudades.

La contaminación lumínica la produce el empleo de fuentes de luz inadecuadas, mala orientación de las fuentes de luz, iluminación publicitaria no controlada, empleo de niveles luminosos excesivos y rangos espectrales no necesarios, pavimentación de las calzadas con firmes inapropiados, la ausencia de horarios de apagados de la iluminación ornamental y de espacios deportivos, etc. La contaminación lumínica supone un consumo innecesario de energía y puede suponer una afección en las personas, dificultar la visión natural del cielo y poner en peligro el equilibrio de determinados ecosistemas. Esto ha suscitado que, en ocasiones, se tenga una concepción errónea del problema, creyendo que se evitaría la contaminación lumínica se dejara de usar la iluminación artificial nocturna, cuando lo que se requiere es realizar un buen diseño de la misma.

El REEIAE ha establecido una clasificación de las zonas, que indicamos en la Tabla 4.10, en función de su protección contra la contaminación lumínica según el tipo de actividad a desarrollar en cada una de ellas.

Tabla 4.10 Clasificación de las zonas de protección contra la contaminación lumínica. REEIA ITC-EA-03, Tabla 1

Clasificación de zonas	Descripción
E1	<b>ÁREAS CON ENTORNOS O PAISAJES OSCUROS:</b> Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés natural, áreas de protección especial (red natura, zonas de protección de aves, etc.), donde las carreteras están sin iluminar.
E2	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA:</b> Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA:</b> Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado) y aceras están iluminadas.
E4	<b>ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD ALTA:</b> Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

El REEIAE limita las emisiones hacia el cielo en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción de las de alumbrado festivo y navideño. La luminosidad del cielo producida por las instalaciones de alumbrado exterior depende del flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{INST}$  y es directamente proporcional a la superficie iluminada y a su nivel de iluminancia, e inversamente proporcional a los factores de utilización y mantenimiento de la instalación.

El flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{INST}$  o emisión directa de las luminarias a implantar en cada zona E1, E2, E3 y E4, no superara los límites establecidos en la Tabla 4.11, que podemos ver a continuación.

Tabla 4.11 Valores límite del flujo hemisférico superior instalado. REEIA ITC-EA-03, Tabla 2

Clasificación de zonas	Flujo hemisférico superior instalado $FHS_{INST}$
E1	$\leq 1\%$
E2	$\leq 5\%$
E3	$\leq 15\%$
E4	$\leq 25\%$

Según la clasificación anterior, todas las áreas auditadas son del tipo E3 y las luminarias han de presentar un flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{INST} \leq 15\%$ .

Además de ajustarse a los valores de la tabla anterior, para reducir las emisiones hacia el cielo, tanto directas como las reflejadas por la superficies iluminadas, la instalación de luminarias deberá cumplir los siguientes requisitos:

1. Se deberá iluminar solamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.
2. Los niveles de iluminación no deberán superar los valores máximos establecidos en la ITC-EA-02.
3. El factor de utilización y el factor de mantenimiento de la instalación satisfarán los valores mínimos establecidos en la ITC-EA-04.

Para reducir la contaminación lumínica imputable a las fuentes de luz artificiales se deberá actuar, por una parte, sobre las luminarias o aparatos que emiten luz y por otra sobre la instalación de alumbrado, implantando el mínimo número de puntos de luz necesarios para alcanzar los niveles luminosos y factores de uniformidad requeridos, sin superarlos y determinadas recomendaciones sobre los tipos de pavimentos que se deben utilizar en las calzadas. También deberán tenerse en cuenta la variación temporal o disminución de los niveles luminosos a ciertas horas de la noche en las que desciende sustancialmente la cantidad de peatones, siempre y cuando quede garantizada la seguridad de los usuarios de dichas calzadas.

#### 4.2.10. Mediciones lumínicas

Se han realizado mediciones lumínicas con un luxómetro para medir el nivel de iluminación. Sólo se han podido realizar mediciones de las áreas abiertas al paso durante las horas nocturnas, es decir aquellas zonas del centro del Campus de Leganés, que incluyen la zona ajardinada entre la biblioteca, el auditorio, la cafetería y el edificio Agustín de Betancourt. No se han podido realizar mediciones en los accesos a parkings ni en el edificio Sabatini y sus alrededores. En el Anexo IV se muestran las hojas de campo utilizadas para realizar las mediciones.

Los resultados de las mediciones lumínicas se presentan en la Tabla 4.12 Siguiente:

Tabla 4.12 Mediciones lumínicas de la instalación actual

Tramo medido	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	$U_m$
CM-PA, Columnas 54, 55, 59 y 60	4,7	1,7	9,3	40 %
CM-PA, Columnas 50, 51, 62 y 63	3,2	1,2	8,9	40 %
CM-PS, Apliques 5 y 6	10,2	6,1	14,1	60 %
CM-PS, Apliques 2 y 3	10,4	7,1	13,9	70 %
CM-PA, Columnas 3 y 4	3,3	0,8	11,2	20 %
CM-B2, Apliques 9 y 10	10,0	5,3	17,1	50 %

Se ha podido observar durante las mediciones que las lámparas de VSAP han llegado al final de su vida útil, pues son muchas las que se encienden y apagan constantemente. Otra de las observaciones es que en la zona del edificio Sabatini, donde hay instalados LED, tiene un mayor nivel luminoso y mayor calidad de luz (mejor reproducción de colores). Como dijimos no hemos podido hacer las mediciones lumínicas por estar el acceso cerrado, pero se aprecia visualmente desde el exterior.

#### 4.2.11. Panel de indicadores de sostenibilidad de la instalación actual de las áreas auditadas

El objeto de los paneles de sostenibilidad es establecer una relación entre el consumo de una instalación con otras similares. En el caso de una ciudad se establecen varios indicadores, como los que relacionan la potencia con los puntos de luz instalados, la potencia y consumo anual con la población, etc. No obstante, ninguno de ellos tiene en cuenta el modelo de ciudad. Así, una ciudad de marcado carácter urbano, de alta densidad edificatoria, donde predominan las construcciones en altura frente a las viviendas unifamiliares, conlleva un menor consumo relativo de energía eléctrica que las ciudades extensivas, de tipologías edificatorias de baja densidad. Estos indicadores deben completarse con el que establece la relación entre este consumo con la superficie de la ciudad ( $\text{potencia}/\text{m}^2$ ), pues es éste el que pone de manifiesto la relación entre el consumo de energía y el modelo de ciudad.

En este caso, alumbrado exterior de un Campus Universitario, se carece de información sobre las instalaciones de alumbrado de otros campus para establecer indicadores y puede compararse. Por ello, nos limitaremos a establecer unos indicadores que permitan comparar la instalación actual con la propuesta en este proyecto.

El panel de indicadores de sostenibilidad del campus se indica en la Tabla 4.13 siguiente:

Tabla 4.13 Panel de sostenibilidad de las áreas auditadas

Nº	Descripción	Valor
1	Número de centros de mando	7
2	Número de luminarias	349
3	Lámparas eficientes utilizadas (1)	681
4	Luminarias eficientes utilizadas (2)	205
5	Nivel de resplandor luminoso emitido por el alumbrado del campus	Medio-bajo
6	Potencia nominal instalada en lámparas	46,09 kW
7	Potencia instalada en lámparas + equipos auxiliares	50,09 kW
8	Potencia media nominal por luminaria(sin equipo auxiliar)	132,06 W
9	Horas anuales de funcionamiento	4.208
10	Consumo anual de energía kWh	210.804,81 kWh año
11	Consumo anual de energía por luminaria kWh	604,03 kWh año
12	Cantidad anual de CO <sub>2</sub> emitido por el alumbrado del campus.	37,52 Tm de CO <sub>2</sub> /año

- (1) Las lámparas eficientes utilizadas corresponden a las lámparas de bajo consumo y a las de LED que hay instaladas actualmente
- (2) Las luminarias eficientes utilizadas corresponden a los apliques con lámparas de bajo consumo y a las luminarias que contienen LED en la actualidad.



## **CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO AUDITADA: SUSTITUCIÓN DE LAS LUMINARIAS ACTUALES POR OTRAS EQUIPADAS CON TECNOLOGÍA LED.**

En este capítulo se expondrá la propuesta de mejora de las instalaciones basada en la tecnología LED, justificando adecuadamente dicha elección.

### **5.1. Descripción y justificación de la solución propuesta**

En este apartado se realiza la propuesta de renovación del alumbrado de las áreas auditadas, sustituyendo las luminarias tipo vial y farol existentes por otras de tecnología LED, con objeto de hacerlas más eficientes energéticamente, reducir la contaminación lumínica y mejorar la protección del medio ambiente. Para ello se ha tomado como referencia la auditoría realizada. Siempre se buscará el máximo ahorro energético, sin perder de vista los criterios económicos, estéticos y normativos relacionados con el alumbrado público. Todas las luminarias nuevas contarán con los correspondientes drivers para poder regular su flujo y dispondrán de los controladores y accesorios necesarios para la telegestión punto a punto.

La propuesta consiste en la sustitución de las 144 luminarias tipo vial, farol y proyector existentes, equipadas con VSAP, por otras de tecnología LED, sin incluir las de bajo consumo existentes en los soportales de los edificios, ya que su rendimiento es elevado si comparamos la eficacia lumínica de estas lámpara con las de tecnología LED, de características similares con las que poder hacer la sustitución. La comparación de la eficacia lumínica de lámparas de bajo consumo puede verse en la Tabla 5.3. Según los valores de esta tabla la eficacia lumínica de las lámparas de bajo consumo es superior a las de LED de similares características, por lo que no proponemos su sustitución. Además, los valores lumínicos medios y mínimos medios en estas áreas cumplen con lo exigido por el REEIAE, que se indican en la Tabla 4.8.

En el caso del Campus de Leganés se tiene una clase de alumbrado tipo S2, por lo tanto se va a comprobar, para el caso de las luminarias de Bajo consumo, si se cumple la normativa [9].

Los valores de iluminancia de las lámparas de bajo consumo medidos en el ANEXO IV, se indican en la Tabla 5.2 y se compararán con la Tabla 5.1. Y como se puede comprobar se cumple con el reglamento, por lo tanto no hay necesidad de cambiar dichas luminarias.

Tabla 5.1 Requisitos fotométricos aplicables a las vías correspondientes a las diferentes clases de alumbrado.

Clase de alumbrado	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	Iluminancia media $E_m$ (lux)	Iluminancia mínima $E_{min}$ (lux)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7.5	1.5
S4	5	1

Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( $F_m$ ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

Tabla 5.2 Valores fotométricos para las distintas vías.

Tipo de vía	Modelo	Iluminancia media $E_m$ (lux)	Iluminancia mínima $E_{min}$ (lux)
Exterior Edificio P. Soler (Apliques 2 y 3)	Bajo consumo	10,4	7,1
Exterior Edificio P. Soler (Apliques 5 y 6)	Bajo consumo	10,2	6,1
Exterior Edificio A. Betancourt (Apliques 9 y 10)	Bajo consumo	10	5,3

Tabla 5.3 Comparación de la eficacia lumínica de lámparas de bajo consumo y LED

Tipo de luminaria	Eficacia (lm/W)
Bajo consumo MASTER TL ECO (HE) de 25 W (1)	98
LED WL120V LED 16S/830 PSR WH de 25 W (2)	64

- (1) Según la información facilitada por el personal de mantenimiento la lámpara existente de bajo consumo es la MASTER TL ECO (HO) de 20 W y sus características las hemos tomado del catálogo de Philips [31] que se muestra en la Figura 5.1.
- (2) La Lámpara de LED de características similares a la actual es la WL120V LED 16S/830 PSR WH de 25 W de Philips [31], que puede verse en la Figura 5.1.

Los cálculos luminotécnicos realizados se adjuntan en el Anexo II Cálculos luminotécnicos y documentación técnica.

## Datos técnicos

Lámpara	EOC	Casquillo	Flujo Lum. (lm) 25°	Eficacia (lm/W) 25°	T de color (K)	IRC	Clase Energ.	Vida media (h) EEM Inductivo HF-P	Vida útil (h) EEM Inductivo HF-P
<b>MASTER TLS ECOPLUS</b>									
MASTER TLS HO EcoPlus 41W/830	66336200	GS	4400	-	3000	82	A	24.000	19.000
MASTER TLS HO EcoPlus 41W/840	66337900	GS	4400	-	4000	82	A	24.000	19.000
MASTER TLS HO EcoPlus 44W/830	66332400	GS	4500	-	3000	82	A	24.000	19.000
MASTER TLS HO EcoPlus 44W/840	66333100	GS	4500	-	4000	82	A	24.000	19.000
MASTER TLS HO EcoPlus 66W/830	66340900	GS	6300	-	3000	82	A	24.000	19.000
MASTER TLS HO EcoPlus 66W/840	66341600	GS	6300	-	4000	82	A	24.000	19.000
<b>MASTER TLS ECO - Ø 16mm. ALTA EFICACIA (HE)</b>									
MASTER TLS ECO HE 13W/830	88081600	GS	1.150	97	3.000	>85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HE 13W/840	88083000	GS	1.035	97	4.000	>85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HE 19W/840	91814401	GS	1.035	97	4.000	>80	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HE 25W/830	82588600	GS	2.450	98	3.000	>85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HE 25W/840	82589300	GS	2.450	98	4.000	>85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HE 32W/830	82592300	GS	3.100	97	3.000	>85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HE 32W/840	82593000	GS	3.100	97	4.000	>85	A	25.000	21.000
<b>MASTER TLS ECO - Ø 16mm. ALTO FLUJO (HO)</b>									
MASTER TLS ECO HO 20W/830	88084700	GS	1.650	86	3.000	85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 20W/840	88086100	GS	1.650	86	4.000	85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 34W/830	91806901	GS	-	-	4.000	85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 34W/840	91808301	GS	3.314	95	4.000	>80	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 45W/830	82594700	GS	4.400	89	3.000	85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 45W/840	82595400	GS	4.400	89	4.000	85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 50W/830	82590900	GS	4.100	91	3.000	85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 50W/840	82591600	GS	4.100	91	4.000	85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 73W/830	82596100	GS	6.550	89	3.000	85	A	25.000	21.000
MASTER TLS ECO HO 73W/840	82597800	GS	6.550	89	4.000	85	A	25.000	21.000



CoreLine Aplique de pared



Descripción de producto	Potencia W	Flujo lm	Eficacia Unidad lm/W	IRC	CCT	EOC	P-VTR €
<b>Rectangular 500lm</b>							
WL121V LED55/840 PSR WH	7	500	71	>=80	4000	6637999	40,00
WL121V LED55/840 PSR GR	7	500	71	>=80	4000	6638699	40,00
WL121V LED55/830 PSR WH	7	500	71	>=80	3000	6643099	40,00
WL121V LED55/830 PSR GR	7	500	71	>=80	3000	6644799	40,00
<b>Circular 1200lm</b>							
WL120V LED125/840 PSR GR	19	1200	63	>=80	4000	6636299	55,00
WL120V LED125/830 PSR WH	19	1200	63	>=80	3000	6641699	55,00
WL120V LED125/830 PSR GR	19	1200	63	>=80	3000	6642399	55,00
<b>Circular 1600lm</b>							
WL120V LED165/830 PSR WH	25	1600	64	>=80	3000	6639399	60,00
WL120V LED165/830 PSR GR	25	1600	64	>=80	3000	6640999	60,00

Figura 5.1 Características técnicas luminarias bajo consumo y LED

La elección del sistema de iluminación más idóneo para cada vial o espacio a iluminar se realiza consiguiendo los niveles de luminancia e iluminancia requeridos con el menor consumo energético y de mantenimiento.

En nuestro caso se optará por sustituir las luminarias existentes tipo vial y farol equipadas con lámparas de VSAP por luminarias y faroles equipadas con tecnología LED.

Se propone, además, realizar el accionamiento de la instalación mediante la combinación de célula fotoeléctrica y programador astronómico. Mediante esta solución se puede reducir las horas anuales de funcionamiento actuales realizando un montaje en serie entre el reloj astronómico, programado para las coordenadas geográficas de nuestra instalación, y una célula fotoeléctrica, convenientemente regulada; de modo que no se produzca el accionamiento del circuito hasta que el nivel luminoso alcance los valores de consigna.

La célula se adapta mejor a las necesidades reales al realizar el encendido y apagado en función del nivel luminoso existente y las consignas de programación. No obstante, con esta solución no es posible conocer, a priori, el número anual de horas de funcionamiento de la instalación. Por ello se propone ajustar el horario de funcionamiento del programador astronómico, retrasando el encendido y adelantando el apagado en 7,32 minutos al día, lo que permite reducir en 89 horas el tiempo anual de funcionamiento, pasando de las actuales 4.297 h/año (consultado en la tabla de ortos y ocasos del anexo III) a unas 4.208 h/año y es con este número de horas con el que realizamos los cálculos.

Se podrían adoptar otras soluciones para mejorar la eficiencia energética como pueden ser:

- **Instalación de un sistema de regulación de flujo en cabecera:** Con esta solución se podría conseguir un ahorro mediante la reducción de los niveles luminosos sólo en los períodos de menor actividad. Se mantendrían las luminarias de luz indirecta que, como dijimos, presentan rendimientos muy bajos. La potencia de la instalación seguiría siendo la misma.
- **Sustitución de los balastos electromagnéticos por balastos electrónicos:** Con esta solución también se mantendrían las luminarias de luz indirecta que tienen rendimientos muy bajos y únicamente se obtendrían los ahorros por reducción de flujo en horas nocturnas de baja actividad. La potencia de la instalación seguiría siendo la misma. Como se apuntó en el Capítulo 4, con la sustitución de las luminarias por otras de tecnología LED ya se lleva a cabo este cambio porque dichas luminarias están equipadas con drivers que funcionan con equipos electrónicos.

### 5.1.1. Reglamentos y normas

Los cálculos luminotécnicos para la propuesta de sustitución de las luminarias actuales por otras de tecnología LED han sido elaborados utilizando el programa de cálculo Ulysse v2.3, de acuerdo con los siguientes reglamentos y normas:

#### Legislación Española:

- Real Decreto 1890\_2008 Reglamento Eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto, B.O.E. nº 224 de 18 de septiembre de 2002) y en especial la instrucción ITC BT 009 – Instalaciones de Alumbrado Público.
- Norma UNE EN-60 598.
- Real Decreto 2642/1985 de 18 de diciembre (B.O.E. de 24-1-86) sobre Homologación de columnas y báculos.
- Real Decreto 401/1989 de 14 de abril, por el que se modifican determinados artículos del Real Decreto anterior (B.O.E. de 26-4-89).
- Orden de 16 de mayo de 1989, que contiene las especificaciones técnicas sobre columnas y báculos (B.O.E. de 15-7-89).
- Orden de 12 de junio de 1989 (B.O.E. de 7-7-89), por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de la homologación de los candelabros metálicos (báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico).
- Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre, sobre especificaciones técnicas de los candelabros metálicos.
- Ley 31/1988 de 31 de Octubre, sobre Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto Astrofísico de Canarias.
- Real Decreto 138/1989, de 27 de enero, por el que se aprueba el Reglamento sobre Perturbaciones Radioeléctricas e Interferencias.
- Real Decreto 401/1989, de 14 de abril, que modifica el Real Decreto 2642/1985 y lo adapta al derecho comunitario.
- Orden de 12 de junio de 1989, por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de la homologación de los candeleros metálicos.
- Ley 40/1994 de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional.
- Real Decreto 243/1992 de 13 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 31/1998.

- Real Decreto 444/1994, de 11 de marzo, por el que se establecen los procedimientos de evaluación de la conformidad y los requisitos de protección, relativos a compatibilidad electromagnética de equipos, sistemas e instalaciones.
- Ley 6/2001 de 31 de mayo de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.
- Condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados y Ordenanzas Municipales.

#### **Normativa Europea:**

- 89/336/CEE. Directiva del Consejo, de 3 de mayo de 1989, relativa a la compatibilidad electromagnética.
- 91/565/CEE. Directiva del Consejo de 29 de octubre de 1991, relativa al fomento de la eficiencia energética en la Comunidad.- 92/31/CEE.
- Directiva del Consejo, de 28 de abril de 1992, por la que se modifica la Directiva 89/336/CE.- 93/68/CEE.-Directiva del Consejo, de 22 de julio de 1993, por la que se modifican, entre otras, las directivas 89/336/CEE y 73/23/CEE, armonizando las disposiciones relativas al mercado "CE".- 2000/55/CE.
- Directiva del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes.

#### **Recomendaciones Internacionales:**

- Publicación CIE 17.4: 1987 Vocabulario internacional de iluminación.
- Publicación CIE 19.21/22: 1981 Modelo Analítico para la Descripción de la Influencia de los Parámetros de Alumbrado en las Prestaciones Visuales.
- Publicación CIE 23: 1973 Recomendaciones para la Iluminación de Autopistas.
- Publicación CIE 30.2: 1982 Cálculo y mediciones de la luminancia y la iluminancia en el alumbrado de carreteras.
- Publicación CIE 31: 1936 Deslumbramiento y uniformidad en las instalaciones de alumbrado de carreteras.
- Publicación CIE 32/AB: 1977 Puntos especiales en alumbrado público.
- Publicación CIE 33: 1977 Depreciación y mantenimiento de instalaciones de alumbrado público.
- Publicación CIE 34:1977 Luminarias para alumbrado de carreteras: datos fotométricos, clasificación y prestaciones.
- Publicación CIE 47: 1979 Alumbrado de carreteras en condiciones mojadas.

- Publicación CIE 54: 1982 Retrorreflexión: definición y mediciones.
- Publicación CIE 61: 1984 Alumbrado de la entrada de túneles: fundamentos para determinar la luminancia en la zona de umbral.
- Publicación CIE 66: 1984 Pavimentos de carreteras y alumbrado.
- Publicación CIE 84: 1989 Medición del flujo luminoso.
- Publicación CIE 88: 2004 Guía para la iluminación de túneles y pasos inferiores.
- Publicación CIE 93: 1992 Iluminación de carreteras como contramedida a los accidentes.
- Publicación CIE 94: 1993 Guía para la iluminación con proyectores.
- Publicación CIE 95: 1992 Contraste y visibilidad.
- Publicación CIE 100: 1992 Fundamentos de la tarea visual en la conducción nocturna.
- Publicación CIE 115: 1995 Recomendaciones para el alumbrado de carreteras con tráfico motorizado y peatonal.
- Publicación CIE 121: 1996 Fotometría y goniofotometría de las luminarias.
- Publicación CIE 126: 1997 Guía para minimizar la luminosidad del cielo.
- Publicación CIE 129: 1998 Guía para el alumbrado de áreas de trabajo exteriores.
- Publicación CIE 132: 1999 Métodos de diseño para el alumbrado de carreteras.
- Publicación CIE 136: 2000 Guía para la iluminación de áreas urbanas.
- Publicación CIE 140: 2000 Métodos de cálculo para la iluminación de carreteras
- Publicación CIE 143: 2001 Recomendaciones para las Exigencias de la Visión en Color para el Transporte.
- Publicación CIE 144: 2001 Características Reflectantes de las Superficies de las Calzadas y de las Señales de Tráfico.

### **Otras Recomendaciones**

- Normativa para la Protección del Cielo. Criterios en alumbrados exteriores. (Instituto Astrofísica de Canarias).
- Informe técnico CEI. "Guía para la reducción del resplandor luminoso nocturno"(Marzo 1999).
- Recomendaciones para la Iluminación de Carreteras y Túneles del Ministerio de Fomento de 1999.
- Recomendaciones CELMA.
- Resumen de recomendaciones para la iluminación de instalaciones de exteriores o en recintos abiertos. (Ofic. Tec. Para la protección de la calidad del cielo: versión junio 2001).



- CIE Division 5 Exterior and Other Lighting Applications.TC5.12
- Obtrusive Light: Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations (2001)
- Instrucciones de ahorro energético en el alumbrado público de Figueres.
- Guía para la Eficiencia Energética en Alumbrado Público (IDAE-CEI), de marzo de 2001.
- Draft Report de 21 de Junio de 2001 de CEN/TC 169. (Comité Europeo de Normalización).
- Recomendaciones para la Iluminación de carreteras y túneles del Ministerio de Fomento (Noviembre 1999).
- Orden circular 9.1/1964 del M.F. y Nota de Servicio de 5 de Mayo de 1976 sobre limitaciones de los niveles de iluminación en las bocas de entrada.
- Normas ISO.

### 5.1.2. Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado

En el apartado 4.2.7 Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado se realiza la clasificación de las vías y la asignación de los niveles de iluminación, siguiendo los criterios establecidos en el REEIAE [9]. Los resultados se recogen en la Tabla 4.8. En este apartado vamos a comprobar si los niveles de iluminación de la mejora propuesta cumplen con los criterios establecidos en el REEIAE según el tipo de vía.

Los valores de iluminancias calculados para la instalación de alumbrado con tecnología LED se muestran en la Tabla 5.4 siguiente:

Tabla 5.4 Valores iluminancias calculados para la instalación de alumbrado con tecnología LED

CM	Tipo de vía	Modelo	Ud	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)	$E_{min}$ (lx)	$E_m$ (lx)	$E_{max}$ (lx)	Uo %
CM-B2	Exterior edificio J. Benet	TECEO-1	8	38	304	7,5	17,9	41,2	41,8
CM-SA	Zona central Campus	KIO LED	22	27	594	3,4	10	21,2	34
CM-PA	Zona central Campus	KIO LED	98	27	2646	3,4	10	21,2	34
CM-SA	Edificio Sabatini	NEOS 2 LED	16	51	816	9,6	14,5	16,2	67

El valor de la potencia incluye la correspondiente a los LED y los drivers de alimentación.



Como se puede observar ha aumentado notablemente el nivel de iluminación medio ( $E_m$ ) calculado con respecto del existente, cuyos niveles de iluminación se expusieron en el apartado 4.2.10, y para las lámparas de VSAP rondaba un nivel medio ( $E_m$ ) de 4 lx, y en la mejora propuesta se consiguen niveles superiores incluso a 10 lx, cumpliendo así con lo establecido en la normativa.

### 5.1.3. Criterios de calidad

La elección del sistema de iluminación más idóneo para cada vía o espacio a iluminar ha de ser efectuada consiguiendo los niveles de luminancia e iluminancia necesarios, con el menor coste posible, tanto de inversión como energético y de mantenimiento.

Los criterios de calidad empleados en la elección del sistema de iluminación han sido [33], [34], [35], [36]:

- Niveles de iluminación (de luminancia y/o iluminancia), adecuados al uso de la vía o espacio iluminado.
- Parámetros de uniformidad.
- Grados de limitación del deslumbramiento.
- Limitación de la contaminación lumínica: emisiones lumínicas hacia el cielo y la luz intrusa o molesta.
- Calidad de la luz: elección de la temperatura de color  $T_c$  e índice de reproducción cromática IRC de la fuente de luz en función de las necesidades de visión y entorno.
- Periodos de funcionamiento adecuados a las necesidades de los usuarios.

A continuación se desarrolla cada uno de estos criterios.

- **Niveles de iluminación (luminancia y/o iluminancia)**

Una de las principales funciones del alumbrado público es la de aumentar, durante las horas nocturnas, la percepción visual, en nuestro caso de los peatones. Por lo tanto el nivel de iluminación es uno de los parámetros fundamentales, ya que sin un correcto nivel de iluminación no se puede llevar a cabo ninguna tarea visual de modo correcto, rápido, seguro y fácil [34].

La cantidad de luz reflejada en dirección del observador, depende de varios factores:

- a. La cantidad de luz que llega al suelo, procedente de las luminarias.
- b. El tipo de material con el que está terminado el pavimento.
- c. El tipo de luminarias y lámparas empleados (su rendimiento y fotometría).
- d. La geometría de la instalación, esto es, la interdistancia entre puntos de luz, su disposición, así como la altura de montaje, la existencia o no de brazos (báculos o columnas).

La fórmula con la que se han calculado los valores de luminancia sobre cada punto es:

$$L = Q \cdot E = \frac{Q \cdot I \cos^3 \gamma}{h^2} = r \cdot \frac{I}{h^2} \quad [\text{Ec 5.1}]$$

Donde:

- L = Luminancia en un punto específico del suelo ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).
- Q = Cantidad de luz.
- E = Iluminancia (lux).
- r = Coeficiente reducido de luminancia de la superficie del suelo para los ángulos considerados y la relación entre la luz incidente (lux) y la dirección relativa al punto ( $\text{cd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ).
- I = Intensidad (cd) que radia la luminaria en la dirección del punto a calcular.
- h = Altura de montaje de luminaria.

Por tanto, la cantidad de luz reflejada en un punto del suelo y en una determinada dirección, se verá influida por dos parámetros inherentes a la superficie del suelo.

- Q<sub>0</sub> = Coeficiente medio de luminancia (cantidad de luz reflejada/incidente).
- S<sub>1</sub> = Grado de especularidad de la superficie que influye en la proporción de luz que se refleja en cada dirección.

- **Parámetros de uniformidad**

Dos son los parámetros que han de cumplirse, según el REEIAE, ITC-EA-02 [9]:

- a. Coeficiente de uniformidad general (U<sub>0</sub>), que influye en la seguridad vial.
- b. Coeficiente mínimo de uniformidad longitudinal (U<sub>l</sub>), medida a lo largo del eje longitudinal, que influye en la seguridad y en el confort de la instalación.

En nuestro caso, estos factores de uniformidad el reglamento no los exige debido a que nuestro tipo de vía es peatonal; sin embargo, como se ha indicado anteriormente en la Tabla 5.1, han sido calculados.

- **Grados de limitación del deslumbramiento**

En el alumbrado exterior se utilizan dos criterios relacionados con el concepto de deslumbramiento: *deslumbramiento perturbador* y *deslumbramiento molesto*. El primero incapacita al observador para la percepción visual de los objetos. El segundo produce una sensación de incomodidad.

En la norma no se tiene en cuenta el concepto de deslumbramiento molesto, por ser muy subjetivo.

El criterio para calcular el deslumbramiento perturbador (o sea la pérdida de perceptibilidad o pérdida de visión), pasa por calcular el llamado "incremento de umbral", TI. El incremento del umbral carece de unidades y su expresión en función de la luminancia de velo  $L_v$  y la luminancia media del vial  $L_m$  (entre 0,05 y 5  $\text{cd/m}^2$ ) es la siguiente:

$$TI = \frac{65 \cdot L_v}{L_m^{0,8}} \quad [\text{Ec 5.2}]$$

Cada una de las vías deberá cumplir con el requisito de deslumbramiento que el REEAE especifica en la ITC-EA-02 [9], según sea su clase de alumbrado.

- **Limitación de las emisiones lumínicas hacia el cielo y la luz intrusa o molesta**

Según se expuso en el apartado 4.2.9. Análisis del resplandor luminoso nocturno, todas las áreas auditadas son del tipo E3 y las luminarias han de presentar un flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{inst} \leq 15\%$ .

Todas las luminarias propuestas presentan un  $FHS_{inst} \leq 15\%$ , según consta en la documentación técnica de las luminarias de LED proyectadas, que se adjuntan en el Anexo II. Cálculos luminotécnicos y documentación técnica.

Además de ajustarse a los valores de la tabla anterior, para reducir las emisiones hacia el cielo, tanto directas como las reflejadas por las superficies iluminadas, la instalación de luminarias, según se expuso en el punto 4.2.9, deberá cumplir los siguientes requisitos:

- a. Se deberá iluminar solamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.
- b. Los niveles de iluminación no deberán superar los valores máximos establecidos en la ITC-EA-02 [9].
- c. El factor de utilización y el factor de mantenimiento de la instalación satisfarán los valores mínimos establecidos en la ITC-EA-04 [9].

- **Calidad de la luz: temperatura de color  $T_c$  e índice de reproducción cromática IRC**

Varios son los parámetros que definen las fuentes de luz más idóneas: temperatura y rendimiento en color, eficacia, tamaño, vida media y mantenimiento del flujo.

El hecho de utilizar uno u otro tipo dependerá de los requerimientos de la zona a iluminar y del nivel de iluminación necesario. La experiencia demuestra que a mayor nivel de

iluminancia es más confortable utilizar fuentes de luz con mayor temperatura de color  $T_c$ , y viceversa.

Para la iluminación objeto de estudio se propone el uso de luminarias con tecnología LED que reducen de forma considerable la potencia total instalada y, por tanto, el consumo anual de energía. Se han previsto LED con temperatura de *color blanco neutro* (4150K) para los tres tipos de luminaria, según consta en la documentación de las luminarias que se aporta en el Anexo II. Cálculos luminotécnicos y documentación técnica, pues combina una buena relación de eficacia lumínica con la consecución de un ambiente de luz agradable para conductores y viandantes. Temperaturas de color más frías y azuladas no suelen resultar agradables para los habitantes de los municipios. La fuente de luz predominante actualmente es la lámpara de vapor de sodio de alta presión con una temperatura de color de 2000 a 2500 K, mucho más cálida; y en soportales de los edificios fluorescencia de bajo consumo con temperaturas de color de 3000 K.

En la Figura 5.2 se aportan ejemplos de vías iluminadas con fuentes de luz de distintas temperaturas de color  $T_c$ .



Figura 5.2 Vías iluminadas con fuentes de luz de distintas temperaturas de color  $T_c$

El rendimiento cromático, se mide por un parámetro denominado IRC, que es un número que nos indica como fuente de luz reproduce los colores del objeto iluminado, en comparación a como los reproduce la lámpara incandescente, que se considera como valor de IRC igual a 100. Teniendo que:

- Para valores de IRC entre 60 y 80: reproducción normal.
- Para valores de IRC entre 80 y 90: reproducción buena.
- Para valores de IRC superiores a 90: reproducción excelente.

En el caso que nos ocupa, el rendimiento cromático tiene sólo una importancia relativa, ya que no es necesario reproducir fielmente los colores y tonalidades de los objetos, en cambio, es necesario que la visibilidad sea óptima, tanto con buen tiempo como con lluvia, niebla, etc. Las fuentes de luz previstas emplear tienen un IRC superior a 80, según la información facilitada por el fabricante de las luminarias que se incluye en el Anexo II.

- **Periodos de funcionamiento adecuados a las necesidades de los usuarios**

El alumbrado de vías y espacios públicos el encendido tiene que coincidir con el *ocaso* y el apagado con el *orto*.

En nuestro caso se va a hacer un montaje en serie de la célula fotoeléctrica con programador astronómico. De esta forma la célula fotoeléctrica solo actuará en situaciones en las que se pueda obtener un ahorro adicional. Sin embargo este ahorro adicional no es considerado en los cálculos su difícil cuantificación a priori.

#### 5.1.4. Criterios para la elección de los materiales

La elección de los materiales que se van a usar es uno de los factores más importantes a la hora de diseñar una instalación. En su elección se tienen en cuenta aspectos relacionados con la calidad del servicio, criterios estéticos, económicos, de eficiencia energética y de mantenimiento.

A la hora de elegir los materiales se opta por aquellos que satisfaciendo las exigencias de calidad, presenten mayor eficiencia energética y resulten más económicos para el mantenimiento y explotación del servicio.

Los criterios analizados en su elección han sido:

- Lámparas: eficacia luminosa (lúmenes/Watio).
- Luminarias: rendimiento lumínico y flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{inst}$ .
- Equipos auxiliares.
- Sistema de regulación de flujo y curva adoptada.
- Factor de mantenimiento  $f_m$ .
- Factor de utilización  $f_u$ .

A continuación se indican las características de cada uno de los componentes seleccionados para la instalación y otros aspectos relacionados con la eficiencia energética con la instalación proyectada.

- **Lámparas**

El objetivo de esta propuesta es maximizar el valor de la eficiencia de la lámpara y el factor de utilización de la luminaria. Para ello se prevé la sustitución de las luminarias tipo vial y farol equipadas actuales por otras con tecnología LED, cuyas características se adjuntan en el Anexo II. Cálculos luminotécnicos y documentación técnica, por lo que cumplimos sobradamente con los requerimientos de temperatura de color  $T_c$ , rendimiento cromático IRC y eficacia luminosa.

La vida media de las lámparas es importante ya que cuanto mayor sea, mayor será el tiempo que transcurra entre los sucesivos cambios, y menor será el coste de reposición, con los ahorros que ello implica. Igualmente ocurre con la depreciación de las lámparas a lo largo de

su vida media, cuanto menor sea, mayor será el coeficiente de mantenimiento, de la instalación.

- **Luminarias**

En la elección de la luminaria los factores a considerar son: el rendimiento, el tipo de distribución del haz y la calidad del material empleado. Todo lo anterior se supedita a la estética y a conseguir los niveles luminosos y factores de uniformidad requeridos.

Se propone la instalación de distintos modelos de luminarias y proyectores de LED de SCHREDER SOCELEC. El desglose de la sustitución prevista se indica en la Tabla 5.5 siguiente:

Tabla 5.5 Luminarias de tecnología LED previstas

Luminaria	Fuente lumínica	Potencia W	Ud.
TECEO-1	24 LEDS 500 mA	38	8
KIO LED	24 LEDS 350 mA	27	120
NEOS 2	32 LEDS 500 mA	51	16
		<b>Total</b>	<b>144</b>

La potencia incluye los LED y el Driver.

Se han elegido las luminarias expuestas anteriormente debido a los siguientes factores:

- En el caso de la luminaria TECEO por su alto rendimiento y su diseño, que combina líneas rectas y curvas se estima adecuado para el Campus.
- Las luminarias KIO LED y la luminaria NEOS 2 se han elegido debido a que guardan un gran parecido con las actuales y también por su alto rendimiento.

Las Figuras 5.3, 5.4 y 5.5 muestran fotos de las luminarias y proyectores de LED propuestos.



Figura 5.3 Imágenes de las luminarias de LED modelo TECEO



Figura 5.4 Imágenes de las luminarias de LED modelo KIO LED



Figura 5.5 Imágenes de los proyectores de LED modelo NEOS

Las luminarias que se propone instalar cumplen con los requisitos del REEIAE, ITC-EA-04 apartado 3 [9], respecto a los valores de rendimiento de la luminaria  $\eta$  y factor de utilización  $f_u$ .

En lo referente al flujo hemisférico superior instalado FHSinst las luminarias propuestas cumplen lo dispuesto en la ITC-EA-03 [9].

El tipo de distribución del haz, que puede comprobarse en la fotometría de la luminaria que se proporciona en el Anexo II, influye tanto en la interdistancia a que pueden ponerse las luminarias entre sí, sin disminuir los coeficientes de uniformidad dados en las normas, como en la ausencia, o no, de reflejos, al deslumbramiento directo y el nivel luminoso conseguido.

- **Equipos auxiliares**

Las luminarias propuestas están provistas de equipos electrónicos (drivers) regulables programables, con objeto de reducir el flujo luminoso en las horas centrales de la noche, cuando el tráfico de personas es más reducido, y obtener importantes ahorros en consumo. Estos equipos auxiliares disponen de un sistema de protección contra sobretensiones de hasta 10kV.

También van provistas de los componentes para el telecontrol punto a punto. Estos dispositivos se encargan de realizar los encendidos y apagados y permiten conocer los parámetros de cada punto de luz y de los centros de mando, como ya se comentó en el capítulo 4.

El uso de estos equipos electrónicos no sólo aporta el ahorro brindado por las menores pérdidas asociadas a dichos equipos, sino que también incluyen la posibilidad de conseguir ahorros extras al programar en ellos una curva de regulación según los requisitos marcados.

Los equipos electrónicos previstos incorporan el sistema CLO (Constant Light Output - Flujo Lumínico Constante) o nivel constante de iluminación, Fig. 5.6. Esta función permite compensar el factor de depreciación de la lámpara en los diseños de alumbrado. En una solución convencional, para compensar la depreciación del flujo a lo largo del tiempo las instalaciones se proyectan con un exceso de iluminación inicial, lo que supone un exceso de consumo energético. Progresivamente el flujo luminoso emitido se reduce lentamente hasta alcanzar el nivel mínimo necesario al final de la vida útil de la instalación. El sistema CLO consiste en un algoritmo, almacenado en la memoria de los drivers, que aumenta progresivamente el flujo de la luminaria y si al principio de su vida útil, está por ejemplo, al 85% le va elevando hasta alcanzar el 100% al final del ciclo de vida. De esta forma se evita la sobre iluminación inicial y se aporta un ahorro medio adicional tal y como se muestra en la Figura 5.5. Según el fabricante de las luminarias propuestas, SCHREDER SOCELEC, estos ahorros energéticos adicionales pueden llegar a ser de hasta un 10% para una vida de los LED

de hasta 100.000 h, según la documentación de las luminarias facilitada y que adjuntamos en el Anexo II. Cálculos luminotécnicos y documentación técnica.

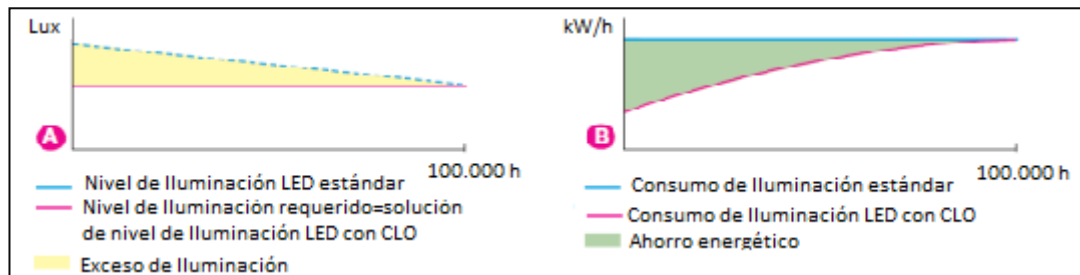


Figura 5.6 Mantenimiento del flujo luminoso a lo largo de la vida del LED. Curva del sistema CLO.

- **Sistema de regulación de flujo y curva adoptada**

Según se expuso anteriormente, las luminarias de LED presentan un índice de reproducción cromática IRC superior a 80, muy superior al de las lámparas de VSAP, lo que permite una mejor reproducción de colores y visibilidad, aún con menores niveles de iluminación. Por esta razón se propone la siguiente curva de regulación de flujo con dos periodos de regulación:

- **Régimen normal:** desde el encendido hasta las 24:00 h y a partir de las 6:15 h; el nivel de iluminación se mantiene en el 100% y el número anual de horas de funcionamiento es de 1.928 horas / año.
- **Régimen reducido:** de 24:00 a 06:15 h; el nivel de iluminación es del 50% del normal (máximo permitido según REEIAE, ITC-EA-04, apto. 6 [9]), ya que en ese intervalo horario se reduce considerablemente la actividad peatonal. El número anual de horas de funcionamiento es:

$$6,25 \text{ h} \times 365 \text{ días/año} = 2.280 \text{ horas / año}$$

El número total anual de horas de funcionamiento es de 4.208 h.

- **Factor de mantenimiento  $f_m$**

Una variable importante considerada en los cálculos es el factor de mantenimiento  $f_m$  de las instalaciones, que fue definido anteriormente, y que tiene en cuenta las pérdidas de rendimiento lumínico por ensuciamiento de las luminarias y por depreciación del flujo de las lámparas y establece una periodicidad de las operaciones de mantenimiento que es necesario realizar durante la vida útil de las instalaciones. El tipo de materiales utilizados en una instalación de alumbrado público y las características particulares de cada instalación, condiciona los programas de mantenimiento que se han de establecer.

El factor de mantenimiento  $f_m$  será el producto de los factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas, de su supervivencia y de depreciación de la luminaria, según la ecuación Ec. 4.1.



Las tablas de la ITC-EA-06 [9] referidas a los factores de depreciación del flujo luminoso y de supervivencia de las lámparas no incluyen las lámparas LED. Si asimilamos la fuente de LED a las lámparas tradicionales utilizadas en alumbrado exterior, el valor recomendado oscilaría entre 0,8-0,85 máximo, justificado siempre en la documentación suministrada por el fabricante de la luminaria. Si el factor de mantenimiento es mayor, deberá estar justificado claramente con curvas de depreciación del flujo y mortalidad [37].

Para horas de vida muy superiores a las utilizadas con lámparas tradicionales, el factor de mantenimiento  $f_m$  deberá ser cuidadosamente escogido para evitar el sobredimensionado de las instalaciones de alumbrado exterior, que podrían ser poco rentables y escasamente eficientes [37].

En este trabajo se emplean LED tipo L70, esto es un parámetro que indica la vida útil del LED, el tipo L70 indica que transcurridas las horas señaladas el flujo luminoso será del 70 % para el 100% de los LED y el factor de mantenimiento que les corresponde en base a la vida útil es:

$$\text{Factor de mantenimiento } f_m = 1 - (30\% / 2) = 85\% [37].$$

- **Factor de utilización  $f_u$**

El factor de utilización  $f_u$  de una instalación es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias.

El factor de utilización de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar, como a la disposición de las luminarias en la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz). Los factores de utilización de la instalación se muestran en la Tabla 5.6.

Para realizar su cálculo se parte de la siguiente relación:

$$E_m = \frac{\Phi_T \cdot f_m \cdot f_u}{S} \quad [\text{Ec 5.3}]$$

Donde:

- $E_m$  = Iluminancia media en servicio de la instalación (lux).
- $\Phi_T$  = Flujo luminoso total emitido por la lámpara instalada (lúmenes).
- $f_m$  = Factor de mantenimiento de la instalación (valores por unidad).

- $f_u$  = Factor de utilización (valores por unidad).
- $S$  = Superficie de referencia iluminada de la calzada a estudiar ( $m^2$ ).

Despejando se puede obtener:

$$f_u = \frac{E_m \cdot S}{\Phi_T \cdot f_m} \quad [\text{Ec 5.4}]$$

Tabla 5. 6 Factores de utilización par a las distintas zonas

Área de estudio	Tipo de luminaria	Fu
Exterior edificio J. Benet	TECEO-1	0,62
Zona central Campus	KIO LED	0,47
Edificio Sabatini	NEOS 2	0,57

#### 5.1.5. Sistema de telegestión punto a punto

El apartado 3.3.5, se trataron los sistemas de telecontrol del alumbrado exterior punto a punto. Estos sistemas combinan el uso de drivers electrónicos regulables y programables y el telecontrol individualizado de los mismos desde un PC central, desde el que enviar órdenes de regulación y tener información del estado de cada punto de luz. Estos sistemas permiten monitorizar, controlar, medir y actuar sobre cada luminaria, realizando el encendido o apagado o actuar individualmente sobre el flujo que emite, lo que proporciona una serie de beneficios encaminados al ahorro de energía, costes de mantenimiento y contribuyen a mejorar la fiabilidad de la iluminación. En el presente apartado puesto que se ha previsto la sustitución de las luminarias actuales por otras de tecnología LED de SCHREDER SOCELEC, se propone la instalación del sistema de telecontrol punto a punto de este fabricante, denominado OWLET [38]. Las características y composición del sistema OWLET de SCHREDER SOCELEC son las siguientes:

- Se trata de un sistema de telegestión *abierto*, por lo que es operativo con todas las marcas de balastos electrónicos y drivers. Todos sus componentes, interfaz de usuario, bases de datos, protocolo de comunicación y componentes Hardware son componentes y/o protocolos de comunicación de estándares abiertos, con lo que la telegestión es compatible con sistemas de otros fabricantes. Puede ser alojado en cualquier servidor y permite localizar y monitorizar la instalación mediante mapas geográficos, acceder a reportes predefinidos, personalizar los informes y el sistema en sí, cambiar perfiles de reducción de flujo, etc. Toda la información recibida es almacenada en una base de datos MySQL permitiendo que los datos estén disponibles para realizar evaluaciones a lo largo del tiempo sobre consumos, vida de lámparas, averías, etc.

- La telegestión punto a punto da información, en todo momento, de forma instantánea y acumulada, de todos los datos relacionados con el punto de luz, como son, el consumo, la corriente, la tensión, el factor de potencia y las horas de funcionamiento, así como su marca temporal para su último encendido y apagado.
- La comunicación entre las luminarias y los controladores de segmento se lleva a cabo mediante radiofrecuencia del tipo ZigBee a 2,4 GHz, con protocolo estándar europeo abierto IEEE 802.15.4, por lo que todos los puntos de luz disponen de una antena emisora - receptora de datos, instalada en la propia luminaria o en su defecto en la columna. Además el controlador de segmento también comunica vía radiofrecuencia, bajo el mismo protocolo con el resto de los puntos de luz.
- El usuario interactúa con el sistema gracias a un interfaz de usuario web, de tal forma que con cualquier dispositivo (móvil o fijo) con acceso a internet, puede acceder al sitio web dedicado a la instalación. Dicha aplicación web dispone de la posibilidad de acceso de distintos usuarios, con la contraseña correspondiente para cada uno, y con distintos permisos de acceso y/o modificación y/o lectura del software, a medida para cada usuario. Sobre dicho software se puede recopilar toda la información referente a cada punto de luz de la instalación además de poder mandar acciones sobre dichos puntos de luz, como son: encendido, apagado, regulación de flujo, asignación de perfil de regulación, cambio de grupo... etc. El interfaz de usuario web, también permite la configuración de alarmas sobre cualquier dirección mail de correo electrónico sobre los usuarios y la programación de reportes diarios, semanales, mensuales o anuales en cualquiera de los aspectos del sistema (comunicación, errores o energía).

Los componentes principales de este sistema son:

- Controlador de luminarias (LuCo) que controla el funcionamiento de los equipos electrónicos o drivers con que están equipadas las luminarias, lo que permite monitorizar sus parámetros de funcionamiento (corriente, tensión, factor de potencia y consumo energético) y regular el flujo. Se comunica con el controlador de segmentos por radio frecuencia Zigbee, apagando, encendiendo y actuando sobre el flujo de la lámpara, además de detectar los posibles fallos del sistema. Controlan los equipos electrónicos y los controladores de equipos LED con interfaces estándares 1-10 V o DALI. Existen tres versiones: LuCo-D con interface DALI, LuCo-M con un medidor de consumo clase 1 integrado y LuCo-U sin medidor para aplicaciones donde un equipo de medición estándar se monta en la caja de conexiones. Como el controlador de columna (CoCo) la corriente, la tensión y el factor de potencia son también continuamente monitorizados y almacenados. De la misma manera, un reloj astronómico integrado provee del encendido al anochecer y apagado al amanecer, incluso cuando el equipo que controla LuCo (controlador de segmento) tiene un fallo operacional.
- Controlador de columna (CoCo) que se aloja en el interior del soporte del punto de luz para su mando y control. Está equipado con dos conectores de potencia o salidas

independientes y conmutadas. La corriente, tensión, factor de potencia y consumo energético de cada salida está continuamente monitorizada. Presenta un grado de protección IP67, completamente protegido, miniaturizado y encapsulado para su instalación en interior de la columna o brazo.

- Controlador de segmento (SeCo) para integrar en los centros de mando. Controla hasta 150 controladores de columna o luminaria. Recolecta los datos de todos los OLC a través de una red mallada autoregenerada Zigbee y los transmite a través de internet a un servidor Web, para el tráfico de datos desde las luminarias al usuario o a la inversa, de dos posibles maneras: mediante tarjeta SIM de datos M2M con tecnología 3G, o mediante conexión ADSL; lo que garantiza su seguridad. Cada controlador de segmentos está equipado con dos entradas y dos salidas analógicas y digitales y un interfaz modbus. El controlador de segmentos es completamente programable y puede organizar la información de los puntos de luz en grupos, por ejemplo por calles, intersecciones, etc. recibiendo y ejecutando órdenes de una manera sincronizada sobre el grupo.

#### 5.1.6. Calificación energética de la instalación

A continuación se calcula la eficiencia energética y calificación energética de todas las vías.

- **Eficiencia energética**

Según la definición de eficiencia energética tratada en el apartado 3.1 se podrá calcular este parámetro mediante la siguiente ecuación, donde cada uno de los parámetros fueron definidos en dicho apartado anteriormente.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left( \frac{\text{m}^2 \cdot \text{lux}}{W} \right) \quad [\text{Ec 3.1}]$$

Los requisitos mínimos los establece el REEIAE, en la ITC-EA-01 [9]. Los resultados de los cálculos se exponen en la Tabla 5.7 del siguiente apartado.

- **Calificación energética**

Las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrado de señales y anuncios luminosos, festivos y navideños se calificarán en función de su índice de eficiencia energética, según prescribe el REEIAE, en la ITC-EA-01 [9].

El índice de eficiencia energética  $I_\varepsilon$  se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación  $\varepsilon$  y el de eficiencia energética de referencia  $\varepsilon_R$  en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada, que se indica en la ITC-EA-01 del REEIAE [9].

$$I_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} \quad [\text{Ec 5.5}]$$

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de letras que va desde la letra A (más eficiente) a la G (menos eficiente). El índice utilizado para escala de letras será el índice de consumo energético ICE que es igual al inverso de  $I_{\varepsilon}$ . Dicha calificación se determina en la ITC-EA-01 y es la mostrada en la Figura 5.7 [9].



Figura 5.7 Calificación energética de las instalaciones de alumbrado

En la Tabla 5.7 se ha detallado la calificación energética de la instalación de alumbrado con tecnología LED y bajo consumo, teniendo en cuenta los requisitos exigidos por el REEIAE.

La calificación energética de las luminarias de bajo consumo se ha realizado según los datos obtenidos de las mediciones registrados en el Anexo IV.

Tabla 5. 7 Calificación energética de la instalación de alumbrado con tecnología LED y bajo consumo

Tipo de vía	Modelo	Ud	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Flujo luminoso Total (klm)	Superficie iluminada ( $m^2$ )	Eficiencia energética $\epsilon$	Índice de Eficiencia energética (ITC-EA-01 tabla 3) $\epsilon_r$	Índice de eficiencia energética $I\epsilon$	Índice de consumo Energético ICE	Calificación energética
Exterior edificio J. Benet	TECEO-1	8	38	304	36,8	1.080	63,59	12,16	5,23	0,19	TIPO A
Zona central Campus	KIO LED	120	27	3240	408	16.545	51,06	9	5,67	0,18	TIPO A
Edificio Sabatini	NEOS 2	16	51	816	97,6	3.240	57,57	10,8	5,33	0,19	TIPO A
Exterior Edificio P. Soler (1)	Bajo consumo	34	25	850	56,1	720	8,45	9	0,92	1,08	TIPO B
Exterior Edificio P. Soler (2)	Bajo consumo	34	25	850	56,1	720	8,99	8	1,10	0,91	TIPO B
Exterior Edificio A. Betancourt	Bajo consumo	15	25	375	24,75	666	9,84	5	1,97	0,51	TIPO B

(1)Corresponde a la medición lumínica de los apliques 2 y 3 del ANEXO IV.

(2) Corresponde a la medición lumínica de los apliques 5 y 6 del ANEXO IV.

## 5.2. Reducción de potencia, ahorro energético, económico y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

Para realizar los cálculos se ha tenido en cuenta:

- Potencia de las luminarias de LED obtenida de los cálculos luminotécnicos, Anexo II.
- Curva de regulación de flujo y potencia de LED según curva facilitada por el fabricante SCHREDER SOCELEC [38] Con ella se calcula la bajada de potencia del conjunto lámpara-driver para la nueva situación lumínica.
- El número anual de horas de funcionamiento de la iluminación le tomamos de ortos y ocasos, del Anexo II Según esta tabla el alumbrado funciona durante 4.208 h/año.
- La curva de regulación de flujo y horas de funcionamiento que empleamos en los cálculos es:
  - *Régimen normal*: desde el encendido hasta las 24:00 h y a partir de las 6:15 h; el nivel de iluminación se mantiene en el 100% y el número anual de horas de funcionamiento es de 1.928 horas.
  - *Régimen reducido*: de 24:00 a 06:15 h; el nivel de iluminación es del 50% del normal (máximo permitido según REEIAE, ITC-EA-04, apto. 6 [9]) y el número anual de horas de funcionamiento de 2.280 h.
- Como se mencionó anteriormente, los drivers de las luminarias incorporan el sistema CLO (Constant Light Output - Flujo Lumínico Constante) ó nivel constante de iluminación, Fig. 5.5. que permite compensar el factor de depreciación de la lámpara en los diseños de alumbrado. Según los distintos fabricantes consultados los ahorros que proporcionan están entre el 7,5% y el 10%. En nuestro caso realizamos los cálculos con el 7,5%.

### 5.2.1 Reducción de potencia

Según la Tabla 5.8 que aparece a continuación la instalación renovada con luminarias de tecnología LED tiene una potencia total de **9.695W**. La potencia incluye los LEDs y los drivers (equipos auxiliares).

Según la Tabla 4.9 Potencia de Lámparas y Balastos del Campus de Leganés del apartado 4.2.8, la potencia total de lámparas y balastos electromagnéticos de la instalación actual es **50.096,2W**.

Por tanto la reducción de potencia es:

$$50.096,2 \text{ W} - 9.695 \text{ W} = \mathbf{40.401,2 \text{ W}} = \mathbf{40,40 \text{ kW}} \rightarrow \mathbf{80,65\%}$$
 sobre la total de la instalación

Tabla 5.8. Consumo anual de energía con la instalación de luminarias de tecnología LED

CM	Tipo de vía	Luminaria		Potencia W		Potencia con regulación de flujo W		Consumo anual de energía eléctrica kWh año				
		Modelo	Ud	Unitaria	Total	Unitaria con flujo regulado al 50%	Total con flujo regulado al 50%	En régimen nominal (1.928h/año)	Con reducción flujo al 50% (2.280 h)	Suma	Ahorro proporcionado por el sistema CLO 7,5%	Total
CM-B2	Exterior edificio J. Benet	TECEO-1	8	38	304	22,80	182,40	586,11	415,87	1.001,98	75,15	1.077,13
CM-SA	Zona central Campus	KIO LED	22	27	594	16,20	356,40	1.145,23	812,59	1.957,82	146,84	2.104,66
CM-PA	Zona central Campus	KIO LED	98	27	2.646	16,20	1.587,60	5.101,49	3.619,73	8.721,22	654,09	9.375,31
CM-SA	Edificio Sabatini	NEOS 2	16	51	816	30,60	489,60	1.573,25	1.116,29	2.689,54	201,72	2.891,26
-	Todas las zonas con Bajo Consumo	Bajo Consumo	195	25	4.875	15	2.925	9.399	6.669	16.068	1.205,1	17.273,10
CM-SA	Exterior Sabatini	LED	10	46	460	27,6	276	886,88	629,28	1.516,16	113,71	1.629,87
<b>Total</b>			349		<b>9.695</b>		<b>5.817</b>	<b>18.691,96</b>	<b>13.262,76</b>	<b>31.954,72</b>	<b>2.396,61</b>	<b>34.351,33</b>



La disminución de potencia correspondiente a una reducción de flujo del 50% ha sido obtenida de las curvas facilitadas por el fabricante.

### 5.2.2. Consumo anual de energía eléctrica.

En la Tabla 5.8 anterior, se han expuesto los resultados del consumo anual de energía eléctrica con luminarias de tecnología LED, que según se puede observar este consumo anual de energía asciende a **34.351,33 kWh año**.

### 5.2.3 Ahorro anual de la energía consumida

A continuación se realiza el cálculo de los consumos anuales de energía.

El consumo actual: de energía lo calculamos en el apartado. 4.2.8. Balance energético de la instalación actual y emisión de CO<sub>2</sub> y asciende a 210.804,81 kWh año.

Y el ahorro anual de energía es de:

$$210.804,81 \text{ kWh año} - 34.351,33 \text{ kWh año} = \mathbf{176.453,48 \text{ kWh año} \rightarrow 83,70\%}$$

### 5.2.4. Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera

Las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se calculan multiplicando el ahorro anual de energía por 0,178 kg/kWh [32].

$$176.453,48 \text{ kWh} \times 0,178 \text{ kg/kWh} = 31.408,72 \text{ kg de CO}_2 = \mathbf{31,41 \text{ Tm de CO}_2}$$

### 5.2.5. Ahorro económico anual

La valoración económica de este ahorro energético durante el periodo de un año, considerando un costo medio de la energía estimado de 0,15 €/kWh, será:

$$176.453,48 \text{ kWh/año} \times 0,15 \text{ €/kWh} = \mathbf{26.468,02 \text{ € año}}$$

### 5.3. Coste de implantación de la medida de ahorro, periodo de retorno de la inversión y relación inversión / ahorro energético anual

#### 5.3.1. Coste de implantación de la medida de ahorro

El coste de implantación de la medida de ahorro es de **71.171,52 €**. Este coste viene explicado en el apartado 5.6, donde se desarrolla el presupuesto de la nueva instalación.

Los tiempos previstos para realizar la sustitución de las luminarias actuales por otras equipadas con tecnología LED son:

- 20 minutos de camión cesta hasta 12 m de altura, con conductor y ayudante, en hora normal, para las luminarias de, 27, 38, 51 W.

#### 5.3.2. Periodo de retorno simple de la inversión necesaria para implantar la medida de ahorro

El periodo de retorno de la inversión es el que resulta de dividir el coste total de la implantación de la medida de ahorro, por el ahorro total anual calculado. Según esto se tiene:

$$\text{Periodo de retorno de la inversión} = 71.171,52 \text{ €} / 26.468,02\text{€/año} = \mathbf{2,69 \text{ años}}$$

#### 5.3.3. Relación inversión / ahorro energético anual

Para esta propuesta de ahorro la relación entre la inversión necesaria para su implantación y el ahorro energético anual que proporciona es:

$$71.171,52 \text{ €} / 176.453,48 \text{ kWh año} = \mathbf{0,40 \text{ €/kWh año}}$$

#### 5.3.4. Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR).

El **Valor Actual Neto (VAN)** proporciona una medida de la rentabilidad en valor absoluto y actual. Si el VAN es mayor que cero, la inversión produce riqueza. La expresión del VAN es la siguiente:

$$\text{VAN}(k) = -A + \sum_{i=1 \dots n} \frac{Q_i}{(1+k)^i} \quad [\text{Ec } 5.6]$$

Donde:

- $k$  = es la tasa de descuento o tipo de interés.
- $A$  = Desembolso inicial.

- $Q_i$  = Flujo de Caja.
- $n$  = vida útil estimada para la inversión.

**La Tasa interna de retorno o rentabilidad (TIR)** representa la rentabilidad de la inversión, como el interés compuesto que se obtendría de los recursos invertidos. El TIR es el valor de  $k$  que hace que el  $VAN=0$ , su expresión es la siguiente:

$$VAN(k) = 0 = -A + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{(1 + TIR)^i} \quad [Ec 5.7]$$

El VAN y el TIR de la instalación han sido calculados en el Anexo V. Los resultados obtenidos son los siguientes:

TIR 14 Años	<b>14,91%</b>
VAN 14 Años	<b>27.860 €</b>

#### **5.4. Programa de mantenimiento propuesto para el alumbrado renovado con tecnología LED y apliques existentes.**

##### **5.4.1. Descripción de la propuesta**

Como se vio en el apartado 3.3.6. Mantenimiento de las instalaciones, las prestaciones de una instalación de alumbrado público experimentan una disminución a lo largo del tiempo a causa del envejecimiento propio de sus componentes y de la acción de agentes externos. Para minimizar estas pérdidas se elaboran los programas de mantenimiento. Según lo allí expuesto, el tipo de materiales utilizado y las características particulares de cada instalación, condiciona los programas de mantenimiento que se han de establecer.

Con el programa de mantenimiento propuesto se pretende mantener los niveles luminosos y factores de uniformidad exigidos en las instalaciones de alumbrado, y justificar el cumplimiento de las prescripciones de la ITC-EA-06 del REEIAE [9], para aprovechar las inversiones realizadas con las medidas de ahorro anteriormente expuestas. En el programa que a continuación se propone no se justifican todas las actuaciones de mantenimiento propias de una instalación de alumbrado público, que se desarrollaron ampliamente en el apartado 3.3.6, si no sólo las relacionadas con el ahorro energético.

El programa de mantenimiento propuesto se expone en la Tabla 5.9 siguiente, donde se detallan las actuaciones propuestas y su periodicidad.

Tabla 5.9 Programa de mantenimiento propuesto.

<b>Revisión y limpieza de luminarias</b>			
<b>Tipo de luminaria</b>	<b>Grado de protección</b>	<b>Grado contaminación</b>	<b>Periodicidad</b>
Aplique de pared y empotrado	IP2X	Bajo	Cada 12 meses
Luminaria de LED	IP6X	Bajo	Cada 36 meses
<b>Reposiciones programadas de lámparas</b>			
<b>Tipo de lámpara</b>		<b>Potencia W</b>	<b>Reposición a las</b>
Bajo consumo (fluorescente compacta)		25	10.000 h
LED luminaria TECEO-1		38	50.000 h
LED luminaria KIO LED		27	50.000 h
LED luminaria NEOS 2		51	50.000 h
<b>Otras operaciones</b>			
Inspección encendidos y apagados			Semanal
Inspección nocturna de funcionamiento			Semanal
Inspección de CM			Semestral
<b>Otras operaciones</b>			
Desperfectos mecánicos de la instalación por vandalismo, accidentes, etc.			Antes de 48 horas
Reposición casual de lámparas			Antes de 48 horas
Inspección fotométrica			Anual
Inspección por OCA			Cada 5 años

Para determinar el periodo de reposición de las lámparas nos hemos basado en los valores de vida útil dados por los fabricantes y las periodicidades programadas para las limpiezas, con el propósito de hacerlas coincidir.

#### 5.4.2. Verificación del cumplimiento del REEIAE con el programa de mantenimiento propuesto

A continuación se realiza un estudio que permita comprobar si la programación de las operaciones previstas satisface lo requerido por el REEIAE. Para ello nos fijamos en las especificaciones recogidas en la ITC-EA-06 [9] (Mantenimiento de la Eficiencia Energética de las Instalaciones), donde se indica las causas de la degradación de las características fotométricas y pérdida de la eficiencia lumínica.

Según lo indicado se puede decir que:

- Las reposiciones casuales de lámparas no son una operación programada. Según el programa de mantenimiento propuesto hay que reponerlas antes de 48 horas, lo que puede considerarse como plazos casi inmediatos. De este modo, podemos dejar a un lado este factor en el análisis, porque una actuación correcta conlleva que el número de puntos de luz apagados, en cada momento, sea despreciable.
- La revisión y restauración de luminarias se realiza siempre que se detecte mal funcionamiento. Por ello, este factor se puede obviar en el análisis, al igual que el anterior.
- Debemos centrar el análisis en las operaciones de *reposición en grupo de lámparas y la limpieza de luminarias*, que es lo que se hace a continuación.

La metodología a emplear para el estudio se basa, simplemente, en comprobar si el programa de mantenimiento propuesto para cada tipo de lámpara y luminaria proporciona un factor de mantenimiento  $f_m$  adecuado, según las tablas de ITC-EA-06. Si no fuera así, deben reprogramarse las actuaciones para mejorar el  $f_m$ .

Combinando los tiempos para reposiciones programadas de cada lámpara, expuestos en la Tabla 5.7 con los valores de la Tabla 1 de la ITC-EA-06 [9], y extrapolando linealmente para períodos de funcionamiento superior a 12.000 horas o inferior a 4.000 horas, calculamos los factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas FDFL que se exponen en la Tabla 5.10.

En el apartado 5.1.4, se justificó el factor de mantenimiento  $f_m$  con el que han sido realizados los cálculos luminotécnicos. En este caso, al emplear LED tipo, el factor de mantenimiento que les corresponde es:

$$\text{Factor de mantenimiento } f_m = 1 - (30\% / 2) = 85\% [37]$$

Para el cálculo teórico de los niveles esperados se ha tenido en cuenta un factor de mantenimiento de 0,70 para los apliques de pared y empotrados con lámparas de bajo consumo (fluorescente compacta) y 0,85 para luminarias de LED según la justificación siguiente.

El factor de mantenimiento de una instalación es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación (iluminancia media en servicio) y la iluminancia media al inicio de su funcionamiento, con todos sus componentes nuevos (iluminancia media inicial).

Sus factores se indicaron en la ecuación 4.1.

En este caso se tiene:

- FDFL. Este factor depende del tipo de lámpara y del período de funcionamiento en horas entre dos reposiciones masivas. Según se define en el programa de mantenimiento propuesto la reposición masiva se realizará para lámparas de bajo consumo cada 10.000 h. Según el REEIAE, ITEC-EA-06, Tabla 1, le corresponde un

valor de 0,85. Para los LED según especificación del fabricante, ya que el REEIAE no lo contempla, tomamos un valor de 0,97.

- FSL. Este factor depende del tipo de lámpara y del período de funcionamiento en horas entre dos reposiciones masivas. Este factor se debe considerar  $FSL = 1,00$  para todas las lámparas, ya que disponemos de un plan de reposiciones de fallos casuales de lámparas. Efectivamente, este FSL se aplica cuando dejamos una instalación funcionar desde su momento inicial, sin preocuparnos por las bajas que se pudieran producir, hasta la siguiente reposición masiva. Sin embargo, si sustituimos cada lámpara que vaya fallando, la pérdida de flujo en la instalación por este motivo no se llega a producir.
- FDLU. Este factor depende del grado de protección contra penetración de cuerpos sólidos del sistema óptico de la luminaria, del grado de contaminación de la zona en que se encuentre y del intervalo entre limpiezas.

Los grados de protección (primera cifra IP) de las luminarias que requieren cálculo lumínico de la presente propuesta son los siguientes:

- Luminarias LED: IP6X.
- Apliques de pared y empotrados: según su construcción satisface un grado de protección IP2X.

El grado de contaminación en que se sitúan las luminarias se consideran valores bajos, según la ITEC-EA-06.

- El resto de vías residenciales, de baja velocidad y no sometidas a un tráfico de vehículos intenso y las vías peatonales, con clases de alumbrado S1, S2 y S3.

Los intervalos de limpiezas a partir de lo definido en la organización del servicio:

- Apliques de pared y empotrados: anualmente.
- Luminarias de LED. Cada 3 años.

Combinando los intervalos anteriores y los grados IP con la Tabla 3 de ITC-EA-06, y extrapolando linealmente en ésta para intervalos inferiores a 1 año y para grados IP entre IP2X e IP5X, resulta lo siguiente:

Tabla 5.10 Factor de depreciación de las luminarias

Luminarias	FDLU
Apliques de pared y empotrados	0,82
Luminarias de LED	0,90

Se procede a continuación a combinar los 3 factores anteriores para hallar el factor de mantenimiento de diferentes tipos de instalación ( $f_m = FDFL \times FSL \times FDLU$ ). La combinación se hará con lógica, es decir, combinando los tipos de luminarias con sus lámparas más usuales. Se obtiene el resultado mostrado en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Factor de mantenimiento de las luminarias

Luminarias		FDFL	FSL	FDLU	$f_m$
Apiques de pared y empotrados	Bajo consumo	0,85	1,00	0,82	0,70
Luminarias de LED	LED	0,97	1,00	0,90	0,87

Como se puede comprobar el factor de mantenimiento resultante del programa propuesto para las luminarias de LED está por encima del empleado en los cálculos y cumplimos, por tanto, con el REEIAE.

Para las lámparas de bajo consumo, al desconocer el factor de mantenimiento con que se calculó la instalación, tomamos como valor de referencia  $f_m = 0,7$ , por ser muy excepcional realizar los cálculos lumínicos con valores inferiores a éste. En este caso con el programa de mantenimiento propuesto también cumplimos con las exigencias del REEIAE.

#### **5.4.3. Ahorro anual de la energía consumida, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y ahorro económico anual**

Los ahorros derivados de la aplicación de un programa de mantenimiento adecuado son difícilmente cuantificables, por su propia naturaleza o por la no existencia de un modelo para su cuantificación, por lo que no realizaremos los cálculos de los ahorros energéticos, ni de la reducción en la emisión de CO<sub>2</sub>, ni el ahorro económico anual.

Los ahorros energéticos derivados de un adecuado programa de mantenimiento provienen de una menor depreciación del flujo luminoso emitido por la lámpara y la luminaria, de la disminución de averías eléctricas que implicarían un consumo innecesario de energía, de un adecuado ajuste de los encendidos y apagados evitando que funcione fuera de hora, de evitar que el haz de luz proveniente de las luminarias se dirija fuera de la zona a iluminar, etc.

#### **5.4.4. Coste de implantación de la medida de ahorro, periodo de retorno de la inversión y relación inversión / ahorro energético anual**

Como se comentó en la descripción de la propuesta, el programa de mantenimiento propuesto se limita a las actuaciones relacionadas con la eficiencia energética, con objeto de justificar el cumplimiento de las prescripciones de la ITC-EA-06 del REEIAE [9].

No obstante, un programa de mantenimiento debe incluir no sólo las operaciones relacionadas con la eficiencia energética, sino también todas las operaciones necesarias para garantizar la seguridad de las instalaciones y el mantenimiento de la calidad del servicio a un nivel adecuado. El programa de mantenimiento ha de buscar la ponderación entre el coste de su implantación, la calidad del servicio que proporciona y el mantenimiento de la eficiencia energética de las instalaciones. Para determinar el coste de implantación es preciso establecer el alcance y frecuencia de todas las operaciones, composición de los equipos de trabajo, conocer las características urbanas, etc.

### 5.5 Panel de indicadores de sostenibilidad de la instalación propuesta

El panel de indicadores de sostenibilidad del campus se indica en la Tabla 5.12 siguiente:

Tabla 5.12 Panel de sostenibilidad de la instalación propuesta

Nº	Descripción	Valor
1	Número de centros de mando	7
2	Número de luminarias	349
3	Lámparas eficientes utilizadas	100%
4	Luminarias eficientes utilizadas	100%
5	Nivel de resplandor luminoso emitido por el alumbrado del campus	Bajo
6	Potencia nominal instalada en lámparas	12,26 kW
7	Potencia instalada en lámparas + equipos auxiliares	12,85 kW
8	Potencia media nominal por luminaria (sin equipo auxiliar)	35,13 W
9	Horas anuales de funcionamiento	4.208 h
10	Consumo anual de energía kWh	34.351,33 kWh año
11	Consumo anual de energía por luminaria kWh	98,43 kWh año
12	Cantidad anual de CO <sub>2</sub> emitido por el alumbrado del campus.	31,41 Tm de CO <sub>2</sub> /año



## 5.6. Presupuesto

Los precios previstos para implantar esta medida de ahorro son los que aparecen en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13 Presupuesto de sustitución de luminarias actuales por otras equipadas con tecnología LED

Ud	Concepto	Precio Ud €	Precio total €
8	<b>Suministro e instalación de luminaria LED hermética, TECEO-1</b> , compuesta por un protector de vidrio extra-claro y un cuerpo de aluminio donde se ubica el bloque óptico (IP66) compuesto por 24LED de alto flujo luminoso blanco neutro y el compartimento de auxiliares (IP66), ambos independientes y accesibles in situ.	272	2.176
120	<b>Suministro e instalación de luminaria hermética KIO LED</b> , grado de estanquidad IP66, compuesta por base y capó de aluminio inyectado y protector de policarbonato de elevada resistencia a impactos, IK09. En el interior del cuerpo, se ubica el bloque óptico (IP66) compuesto por 24LED de alto flujo luminoso blanco neutro.	376	45.120
120	<b>Suministro e instalación de luminaria adaptador al soporte actual de las luminarias KIO LED.</b>	60	7.200
16	<b>Suministro e instalación de Proyector NEOS 2 LED</b> , con grado de hermeticidad IP66, compuesto por un cuerpo de fundición de aluminio pintado y un protector de vidrio templado (IK 08). El cuerpo contiene el bloque óptico, equipado con 32 LEDs (blanco neutro) alimentados a 500mA. Los equipos auxiliares eléctricos se integran en una caja de policarbonato fijada a la parte posterior del proyector. La fijación se realiza mediante una horquilla de acero pintado que permite un reglaje preciso de la inclinación in situ.	332	5.312
<b>SUMA</b>		59.808	
<b>19% Gastos generales y Beneficio Industrial</b>		11.363,52	
<b>Total coste implantación medida de ahorro</b>		<b>71.171,52</b>	

No proponemos el cambio de las columnas existentes por otras nuevas, debido a que este cambio de columnas no es necesario ya que no afecta a la eficiencia energética de la instalación y evitarlo supone un ahorro económico. Por lo tanto se ha previsto un acoplamiento que permita instalar las nuevas luminarias en los soportes existentes, que no son normalizados.

Los precios han sido facilitados por SCHREDER SOCELEC Las luminarias se suministran con el controlador LuCo incorporado, por lo cual no prevemos mano de obra de montaje, aunque si el coste del suministro.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

### 6.1. Tecnología LED.

En la actualidad, cada vez con mayor frecuencia, se están sustituyendo las instalaciones de alumbrado existentes por otras con tecnología LED. Esto es debido a que esta tecnología proporciona importantes ahorros energéticos, mejor calidad de la luz y mayor duración de los equipos, lo que esto da lugar a unos ahorros económicos considerables, incluso a corto plazo.

### 6.2. Caso de estudio

Como se ha demostrado en este proyecto en el caso del Campus de Leganés de la Universidad Carlos III el cambio de las luminarias existentes, equipadas con lámparas de VSAP, por otras basadas en tecnología LED significa:

- **Un aumento de la eficiencia energética de la instalación, cumpliendo los requisitos establecidos por el reglamento:** la instalación actual, luminarias con lámparas de VSAP, tiene una calificación energética F o G, según los casos, como se puede comprobar en las hojas de mediciones luxométricas, sin embargo en la instalación propuesta con tecnología LED la calificación energética pasa a ser tipo A. El alumbrado existente a base de lámparas de bajo consumo presenta una calificación energética B, que hemos decidido mantener pues presentan una eficacia lumínica elevada al compararlas con la de las lámparas de tecnología LED.
- **Un aumento de los niveles lumínicos:** la instalación actual tienen unos valores de iluminancia media ( $E_m$ ) muy bajos, entre 4 y 3 lx, y sin embargo en la instalación propuesta supera los 10 lx.
- **Aumento destacable de la calidad de la luz:** las lámparas actuales de VSAP tienen una reproducción cromática (IRC) entre 20 y 30, y una temperatura de color de entre 2.000 y 2.500 K. La instalación proyectada tiene un IRC superior a 80 y una temperatura de color de 4.150 K, obteniendo una luz blanco neutro que permite una mayor comodidad visual para el usuario, pudiendo reproducir de manera más fiel los colores de los objetos y sus formas.
- **Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>:** se reducen las emisiones en 6,11 Tm, colaborando en la disminución del efecto invernadero y otros efectos negativos sobre el medio ambiente provocado por estos gases, de sobra conocido por todos.
- **Un ahorro energético considerable:** Se ha llegado a conseguir un ahorro de un 83,70 % con la nueva propuesta, lo cual conlleva un ahorro económico importante, consiguiendo así que la inversión se amortice en 2,69 años.

### 6.3. Líneas futuras de actuación

Las líneas que se podrían seguir en un futuro para mejorar las instalaciones del Campus de Leganés de la Universidad Carlos III de Madrid son las siguientes:

- Cambio de los apliques equipados con lámparas de bajo consumo en caso de mejoras tecnológicas para luminarias, de características similares, basadas en tecnología LED.

En el proyecto se ha decidido no cambiar los apliques existentes en los soportales de los edificios, equipados con lámparas de bajo consumo, por tecnología LED pues en la amplia búsqueda realizada no hemos encontrado ninguna solución que presente mayor rendimiento que las actuales.

- Modificación total de la instalación de alumbrado existente, renovando no solo el tipo de luminaria, sino también su situación, disposición y cantidad de luminarias a instalar.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Indalux, Luminotecnia. Control y aplicaciones de la luz, 2002.
- [2] Conejo, A.J., Arroyo, J.M., Milano, F., Alguacil, N., Polo, J.L., García Bertrand, R., Contreras, J., Clamagirand, A., López, L., Instalaciones Eléctricas, McGraw Hill, 2007, ISBN: 978-84-481-5639-8.
- [3] Herranz Dorremocha, C., Ollé Martorell, J.M., Jáuregui Sora, F., La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica, Disponible [Internet]: <http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>, Consultado en Abril de 2014.
- [4] Instalaciones Eléctricas, ISBN: 847063210, Disponible [Internet]: <http://es.slideshare.net/lennins99/libro-de-instalaciones-electricas>, Consultado en Abril de 2014.
- [5] Romero, J., Quintana, C., Apuntes de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Disponible [Internet]: [https://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/11/11748/Tema\\_02.pdf](https://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/11/11748/Tema_02.pdf), Consultado en Abril de 2014.
- [6] Fraile Mora, J., Introducción a las instalaciones eléctricas, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1996, Edición 2ª, ISBN: 84-7493-149-5.
- [7] Diccionario de Arquitectura y Construcción, Disponible [Internet]: <http://www.parro.com.ar/definiciones.php>, Consultado en Abril de 2014.
- [8] Colmenar Santos, A., Hernández Martín, J.L., Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión, RA-Ma , 2012, Edición 2ª, ISBN: 978-84-9964-202-4.
- [9] Real Decreto 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.
- [10] Cinzano, P., Falchi, F. y Elvidge, C. D, The first world atlas af the artificial night sky brightness, Padova, Departamente of Astronomy, University of Padova, 2001.
- [11] Tribuna Complutense, 24 Noviembre 2009, Disponible [Internet]: <http://www.sim.ucm.es/cont/descargas/prensa/tribuna2071.pdf>, Consultado en Mayo de 2014.
- [12] National Energy Efficiency Action Plan, 2º Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, aprobado por acuerdo del Consejo de Ministros de fecha 29 de Junio de 2011.

- [13] UNE-EN 60598-1, Luminarias. Requisitos generales y ensayos.
- [14] Castejón, A., Santamaría, G., Tecnología Eléctrica, McGraw Hill, 1995, ISBN: 84-481-0078-6.
- [15] García Trasancos, J., Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión. Paraninfo, 1999, ISBN: 84-283-2594-4.
- [16] Luminotecnia. Dispositivos para alumbrado incandescente y fluorescente, Disponible en [Internet]: <http://www.mcgrawhill.es/bcv/guide/capitulo/8448171721.pdf>, Consultado en Junio de 2014.
- [17] Información técnica sobre equipos para lámparas de descarga, Disponible [Internet]: <<http://www.elt.es/documentos/dossier.pdf>>, Consultado en Junio de 2014.
- [18] Disponible [Internet]: <[http://laboratorioelectricidadsenacesar.blogspot.com.es/2008\\_12\\_01\\_archive.html](http://laboratorioelectricidadsenacesar.blogspot.com.es/2008_12_01_archive.html)> Consultado en Julio de 2014.
- [19] Alcalde San Miguel, P., Electrotecnia, Paraninfo, 2014, Edición 6ª, ISBN: 978-84-283-9877-0.
- [20] LED. La iluminación del futuro. Disponible [Internet]: <<http://www.afinidadelectrica.com/articulo.php?IdArticulo=48>>, Consultado en Junio de 2014.
- [21] Camporeale, P., DUtt, G., Manual de iluminación eficiente, ELI Argentina y Universidad Tecnológica Nacional, 2006, ISBN: 978-950-42-0077-2, Disponible [Internet]: <<http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/eli.html#libro>>, Consultado en Junio de 2014.
- [22] Domínguez González-Seco, E.P., Apuntes de Domótica y Luminotecnia 2013, Universidad Carlos III.
- [23] Curso on-line de iluminación, Universidad Politécnica de Cataluña, Disponible [Internet]: <<http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-equiposAuxiliares.php>>, Consultado en Julio de 2014.
- [24] Pla d, eficiencia energética. Govern de les Illes Balears. Disponible [Internet]: <[http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portaenergia/pla\\_eficiencia\\_energetica/enllumenat\\_1.es.html](http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portaenergia/pla_eficiencia_energetica/enllumenat_1.es.html)> Consultado en Julio de 2014.

- [25] Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico de Baja Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias BT 01 a BT 51.
- [26] Equipos y eficiencia en alumbrado exterior en Eficiencia energética, Escuela de organización industrial, Disponible [Internet]:  
<[http://www.eoi.es/wiki/index.php/Equipos\\_y\\_eficiencia\\_en\\_alumbrado\\_exterior\\_en\\_Eficiencia\\_energ%C3%A9tica#Reactancias\\_de\\_doble\\_nivel](http://www.eoi.es/wiki/index.php/Equipos_y_eficiencia_en_alumbrado_exterior_en_Eficiencia_energ%C3%A9tica#Reactancias_de_doble_nivel)>, Consultado en Julio de 2014.
- [27] Rodríguez, J.M., Ahorro de energía mediante el control eficiente de la iluminación, y el control automático de la temperatura. Jornada sobre la guía de ahorro y eficiencia energética en el sector de las Artes Gráficas, Madrid, 24 Febrero, 2010.
- [28] Guía de Gestión Energética en el Alumbrado Público. Madrid, Comunidad de Madrid, 2006, Disponible [Internet]:  
<<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-gestion-energetica-en-el-alumbrado-publico-fenercom.pdf>>, Consultado en Julio de 2014.
- [29] <http://www.aserpinto.com/mantenimiento-electrico-y-alumbrado-publico.html>, Consultado en Julio de 2014.
- [30] <http://www.solomantenimiento.com/articulos/mantenimiento-alumbrado-publico.htm>, Consultado en Julio de 2014.
- [31] Tarifa Alumbrado Profesional, Catálogo de Philips, Febrero 2012, Actualizado en Enero de 2013.
- [32] WWF. Observatorio de la Electricidad, 2013, Disponible [Internet]:  
<[http://www.wwf.es/que\\_hacemos/cambio\\_climatico/publicaciones/?28363/wwf-alerta-del-retroceso-en-politica-energetica-en-2013-y-pide-un-cambio-de-rumbo-en-2014](http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/publicaciones/?28363/wwf-alerta-del-retroceso-en-politica-energetica-en-2013-y-pide-un-cambio-de-rumbo-en-2014)> Consultado en Julio de 2014.
- [33] Clerici, C., Luminotecnia, REDE, 1966.
- [34] Manual del Alumbrado, Westinghouse, Edición 4ª, ISBN: 84-237-0314-2.
- [35] Aplicaciones eficientes de luminarias, IDAE, CEI, 1996, ISBN: 84-86850-75-4.
- [36] Control y ahorro de energía en alumbrado público, IDAE, 1989, ISBN: 84-86850-13-4
- [37] ANFALUM, Comunica nº 12, Cómo seleccionar y comparar luminarias LEDs para aplicaciones de alumbrado exterior, 2010.
- [38] SCHREDER SOCELEC, Sistema de telegestión Owlet, el dominio de la luz, 2013.



## ANEXOS



### **ANEXO I: PLANO DE LA INSTALACIÓN.**

En la siguiente página se muestra el plano de la instalación de alumbrado exterior del Campus de Leganés, con los centros de mando (CM) que gobiernan cada área y todas las luminarias existentes





## ANEXO II: CÁLCULOS LUMINOTÉCNICOS Y DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Para los cálculos luminotécnicos se ha usado el programa Ulysse v2.3, donde los datos obtenidos han sido los siguientes:

### I.1 Luminaria KIO LEDS

#### Zona a iluminar

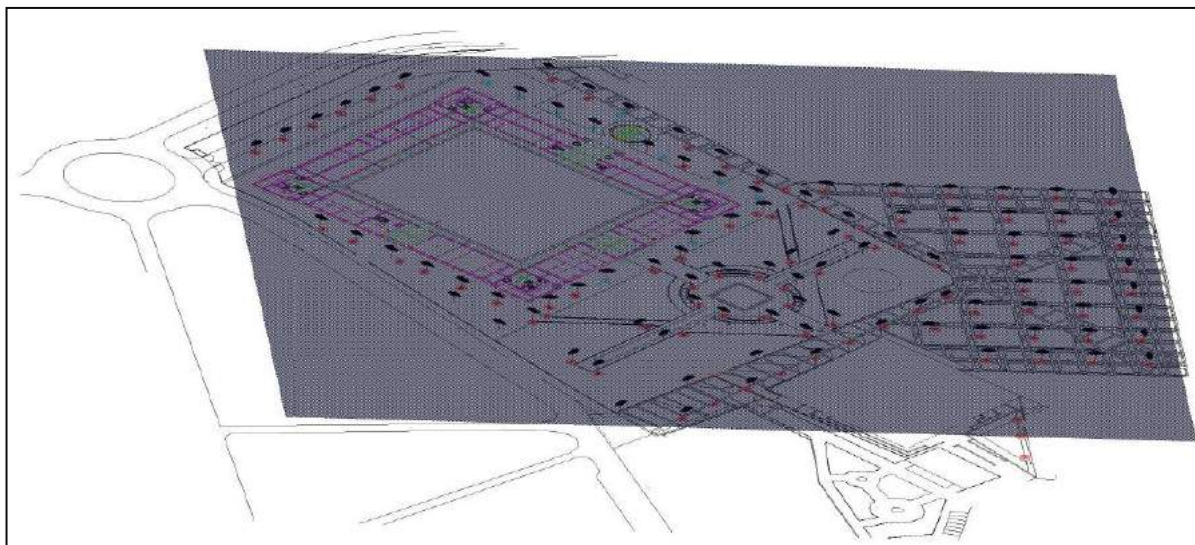


Figura Anexo II.1 Área iluminada KIO LED

#### Características

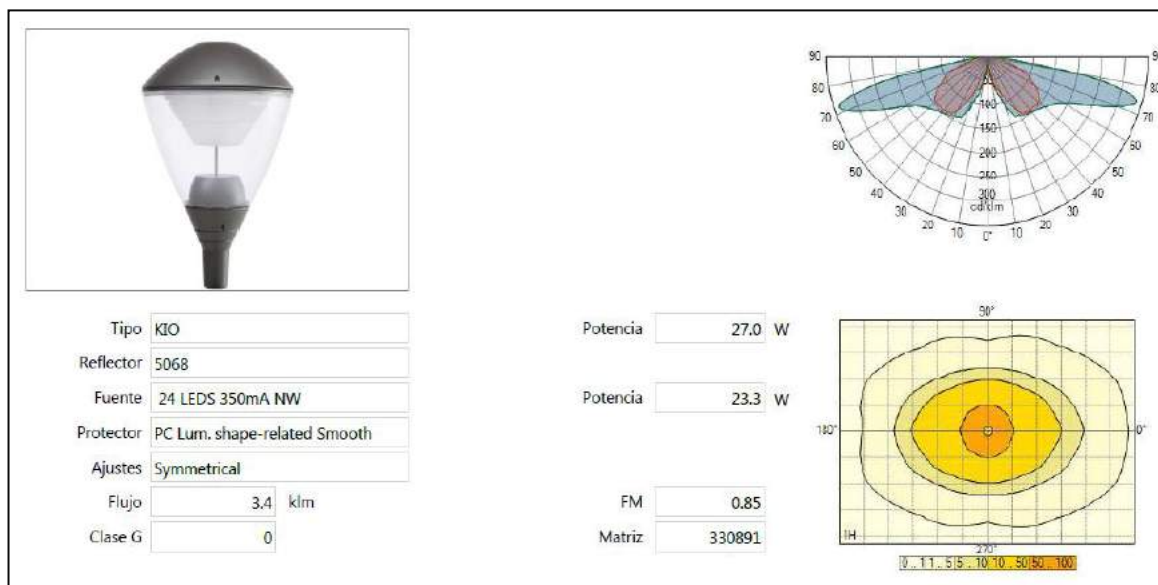


Figura Anexo II.2 Características KIO LED



**Diagrama polar/cartesiano**

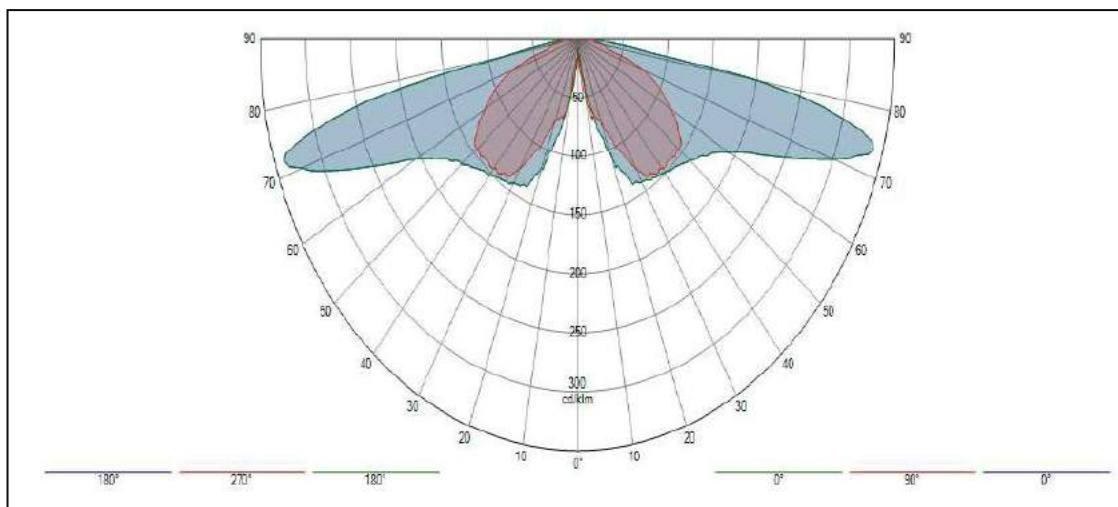


Figura Anexo II. 3 Diagrama polar KIO LED

**Curvas Isolux**

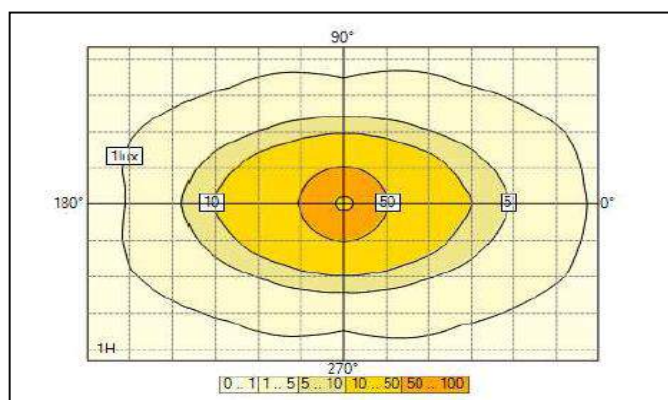


Figura Anexo II. 4 Curvas Isolux KIO LED

### Curva de utilización

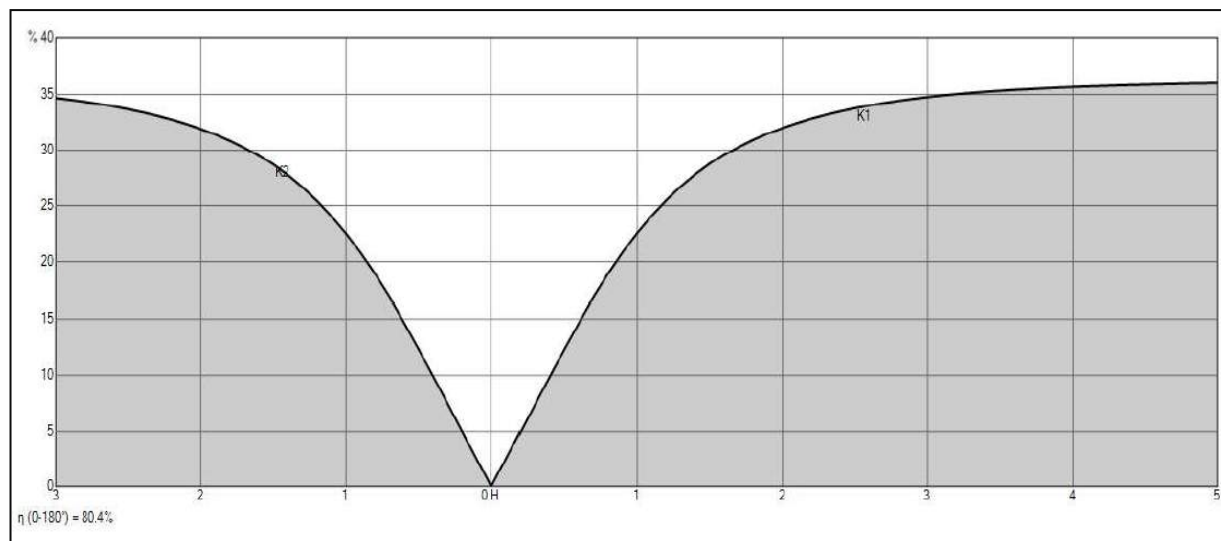


Figura Anexo II 5 Diagrama de utilización KIO LED

### Resumen de malla

S2 (IL : Min = 3.00 lux Ave = 10.00 lux)

Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min (lux)	Max (lux)
10.0	34	16	3.4	21.2




Figura Anexo II. 6 Resumen de malla KIO LED

Por lo tanto de los siguientes datos aportados por el programa se puede realizar el siguiente informe:

Tabla Anexo II.1 Características Generales.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Zona a iluminar		CM-SA y CM-PA
Superficie iluminada (S)		16545 m <sup>2</sup>
Tipo de luminaria		KIO LED
Lámpara		LED
Unidades (Uds)		120
Potencia unitaria (P)		27 W
Potencia total (P <sub>T</sub> )	$P_T = P \cdot Uds$	3240 W
Iluminación media en servicio (E <sub>M</sub> )		10 lx
Iluminación mínima en servicio (E <sub>min</sub> )		3,4 lx
Factor de uniformidad general (U <sub>0</sub> )	$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{med}} \cdot 100$	34%
Eficiencia energética de la instalación (ε)	$\epsilon = \frac{S \cdot E_M}{P_T}$	51,06
Índice de eficiencia energética (I <sub>ε</sub> )	$I_\epsilon = \frac{\epsilon}{\epsilon_r}$	5,67
Flujo luminaria (φ)		3,4 klm
Flujo instalado (φ <sub>T</sub> )	$\phi_T = \phi \cdot Uds$	408 klm
Factor de mantenimiento (f <sub>m</sub> )		0,85
Factor de utilización (F <sub>u</sub> )	$F_u = \frac{E_M \cdot S}{\phi_T \cdot F_M}$	0,47
Calificación energética		TIPO A


Los datos obtenidos del catálogo de SCHREDER SOCELEC para la Luminaria KIO LED son los siguientes:

## KIO








5068

---

Óptica: 5068  
 Protector: Con forma, Liso, PC  
 Fuente: 24 LEDs  
 Matriz: 330891



### Características

						
460	460	703	8.2	IP 66	IK 09	I, II
Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (kg)	Grado de protección IP	Grado de protección IK	Clase eléctrica

\* Según las normas IEC-EN60598 / IEC-EN62262

### Confort visual y rendimiento para la vida urbana

- Alumbrado directo con difusor
- Comfort visual
- Creacion de ambiente nocturno
- IP 66
- Materiales resistentes
- Familia de columnas y brazos
- La luz verde

### Tipos de aplicación

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Plazas y zonas peatonales</li> <li>● Parkings</li> <li>● Rutas para bicicleta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Parques</li> <li>● Calles residenciales</li> <li>● Carreteras y calles urbanas</li> </ul>
---	--

### Información para una matriz de 1000 lm

Eficacia (%): 80.4	Clase G (EN 13201-2): Unclassified
ULOR (%): 4.1	Imax (cd/1000 lm): 340
DLOR (%): 76.3	Apertura 0-180°: 54 - 52
UWLR (%): 5.1	Apertura 90-270°: X - X

### Estándar US

Tipo IES: III - Medium  
 Tipo NEMA: 1x1

Figura Anexo II.7 Características luminaria KIO LED

El informe con las características de la luminaria KIO LED es el siguiente:

Tabla Anexo II.2 Características Luminaria KIO LED

Parámetro	Resultado
Luminaria	KIO LED
Lámpara	LED
Número de LEDs	24
Grado de protección IP	IP 66
Grado de protección IK	IK 09
Potencia luminaria (P)	27 W
Flujo Luminaria ( $\phi$ )	3,4 klm
I <sub>max</sub>	340 cd/1000lm
Rendimiento ( $\eta$ )	80,4 %
FHS inst	4,1 %

## I.2 Luminaria TECEO-1

### Características:

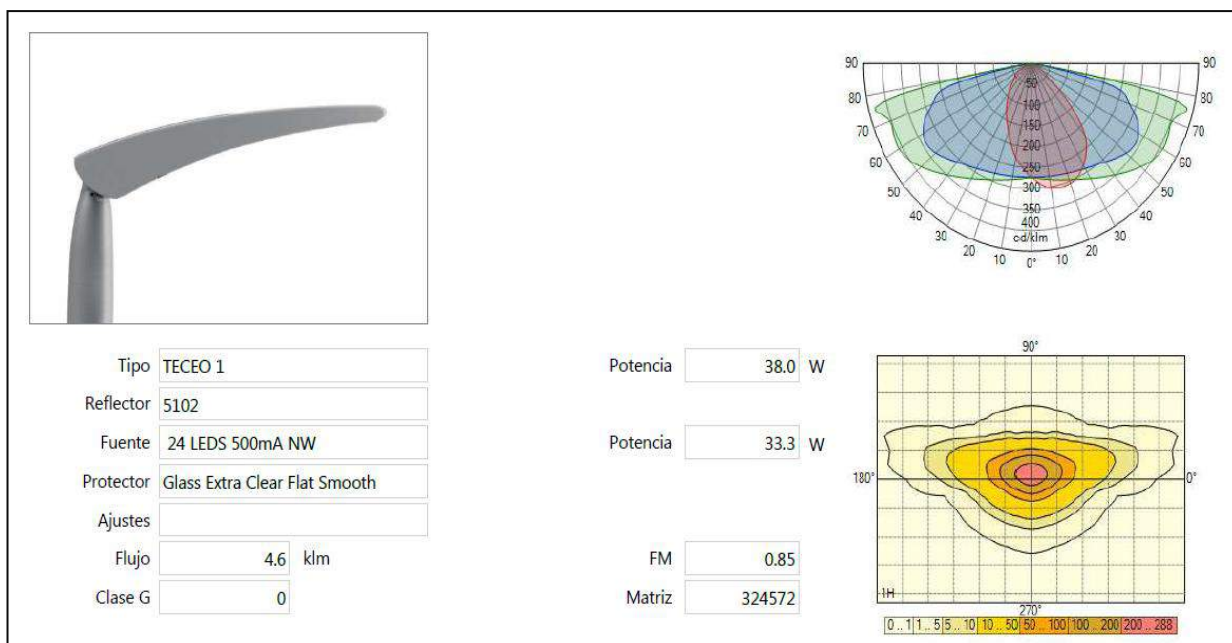


Figura Anexo II.8 Características TECEO-1

**Diagrama polar/cartesiano**

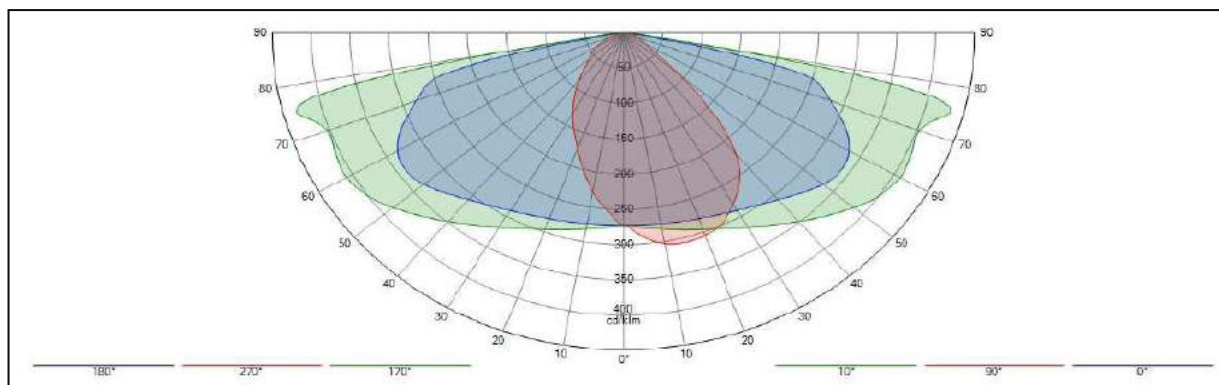


Figura Anexo II.9 Diagrama polar TECEO-1

**Curvas Isolux**

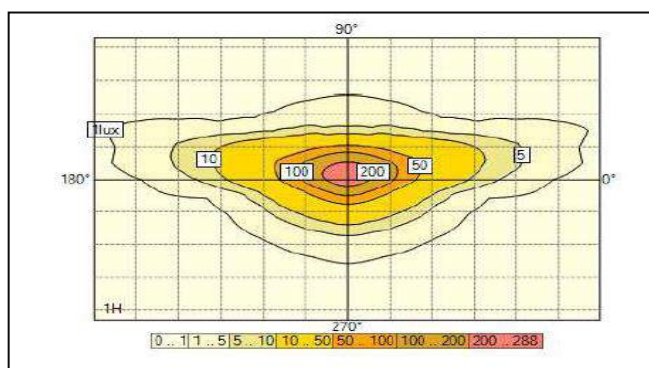


Figura Anexo II.10 Curva isolux TECEO-1

**Curva de utilización**

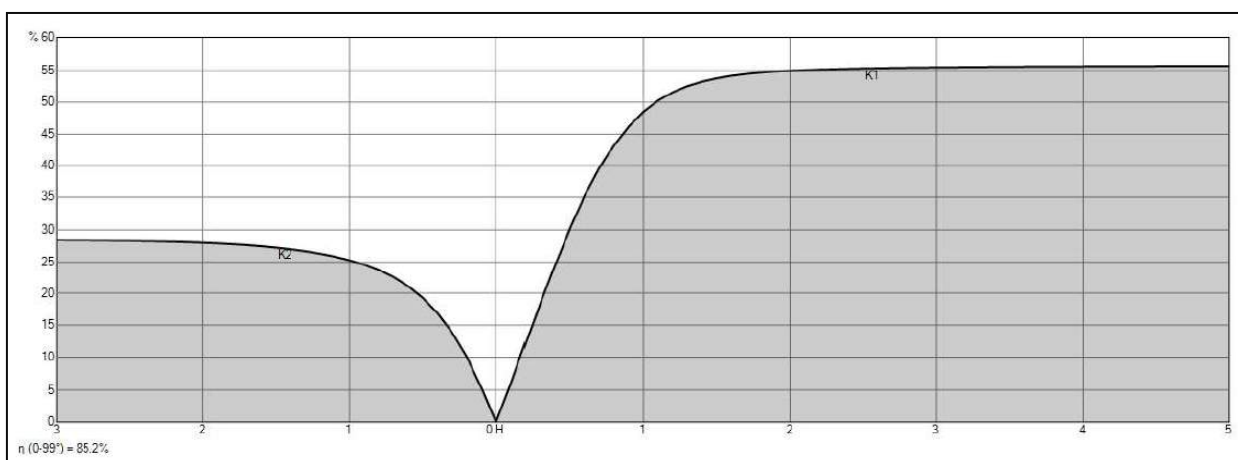


Figura Anexo II.11 Curva de utilización TECEO-1



## Resumen de malla

Iluminancia			
Med	17.9 lux	✓	15.0 lux
Min	7.5 lux	✓	5.0 lux
Uo	41.8 %	N/A	

Figura Anexo II.12 Resumen de malla TECEO-1

Por lo tanto de los siguientes datos aportados por el programa se puede realizar el siguiente informe:

Tabla Anexo II.3 Características Generales

Parámetro	Ecuación	Resultado
Zona a iluminar		CM-B2
Superficie iluminada (S)		1.080 m <sup>2</sup>
Tipo de luminaria		TECEO-1
Lámpara		LED
Unidades (Uds)		8
Potencia unitaria (P)		38 W
Potencia total (P <sub>T</sub> )	$P_T = P \cdot Uds$	304 W
Iluminación media en servicio (E <sub>M</sub> )		17,9 lx
Iluminación mínima en servicio (E <sub>min</sub> )		7,5 lx
Factor de uniformidad general (U <sub>0</sub> )	$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{med}} \cdot 100$	41,8%
Eficiencia energética de la instalación (ε)	$\epsilon = \frac{S \cdot E_M}{P_T}$	63,59
Índice de eficiencia energética (I <sub>ε</sub> )	$I_\epsilon = \frac{\epsilon}{\epsilon_r}$	5,23
Flujo luminaria (φ)		4,6 klm
Flujo instalado (φ <sub>T</sub> )	$\phi_T = \phi \cdot Uds$	36,8 klm
Factor de mantenimiento		0,85
Factor de utilización (F <sub>u</sub> )	$F_u = \frac{E_M \cdot S}{\phi_T \cdot F_M}$	0,62
Calificación energética		TIPO A


Los datos obtenidos del catálogo de SCHREDER SOCELEC para la Luminaria TECEO-1 son los siguientes:

## TECEO 1








5102

---

Óptica: 5102  
 Protector: Plano, Liso, Vidrio extra claro  
 Fuente: 24 LEDs  
 Matriz: 324572



### Características

						
607	318	113	9,6	IP 66	IK 08	I, II
Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (kg)	Grado de protección IP	Grado de protección IK	Clase eléctrica

\* Según las normas IEC-EN60598 / IEC-EN62262

### Rendimiento fotométrico optimizado con mínimo coste inicial para la propiedad

- Ahorros energéticos y costes de mantenimiento maximizados
- LensoFlex®2 offering high performance photometry, comfort and safety
- Motor fotométrico LensoFlex2® con flexibilidad en combinaciones de módulos LED
- FutureProof
- ThermiX®
- Materiales duraderos y reciclables

### Tipos de aplicación

- Grandes áreas
- Rutas para bicicleta

<b>Información para una matriz de 1000 lm</b>		<b>Estándar US</b>
Eficacia (%): 85.2	Clase G (EN 13201-2): Unclassified	Tipo IES: II - Medium
ULOR (%): 0.0	Imax (cd/1000 lm): 434	Tipo NEMA: 7x6
DLOR (%): 85.2	Apertura 0-180°: 76 - 76	
UWLR (%): 0.0	Apertura 90-270°: 41 - 12	

Figura Anexo II.13 Características luminaria TECEO-1

El informe con las características de la luminaria TECEO-1 es el siguiente:

Tabla Anexo II.4 Características luminaria TECEO-1

Parámetro	Resultado
Luminaria	TECEO-1
Lámpara	LED
Número de LEDs	24
Grado de protección IP	IP 66
Grado de protección IK	IK 08
Potencia luminaria (P)	38 W
Flujo Luminaria ( $\phi$ )	4,6 klm
I <sub>max</sub>	434 cd/1000lm
Rendimiento ( $\eta$ )	85,2 %
FHSinst	0 %

### I.3 Luminaria NEOS 2

#### Zona a iluminar

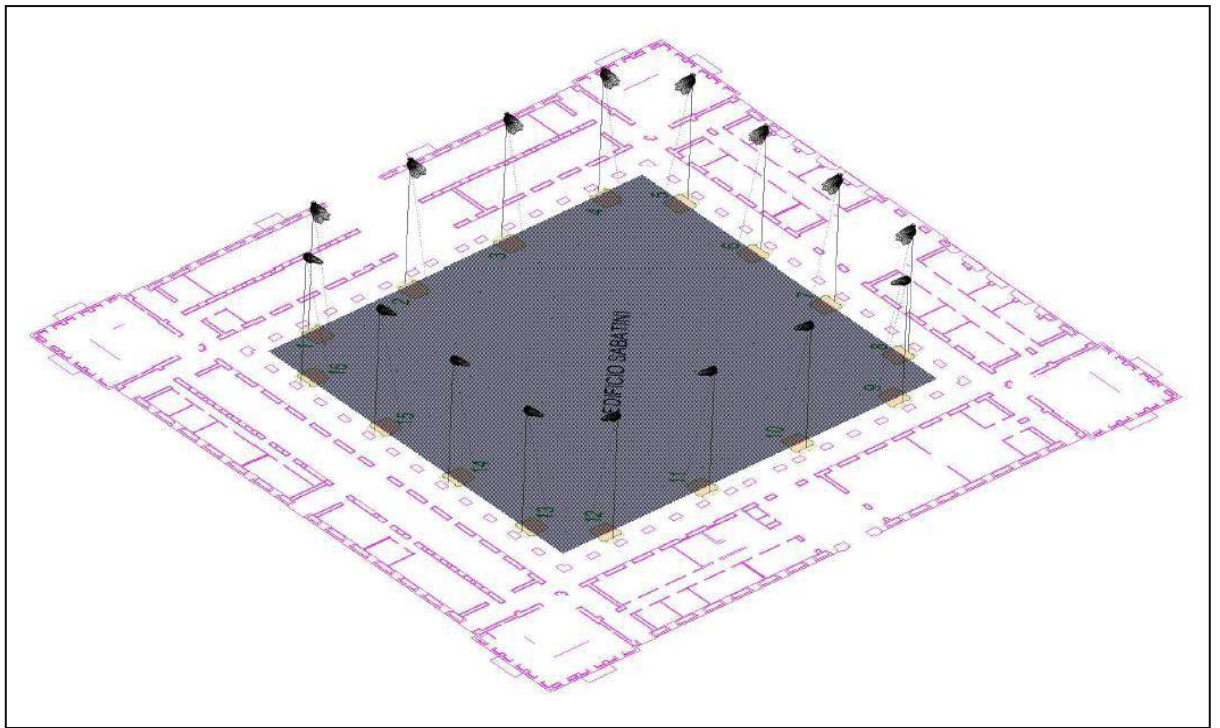


Figura Anexo II.14 Área iluminada NEOS 2

**Características:**

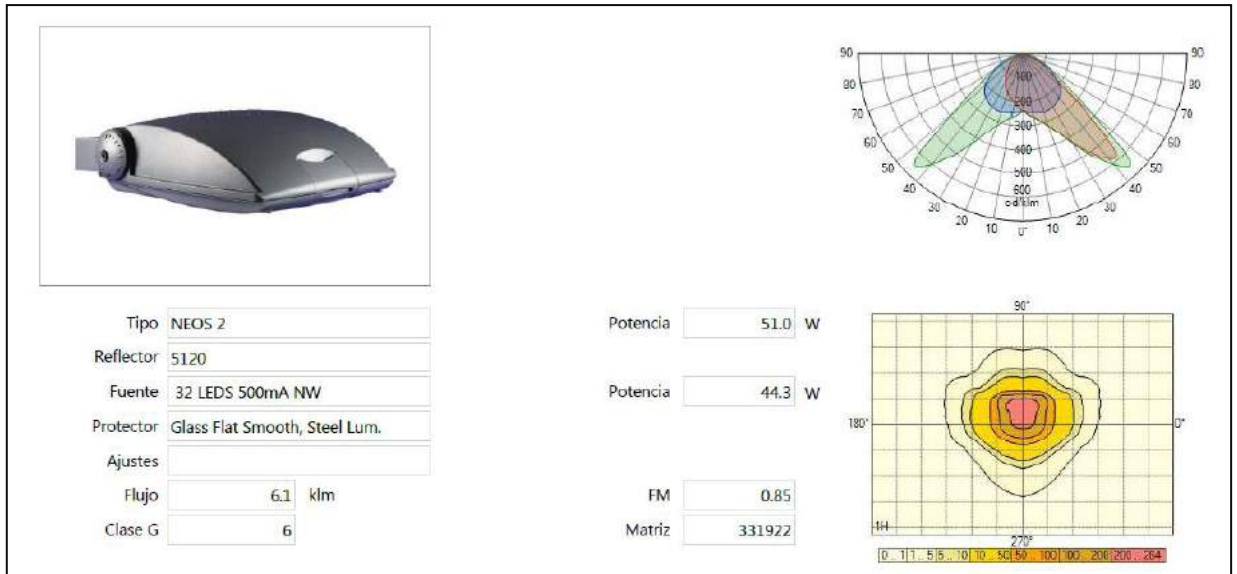


Figura Anexo II.15 Características NEOS 2

**Diagrama polar/cartesiano**

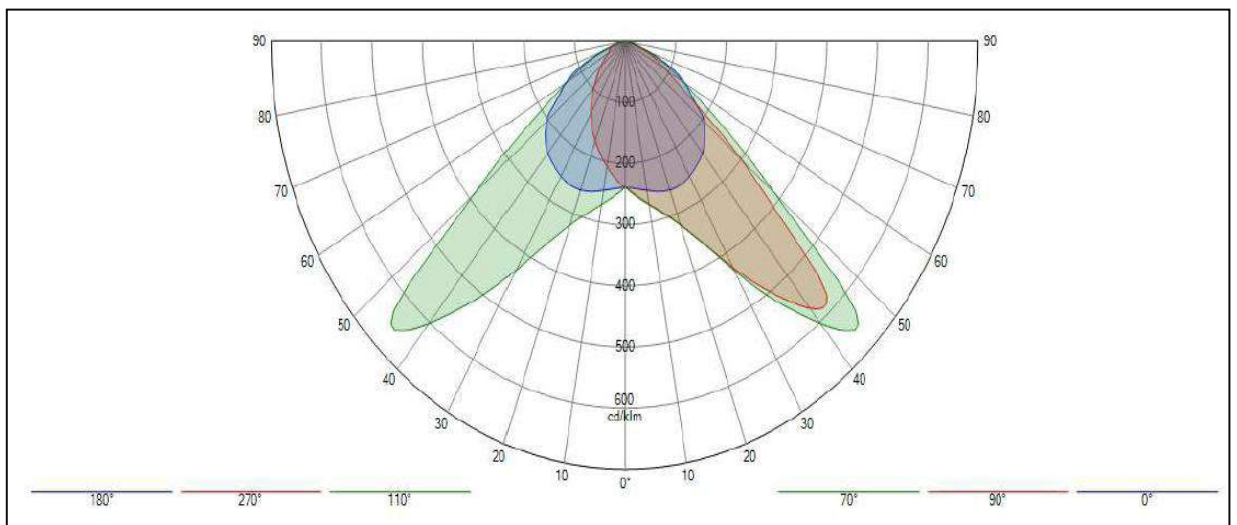


Figura Anexo II.16 Diagrama polar NEOS 2

**Curvas Isolux**

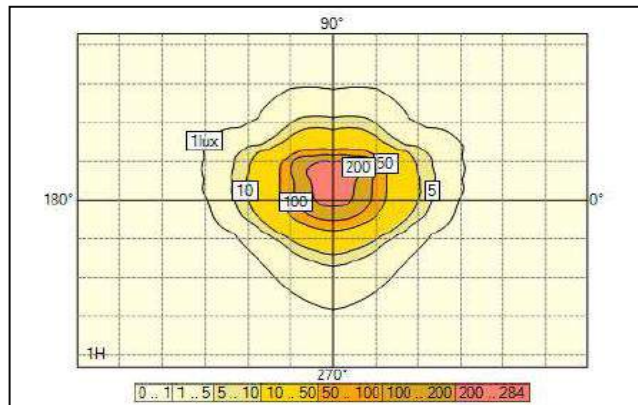


Figura Anexo II.17 Curvas isolux NEOS 2

**Curva de utilización**

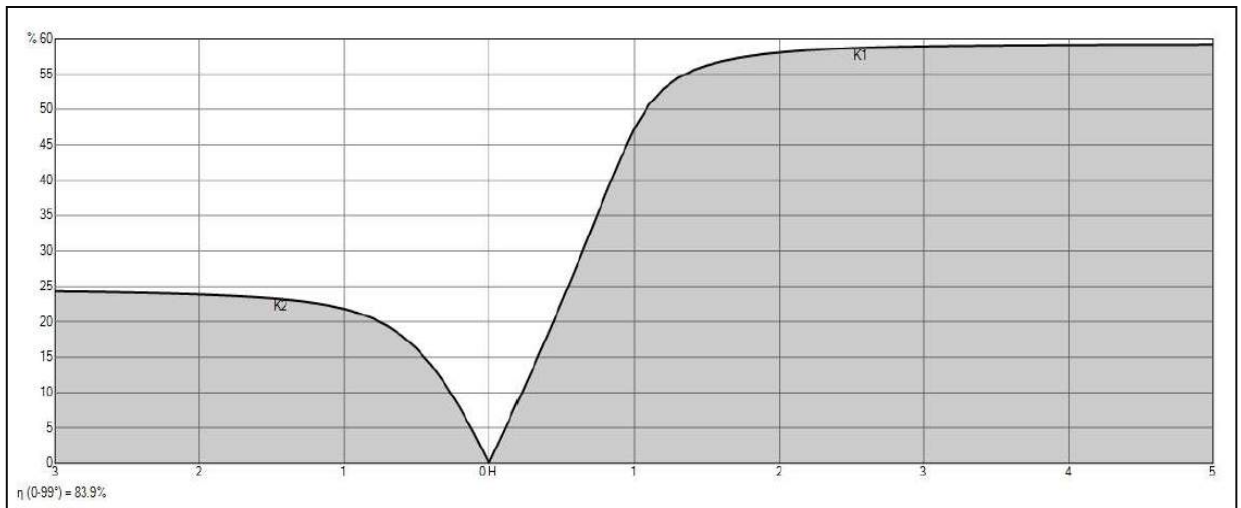


Figura Anexo II.18 Curva de utilización NEOS 2

**Resumen de malla**

S1. (IL : Min = 5.00 lux Ave = 15.00 lux)

Med (A)(lux)	Min/Med (%)	Min/Max (%)	Min (lux)	Max (lux)
14.5	67	59	9.6	16.2

Figura Anexo II.19 Resumen de malla NEOS 2

Por lo tanto de los siguientes datos aportados por el programa se puede realizar el siguiente informe:

Tabla Anexo II.5 Características Generales


Parámetro	Ecuación	Resultado
Zona a iluminar		CM-SA
Superficie iluminada (S)		3240 m <sup>2</sup>
Tipo de luminaria		NEOS 2
Lámpara		LED
Unidades (Uds)		16
Potencia unitaria (P)		51 W
Potencia total (P <sub>T</sub> )	$P_T = P \cdot Uds$	816 W
Iluminación media en servicio (E <sub>M</sub> )		14,5 lx
Iluminación mínima en servicio (E <sub>min</sub> )		9,6 lx
Factor de uniformidad general (U <sub>0</sub> )	$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{med}} \cdot 100$	67 %
Eficiencia energética de la instalación (ε)	$\varepsilon = \frac{S \cdot E_M}{P_T}$	57,57
Índice de eficiencia energética (I <sub>ε</sub> )	$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_r}$	5,33
Flujo luminaria (φ)		6,1 klm
Flujo instalado (φ <sub>T</sub> )	$\phi_T = \phi \cdot Uds$	97,6 klm
Factor de mantenimiento		0,85
Factor de utilización (F <sub>u</sub> )	$F_u = \frac{E_M \cdot S}{\phi_T \cdot F_M}$	0,57
Calificación energética		TIPO A

Los datos obtenidos del catálogo de SCHREDER SOCELEC para la Luminaria NEOS 2 son los siguientes:








## NEOS 2

5120

Óptica: 5120  
Protector: Plano, Liso, Vidrio  
Fuente: 32 LEDs  
Matriz: 331922



### Características

						
441	398	140	5.0	IP 66	IK 08	I II
Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (kg)	Grado de protección IP	Grado de protección IK	Clase eléctrica

\* Según las normas IEC-EN60598 / IEC-EN62262

The Neos range of floodlights provides a complete mastery of light for architectural illumination projects

- Numerosas distribuciones asimétricas
- Amplia gama de accesorios
- Diseño atractivo
- Ajuste preciso in-situ
- Acceso a lámpara sin herramientas
- Materiales de alta calidad y fiables

### Tipos de aplicación

- Plazas y zonas peatonales
- Rotondas
- Calles residenciales
- Carreteras y calles urbanas
- Puentes
- Parkings
- Rutas para bicicleta

### Información para una matriz de 1000 lm

Eficacia (%): 83.9	Clase G (EN 13201-2): G6
ULOR (%): 0.0	Imax (cd/1000 lm): 656
DLOR (%): 83.9	Apertura 0-180°: X - X
UWLR (%): 0.0	Apertura 90-270°: 21 - X

### Estándar US

Tipo IES: II - VeryShort  
Tipo NEMA: 7x6

Figura Anexo II.20 Características NEOS 2

El informe con las características de la luminaria NEOS 2 es el siguiente:

Tabla Anexo II.6 Características NEOS 2

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Luminaria	NEOS 2
Lámpara	LED
Número de LEDs	32
Grado de protección IP	IP 66
Grado de protección IK	IK 08
Potencia luminaria (P)	51 W
Flujo Luminaria ( $\phi$ )	6,1 klm
$I_{max}$	656 cd/1000lm
Rendimiento ( $\eta$ )	83,9 %
FHSinst	0 %



**ANEXO III: SALIDAS Y PUESTAS DE SOL EN LA CIUDAD DE MADRID EN 2014 Y TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO DEL ALUMBRADO PÚBLICO ACCIONADO CON PROGRAMADORES ASTRONÓMICOS.**

En la Tabla Anexo III.1 que viene a continuación se indican las horas de salida y puesta de Salidas del Sol en la ciudad de Madrid, así como los tiempos de funcionamiento del alumbrado público, y se ha obtenido de la Tabla publicada por el Ministerio de Fomento.

Tabla Anexo III.1 Tabla de ortos, ocaso y tiempos de funcionamiento del alumbrado accionado con programadores astronómicos para la ciudad de Madrid

Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
<b>Enero</b>				
01/01/2013	8:38	17:59	14:39	
02/01/2013	8:38	18:00	14:38	
03/01/2013	8:38	18:01	14:37	
04/01/2013	8:38	18:01	14:37	
05/01/2013	8:38	18:02	14:36	
06/01/2013	8:38	18:03	14:35	
07/01/2013	8:38	18:04	14:34	
08/01/2013	8:38	18:05	14:33	
09/01/2013	8:38	18:06	14:32	
10/01/2013	8:37	18:07	14:30	
11/01/2013	8:37	18:08	14:29	
12/01/2013	8:37	18:09	14:28	
13/01/2013	8:37	18:10	14:27	
14/01/2013	8:36	18:12	14:24	
15/01/2013	8:36	18:13	14:23	
16/01/2013	8:35	18:14	14:21	
17/01/2013	8:35	18:15	14:20	
18/01/2013	8:35	18:16	14:19	
19/01/2013	8:34	18:17	14:17	
20/01/2013	8:33	18:18	14:15	
21/01/2013	8:33	18:20	14:13	
22/01/2013	8:32	18:21	14:11	
23/01/2013	8:32	18:22	14:10	
24/01/2013	8:31	18:23	14:08	
25/01/2013	8:30	18:24	14:06	
26/01/2013	8:29	18:26	14:03	
27/01/2013	8:29	18:27	14:02	
28/01/2013	8:28	18:28	14:00	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
29/01/2013	8:27	18:29	13:58	
30/01/2013	8:26	18:30	13:56	
31/01/2013	8:25	18:32	13:53	
<b>Total funcionamiento Enero</b>			<b>444:14:00</b>	<b>440:32:00</b>
<b>Febrero</b>				
01/02/2013	8:24	18:33	13:51	
02/02/2013	8:23	18:34	13:49	
03/02/2013	8:22	18:35	13:47	
04/02/2013	8:21	18:36	13:45	
05/02/2013	8:20	18:38	13:42	
06/02/2013	8:19	18:39	13:40	
07/02/2013	8:18	18:40	13:38	
08/02/2013	8:17	18:41	13:36	
09/02/2013	8:16	18:43	13:33	
10/02/2013	8:15	18:44	13:31	
11/02/2013	8:13	18:45	13:28	
12/02/2013	8:12	18:46	13:26	
13/02/2013	8:11	18:47	13:24	
14/02/2013	8:10	18:49	13:21	
15/02/2013	8:08	18:50	13:18	
16/02/2013	8:07	18:51	13:16	
17/02/2013	8:06	18:52	13:14	
18/02/2013	8:04	18:53	13:11	
19/02/2013	8:03	18:55	13:08	
20/02/2013	8:02	18:56	13:06	
21/02/2013	8:00	18:57	13:03	
22/02/2013	7:59	18:58	13:01	
23/02/2013	7:58	18:59	12:59	
24/02/2013	7:56	19:00	12:56	
25/02/2013	7:55	19:01	12:54	
26/02/2013	7:53	19:03	12:50	
27/02/2013	7:52	19:04	12:48	
28/02/2013	7:50	19:05	12:45	
<b>Total funcionamiento Febrero</b>			<b>373:00:00</b>	<b>813:32:00</b>
<b>Marzo</b>				
01/03/2013	7:49	19:06	12:43	
02/03/2013	7:47	19:07	12:40	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
03/03/2013	7:46	19:08	12:38	
04/03/2013	7:44	19:09	12:35	
05/03/2013	7:43	19:10	12:33	
06/03/2013	7:41	19:12	12:29	
07/03/2013	7:39	19:13	12:26	
08/03/2013	7:38	19:14	12:24	
09/03/2013	7:36	19:15	12:21	
10/03/2013	7:35	19:16	12:19	
11/03/2013	7:33	19:17	12:16	
12/03/2013	7:32	19:18	12:14	
13/03/2013	7:30	19:19	12:11	
14/03/2013	7:28	19:20	12:08	
15/03/2013	7:27	19:21	12:06	
16/03/2013	7:25	19:22	12:03	
17/03/2013	7:23	19:23	12:00	
18/03/2013	7:22	19:24	11:58	
19/03/2013	7:20	19:26	11:54	
20/03/2013	7:19	19:27	11:52	
21/03/2013	7:17	19:28	11:49	
22/03/2013	7:15	19:29	11:46	
23/03/2013	7:14	19:30	11:44	
24/03/2013	7:12	19:31	11:41	
25/03/2013	7:10	19:32	11:38	
26/03/2013	7:09	19:33	11:36	
27/03/2013	7:07	19:34	11:33	
28/03/2013	7:05	19:35	11:30	
29/03/2013	7:04	19:36	11:28	
30/03/2013	8:02	20:37	11:25	
31/03/2013	8:00	20:38	11:22	
<b>Total funcionamiento Marzo</b>			<b>373:22:00</b>	<b>1186:54:00</b>
<b>Abril</b>				
01/04/2013	7:59	20:39	11:20	
02/04/2013	7:57	20:40	11:17	
03/04/2013	7:56	20:41	11:15	
04/04/2013	7:54	20:42	11:12	
05/04/2013	7:52	20:43	11:09	
06/04/2013	7:51	20:44	11:07	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
07/04/2013	7:49	20:45	11:04	
08/04/2013	7:48	20:46	11:02	
09/04/2013	7:46	20:47	10:59	
10/04/2013	7:44	20:48	10:56	
11/04/2013	7:43	20:49	10:54	
12/04/2013	7:41	20:50	10:51	
13/04/2013	7:40	20:51	10:49	
14/04/2013	7:38	20:53	10:45	
15/04/2013	7:37	20:54	10:43	
16/04/2013	7:35	20:55	10:40	
17/04/2013	7:34	20:56	10:38	
18/04/2013	7:32	20:57	10:35	
19/04/2013	7:31	20:58	10:33	
20/04/2013	7:29	20:59	10:30	
21/04/2013	7:28	21:00	10:28	
22/04/2013	7:26	21:01	10:25	
23/04/2013	7:25	21:02	10:23	
24/04/2013	7:24	21:03	10:21	
25/04/2013	7:22	21:04	10:18	
26/04/2013	7:21	21:05	10:16	
27/04/2013	7:19	21:06	10:13	
28/04/2013	7:18	21:07	10:11	
29/04/2013	7:17	21:08	10:09	
30/04/2013	7:16	21:09	10:07	
<b>Total funcionamiento Abril</b>			<b>321:10:00</b>	<b>1508:04:00</b>
<b>Mayo</b>				
01/05/2013	7:14	21:10	10:04	
02/05/2013	7:13	21:11	10:02	
03/05/2013	7:12	21:12	10:00	
04/05/2013	7:11	21:13	9:58	
05/05/2013	7:09	21:14	9:55	
06/05/2013	7:08	21:15	9:53	
07/05/2013	7:07	21:16	9:51	
08/05/2013	7:06	21:17	9:49	
09/05/2013	7:05	21:18	9:47	
10/05/2013	7:04	21:19	9:45	
11/05/2013	7:03	21:20	9:43	
12/05/2013	7:02	21:21	9:41	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
13/05/2013	7:01	21:22	9:39	
14/05/2013	7:00	21:23	9:37	
15/05/2013	6:59	21:24	9:35	
16/05/2013	6:58	21:25	9:33	
17/05/2013	6:57	21:26	9:31	
18/05/2013	6:56	21:27	9:29	
19/05/2013	6:55	21:28	9:27	
20/05/2013	6:54	21:29	9:25	
21/05/2013	6:53	21:30	9:23	
22/05/2013	6:53	21:31	9:22	
23/05/2013	6:52	21:31	9:21	
24/05/2013	6:51	21:32	9:19	
25/05/2013	6:51	21:33	9:18	
26/05/2013	6:50	21:34	9:16	
27/05/2013	6:49	21:35	9:14	
28/05/2013	6:49	21:36	9:13	
29/05/2013	6:48	21:36	9:12	
30/05/2013	6:48	21:37	9:11	
31/05/2013	6:47	21:38	9:09	
<b>Total funcionamiento Mayo</b>			<b>296:42:00</b>	<b>1804:46:00</b>
<b>Junio</b>				
01/06/2013	6:47	21:39	9:08	
02/06/2013	6:46	21:39	9:07	
03/06/2013	6:46	21:40	9:06	
04/06/2013	6:46	21:41	9:05	
05/06/2013	6:45	21:41	9:04	
06/06/2013	6:45	21:42	9:03	
07/06/2013	6:45	21:43	9:02	
08/06/2013	6:45	21:43	9:02	
09/06/2013	6:44	21:44	9:00	
10/06/2013	6:44	21:44	9:00	
11/06/2013	6:44	21:45	8:59	
12/06/2013	6:44	21:45	8:59	
13/06/2013	6:44	21:46	8:58	
14/06/2013	6:44	21:46	8:58	
15/06/2013	6:44	21:47	8:57	
16/06/2013	6:44	21:47	8:57	
17/06/2013	6:44	21:47	8:57	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
18/06/2013	6:44	21:48	8:56	
19/06/2013	6:44	21:48	8:56	
20/06/2013	6:44	21:48	8:56	
21/06/2013	6:45	21:48	8:57	
22/06/2013	6:45	21:49	8:56	
23/06/2013	6:45	21:49	8:56	
24/06/2013	6:45	21:49	8:56	
25/06/2013	6:46	21:49	8:57	
26/06/2013	6:46	21:49	8:57	
27/06/2013	6:46	21:49	8:57	
28/06/2013	6:47	21:49	8:58	
29/06/2013	6:47	21:49	8:58	
30/06/2013	6:48	21:49	8:59	
<b>Total funcionamiento Junio</b>			<b>269:41:00</b>	<b>2074:27:00</b>
<b>Julio</b>				
01/07/2013	6:48	21:49	8:59	
02/07/2013	6:49	21:49	9:00	
03/07/2013	6:49	21:49	9:00	
04/07/2013	6:50	21:48	9:02	
05/07/2013	6:50	21:48	9:02	
06/07/2013	6:51	21:48	9:03	
07/07/2013	6:52	21:47	9:05	
08/07/2013	6:52	21:47	9:05	
09/07/2013	6:53	21:47	9:06	
10/07/2013	6:54	21:46	9:08	
11/07/2013	6:54	21:46	9:08	
12/07/2013	6:55	21:45	9:10	
13/07/2013	6:56	21:45	9:11	
14/07/2013	6:56	21:44	9:12	
15/07/2013	6:57	21:44	9:13	
16/07/2013	6:58	21:43	9:15	
17/07/2013	6:59	21:43	9:16	
18/07/2013	7:00	21:42	9:18	
19/07/2013	7:00	21:41	9:19	
20/07/2013	7:01	21:41	9:20	
21/07/2013	7:02	21:40	9:22	
22/07/2013	7:03	21:39	9:24	
23/07/2013	7:04	21:38	9:26	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
24/07/2013	7:05	21:37	9:28	
25/07/2013	7:06	21:36	9:30	
26/07/2013	7:06	21:36	9:30	
27/07/2013	7:07	21:35	9:32	
28/07/2013	7:08	21:34	9:34	
29/07/2013	7:09	21:33	9:36	
30/07/2013	7:10	21:32	9:38	
31/07/2013	7:11	21:31	9:40	
<b>Total funcionamiento Julio</b>			<b>287:32:00</b>	<b>2361:59:00</b>
<b>Agosto</b>				
01/08/2013	7:12	21:30	9:42	
02/08/2013	7:13	21:29	9:44	
03/08/2013	7:14	21:27	9:47	
04/08/2013	7:15	21:26	9:49	
05/08/2013	7:16	21:25	9:51	
06/08/2013	7:17	21:24	9:53	
07/08/2013	7:18	21:23	9:55	
08/08/2013	7:19	21:22	9:57	
09/08/2013	7:20	21:20	10:00	
10/08/2013	7:21	21:19	10:02	
11/08/2013	7:22	21:18	10:04	
12/08/2013	7:22	21:16	10:06	
13/08/2013	7:23	21:15	10:08	
14/08/2013	7:24	21:14	10:10	
15/08/2013	7:25	21:12	10:13	
16/08/2013	7:26	21:11	10:15	
17/08/2013	7:27	21:10	10:17	
18/08/2013	7:28	21:08	10:20	
19/08/2013	7:29	21:07	10:22	
20/08/2013	7:30	21:05	10:25	
21/08/2013	7:31	21:04	10:27	
22/08/2013	7:32	21:02	10:30	
23/08/2013	7:33	21:01	10:32	
24/08/2013	7:34	20:59	10:35	
25/08/2013	7:35	20:58	10:37	
26/08/2013	7:36	20:56	10:40	
27/08/2013	7:37	20:55	10:42	
28/08/2013	7:38	20:53	10:45	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
29/08/2013	7:39	20:52	10:47	
30/08/2013	7:40	20:50	10:50	
31/08/2013	7:41	20:49	10:52	
<b>Total funcionamiento Agosto</b>			<b>318:17:00</b>	<b>2680:16:00</b>
<b>Septiembre</b>				
01/09/2013	7:42	20:47	10:55	
02/09/2013	7:43	20:45	10:58	
03/09/2013	7:44	20:44	11:00	
04/09/2013	7:45	20:42	11:03	
05/09/2013	7:46	20:41	11:05	
06/09/2013	7:47	20:39	11:08	
07/09/2013	7:48	20:37	11:11	
08/09/2013	7:49	20:36	11:13	
09/09/2013	7:50	20:34	11:16	
10/09/2013	7:50	20:32	11:18	
11/09/2013	7:51	20:31	11:20	
12/09/2013	7:52	20:29	11:23	
13/09/2013	7:53	20:27	11:26	
14/09/2013	7:54	20:26	11:28	
15/09/2013	7:55	20:24	11:31	
16/09/2013	7:56	20:22	11:34	
17/09/2013	7:57	20:21	11:36	
18/09/2013	7:58	20:19	11:39	
19/09/2013	7:59	20:17	11:42	
20/09/2013	8:00	20:16	11:44	
21/09/2013	8:01	20:14	11:47	
22/09/2013	8:02	20:12	11:50	
23/09/2013	8:03	20:11	11:52	
24/09/2013	8:04	20:09	11:55	
25/09/2013	8:05	20:07	11:58	
26/09/2013	8:06	20:06	12:00	
27/09/2013	8:07	20:04	12:03	
28/09/2013	8:08	20:02	12:06	
29/09/2013	8:09	20:01	12:08	
30/09/2013	8:10	19:59	12:11	
<b>Total funcionamiento Septiembre</b>			<b>346:20:00</b>	<b>3026:36:00</b>





Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
<b>Octubre</b>				
01/10/2013	8:11	19:57	12:14	
02/10/2013	8:12	19:56	12:16	
03/10/2013	8:13	19:54	12:19	
04/10/2013	8:14	19:52	12:22	
05/10/2013	8:15	19:51	12:24	
06/10/2013	8:16	19:49	12:27	
07/10/2013	8:17	19:48	12:29	
08/10/2013	8:18	19:46	12:32	
09/10/2013	8:19	19:44	12:35	
10/10/2013	8:20	19:43	12:37	
11/10/2013	8:21	19:41	12:40	
12/10/2013	8:22	19:40	12:42	
13/10/2013	8:24	19:38	12:46	
14/10/2013	8:25	19:37	12:48	
15/10/2013	8:26	19:35	12:51	
16/10/2013	8:28	19:34	12:54	
17/10/2013	8:29	19:32	12:57	
18/10/2013	8:30	19:31	12:59	
19/10/2013	8:31	19:29	13:02	
20/10/2013	8:32	19:28	13:04	
21/10/2013	8:33	19:26	13:07	
22/10/2013	8:34	19:25	13:09	
23/10/2013	8:35	19:24	13:11	
24/10/2013	8:36	19:22	13:14	
25/10/2013	7:37	19:21	12:16	
26/10/2013	7:39	19:19	12:20	
27/10/2013	7:39	19:18	12:21	
28/10/2013	7:40	19:17	12:23	
29/10/2013	7:41	19:16	12:25	
30/10/2013	7:42	18:14	13:28	
31/10/2013	7:43	18:13	13:30	
<b>Total funcionamiento Octubre</b>			<b>394:22:00</b>	<b>3420:58:00</b>
<b>Noviembre</b>				
01/11/2013	7:44	18:12	13:32	
02/11/2013	7:45	18:11	13:34	
03/11/2013	7:47	18:10	13:37	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
04/11/2013	7:48	18:08	13:40	
05/11/2013	7:49	18:07	13:42	
06/11/2013	7:50	18:06	13:44	
07/11/2013	7:51	18:05	13:46	
08/11/2013	7:52	18:04	13:48	
09/11/2013	7:54	18:03	13:51	
10/11/2013	7:55	18:02	13:53	
11/11/2013	7:56	18:01	13:55	
12/11/2013	7:57	18:00	13:57	
13/11/2013	7:58	17:59	13:59	
14/11/2013	7:59	17:58	14:01	
15/11/2013	8:01	17:58	14:03	
16/11/2013	8:02	17:57	14:05	
17/11/2013	8:03	17:56	14:07	
18/11/2013	8:04	17:55	14:09	
19/11/2013	8:05	17:55	14:10	
20/11/2013	8:06	17:54	14:12	
21/11/2013	8:07	17:53	14:14	
22/11/2013	8:09	17:53	14:16	
23/11/2013	8:10	17:52	14:18	
24/11/2013	8:11	17:52	14:19	
25/11/2013	8:12	17:51	14:21	
26/11/2013	8:13	17:51	14:22	
27/11/2013	8:14	17:50	14:24	
28/11/2013	8:15	17:50	14:25	
29/11/2013	8:16	17:50	14:26	
30/11/2013	8:17	17:49	14:28	
<b>Total funcionamiento Noviembre</b>			<b>421:18:00</b>	<b>3842:16:00</b>
<b>Diciembre</b>				
01/12/2013	8:18	17:49	14:29	
02/12/2013	8:19	17:49	14:30	
03/12/2013	8:20	17:49	14:31	
04/12/2013	8:21	17:48	14:33	
05/12/2013	8:22	17:48	14:34	
06/12/2013	8:23	17:48	14:35	
07/12/2013	8:24	17:48	14:36	
08/12/2013	8:25	17:48	14:37	



Fecha	Orto	Ocaso	Encendido con ocaso y apagado con orto	
			Tiempo de funcionamiento (h)	Total acumulado (h)
09/12/2013	8:26	17:48	14:38	
10/12/2013	8:27	17:48	14:39	
11/12/2013	8:27	17:48	14:39	
12/12/2013	8:28	17:48	14:40	
13/12/2013	8:29	17:49	14:40	
14/12/2013	8:30	17:49	14:41	
15/12/2013	8:31	17:49	14:42	
16/12/2013	8:31	17:49	14:42	
17/12/2013	8:32	17:50	14:42	
18/12/2013	8:32	17:50	14:42	
19/12/2013	8:33	17:50	14:43	
20/12/2013	8:34	17:51	14:43	
21/12/2013	8:34	17:51	14:43	
22/12/2013	8:35	17:52	14:43	
23/12/2013	8:35	17:52	14:43	
24/12/2013	8:36	17:53	14:43	
25/12/2013	8:36	17:54	14:42	
26/12/2013	8:36	17:54	14:42	
27/12/2013	8:37	17:55	14:42	
28/12/2013	8:37	17:56	14:41	
29/12/2013	8:37	17:56	14:41	
30/12/2013	8:37	17:57	14:40	
31/12/2013	8:38	17:58	14:40	
<b>Total funcionamiento Diciembre</b>			<b>454:16:00</b>	<b>4296:32:00</b>
<b>TOTAL HORAS DE FUNCIONAMIENTO AÑO 2014</b>				<b>4.297</b>



CALLE Ó PLAZA	Campus de Leganés, Universidad Carlos III de Madrid																																																																																						
TRAMOS MEDIDOS	Cuadrante Cafetería-Edificio 1 que engloba las columnas 63, 62, 50 y 51																																																																																						
ANCHO CALZADA m	ANCHO ACERAS m	ANCHO TOTAL CALZADAS+ACERAS m	Nº CARRILES	SENTIDO CIRCULACIÓN																																																																																			
LINEA ELÉCTRICA	SUBTERRÁNEA X	GRAPADA POR FACHADA	SUSPENDIDA																																																																																				
LUZ INTRUSA DOMÉSTICA	HAY	NO HAY	LUZ INTRUSA COMERCIO: HAY	NO HAY																																																																																			
ARBOLADO	CON HOJAS X	SIN HOJAS	INFLUYE EN LA MEDICIÓN: SI	NO	X																																																																																		
TIPO DE SOPORTE	BRAZO MURAL	BÁCULO	COLUMNA X	CANDELABRO	ALTURA m																																																																																		
DISPOSICIÓN	UNILATERAL	TREBOLILLO	PAREADOS	OTROS X																																																																																			
TIPO DE LÁMPARA	VSAP X	FLUORESCENCIA	OTROS	POTENCIA W	250																																																																																		
REDUCCIÓN DE FLUJO	NO HAY	X	HAY	HORARIO REGULACIÓN	PORCENTAJE REGULACIÓN																																																																																		
ÚLTIMA REPOSICIÓN LÁMPARAS	ÚLTIMA LIMPIEZA DE LUMINARIAS																																																																																						
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																							
Al realizar la medición se ha podido observar que las lámparas están agotadas debido a que se encienden y apagan de forma intermitente.																																																																																							
<b>MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS</b>																																																																																							
FECHA DE MEDICIÓN	12/08/2014	HORA	22:15	MEDICIÓN REALIZADA POR	Laura de la Fuente Gil																																																																																		
TIPO DE LUXÓMETRO	GOSSEN MAVOLUX 5032C		ESCALA REGISTRO	DIRECTA																																																																																			
<b>METODO DE MEDICIÓN:</b> Método simplificado de medida de la iluminancia media.																																																																																							
Para realizar las mediciones elegimos el tramo más representativo del área objeto de la auditoría energética																																																																																							
$E_1 = (B1 + B5)/2$	$E_4 = (B2 + B4)/2$	$E_7 = B_3$	UNIFORMIDAD: $U_{med} = E_{min} / E_m$	$U_{ext} = E_{min} / E_{max}$																																																																																			
$E_2 = (C1 + C5)/2$	$E_5 = (C2 + C4)/2$	$E_8 = C_3$	FACTOR DE MANTENIMIENTO $f_m = FDFL \times FSL \times FDLU$																																																																																				
$E_3 = (D1 + D5)/2$	$E_6 = (D2 + D4)/2$	$E_9 = D_3$	FDFL: Factor de depreciación del flujo luminoso de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 1																																																																																				
			FSL: Factor de supervivencia de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 2																																																																																				
$E_m = (E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9) / 16$			FDLU: factores de depreciación de las luminarias. ITC-EA-06 tabla 3																																																																																				
EFICIENCIA ENERGÉTICA: $\epsilon = (S \cdot E_m) / P$																																																																																							
<b>TRAMO 1</b>																																																																																							
MEDICIÓN ENTRE LOS PUNTOS DE LUZ Nº	50, 51, 62 y 63	LONGITUD TRAMO (S) m:	16,2	ANCHO TRAMO m:	15,6	SUPERFICIE MEDICIÓN (m²)	253																																																																																
Nº DE LÁMPARAS (Ud.)	4	POTENCIA DE LAS LAMPARAS (W)	250	FLUJO DE LA LÁMPARA (lm)	32.200																																																																																		
POTENCIA PUNTO LUZ (ITC-EA-04) (W)	250	POTENCIA TOTAL (W)	1.000,0																																																																																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mediciones lx</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th><math>E_1 = 4,6</math> lx</th> <th><math>E_m =</math></th> <th>3,2 lx</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>7,1</td> <td>4,1</td> <td>1,4</td> <td>2,4</td> <td>2,1</td> <td><math>E_2 = 1,7</math> lx</td> <td><math>E_{min} =</math></td> <td>1,2 lx</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>2,5</td> <td>1,7</td> <td>1,5</td> <td>0,7</td> <td>0,8</td> <td><math>E_3 = 6,8</math> lx</td> <td><math>E_{max} =</math></td> <td>8,9 lx</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>6,3</td> <td>8,4</td> <td>3,1</td> <td>9,4</td> <td>7,2</td> <td><math>E_4 = 3,3</math> lx</td> <td><math>U_{med} = E_{min} / E_m =</math></td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td colspan="6"></td> <td><math>E_5 = 1,2</math> lx</td> <td><math>U_{ext} = E_{min} / E_{max} =</math></td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td colspan="6"></td> <td><math>E_6 = 8,9</math> lx</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="6"></td> <td><math>E_7 = 1,4</math> lx</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="6"></td> <td><math>E_8 = 1,5</math> lx</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="6"></td> <td><math>E_9 = 3,1</math> lx</td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>					Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 = 4,6$ lx	$E_m =$	3,2 lx	B	7,1	4,1	1,4	2,4	2,1	$E_2 = 1,7$ lx	$E_{min} =$	1,2 lx	C	2,5	1,7	1,5	0,7	0,8	$E_3 = 6,8$ lx	$E_{max} =$	8,9 lx	D	6,3	8,4	3,1	9,4	7,2	$E_4 = 3,3$ lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,4							$E_5 = 1,2$ lx	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,13							$E_6 = 8,9$ lx									$E_7 = 1,4$ lx									$E_8 = 1,5$ lx									$E_9 = 3,1$ lx		
Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 = 4,6$ lx	$E_m =$	3,2 lx																																																																															
B	7,1	4,1	1,4	2,4	2,1	$E_2 = 1,7$ lx	$E_{min} =$	1,2 lx																																																																															
C	2,5	1,7	1,5	0,7	0,8	$E_3 = 6,8$ lx	$E_{max} =$	8,9 lx																																																																															
D	6,3	8,4	3,1	9,4	7,2	$E_4 = 3,3$ lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,4																																																																															
						$E_5 = 1,2$ lx	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,13																																																																															
						$E_6 = 8,9$ lx																																																																																	
						$E_7 = 1,4$ lx																																																																																	
						$E_8 = 1,5$ lx																																																																																	
						$E_9 = 3,1$ lx																																																																																	
<b>VALORES EN SERVICIO</b>																																																																																							
FDFL: 1,00	FSL: 1,00	FDLU: 1,00	FACTOR DE MANTENIMIENTO $f_m =$ 1,00																																																																																				
$E_m = 3,2$ lx	$E_{min} = 1,2$ lx	$E_{max} = 8,9$ lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,37	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,13																																																																																	
<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN</b>																																																																																							
EFICIENCIA ENERGÉTICA $\epsilon =$	0,809	EFICIENCIA DE REFERENCIA (ITC-EA-01 tabla 3) $\epsilon_R =$	5		ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA $I_e =$	0,16																																																																																	
ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO ICE=	6,18	CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA (ITC-EA-01 tabla 4):						G																																																																															

Figura Anexo IV.2 Medición luxómetro columnas 62, 63, 50 y 51

CALLE Ó PLAZA	Campus de Leganés, Universidad Carlos III de Madrid																																																																																			
TRAMOS MEDIDOS	Columnas entrada desde Comisaria-Biblioteca, columnas 3 y 4																																																																																			
ANCHO CALZADA m	ANCHO ACERAS m	ANCHO TOTAL CALZADAS+ACERAS m	Nº CARRILES	SENTIDO CIRCULACIÓN																																																																																
LINEA ELÉCTRICA	SUBTERRÁNEA X	GRAPADA POR FACHADA	SUSPENDIDA																																																																																	
LUZ INTRUSA DOMÉSTICA	HAY	NO HAY	LUZ INTRUSA COMERCIO: HAY	NO HAY																																																																																
ARBOLADO	CON HOJAS	SIN HOJAS	INFLUYE EN LA MEDICIÓN: SI NO																																																																																	
TIPO DE SOPORTE	BRAZO MURAL	BÁCULO	COLUMNA X	CANDELABRO	ALTURA m 3,70																																																																															
DISPOSICIÓN	UNILATERAL	TREBOLILLO	PAREADOS	OTROS X																																																																																
TIPO DE LÁMPARA	VSAP X	FLUORESCENCIA	OTROS		POTENCIA W 250																																																																															
REDUCCIÓN DE FLUJO	NO HAY X	HAY	HORARIO REGULACIÓN		PORCENTAJE REGULACIÓN																																																																															
ÚLTIMA REPOSICIÓN LÁMPARAS	ÚLTIMA LIMPIEZA DE LUMINARIAS																																																																																			
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																				
<b>MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS</b>																																																																																				
FECHA DE MEDICIÓN	12/08/2014	HORA 22:15	MEDICIÓN REALIZADA POR Laura de la Fuente Gil																																																																																	
TIPO DE LUXÓMETRO	GOSSEN MAVOLUX 5032C		ESCALA REGISTRO	DIRECTA																																																																																
<b>METODO DE MEDICIÓN:</b> Método simplificado de medida de la iluminancia media. Para realizar las mediciones elegimos el tramo más representativo del área objeto de la auditoría energética																																																																																				
$E_1 = (B_1 + B_5)/2$ $E_4 = (B_2 + B_4)/2$ $E_7 = B_3$ UNIFORMIDAD: $U_{med} = E_{min} / E_m$ $U_{ext} = E_{min} / E_{max}$ $E_2 = (C_1 + C_5)/2$ $E_5 = (C_2 + C_4)/2$ $E_8 = C_3$ FACTOR DE MANTENIMIENTO $f_m = FDFL \times FSL \times FDLU$ $E_3 = (D_1 + D_5)/2$ $E_6 = (D_2 + D_4)/2$ $E_9 = D_3$ FDFL: Factor de depreciación del flujo luminoso de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 1 FSL: Factor de supervivencia de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 2 $E_m = (E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9) / 16$ FDLU: factores de depreciación de las luminarias. ITC-EA-06 tabla 3 EFICIENCIA ENERGÉTICA: $\epsilon = (S \cdot E_m) / P$																																																																																				
<b>TRAMO 1</b>																																																																																				
MEDICIÓN ENTRE LOS PUNTOS DE LUZ Nº	3 y 4	LONGITUD TRAMO (S) m:	15,6	ANCHO TRAMO m:	11,1	SUPERFICIE MEDICIÓN (m²)	173																																																																													
Nº DE LÁMPARAS (Ud.)	2	POTENCIA DE LAS LAMPARAS (W)	250	FLUJO DE LA LÁMPARA (lm)	32.200																																																																															
POTENCIA PUNTO LUZ (ITC-EA-04) (W)	250	POTENCIA TOTAL (W)	500,0																																																																																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mediciones lx</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th><math>E_1 = 11,2</math> lx</th> <th><math>E_m =</math></th> <th><math>3,3</math> lx</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>10,2</td> <td>7,7</td> <td>3,3</td> <td>5,3</td> <td>12,2</td> <td><math>E_2 = 4,4</math> lx</td> <td><math>E_{min} =</math></td> <td><math>0,8</math> lx</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>5,3</td> <td>2,9</td> <td>1,7</td> <td>2,3</td> <td>3,5</td> <td><math>E_3 = 0,8</math> lx</td> <td><math>E_{max} =</math></td> <td><math>11,2</math> lx</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0,8</td> <td>0,9</td> <td>0,8</td> <td>0,8</td> <td>0,8</td> <td><math>E_4 = 6,5</math> lx</td> <td><math>U_{med} = E_{min} / E_m =</math></td> <td><math>0,2</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_5 = 2,6</math> lx</td> <td><math>U_{ext} = E_{min} / E_{max} =</math></td> <td><math>0,07</math></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_6 = 0,9</math> lx</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_7 = 3,3</math> lx</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_8 = 1,7</math> lx</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_9 = 0,8</math> lx</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 = 11,2$ lx	$E_m =$	$3,3$ lx	B	10,2	7,7	3,3	5,3	12,2	$E_2 = 4,4$ lx	$E_{min} =$	$0,8$ lx	C	5,3	2,9	1,7	2,3	3,5	$E_3 = 0,8$ lx	$E_{max} =$	$11,2$ lx	D	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	$E_4 = 6,5$ lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	$0,2$							$E_5 = 2,6$ lx	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	$0,07$							$E_6 = 0,9$ lx									$E_7 = 3,3$ lx									$E_8 = 1,7$ lx									$E_9 = 0,8$ lx		
Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 = 11,2$ lx	$E_m =$	$3,3$ lx																																																																												
B	10,2	7,7	3,3	5,3	12,2	$E_2 = 4,4$ lx	$E_{min} =$	$0,8$ lx																																																																												
C	5,3	2,9	1,7	2,3	3,5	$E_3 = 0,8$ lx	$E_{max} =$	$11,2$ lx																																																																												
D	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	$E_4 = 6,5$ lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	$0,2$																																																																												
						$E_5 = 2,6$ lx	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	$0,07$																																																																												
						$E_6 = 0,9$ lx																																																																														
						$E_7 = 3,3$ lx																																																																														
						$E_8 = 1,7$ lx																																																																														
						$E_9 = 0,8$ lx																																																																														
<b>VALORES EN SERVICIO</b>																																																																																				
FDFL: 1,00	FSL: 1,00	FDLU: 1,00	FACTOR DE MANTENIMIENTO $f_m =$ 1,00																																																																																	
$E_m =$ 3,3 lx	$E_{min} =$ 0,8 lx	$E_{max} =$ 11,2 lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$ 0,24	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$ 0,07																																																																																
<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN</b>																																																																																				
EFICIENCIA ENERGÉTICA $\epsilon =$ 1,156	EFICIENCIA DE REFERENCIA (ITC-EA-01 tabla 3) $\epsilon R =$ 5		ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA $I_\epsilon =$ 0,23																																																																																	
ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO ICE= 4,33	CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA (ITC-EA-01 tabla 4): F																																																																																			

Figura Anexo IV.3 Medición luxómetro columnas 3 y 4

CALLE Ó PLAZA		Campus de Leganés, Universidad Carlos III de Madrid																																																																																																														
TRAMOS MEDIDOS		Soportal Cafetería, Apliques 5 y 6																																																																																																														
ANCHO CALZADA m	ANCHO ACERAS m	ANCHO TOTAL CALZADAS+ACERAS m	Nº CARRILES	SENTIDO CIRCULACIÓN																																																																																																												
LINEA ELÉCTRICA	SUBTERRÁNEA X	GRAPADA POR FACHADA	SUSPENDIDA																																																																																																													
LUZ INTRUSA DOMÉSTICA	HAY	NO HAY	LUZ INTRUSA COMERCIO: HAY	NO HAY																																																																																																												
ARBOLADO	CON HOJAS	SIN HOJAS	INFLUYE EN LA MEDICIÓN: SI NO																																																																																																													
TIPO DE SOPORTE	BRAZO MURAL	BÁCULO	COLUMNA	CANDELABRO	ALTURA m	4,00																																																																																																										
DISPOSICIÓN	UNILATERAL	TREBOLILLO	PAREADOS	OTROS X																																																																																																												
TIPO DE LÁMPARA	VSAP	FLUORESCENCIA	OTROS X	POTENCIA W	23																																																																																																											
REDUCCIÓN DE FLUJO	NO HAY	X HAY	HORARIO REGULACIÓN		PORCENTAJE REGULACIÓN																																																																																																											
ÚLTIMA REPOSICIÓN LÁMPARAS	ÚLTIMA LIMPIEZA DE LUMINARIAS																																																																																																															
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																																																
<b>MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS</b>																																																																																																																
FECHA DE MEDICIÓN	12/08/2014	HORA	22:15	MEDICIÓN REALIZADA POR	Laura de la Fuente Gil																																																																																																											
TIPO DE LUXÓMETRO	GOSSEN MAVOLUX 5032C		ESCALA REGISTRO	DIRECTA																																																																																																												
<b>METODO DE MEDICIÓN:</b> Método simplificado de medida de la iluminancia media.																																																																																																																
Para realizar las mediciones elegimos el tramo más representativo del área objeto de la auditoría energética																																																																																																																
$E_1 = (B_1 + B_5)/2$	$E_4 = (B_2 + B_4)/2$	$E_7 = B_3$	UNIFORMIDAD: $U_{med} = E_{min} / E_m$	$U_{ext} = E_{min} / E_{max}$																																																																																																												
$E_2 = (C_1 + C_5)/2$	$E_5 = (C_2 + C_4)/2$	$E_8 = C_3$	FACTOR DE MANTENIMIENTO $f_m = FDFL \times FSL \times FDLU$																																																																																																													
$E_3 = (D_1 + D_5)/2$	$E_6 = (D_2 + D_4)/2$	$E_9 = D_3$	FDFL: Factor de depreciación del flujo luminoso de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 1																																																																																																													
			FSL: Factor de supervivencia de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 2																																																																																																													
			FDLU: factores de depreciación de las luminarias. ITC-EA-06 tabla 3																																																																																																													
			EFICIENCIA ENERGÉTICA: $\epsilon = (S \cdot E_m) / P$																																																																																																													
<b>TRAMO 1</b>																																																																																																																
MEDICIÓN ENTRE LOS PUNTOS DE LUZ Nº	2	LONGITUD TRAMO ( S ) m:	9	ANCHO TRAMO m:	4,5	SUPERFICIE MEDICIÓN (m²)	41																																																																																																									
Nº DE LÁMPARAS (Ud.)	2	POTENCIA DE LAS LAMPARAS (W)	23	FLUJO DE LA LÁMPARA (lm)	1.650																																																																																																											
POTENCIA PUNTO LUZ (ITC-EA-04) (W)	23	POTENCIA TOTAL (W)	46,0																																																																																																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mediciones lx</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th><math>E_1 =</math></th> <th>lx</th> <th><math>E_m =</math></th> <th>lx</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>7,8</td> <td>7,3</td> <td>6,1</td> <td>13,3</td> <td>19,6</td> <td><math>E_2 =</math></td> <td>14,1</td> <td>lx</td> <td><math>E_{min} =</math></td> <td>6,1</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>9,7</td> <td>8,9</td> <td>8,3</td> <td>11,8</td> <td>18,4</td> <td><math>E_3 =</math></td> <td>11,8</td> <td>lx</td> <td><math>E_{max} =</math></td> <td>14,1</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>8,6</td> <td>7,8</td> <td>7,7</td> <td>9,7</td> <td>15,1</td> <td><math>E_4 =</math></td> <td>10,3</td> <td>lx</td> <td><math>U_{med} = E_{min} / E_m =</math></td> <td>0,6</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_5 =</math></td> <td>10,4</td> <td>lx</td> <td><math>U_{ext} = E_{min} / E_{max} =</math></td> <td>0,43</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_6 =</math></td> <td>8,8</td> <td>lx</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_7 =</math></td> <td>6,1</td> <td>lx</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_8 =</math></td> <td>8,3</td> <td>lx</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_9 =</math></td> <td>7,7</td> <td>lx</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 =$	lx	$E_m =$	lx	B	7,8	7,3	6,1	13,3	19,6	$E_2 =$	14,1	lx	$E_{min} =$	6,1	lx	C	9,7	8,9	8,3	11,8	18,4	$E_3 =$	11,8	lx	$E_{max} =$	14,1	lx	D	8,6	7,8	7,7	9,7	15,1	$E_4 =$	10,3	lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,6								$E_5 =$	10,4	lx	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,43								$E_6 =$	8,8	lx										$E_7 =$	6,1	lx										$E_8 =$	8,3	lx										$E_9 =$	7,7	lx			
Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 =$	lx	$E_m =$	lx																																																																																																							
B	7,8	7,3	6,1	13,3	19,6	$E_2 =$	14,1	lx	$E_{min} =$	6,1	lx																																																																																																					
C	9,7	8,9	8,3	11,8	18,4	$E_3 =$	11,8	lx	$E_{max} =$	14,1	lx																																																																																																					
D	8,6	7,8	7,7	9,7	15,1	$E_4 =$	10,3	lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,6																																																																																																						
						$E_5 =$	10,4	lx	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,43																																																																																																						
						$E_6 =$	8,8	lx																																																																																																								
						$E_7 =$	6,1	lx																																																																																																								
						$E_8 =$	8,3	lx																																																																																																								
						$E_9 =$	7,7	lx																																																																																																								
<b>VALORES EN SERVICIO</b>																																																																																																																
FDFL: 1,00	FSL: 1,00	FDLU: 1,00	FACTOR DE MANTENIMIENTO $f_m =$				1,00																																																																																																									
$E_m =$	10,2	lx	$E_{min} =$	6,1	lx	$E_{max} =$	14,1	lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,60	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,43																																																																																																				
<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN</b>																																																																																																																
EFICIENCIA ENERGÉTICA $\epsilon =$	8,999		EFICIENCIA DE REFERENCIA (ITC-EA-01 tabla 3) $\epsilon_R =$	8		ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA $I_e =$	1,10																																																																																																									
ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO $I_{ce} =$	0,91		CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA (ITC-EA-01 tabla 4):	B																																																																																																												

Figura Anexo IV. 4 Medición luxómetro apliques 5 y 6

CALLE Ó PLAZA		Campus de Leganés, Universidad Carlos III de Madrid																																																																																													
TRAMOS MEDIDOS		Soportal Edificio 1 y Cafetería, apliques 2 y 3																																																																																													
ANCHO CALZADA m	ANCHO ACERAS m	ANCHO TOTAL CALZADAS+ACERAS m	Nº CARRILES	SENTIDO CIRCULACIÓN																																																																																											
LÍNEA ELÉCTRICA	SUBTERRÁNEA	X	GRAPADA POR FACHADA	SUSPENDIDA																																																																																											
LUZ INTRUSA DOMÉSTICA	HAY	NO HAY	LUZ INTRUSA COMERCIO:	HAY	NO HAY																																																																																										
ARBOLADO	CON HOJAS	SIN HOJAS	INFLUYE EN LA MEDICIÓN:	SI	NO																																																																																										
TIPO DE SOPORTE	BRAZO MURAL	BÁCULO	COLUMNA	CANDELABRO	ALTURA m	4,00																																																																																									
DISPOSICIÓN	UNILATERAL	TRESBOLILLO	PAREADOS	OTROS	X																																																																																										
TIPO DE LÁMPARA	VSAP	FLUORESCENCIA	OTROS	X	POTENCIA W	23																																																																																									
REDUCCIÓN DE FLUJO	NO HAY	X	HAY	HORARIO REGULACIÓN	PORCENTAJE REGULACIÓN																																																																																										
ÚLTIMA REPOSICIÓN LÁMPARAS	ÚLTIMA LIMPIEZA DE LUMINARIAS																																																																																														
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																															
<b>MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS</b>																																																																																															
FECHA DE MEDICIÓN	12/08/2014	HORA	22:15	MEDICIÓN REALIZADA POR	Laura de la Fuente Gil																																																																																										
TIPO DE LUXÓMETRO	GOSSEN MAVOLUX 5032C		ESCALA REGISTRO	DIRECTA																																																																																											
<b>METODO DE MEDICIÓN:</b> Método simplificado de medida de la iluminancia media. Para realizar las mediciones elegimos el tramo más representativo del área objeto de la auditoría energética																																																																																															
$E_1 = (B_1 + B_5)/2$		$E_4 = (B_2 + B_4)/2$		$E_7 = B_3$		UNIFORMIDAD: $U_{med} = E_{min} / E_m$		$U_{ext} = E_{min} / E_{max}$																																																																																							
$E_2 = (C_1 + C_5)/2$		$E_5 = (C_2 + C_4)/2$		$E_8 = C_3$		FACTOR DE MANTENIMIENTO $fm = FDFL \times FSL \times FDLU$																																																																																									
$E_3 = (D_1 + D_5)/2$		$E_6 = (D_2 + D_4)/2$		$E_9 = D_3$		FDFL: Factor de depreciación del flujo luminoso de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 1																																																																																									
FSL: Factor de superincidencia de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 2																																																																																															
$E_m = (E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9) / 16$ FDLU: factores de depreciación de las luminarias. ITC-EA-06 tabla 3																																																																																															
EFICIENCIA ENERGÉTICA: $\epsilon = (S \cdot E_m) / P$																																																																																															
<b>TRAMO 1</b>																																																																																															
MEDICIÓN ENTRE LOS PUNTOS DE LUZ Nº	2 y 3		LONGITUD TRAMO ( S ) m:	7,2	ANCHO TRAMO m:	5,2	SUPERFICIE MEDICIÓN (m²)	37																																																																																							
Nº DE LÁMPARAS (Ud.)	2		POTENCIA DE LAS LAMPARAS (W)	23		FLUJO DE LA LÁMPARA (lm)	1.650																																																																																								
POTENCIA PUNTO LUZ (ITC-EA-04) (W)	23		POTENCIA TOTAL (W)	46,0																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mediciones lx</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th><math>E_1 =</math></th> <th>lx</th> <th><math>E_m =</math></th> <th>lx</th> <th><math>E_{min} =</math></th> <th>lx</th> <th><math>E_{max} =</math></th> <th>lx</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>12,2</td> <td>11,6</td> <td>7,1</td> <td>11,3</td> <td>15,5</td> <td>13,9</td> <td>lx</td> <td>10,4</td> <td>lx</td> <td>7,1</td> <td>lx</td> <td>13,9</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>12,6</td> <td>9,2</td> <td>9,4</td> <td>11,1</td> <td>11,5</td> <td>12,1</td> <td>lx</td> <td>0,7</td> <td>lx</td> <td>11,5</td> <td>lx</td> <td>10,2</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>12,6</td> <td>10,2</td> <td>8,0</td> <td>8,5</td> <td>11,6</td> <td>11,5</td> <td>lx</td> <td>0,51</td> <td>lx</td> <td>10,2</td> <td>lx</td> <td>9,4</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>9,4</td> <td>lx</td> <td></td> <td>lx</td> <td>7,1</td> <td>lx</td> <td>9,4</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>8,0</td> <td>lx</td> <td></td> <td>lx</td> <td>8,0</td> <td>lx</td> <td></td> <td>lx</td> </tr> </tbody> </table>												Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 =$	lx	$E_m =$	lx	$E_{min} =$	lx	$E_{max} =$	lx	B	12,2	11,6	7,1	11,3	15,5	13,9	lx	10,4	lx	7,1	lx	13,9	lx	C	12,6	9,2	9,4	11,1	11,5	12,1	lx	0,7	lx	11,5	lx	10,2	lx	D	12,6	10,2	8,0	8,5	11,6	11,5	lx	0,51	lx	10,2	lx	9,4	lx							9,4	lx		lx	7,1	lx	9,4	lx							8,0	lx		lx	8,0	lx		lx
Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 =$	lx	$E_m =$	lx	$E_{min} =$	lx	$E_{max} =$	lx																																																																																		
B	12,2	11,6	7,1	11,3	15,5	13,9	lx	10,4	lx	7,1	lx	13,9	lx																																																																																		
C	12,6	9,2	9,4	11,1	11,5	12,1	lx	0,7	lx	11,5	lx	10,2	lx																																																																																		
D	12,6	10,2	8,0	8,5	11,6	11,5	lx	0,51	lx	10,2	lx	9,4	lx																																																																																		
						9,4	lx		lx	7,1	lx	9,4	lx																																																																																		
						8,0	lx		lx	8,0	lx		lx																																																																																		
<b>VALORES EN SERVICIO</b>																																																																																															
FDFL:	1,00	FSL:	1,00	FDLU:	1,00	FACTOR DE MANTENIMIENTO fm=	1,00																																																																																								
$E_m =$	10,4 lx	$E_{min} =$	7,1 lx	$E_{max} =$	13,9 lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,68		$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,51																																																																																					
<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN</b>																																																																																															
EFICIENCIA ENERGÉTICA $\epsilon =$	8,452		EFICIENCIA DE REFERENCIA (ITC-EA-01 tabla 3) $\epsilon_R =$	9		ÍNDICE DE EFICIENCIA ENÉRGICA $I_\epsilon =$	0,92																																																																																								
ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO ICE=	1,08		CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA (ITC-EA-01 tabla 4):	B																																																																																											

Figura Anexo IV.5 Medición luxómetro apliques 2 y 3.



CALLE Ó PLAZA		Campus de Leganés, Universidad Carlos III de Madrid																																																																																																																											
TRAMOS MEDIDOS		Soportal Edificio 1, apliques 9 y 10																																																																																																																											
ANCHO CALZADA m		ANCHO ACERAS m		ANCHO TOTAL CALZADAS+ACERAS m		Nº CARRILES	SENTIDO CIRCULACIÓN																																																																																																																						
LÍNEA ELÉCTRICA	SUBTERRÁNEA X		GRAPADA POR FACHADA		SUSPENDIDA																																																																																																																								
LUZ INTRUSA DOMÉSTICA	HAY	NO HAY		LUZ INTRUSA COMERCIO: HAY		NO HAY																																																																																																																							
ARBOLADO	CON HOJAS		SIN HOJAS		INFLUYE EN LA MEDICIÓN: SI NO																																																																																																																								
TIPO DE SOPORTE	BRAZO MURAL		BÁCULO		COLUMNA		CANDELABRO																																																																																																																						
DISPOSICIÓN	UNILATERAL		TRESBOLILLO		PAREADOS		OTROS X																																																																																																																						
TIPO DE LÁMPARA	VSAP	FLUORESCENCIA		OTROS		X	POTENCIA W 23																																																																																																																						
REDUCCIÓN DE FLUJO	NO HAY	X	HAY		HORARIO REGULACIÓN		PORCENTAJE REGULACIÓN																																																																																																																						
ÚLTIMA REPOSICIÓN LÁMPARAS			ÚLTIMA LIMPIEZA DE LUMINARIAS																																																																																																																										
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																																																													
<b>MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS</b>																																																																																																																													
FECHA DE MEDICIÓN	12/08/2014	HORA	23:55	MEDICIÓN REALIZADA POR		Laura de la Fuente Gil																																																																																																																							
TIPO DE LUXÓMETRO	GOSSEN MAVOLUX 5032C			ESCALA REGISTRO		DIRECTA																																																																																																																							
<b>METODO DE MEDICIÓN:</b> Método simplificado de medida de la iluminancia media.																																																																																																																													
Para realizar las mediciones elegimos el tramo más representativo del área objeto de la auditoría energética																																																																																																																													
$E_1 = (B_1 + B_5)/2$		$E_4 = (B_2 + B_4)/2$		$E_7 = B_3$		UNIFORMIDAD: $U_{med} = E_{min} / E_m$ $U_{ext} = E_{min} / E_{max}$																																																																																																																							
$E_2 = (C_1 + C_5)/2$		$E_5 = (C_2 + C_4)/2$		$E_8 = C_3$		FACTOR DE MANTENIMIENTO $f_m = FDFL \times FSL \times FDLU$																																																																																																																							
$E_3 = (D_1 + D_5)/2$		$E_6 = (D_2 + D_4)/2$		$E_9 = D_3$		FDFL: Factor de depreciación del flujo luminoso de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 1																																																																																																																							
FSL: Factor de supervivencia de las lámparas. ITC-EA-06 tabla 2																																																																																																																													
$E_m = (E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9) / 16$ FDLU: factores de depreciación de las luminarias. ITC-EA-06 tabla 3																																																																																																																													
EFICIENCIA ENERGÉTICA: $\epsilon = (S \cdot E_m) / P$																																																																																																																													
<b>TRAMO 1</b>																																																																																																																													
MEDICIÓN ENTRE LOS PUNTOS DE LUZ Nº	9 y 10			LONGITUD TRAMO ( S ) m:	8,4	ANCHO TRAMO m:	5,4																																																																																																																						
Nº DE LÁMPARAS (Ud.)	2		POTENCIA DE LAS LAMPARAS (W)	23		FLUJO DE LA LÁMPARA (lm)	1.650																																																																																																																						
POTENCIA PUNTO LUZ (ITC-EA-04) (W)	23		POTENCIA TOTAL (W)	46,0																																																																																																																									
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mediciones lx</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th><math>E_1 =</math></th> <th>lx</th> <th><math>E_m =</math></th> <th>lx</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>13,0</td> <td>9,9</td> <td>5,9</td> <td>8,1</td> <td>10,5</td> <td><math>E_1 =</math></td> <td>11,8</td> <td>lx</td> <td><math>E_m =</math></td> <td>10,0</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>19,7</td> <td>13,9</td> <td>6,7</td> <td>10,5</td> <td>14,5</td> <td><math>E_2 =</math></td> <td>17,1</td> <td>lx</td> <td><math>E_{min} =</math></td> <td>5,3</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>10,7</td> <td>8,2</td> <td>5,3</td> <td>4,4</td> <td>8,6</td> <td><math>E_3 =</math></td> <td>9,7</td> <td>lx</td> <td><math>E_{max} =</math></td> <td>17,1</td> <td>lx</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_4 =</math></td> <td>9,0</td> <td>lx</td> <td><math>U_{med} = E_{min} / E_m =</math></td> <td>0,5</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_5 =</math></td> <td>12,2</td> <td>lx</td> <td><math>U_{ext} = E_{min} / E_{max} =</math></td> <td>0,31</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_6 =</math></td> <td>6,3</td> <td>lx</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_7 =</math></td> <td>5,9</td> <td>lx</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_8 =</math></td> <td>6,7</td> <td>lx</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><math>E_9 =</math></td> <td>5,3</td> <td>lx</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 =$	lx	$E_m =$	lx	B	13,0	9,9	5,9	8,1	10,5	$E_1 =$	11,8	lx	$E_m =$	10,0	lx	C	19,7	13,9	6,7	10,5	14,5	$E_2 =$	17,1	lx	$E_{min} =$	5,3	lx	D	10,7	8,2	5,3	4,4	8,6	$E_3 =$	9,7	lx	$E_{max} =$	17,1	lx							$E_4 =$	9,0	lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,5								$E_5 =$	12,2	lx	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,31								$E_6 =$	6,3	lx										$E_7 =$	5,9	lx										$E_8 =$	6,7	lx										$E_9 =$	5,3	lx			
Mediciones lx	1	2	3	4	5	$E_1 =$	lx	$E_m =$	lx																																																																																																																				
B	13,0	9,9	5,9	8,1	10,5	$E_1 =$	11,8	lx	$E_m =$	10,0	lx																																																																																																																		
C	19,7	13,9	6,7	10,5	14,5	$E_2 =$	17,1	lx	$E_{min} =$	5,3	lx																																																																																																																		
D	10,7	8,2	5,3	4,4	8,6	$E_3 =$	9,7	lx	$E_{max} =$	17,1	lx																																																																																																																		
						$E_4 =$	9,0	lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,5																																																																																																																			
						$E_5 =$	12,2	lx	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,31																																																																																																																			
						$E_6 =$	6,3	lx																																																																																																																					
						$E_7 =$	5,9	lx																																																																																																																					
						$E_8 =$	6,7	lx																																																																																																																					
						$E_9 =$	5,3	lx																																																																																																																					
<b>VALORES EN SERVICIO</b>																																																																																																																													
FDFL: 1,00	FSL: 1,00	FDLU: 1,00	FACTOR DE MANTENIMIENTO $f_m =$					1,00																																																																																																																					
$E_m =$	10,0	lx	$E_{min} =$	5,3	lx	$E_{max} =$	17,1	lx	$U_{med} = E_{min} / E_m =$	0,53	$U_{ext} = E_{min} / E_{max} =$	0,31																																																																																																																	
<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN</b>																																																																																																																													
EFICIENCIA ENERGÉTICA $\epsilon =$	9,836		EFICIENCIA DE REFERENCIA (ITC-EA-01 tabla 3) $\epsilon_R =$	5		ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA $I_e =$	1,97																																																																																																																						
ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO $I_{ce} =$	0,51		CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA (ITC-EA-01 tabla 4):	B																																																																																																																									

Figura Anexo IV.6 Medición luxómetro apliques 9 y 10

## ANEXO V: CÁLCULO DEL VAN Y EL TIR

En este anexo se adjuntan las tablas utilizadas para el cálculo del VAN y el TIR.

<b>COSTES</b>													
<b>COSTES ORDINARIOS</b>													
IPC	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
Tarifa luz, GN, GLP y gasóleo	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
(Euros)													
	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes
A.P. Coste mantenimiento anual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A.P. Coste anual servicio datos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A.P. Levantamiento de planos e inventarios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A.P. Factura energía eléctrica (estimado)	7.912	236	248	260	273	287	301	316	332	349	366	384	
Mejora 1													
Mejora 6: SIGMA. 20 CM X	27,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seguro responsabilidad civil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Varios													
<b>TOTAL</b>		<b>7.912</b>	<b>236</b>	<b>248</b>	<b>260</b>	<b>273</b>	<b>287</b>	<b>301</b>	<b>316</b>	<b>332</b>	<b>349</b>	<b>366</b>	<b>384</b>
<b>INVERSIONES Y FINANCIEROS</b>													
IPC	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
(Euros)													
	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes
Inversión 1: Alumbrado led	71.172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión 3: Reactancias electrónicas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión 4: Telecontrol CM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión 4: Adecuación a normativa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>71.172</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTAL COSTES</b>		<b>79.084</b>	<b>236</b>	<b>248</b>	<b>260</b>	<b>273</b>	<b>287</b>	<b>301</b>	<b>316</b>	<b>332</b>	<b>349</b>	<b>366</b>	<b>384</b>
<b>INGRESOS</b>													
IPC	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%
Tarifa luz, GN, GLP y gasóleo	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
(Euros)													
	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes	Año/Mes
Ingresos 1: Energía	10.511	11.037	11.588	12.168	12.776	13.415	14.086	14.790	15.530	16.306	17.121	17.977	
Ingresos 2: Mantenimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ingresos 3:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ingresos 4:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ingresos 5:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ingresos 6:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>10.511</b>	<b>11.037</b>	<b>11.588</b>	<b>12.168</b>	<b>12.776</b>	<b>13.415</b>	<b>14.086</b>	<b>14.790</b>	<b>15.530</b>	<b>16.306</b>	<b>17.121</b>	<b>17.977</b>	
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADO</b>		<b>-68.573</b>	<b>10.801</b>	<b>11.341</b>	<b>11.908</b>	<b>12.503</b>	<b>13.128</b>	<b>13.785</b>	<b>14.474</b>	<b>15.197</b>	<b>15.957</b>	<b>16.755</b>	<b>17.593</b>
		<b>-68.573</b>	<b>-57.772</b>	<b>-46.432</b>	<b>-34.524</b>	<b>-22.021</b>	<b>-8.893</b>	<b>4.892</b>	<b>19.365</b>	<b>34.563</b>	<b>50.520</b>	<b>67.275</b>	<b>84.868</b>
<b>INTERÉS CRÉDITO ESTIMADO</b>	<b>7,50%</b>	VAN calculado con un interés de crédito del 7,5%											
<b>Flujos de caja TIR 12 años</b>													
<b>TIR 12 Años</b>		<b>14,91%</b>											
<b>VAN 12 Años</b>		<b>27.860</b>											

Figura Anexo V.1 Tabla de Cálculo de VAN y TIR