



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Propuestas de mejora de la eficiencia energética en instalaciones existentes de Alumbrado Público

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: Pablo Pujalte Salmerón

Director: Francisco De Asís Ruz Vila

Codirector: Jose Miguel Paredes Parra

Cartagena, Noviembre de 2017



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

“La utopía está en el horizonte. Me acerco dos pasos, ella se aleja dos pasos. Camino diez pasos y el horizonte se desplaza diez pasos más allá. Por mucho que camine, nunca la alcanzaré, Entonces, ¿para qué sirve la utopía? Para eso: sirve para caminar.”

Eduardo Galeano

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia la confianza y el esfuerzo que han depositado en mí durante toda la carrera. A mis padres, Antonio y Anto, por enseñarme a no ponerme límites y alentarme a acabar este camino. A mi hermano, Jorge, por ser un apoyo incondicional y ánimo, un pequeño trozo de cada uno de vosotros está en este proyecto.

A mis amigos, mi otra familia, en especial a Jorge, Álvaro, Carlos, Perico, Pablo Vicente y Pacoco por ser conscientes de mis objetivos y no dejarme desistir en ningún momento. Por estar en todo momento a mi lado. Por el simple hecho de llevar tantos años juntos y seguir siendo amigos.

A mis compañeros de carrera, con los que he compartido más resignaciones que alegrías, pero hemos compartido experiencias, que al fin y al cabo es lo importante, en especial a: Jonatan Cárceles, Daniel Conesa, Carlos García, David Espejo y Francisco Muñoz.

A Paco Ruz y José Miguel Paredes por dirigir de este proyecto. Espero que esté a la altura de vuestras expectativas, hay muchas horas y esfuerzo invertidos en este trabajo.

Y, por último, pero no menos importante, sino todo lo contrario, a Ana. Porque es capaz de levantarme el ánimo en cualquier momento, porque es capaz de entenderme y apoyarme, sacrificar cualquier momento por estar a mi lado y por su infinita paciencia con una persona tan acostumbrada a indignarse y quejarse tanto como yo. Has sido la pieza clave de este rompecabezas que ha supuesto el final de la carrera. Aún no sé cómo agradecerte toda la ayuda que me has dado todos estos años. Muchas gracias.

INFORMACIÓN

Autor	Pablo Pujalte Salmerón
Correo electrónico autor	pablo.pujalte.salmeron@gmail.com
Director	Francisco De Asís Ruz Vila
Codirector	Jose Miguel Paredes Parra
Correo electrónico director	paco.ruz@upct.es
Titulación	Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Título del Trabajo	Propuestas de mejora de la eficiencia energética en instalaciones existentes de Alumbrado Público

RESUMEN

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es la definición y el desarrollo, en base a la normativa actual, de los estudios necesarios para la mejora de la eficiencia energética en el alumbrado público municipal.

Para la evaluación de las mejoras se desarrollará un caso práctico con datos reales de un municipio de la Región de Murcia.

En primer lugar, se hace un profundo análisis del estado del arte del alumbrado existente, con definición de tipos de luminarias y lámparas utilizadas, para a continuación, profundizar en la implantación de una nueva tecnología de alumbrado tipo LED que permita mejorar los consumos y sea más eficiente energéticamente.

Para poder lograr este objetivo se llevarán a cabo una serie de simulaciones con el Software DIALux evo haciendo un análisis de los parámetros a estudiar.

Finalmente se llevará a cabo un estudio de las distintas tecnologías planteadas para ver la que resulta más eficiente, simulando dichas calles y sustituyéndolas por las instaladas anteriormente.

ABSTRACT

The objective of this Final Project is the definition and development, based on current regulations, of the studies necessary for the improvement of energy efficiency in municipal public lighting.

For the evaluation of the improvements will be developed a practical case with real data of a municipality of the Region of Murcia.

First, an in-depth analysis of the state of the art of lighting existing, with definition of types of luminaires and lamps used, to further deepen in the implementation of a new LED lighting technology that allows to improve the consumption and be more energy efficient.

To achieve this objective, a series of simulations will be carried out with the DIALux evo Software, making an analysis of the parameters to be studied.

Finally, a study of the different technologies will be carried out to see which is more efficient, simulating these streets and replacing them with those previously installed.

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	15
ÍNDICE DE TABLAS	17
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	19
1.1 MOTIVACIÓN DEL TRABAJO.....	19
1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	20
1.3. ALCANCE DEL TRABAJO	21
1.3.1 INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LOS FUNDAMENTOS DE ILUMINACIÓN	23
2.1 LA LUZ	23
2.2 MAGNITUDES FÍSICAS DE LA LUZ.....	25
2.2.1 CANDELA.....	25
2.2.2 ESTEREOCORRADIÁN	25
2.2.3. EL LUMEN Y EL LUX	25
2.2.4 INTENSIDAD LUMINOSA	26
2.2.5 LUMINANCIA.....	26
2.2.6 ILUMINANCIA.....	27
2.2.7 ENERGÍA RADIANTE	27
2.2.8 FLUJO RADIANTE.....	27
2.2.9 INTENSIDAD RADIANTE	27
2.2.10 RADIANCIA	28
2.2.11 IRRADIANCIA.....	28
2.2.12 POTENCIA.....	28
2.2.12.1 TIPOS DE POTENCIA.....	28
2.2.13 FACTOR DE POTENCIA	30
2.2.14 RENDIMIENTO LUMINOSO	31
2.2.15 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN	32
2.3 INCIDENCIA DE LA LUZ SOBRE LA MATERIA	33
2.3.1 REFLEXIÓN	33
2.3.1.1 LEYES DE LA REFLEXIÓN	33
2.3.1.2 TIPOS DE REFLEXIÓN.....	33
2.3.2. REFRACCIÓN	34
2.3.2.1. LEYES DE SNELL.....	35
2.3.3 ABSORCIÓN.....	35
2.3.3.1 TIPOS DE ABSORCIÓN	36
2.3.4 TRANSMISIÓN.....	36

2.3.4.1 TIPOS DE TRANSMISIÓN	36
2.3.5 POLARIZACIÓN	37
2.4 LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTECNIA.....	37
2.4.1. LEY FUNDAMENTAL	37
2.4.2 LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA	38
2.4.3 LEY DEL COSENO	38
2.4.3.1 ILUMINACIÓN EN UN PUNTO SITUADO EN EL PLANO HORIZONTAL	39
2.4.3.2. ILUMINACIÓN EN UN PUNTO SITUADO EN EL PLANO VERTICAL	39
2.4.4 LEY DEL COSENO-CUBO	40
2.4.5 LEY DE LAMBERT	40
2.5 EL COLOR DE LA LUZ	41
2.5.1. PROPIEDADES DEL COLOR DE LA LUZ	41
2.6 DIFUSIÓN DE LA LUZ	43
2.7 DISPERSIÓN DE LA LUZ	44
2.8 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL FLUJO LUMINOSO	44
2.8.1 ILUMINACIÓN DIRECTA	44
2.8.2 ILUMINACIÓN SEMI-DIRECTA	45
2.8.3 ILUMINACIÓN UNIFORME	45
2.8.4 ILUMINACIÓN SEMI-INDIRECTA	45
2.8.5 ILUMINACIÓN INDIRECTA	46
2.9 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	47
2.9.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	47
2.9.2 CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	48
2.9.3 CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	49
2.9.3.1 DERROCHE ENERGÉTICO.....	49
2.9.3.2. DESLUMBRAMIENTO	49
2.9.3.2.1 DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR.....	49
2.9.3.2. DESLUMBRAMIENTO MOLESTO	50
2.9.4 FORMAS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	50
2.9.4.1 INTRUSIÓN LUMÍNICA	51
2.9.4.2. DESLUMBRAMIENTO	51
2.9.4.3. RESPLANDOR LUMINOSO	51
2.10 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	51
2.10.1. TIPOS DE FLUJO LUMINOSO EN FUNCIÓN DE LA DIRECCIÓN	52
CAPÍTULO 3: ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN Y DE CONTROL.....	54

3.1 INTRODUCCIÓN	54
3.2 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN	54
3.2.1 LÁMPARA	54
3.2.2 TIPOS DE LÁMPARA	56
3.2.2.1 INTRODUCCIÓN	56
3.2.2.2 LÁMPARA INCANDESCENTE.....	56
3.2.2.2.1 INTRODUCCIÓN	57
3.2.2.2.2 DESCRIPCIÓN DE UNA LÁMPARA INCANDESCENTE	58
3.2.2.3 LÁMPARA FLUORESCENTE.....	58
3.2.2.3.1 INTRODUCCIÓN	59
3.2.2.3.2 DESCRIPCIÓN DE UNA LÁMPARA FLUORESCENTE	60
3.2.2.3.3 COMPONENTES ELÉCTRICOS	61
3.2.2.4 LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO	61
3.2.2.4.1 INTRODUCCIÓN	62
3.2.2.4.2 DESCRIPCIÓN DE UNA LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO.....	62
3.2.2.5 LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO.....	61
3.2.2.5.1 INTRODUCCIÓN	62
3.2.2.5.2 LÁMPARAS DE SODIO DE BAJA PRESIÓN	64
3.2.2.5.3 LÁMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	64
3.2.2.6 TECNOLOGÍA LED.....	64
3.2.2.6.1 INTRODUCCIÓN	64
3.2.2.6.2 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA LED.....	65
3.2.2.6.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES	67
3.2.3 LUMINARIA	68
3.2.4 ELEMENTOS GENERALES	68
3.2.5 TIPOS DE LUMINARIAS.....	70
3.2.5.1 LUMINARIA AL PÚBLICO EN CALZADAS CON TRÁFICO DE VEHÍCULOS	70
3.2.5.2 LUMINARIAS TIPO ARTÍSTICA	71
3.2.5.3 LUMINARIAS TIPO PEATONAL	71
3.2.5.4 LUMINARIAS TIPO GLOBO	72
3.2.5.5 LUMINARIAS TIPO PROYECTOR	71
3.2.6 CARACTERIZACIÓN DE LUMINARIAS.....	71
3.2.6.1 GRADO DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA.....	71
3.2.6.2 GRADO POR CONDICIONES OPERATIVAS	73
3.2.6.2.1 EJEMPLO DE DESIGNACIÓN CON EL CÓDIGO IP	76
3.2.6.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GRADO DE PROTECCIÓN CONTRA IMPACTOS (IK)	77

3.2.6.4. GRADO DE INFLAMABILIDAD DE LA SUPERFICIE DE MONTAJE	77
3.2.7 BALASTO	78
3.2.8 BÁCULO	79
3.2.8.1. CARACTERÍSTICAS	79
3.2.9 CUADRO DE MANDO	80
3.3 SISTEMAS DE CONTROL Y ENCENDIDO	80
3.3.1. SISTEMA DE CONTROL	80
3.3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE CONTROL	81
3.3.3. VENTAJAS.....	81
3.3.4. SISTEMA DE ENCENDIDO	80
3.3.4.1 INTERRUPTOR CREPUSCULAR.....	83
3.3.4.2 RELOJ ASTRONÓMICO	84
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS NORMATIVO	84
4.1. REAL DECRETO 1890/2008	84
4.1.1. INTRODUCCIÓN	84
4.2 REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR	85
4.2.1 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-01. EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	85
4.2.2 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-02. NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	86
4.2.3. INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-03. RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA.....	89
4.2.3.1. LIMITACIONES DE LAS EMISIONES LUMINOSAS.....	90
4.2.4 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-04. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES	91
4.2.5 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-05. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES.....	92
4.2.6 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-06. MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES	90
4.2.7 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-07. MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	95
4.3. REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN (REBT).....	95
4.3.1. INTRODUCCIÓN	95
4.3.2 DIFERENCIAS ENTRE EL REBT-02 RESPECTO AL REBT-73.....	96
4.3.3 ESTRUCTURA DEL REGLAMENTO.....	97
4.3.4 OBJETO Y FINALIDAD DEL REGLAMENTO	98
4.3.5 ÁMBITO DE APLICACIÓN.....	98
4.3.6 INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR.....	98

4.3.6.1 DEFINICIÓN	98
4.3.7 DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE LA ITC-BT-09	99
4.3.7.1 CAMPO DE APLICACIÓN.....	99
4.3.7.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES	99
4.3.7.3 LUMINARIAS	100
CAPÍTULO 5: PROTOCOLO DE AUDITORIA DE ALUMBRADO PÚBLICO	105
5.1. INTRODUCCIÓN	105
5.2 OBJETIVOS DEL IDAE	105
5.3. PROTOCOLO DE AUDITORÍA DE ALUMBRADO PÚBLICO	106
5.3.1. OBJETO.....	106
5.3.2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA	106
5.3.3 TOMA DE DATOS DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	107
5.3.4 AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO	111
5.3.5 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	111
CAPÍTULO 6: HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN	113
6.1. INTRODUCCIÓN	113
6.1.1. PROCESO DE SIMULACIÓN FOTOMÉTRICA.....	113
6.1.2 PROCESO DE SIMULACIÓN FOTOMÉTRICA PARA UNA LUMINARIA VIAL	114
6.2. EJEMPLOS DE SOFTWARE	114
6.2.1 RELUX.....	114
6.2.2. LITESTAR 4D	115
6.2.3. DIALUX	117
CAPÍTULO 7: CASO PRÁCTICO	119
7.1. INTRODUCCIÓN	119
7.2. SIMULACIÓN DE CALLES	119
7.3. CÁLCULOS TARIFACIÓN ELÉCTRICA	118
7.3.1 INTRODUCCIÓN A LA TARIFACIÓN ELÉCTRICA	118
7.3.2 SISTEMA TARIFARIO.....	118
7.3.2.1 ESTRUCTURA GENERAL TARIFARIA.....	118
7.3.3 TIPO DE TARIFA ELÉCTRICA.....	119
7.3.3.1 TARIFAS SIN DISCRIMINACIÓN HORARIA BT	119
7.3.3.2 TARIFAS CON DISCRIMINACIÓN HORARIA BT	120
7.3.3.3 TARIFA 3.0A	120
7.4. CASO ACTUAL	123
7.5. CASO SIMULADO	124
7.6. COMPARACIÓN ENTRE LA SIMULACIÓN Y EL CASO REAL	130

7.7. CONCLUSIONES.....	133
7.7.1. INTRODUCCIÓN	133
7.7.2. CONCLUSIONES OBTENIDAS DEL CASO PRÁCTICO	133
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXO I	138
ANEXO II	1622
ANEXO III	1894
ANEXO IV	1929

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Región de Murcia (España)	20
Ilustración 2. Onda electromagnética	22
Ilustración 3. Espectro electromagnético	23
Ilustración 4. Espectro visible	24
Ilustración 5. Curva V-Lambda.....	24
Ilustración 6. Diferencia entre flujo luminoso e intensidad luminosa.....	26
Ilustración 7. Iluminancia y luminancia	27
Ilustración 8. Triángulo de potencias	29
Ilustración 9. Diagrama I_v - Ángulo.....	31
Ilustración 10. Reflexión de la luz	33
Ilustración 11. Diferencia entre reflexión especular y difusa	33
Ilustración 12. Refracción de la luz	34
Ilustración 13. Absorción de la luz	35
Ilustración 14. Absorción total y absorción parcial	36
Ilustración 15. Tipos de transmisión.....	36
Ilustración 16. Polarización.....	37
Ilustración 17. Ley de la inversa del cuadrado de la distancia	38
ilustración 18. Ley del coseno.....	38
Ilustración 19. Iluminancia en el plano horizontal	39
Ilustración 20. Iluminancia en el plano vertical.....	39
Ilustración 21. Ley del coseno-cubo	40
Ilustración 22. Ley de Lambert	40
Ilustración 23. Tipos de espectro.....	41
Ilustración 24. Diagrama cromático.....	43
Ilustración 25. Difusión de la luz.....	43
Ilustración 26. Dispersión de la luz	44
Ilustración 27. Distribución del flujo espacial luminoso	46
Ilustración 28. Contaminación lumínica en Europa	47
Ilustración 29. Iluminarias contaminantes	49
Ilustración 30. Deslumbramiento perturbador molesto	50
Ilustración 31. Deslumbramiento	534
Ilustración 32. Tipos de flujo luminoso en función de la dirección	53
Ilustración 33. Sistemas de iluminación exterior más empleados	56
Ilustración 34. Lámpara incandescente.....	58
Ilustración 35. Lámpara fluorescente.....	59
Ilustración 36. Espectro en una lámpara fluorescente.....	61
ilustración 37. Lámpara vapor de mercurio	63
Ilustración 38. Espectro cromático lámpara vapor de mercurio	63
Ilustración 39. Lámpara de vapor de sodio de baja presión.....	64
Ilustración 40. Lámpara de vapor de sodio de alta presión	64
Ilustración 41. A) Lámparas de sodio de alta presión B) Lámparas de sodio de baja presión	64
Ilustración 42. LED	66
Ilustración 43. Luminaria	69
Ilustración 44. Luminaria Tipo I	71
Ilustración 45. Luminaria Tipo II	71
Ilustración 46. Luminaria Tipo III	72

Ilustración 47. Luminaria Tipo Artística	72
Ilustración 48. Luminaria Tipo Peatonal	73
Ilustración 49. Luminaria Tipo Globo.....	73
Ilustración 50. Luminaria Tipo Proyector	73
Ilustración 51. Disposición del código IP	74
Ilustración 52. Clasificación de la EN-60598 para montaje de luminarias	79
Ilustración 53. Balasto	79
Ilustración 54. Báculo	79
Ilustración 55. Maleabilidad	79
Ilustración 56. Cuadro de mando	80
Ilustración 57. Funcionamiento del sistema de control	81
Ilustración 58. Célula fotoeléctrica	83
Ilustración 59. Reloj astronómico	83
Ilustración 60. Grados de protección IP	102
Ilustración 61. Protección contra contactos directos e indirectos	104
Ilustración 62. Interfaz del software RELUX	115
Ilustración 63. Interfaz del software LITESTAR 4D.....	117
Ilustración 64. Interfaz del software DIALUX EVO	118
Ilustración 65. Series S de clase de alumbrado	120
Ilustración 66. Potencia contratada. Fuente: Iberdrola	123
Ilustración 67. TP y te tarifa 3.0A. Fuente: Iberdrola	125
Ilustración 68. Horarios tarifa 3.0a. Fuente: Iberdrola	125
Ilustración 69. Energía reactiva. Fuente: Iberdrola	125
Ilustración 70. Orto y ocase	128
Ilustración 71. Normalización de la potencia. Fuente: Iberdrola	129
Ilustración 72. Dispersión de datos caso real y caso simulado.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de lámpara. Ventajas e inconvenientes	67
Tabla 2. Grados de protección indicados por la primera cifra característica	74
Tabla 3. Grados de protección indicados por la segunda cifra característica	75
Tabla 4. Descripción del grado de protección contra el acceso a partes peligrosas	76
Tabla 5. Correspondencia entre el código IK y la energía de impacto	77
Tabla 6. Calificación energética de una instalación de alumbrado	86
Tabla 7. Tipo de vía. ITC EA-02.....	86
Tabla 8. Clases de alumbrado para vías tipo A	87
Tabla 9. Clases de alumbrado para vías tipo B	87
Tabla 10. Clases de alumbrado para vías tipo C y D	88
Tabla 11. Clases de alumbrado para vías tipo E	88
Tabla 12. Nivel de iluminación de las vías ITC EA-02	89
Tabla 13. Clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminoso	89
Tabla 14. Valores límite del flujo hemisférico superior instalado	90
Tabla 15. Limitaciones de luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior ..	90
Tabla 16. Grados de protección IK.....	103
Tabla 17. Tipos de simulación.....	119
Tabla 18. Tipo 1.....	119
Tabla 19. Tipo 1 vs Tipo 12	120
Tabla 20. E_M , $E_{MÍN}$ y U_0 Tipo 1	120
Tabla 21. Suministro SXXX	126
Tabla 22. Datos suministro actual	127
Tabla 23. Calles simuladas reales	127
Tabla 24. Días reloj astronómico	128
Tabla 25. Horas punta, llano y valle.....	128
Tabla 26. Término de potencia y término de energía	129
Tabla 27. Datos suministro simulaciones	129
Tabla 28. Ahorro simulaciones	130
Tabla 29. Análisis coste-beneficio.....	130
Tabla 30. Disposición calles reales.....	131
Tabla 31. Comparativa de calles	131
Tabla 32. Comparativa calles reales con el tipo simulado (I)	132
Tabla 33. Comparativa calles reales con el tipo simulado (II)	132
Tabla 34. Comparativa calles reales con el tipo simulado (III)	132
Tabla 35. Calles con diferencia de potencia	133
Tabla 36. Desviación típica de ambos casos.....	134

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL TRABAJO

El esfuerzo en busca de la eficiencia energética y la disminución de los gastos en electricidad, que recargan las redes de distribución, en época de escasez energética, pasa necesariamente por reducir y racionalizar el exceso de iluminación del alumbrado público.

Las Administraciones Públicas, principalmente los Ayuntamientos, intentan ajustar sus presupuestos a la realidad actual de la crisis económica. Una forma de conseguir este objetivo es mediante la reducción del consumo de energía eléctrica, siendo su fuente de gasto más importante el Alumbrado Público. Para lograr esta disminución de gasto, se busca la utilización de tecnologías más eficientes encontrándose la tecnología LED a la cabeza en la actualidad.

La normativa vigente a la que deben ajustarse los ayuntamientos está constituida por los siguientes decretos:

- REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- 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.

Este proyecto consiste en estudiar la mejora de la eficiencia energética mediante la implantación de tecnología LED, que consistirá en la simulación del alumbrado público existente de un conjunto de calles de un municipio de la Región de Murcia, para reducir el consumo de energía eléctrica y por tanto conseguir un ahorro energético. Con ello se busca mejorar la uniformidad, calidad y eficiencia tanto energética como económica, es decir, productiva del alumbrado exterior.

A su vez, se pretende reducir la contaminación lumínica existente, la cual aparece principalmente por la emisión del flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instalan las fuentes de iluminación. Este tipo de contaminación tiene como manifestación más evidente el aumento del brillo del cielo nocturno, por reflexión y difusión de la luz artificial en los gases, de forma que se disminuye la visibilidad de las estrellas y demás objetos celestes, reduciendo la calidad de vida del ser humano.

Por tanto, disminuyendo el consumo energético del alumbrado público instalando luminarias LED se conseguirá una reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera y una mejora en el bienestar en la zona donde se apliquen estas medidas de eficiencia.

1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado consiste en mejorar la eficiencia energética del Alumbrado Público de un municipio de la Región de Murcia. Buscando así, la mejor alternativa posible para reducir el consumo energético y conseguir a su vez un ahorro económico.

Para la realización de este trabajo, se estudiarán los viales de un municipio de la Región de Murcia.

Los datos de partida serán los siguientes:

- Análisis de la geometría de la superficie y de la instalación de Alumbrado Público existente.
- Medición de niveles luminotécnicos del entorno a evaluar.
- Flujo de tráfico en la zona.

Los resultados esperados serán los siguientes:

- Determinar el consumo energético y coste del mismo.
- Definir las diferentes medidas que podrían implementarse para reducir el consumo y el coste energético.
- Determinar el ahorro y rentabilidad de la propuesta óptima.
- Mejorar instalación existente cumpliendo la normativa vigente.

Los objetivos específicos serán los siguientes:

- Adquisición de todos los datos posibles sobre el consumo energético actual.
- Estudio de la geometría de la zona.
- Simulación de los niveles de iluminación.
- Calcular mediante el software informático la mejor disposición geométrica.
- Proponer diversos tipos de luminarias con mejores niveles, distintos tipos de lámparas, etc.
- Proponer la mejor inversión a realizar.

1.3. ALCANCE DEL TRABAJO

1.3.1 INTRODUCCIÓN

Según el IDAE, el alumbrado exterior incluye a toda instalación de iluminación de titularidad pública o privada cuyo flujo luminoso se proyecta sobre un espacio abierto (carretera, calle, parque, ornamental, etc.) de uso público. Estas instalaciones totalizan unos 7.965.000 puntos de luz que, con una potencia media de 165 W y cerca de 4.100 horas de utilización anual, representa un consumo de electricidad de 5.370 GWh/año para el conjunto de España.

En los últimos años, debido al desarrollo urbanístico de la gran mayoría de municipios españoles, han aumentado constantemente el número de instalaciones, lo que lleva asociado un incremento de su consumo eléctrico. Con el objetivo de desacoplar el aumento de las instalaciones del aumento del consumo, se están llevando a cabo investigaciones sobre instalaciones de alumbrado exterior, que están experimentando avances tecnológicos y legislativos. Estos avances marcarán un punto de inflexión en el tendencial de su consumo.

Los principales cambios que han surgido en esta última década que permiten la mejora de la eficiencia energética en las instalaciones son: la promulgación del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (RD 1890/2008), la irrupción de la tecnología LED y la admisión de la contratación de empresas de servicios energéticos por las administraciones públicas.

El IDAE ha llevado a cabo diversas experiencias piloto que han permitido poner de manifiesto el elevado potencial de ahorro en el consumo eléctrico que tienen este tipo de instalaciones, del orden del 45%. Los principales campos de actuación son los siguientes:

- La reducción de unos elevados niveles de iluminación, máxime en altas horas de la noche.
- La mejora de la calidad de las luminarias existentes por otras más eficientes y que reduzcan su emisión de luz hacia otros espacios ajenos al objeto de la iluminación (contaminación lumínica).
- La implantación de sistemas de regulación y control de encendidos y apagados de la instalación y para la reducción de su flujo en horarios de madrugada.

Además, este potencial de ahorro en términos económicos permite, en la mayoría de los casos, efectuar las inversiones con un periodo de retorno simple inferior a los 6 años.

Todo ello ha llevado a IDAE a proponer un programa de adecuación del alumbrado de los municipios españoles consistente en priorizar la ejecución de las medidas reglamentarias en las ciudades de más de 25.000 habitantes (295 ciudades y 2.300 GWh/a) para ser ejecutadas en un plazo de 5 años, para lo que podrán contar con los servicios las empresas de servicios energéticos que, a su vez, dispondrán de una línea específica de financiación para esta actividad. Este programa, permitirá reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera y la contaminación lumínica.

Lo que se pretende con este Trabajo Fin de Grado es estudiar las diferentes tecnologías existentes en la actualidad que permitirían mejorar la eficiencia energética del alumbrado exterior del municipio de la Región de Murcia (España), reduciendo así la contaminación lumínica y atmosférica de la zona.



ILUSTRACIÓN 1. REGIÓN DE MURCIA (ESPAÑA)

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LOS FUNDAMENTOS DE ILUMINACIÓN

2.1 LA LUZ

La luz es una radiación que se propaga en forma de ondas electromagnéticas y es capaz de excitar la retina humana.

Las ondas electromagnéticas se producen cuando una carga eléctrica experimenta una aceleración. Esta se caracteriza por su intensidad, longitud de onda (distancia entre crestas sucesivas) y velocidad. Asociada a la longitud de onda encontramos la frecuencia, definida como el número de crestas que pasan por un lugar determinado cada segundo.

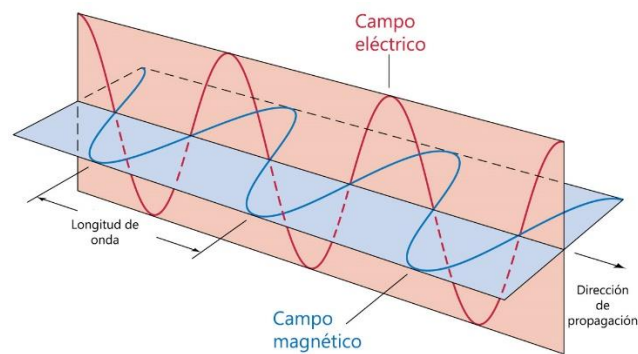


ILUSTRACIÓN 2. ONDA ELECTROMAGNÉTICA

La fuente de energía natural es el Sol, estrella con una masa trescientas mil veces superior a la tierra. Parte de la energía liberada por el Sol se emite en forma de radiación a través de la fotosfera solar (capa más superficial del sol que alcanza una temperatura de unos 5500 K), llegando a la tierra una cantidad media de energía por unidad de tiempo y superficie de 1370 W/m^2 (constante solar). Sin esta energía no sería posible la vida en la tierra.

La absorción de la atmósfera varía la cantidad de esta radiación recibida desde la fotosfera constituyendo el espectro electromagnético.

El espectro electromagnético se divide en tres zonas:

- Banda ultravioleta: Radiaciones con longitudes de onda inferiores a 400 nm.
- Banda visible: Radiaciones con longitudes de onda correspondidas entre 400 y 750 nm.
- Banda infrarroja: Radiaciones con longitudes de onda superiores a los 750 nm.

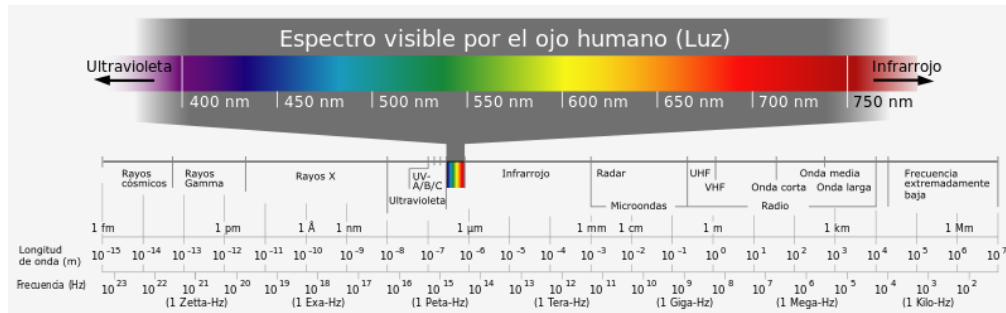


ILUSTRACIÓN 3. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La banda de luz visible se divide en seis tramos (rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta) en los que se descompone la luz blanca cuando atraviesa un medio transparente (Ilustración 3).

La primera explicación del espectro visible viene dada por Isaac Newton, quien observó que cuando un estrecho haz de luz solar incide sobre un prisma de vidrio triangular con un ángulo, una parte se refleja y otra pasa a través del vidrio, mostrando las diferentes bandas de colores mencionadas anteriormente. Además, descubrió que las propiedades de las longitudes de onda no se alteraban por la reflexión o refracción y que las diferentes longitudes de onda podían combinarse para dar la luz blanca original. El resultado es que la luz roja se refractaba menos que la luz violeta cuando pasaban a través del prisma, creando el espectro de colores.

Finalmente, Newton llegó a la conclusión de que los colores producidos por la mezcla de las distintas longitudes de onda daban el mismo efecto visual que una longitud de onda intermedia, pero con composiciones espectrales diferentes.

Además, hay que tener en cuenta que una radiación monocromática se caracteriza por una única longitud de onda, pero en realidad no existe una radiación monocromática pura y sí una línea espectral muy fina, por lo que los colores no tienen una definición lineal de longitud de onda, sino una estrecha banda que, al irse desplazando, da lugar a los distintos matices del color.



ILUSTRACIÓN 4. ESPECTRO VISIBLE

El ojo humano no puede ver directamente los componentes cromáticos de la luz blanca del día, debido a que el cerebro humano no distingue cada uno por separado.

2.2 MAGNITUDES FÍSICAS DE LA LUZ

2.2.1 CANDELA

Se define como la intensidad luminosa en una determinada dirección, de una fuente emisora de radiación monocromática de frecuencia $540 \cdot 10^{12}$ Hz, equivalente a 555 nanómetros (nm) en el vacío, y que posee una intensidad de radiación en esa dirección de 1/683 vatios por estereorradián.

La frecuencia escogida es aquella a la que el ojo es más sensible y normalmente es cuantificada como la correspondiente a una longitud de onda de 555 nanómetros, como se puede ver en la *Ilustración 5*. La longitud de onda varía según el medio a través del cual pasa la luz, por lo que, para precisar esta definición, la descripción común de longitud de onda luminosa no es la usada de modo estándar.

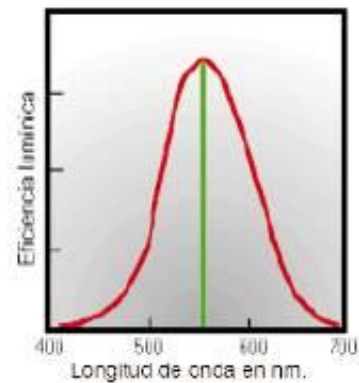


ILUSTRACIÓN 5. CURVA V-LAMBDA

La extraña elección del factor 683 es a fin de que el valor sea idéntico al obtenido con la previa versión de la unidad: La emisión de 1cm^2 de brillo de platino solidificado.

2.2.2 ESTERERRADIÁN

Es el cono de luz difundido desde la fuente que ilumina 1m^2 de la superficie oscura de una esfera de un metro de radio alrededor de la fuente. Por lo tanto, 1 estereorradián cubre 1m^2 de la superficie de una esfera de 1m de diámetro.

2.2.3. EL LUMEN Y EL LUX

El *flujo luminoso* (Φ_v) es la potencia de la energía luminosa medida en relación con su efecto visual, es decir, la cantidad de luz emitida por unidad de tiempo en una determinada dirección (distribución espacial de la luz emitida por la fuente). Su unidad es el lumen (lm). 683 lúmenes equivalen a un vatio (W), emitidos a la longitud de onda de 555 nm, que corresponde a la máxima sensibilidad del ojo humano.

La definición de lumen, unidad del flujo luminoso es: El flujo luminoso de una fuente de intensidad luminosa I_v (concepto que será explicado más adelante, cuya unidad de medida es la candela) en ángulo con un elemento sólido dado por $d\Phi_v = I_v d\Omega$.

Si consideramos una fuente que emite una determinada energía radiante y que lo haga en todas direcciones podemos considerar ésta como una esfera. El ángulo sólido

determinará un cono que abarca la superficie (S) determinada, con relación al radio (r) unidad.

En estas condiciones, la medida en estereorradianes del ángulo sólido (Ω) viene definido por la siguiente razón:

$$\Omega = \frac{S}{r^2}$$

Cuando $S = r^2$ el ángulo sólido será de un estereorradián. Según esto podemos definir el *lumen* de la siguiente forma:

Es el flujo luminoso que atraviesa en un segundo un ángulo sólido de un estereorradián, emitido por una fuente puntual cuya intensidad es de una candela.

$$\Phi_v = \Omega \cdot I_v$$

2.2.4 INTENSIDAD LUMINOSA

Es la cantidad de luz emitida por unidad de tiempo (I_v), pero en única dirección. Su unidad de medida es la candela (cd).

$$I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega}$$

Donde

Φ_v es el flujo luminoso medido en Lumen (lm)
 Ω es el ángulo medido en estereorradianes (sr)

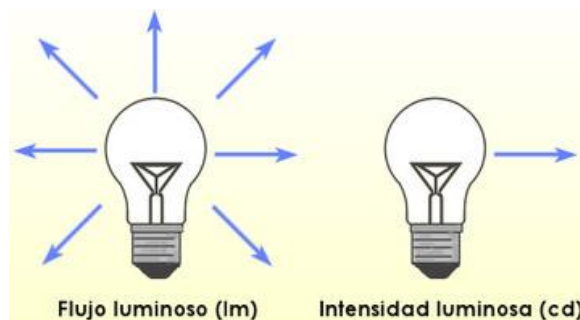


ILUSTRACIÓN 6. DIFERENCIA ENTRE FLUJO LUMINOSO E INTENSIDAD LUMINOSA

2.2.5 LUMINANCIA

Es la relación entre la intensidad luminosa procedente de una fuente de luz primaria (I_v), (producen la luz que emiten) o secundaria (reflejan la luz de otra fuente) y la superficie aparente (S) vista por el ojo en una determinada dirección. Su unidad de medida es la candela por metro cuadrado ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$).

$$L_v = \frac{I_v}{S \cdot \cos\theta}$$

2.2.6 ILUMINANCIA

Es el flujo luminoso que incide sobre una superficie (Φ_v), dividido por el tamaño de dicha superficie. La iluminancia es la magnitud de valoración del nivel de iluminación de una superficie o de una zona espacial.

$$E = \frac{\Phi_v}{S}$$

Su unidad de medida es el *lux*, equivalente a la iluminación que incide sobre cada m^2 de superficie y sobre la cual se distribuye uniformemente un flujo luminoso de un lumen.



ILUSTRACIÓN 7. ILUMINANCIA Y LUMINANCIA

2.2.7 ENERGÍA RADIANTE

Es la cantidad neta de energía electromagnética emitida por una fuente, que se propaga a través del espacio o que incide sobre una superficie durante un cierto periodo de tiempo. Su símbolo es Q_e y su unidad es el Julio (J).

2.2.8 FLUJO RADIANTE

Es la energía radiante Q_e emitida, transmitida o recibida por unidad de tiempo t . Su unidad es el vatio (W).

$$\Phi_e = \frac{Q_e}{t}$$

2.2.9 INTENSIDAD RADIANTE

Es el flujo Φ_e que, partiendo de una fuente puntual, se propaga por unidad de ángulo sólido Ω en una determinada dirección del espacio. Su unidad es $W \cdot sr^{-1}$.

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega}$$

En sentido estricto, el concepto de intensidad sólo puede aplicarse a las fuentes puntuales, que son una idealización no realizable.

2.2.10 RADIANCIA

Se utiliza fundamentalmente para describir la radiación que se propaga a partir de fuentes luminosas extensas, esto es, de dimensiones no despreciables y de superficies difusoras. Su unidad es $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

$$L_e = \frac{l_e}{S \cdot \cos\theta}$$

2.2.11 IRRADIANCIA

Es el flujo Φ_e que incide sobre una superficie por unidad de área S . Su unidad es $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

$$E_e = \frac{\Phi_e}{S}$$

2.2.12 POTENCIA

Es la cantidad de trabajo en una unidad de tiempo. Su unidad de medida es el vatio (W) que equivale a 1 julio por segundo.

2.2.12.1 TIPOS DE POTENCIA

- **Potencia activa**

Es la que se aprovecha como potencia útil. También se llama potencia media, real o verdadera y es debida a los dispositivos resistivos. Su unidad de medida es el vatio (W).

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Siendo

U la tensión en Voltios (V).

I la intensidad en Amperios (A).

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}$$

Donde X es la reactancia y R es la resistencia de la carga conectada siendo la impedancia:

$$\vec{Z} = R + j\vec{X}$$

Puede obtenerse de forma alternativa como:

$$P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

- **Potencia reactiva**

Es la potencia que necesitan las bobinas y los condensadores para generar campos magnéticos o eléctricos, pero no se transforma en trabajo efectivo, sino que fluctúa por la red entre el generador y los receptores. Su unidad de medida es el voltiamperio reactivo (VAR).

$$Q = U \cdot I \cdot \text{sen}\varphi$$

También puede obtenerse como:

$$P = X \cdot I^2 = \frac{U^2}{X}$$

La potencia reactiva es positiva si el receptor es inductivo y negativa si el receptor es capacitivo, coincidiendo en signo con la parte imaginaria de la impedancia.

- **Potencia aparente**

Es la potencia total consumida por la carga y es el producto de los valores eficaces de tensión e intensidad. Se obtiene como la suma vectorial de las potencias activa y reactiva y representa la ocupación total de la instalación debida a la conexión del receptor. Su unidad de medida es el voltiamperio (VA).

$$S = U \cdot I$$

Al ser la suma vectorial de P y Q, que son los catetos de un triángulo rectángulo en el que S es la hipotenusa (*Ilustración 8*), también puede calcularse como:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

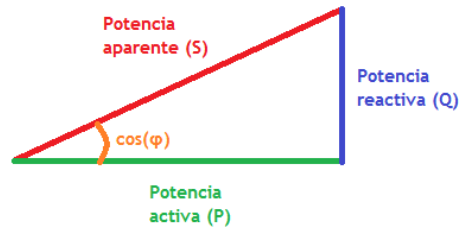


ILUSTRACIÓN 8. TRIÁNGULO DE POTENCIAS

2.2.13 FACTOR DE POTENCIA

El triángulo de potencias es la mejor forma de ver y comprender de forma gráfica que es el factor de potencia o coseno de “fi” ($\cos\varphi$) y su relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna.

Como se puede observar en el triángulo de potencias (*Ilustración 8*), el factor de potencia representa el valor del ángulo que se forma al representar gráficamente la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), siendo la relación existente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga conectada a un circuito eléctrico de corriente alterna. Esta relación se puede representar de la siguiente forma:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

El factor de potencia da una medida de la capacidad de una carga para absorber potencia activa. Por esta razón, $\text{fdp} = 1$ en cargas puramente resistivas; y en elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia, $\text{fdp} = 0$.

Por tanto:

- Un fdp bajo comparado con otro alto, origina, para una misma potencia, una mayor demanda de corriente, lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección.
- La potencia aparente es tanto mayor cuanto más bajo sea el fdp, lo que origina una mayor dimensión de los generadores.

Ambas conclusiones nos llevan a un mayor coste de la instalación alimentadora. Esto no resulta práctico para las compañías eléctricas, puesto que el gasto es mayor

para un fdp bajo. Es por ello por lo que las compañías suministradoras penalizan la existencia de un fdp bajo, obligando a su mejora o imponiendo costes adicionales.

2.2.14 RENDIMIENTO LUMINOSO

Una magnitud derivada del flujo luminoso es el rendimiento. Al hablar de intensidad luminosa no toda la energía eléctrica consumida por una lámpara (bombilla, fluorescente, etc) se transforma en luz visible. Parte se pierde por calor, parte se pierde por radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta).

Se define como la relación entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida (P), que viene con las características de las lámparas. Cuanto mayor sea este rendimiento mejor será la lámpara y menos gastará. Su unidad es el lumen por vatio (lm/W).

$$\eta = \frac{\Phi_v}{P}$$

El lumen deriva de la candela, basado en una luz de longitud de onda simple. Una lámpara de varias longitudes de onda tiene una salida de lúmenes calculada desde los vatios emitidos como radiación multiplicados por la eficiencia luminosa en cada longitud de onda, como se describió en el caso de la candela.

Los valores en candelas hay que transformarlos en energía lumínica que alcanza a un objeto a determinada distancia de la lámpara. Esta energía hace visible al objeto y le proporciona sus matices de color. La densidad energética que alcanza al objeto está expresada en lúmenes por metro cuadrado (lm/m^2), lo que se conoce como *lux*.

Este valor puede ser calculado fácilmente desde el diagrama mostrado en la *Ilustración 9* por un punto de origen.

Por ejemplo, tomando el valor de 300 cd dado para un ángulo de 30° corresponde un flujo luminoso de 300 lúmenes fluyendo en el cono de un estereorradián, que por definición cubre 1m^2 de la superficie de una esfera de 1m de radio. Por tanto, el valor de la iluminancia es igual a 300 lux.

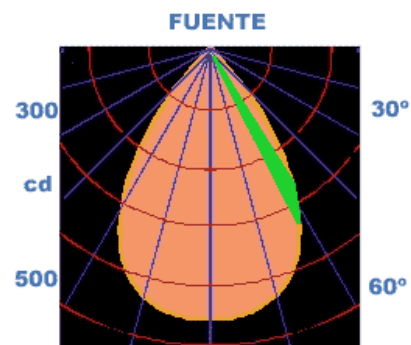


ILUSTRACIÓN 9. DIAGRAMA I_v - ÁNGULO

$$\Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{1\text{m}^2}{(1\text{m})^2} = 1\text{ sr}$$

$$\Phi_v = \Omega \cdot I_v = 1\text{ sr} \cdot 300\text{ cd} = 300\text{ lm}$$

$$E = \frac{\Phi_v}{S} = \frac{300\text{ lm}}{1\text{ m}^2} = 300\text{ lux}$$

2.2.15 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada (m^2) por la iluminancia media (lux) en servicio de la instalación entre la potencia activa total (W) instalada. Su unidad de medida es el $m^2 \cdot \text{lux}/W$.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P}$$

La eficiencia energética ε se puede determinar mediante los siguientes factores:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u$$

Siendo

ε_L , la eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares

f_m , el factor de mantenimiento de la instalación (en valores por unidad)

f_u , el factor de utilización de la instalación (en valores por unidad)

-**Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares (ε_L)**. Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar.

- **Factor de mantenimiento (f_m)**. 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.

- **Factor de utilización (f_u)**. 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.

2.3 INCIDENCIA DE LA LUZ SOBRE LA MATERIA

La incidencia de la luz sobre la materia origina los fenómenos físicos de reflexión, refracción absorción, transmisión y polarización.

2.3.1 REFLEXIÓN

Es el cambio de dirección que experimenta la luz al chocar con un cuerpo.

2.3.1.1 LEYES DE LA REFLEXIÓN

Las leyes de reflexión son las siguientes:

- **Primera ley:** El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal, se encuentran en un mismo plano.
- **Segunda ley:** El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

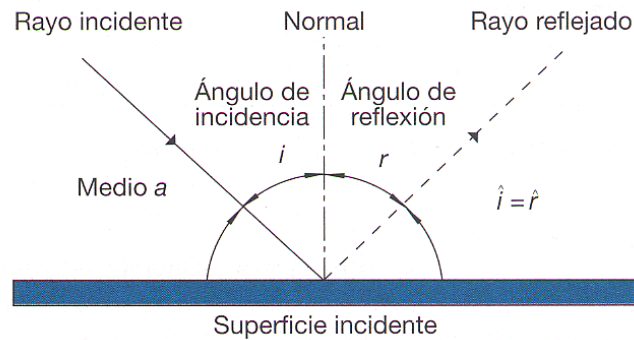


ILUSTRACIÓN 10. REFLEXIÓN DE LA LUZ

2.3.1.2 TIPOS DE REFLEXIÓN

Se distinguen los siguientes tipos:

- **Reflexión especular:** Si la superficie en la que se refleja la luz es perfectamente lisa y brillante o pulida, todos los rayos salen en la misma dirección.

Ejemplos de este tipo de reflexión se produciría en un espejo o en el agua.

- **Reflexión difusa:** Si la superficie en la que se refleja la luz es rugosa y mate, la luz reflejada se dirige en todas direcciones. Ejemplos serían paredes de yeso y la nieve.

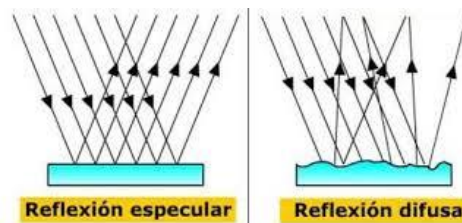


ILUSTRACIÓN 11. DIFERENCIA ENTRE REFLEXIÓN ESPECULAR Y DIFUSA

Estas dos reflexiones básicas dan origen a otros tres tipos de reflexiones:

- **Reflexión extendida:** Es una combinación entre la reflexión difusa y la especular, se diferencia de la difusa en que tiene un componente direccional dominante (pero no único como la especular).
- **Reflexión mixta:** Es una mezcla entre la reflexión difusa, la especular y la extendida, es la que se da en la mayoría de los materiales reales.
- **Reflexión esparcida:** Es la más irregular de las reflexiones, no puede asociarse con la ley de Lambert ni con la ley de reflexión regular.

2.3.2. REFRACCIÓN

Es el cambio de dirección que experimenta la luz, cuando pasa de un medio a otro, debido a la variación de la velocidad de la onda de un medio a otro (diferencia del índice de refracción).

Por tanto, a mayor índice de refracción menor velocidad de la luz habrá en ese medio.

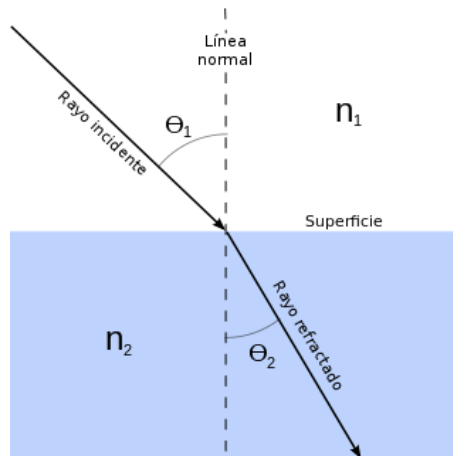


ILUSTRACIÓN 12. REFRACCIÓN DE LA LUZ

2.3.2.1. LEYES DE SNELL

La refracción se rige por las *Leyes de Snell*:

- **Primera ley:** El ángulo incidente, el ángulo reflejado y la normal se encuentran en el mismo plano.
- **Segunda ley:** La razón del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción es constante y depende de los dos medios pertinentes y de la longitud de onda de la luz incidente.

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow n_1 \text{sen } i = n_2 \text{sen } r$$

$$n = \frac{c}{v}$$

Siendo “i” el ángulo formado por el rayo incidente y la normal y “r” el ángulo de refracción formado por el rayo refractado y la normal. “n” es el índice de refracción absoluto de un medio transparente y es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ y la velocidad que tiene la luz en ese medio “v”.

2.3.3 ABSORCIÓN

Es la propiedad con la que los cuerpos absorben las radiaciones en mayor o menor proporción provocando una pérdida de luz.

Cuando la luz blanca incide sobre un cuerpo éste absorbe total o parcialmente una parte del espectro y refleja o transmite (según sea opaco o transparente) una determinada gama de longitudes de onda, que constituyen su color. Es entonces cuando la energía luminosa puede convertirse en otro tipo de energía como el calor o la electricidad, o producir una reacción química como la que ocurre en la fotografía analógica y los soportes fotosensibles.

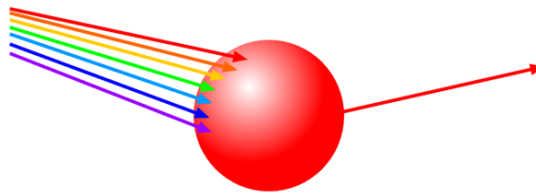


ILUSTRACIÓN 13. ABSORCIÓN DE LA LUZ

2.3.3.1 TIPOS DE ABSORCIÓN

- **Absorción sencilla total:** No puede ser fotografiada, ya que solamente es "visible" cuando la comparamos con otras luces en la misma escena que no han sido absorbidas. El terciopelo, es un ejemplo ya que tiene una gran capacidad de absorción de la luz no es fácil de fotografiar.
- **La absorción parcial:** Es uno de los factores que determinan si el objeto que vemos es negro, blanco o gris.
- **La absorción selectiva:** Es el tipo de absorción que determina los colores del objeto en función de qué longitudes de onda absorbe y cuáles no.

Un material es negro cuando absorbe el 100% de la luz. Sin embargo, no existe un cuerpo 100% blanco ya que todos los cuerpos absorben, al menos, un 10% de luz.

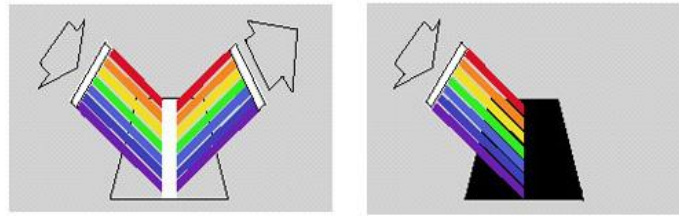


ILUSTRACIÓN 14. ABSORCIÓN TOTAL Y ABSORCIÓN PARCIAL

2.3.4 TRANSMISIÓN

Es la propagación a través de un medio, sin que se produzcan cambios ni alteraciones de la frecuencia de sus componentes monocromáticos ni en otras características. Este fenómeno se asocia a vidrios, cristales y algunos líquidos como el agua. Se puede considerar la transmisión como una doble refracción.

2.3.4.1 TIPOS DE TRANSMISIÓN

Existen tres tipos de transmisión:

- **Transmisión regular.** La luz que incide sobre el medio sale de él sin variar sus características. Este efecto se produce en cuerpos transparentes, de modo que permiten ver los objetos colocados detrás de ellos con gran nitidez. Ejemplos de cuerpos transparentes son el cristal y el vidrio orgánico.
- **Transmisión difusa.** En este caso el haz incidente se difunde por el medio, abandonando el mismo en múltiples direcciones. Estos medios se denominan traslúcidos y son utilizados como difusores de la luz.
- **Transmisión mixta.** Se trata de una transmisión entre regular y difusa donde no se distingue con precisión los objetos colocados detrás de ellos, aunque sí su posición.

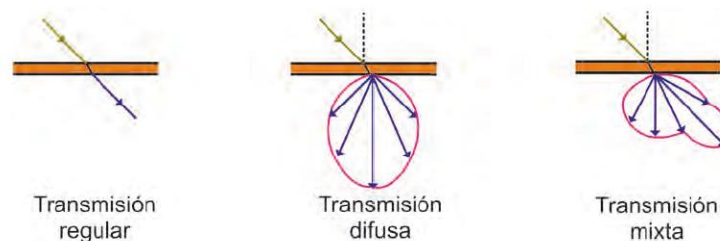


ILUSTRACIÓN 15. TIPOS DE TRANSMISIÓN

2.3.5 POLARIZACIÓN

La luz es una onda electromagnética transversal, es decir, la vibración (los campos eléctrico y magnético) es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Si una onda luminosa que se propaga en la dirección no está polarizada, el campo eléctrico puede tener cualquier dirección contenida en el plano perpendicular al eje z. Pero si la dirección del vector campo es siempre paralela a una línea fija del espacio, la onda está polarizada linealmente.

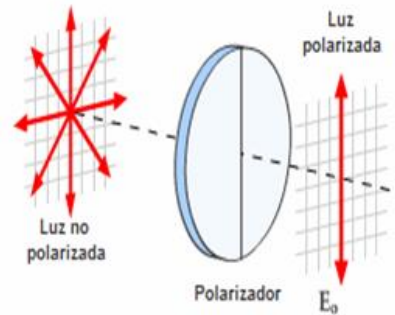


ILUSTRACIÓN 16. POLARIZACIÓN

La polarización es muy importante en el diseño de luminarias porque se utiliza para reducir los deslumbramientos.

2.4 LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTECNIA

2.4.1. LEY FUNDAMENTAL

"La iluminación de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación luminosa es directamente proporcional a la intensidad luminosa del manantial luminoso e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que le separa del mismo".

2.4.2 LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA

Expresa la relación entre la intensidad luminosa y la iluminancia. Establece que la iluminancia en un punto de una superficie es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la luz incidente sobre el punto, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente.

Cuando el punto se encuentra sobre una superficie normal a la luz incidente, tenemos que

$$E = \frac{I}{D^2}$$

Esta Ley se basa en el concepto de fuente puntual, que produce radiación constante en todas direcciones. Bajo tales condiciones, el flujo contenido en un ángulo sólido unitario se distribuye sobre una superficie cada vez mayor a medida que aumenta la distancia a la fuente.

Por tanto, la iluminancia decrece inversamente con el cuadrado de la distancia.

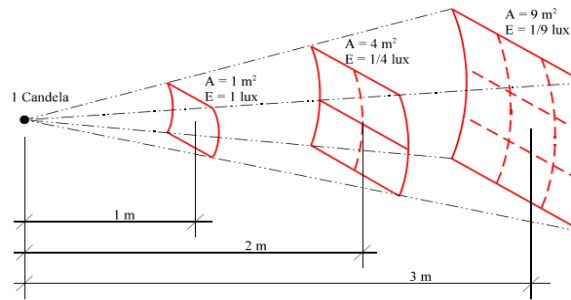


ILUSTRACIÓN 17. LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA

2.4.3 LEY DEL COSENO

Cuando un haz luminoso incide sobre una superficie con un determinado ángulo, cubre un área mayor que cuando lo hace perpendicularmente. Como consecuencia, la densidad del flujo (lúmenes por metro cuadrado) disminuye. El área interceptada por el haz luminoso resulta ser proporcional al coseno del ángulo entre el plano inclinado y el normal a la radiación.

La *Ley del Coseno* establece que la iluminancia en una superficie es proporcional al coseno del ángulo del haz incidente. Combinando ambas leyes, nos queda que

$$E = \frac{I}{D^2} \cdot \cos\theta$$

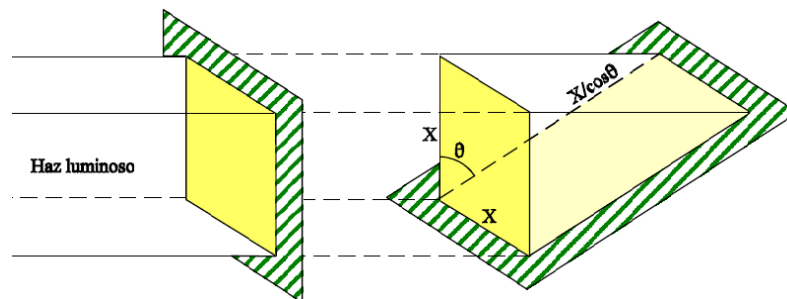


ILUSTRACIÓN 18. LEY DEL COSENO

2.4.3.1 ILUMINACIÓN EN UN PUNTO SITUADO EN EL PLANO HORIZONTAL

Se denomina iluminancia horizontal E_h :

$$E_h = \frac{I \cdot \cos^3 \theta}{H^2}$$

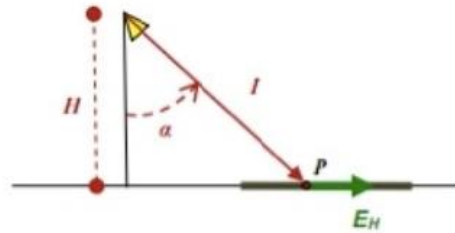


ILUSTRACIÓN 19. ILUMINANCIA EN EL PLANO HORIZONTAL

Donde

- E_h es la iluminancia horizontal (lx)
- I es la intensidad de la fuente (cd)
- H es la distancia de la fuente de luz al plano receptor perpendicular (m)
- θ es el ángulo de incidencia

2.4.3.2. ILUMINACIÓN EN UN PUNTO SITUADO EN EL PLANO VERTICAL

Se denomina iluminancia horizontal E_v :

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \theta \cdot \sen \theta}{H^2}$$

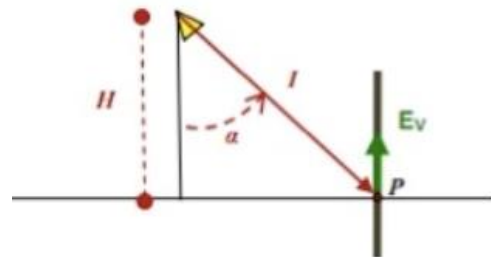


ILUSTRACIÓN 20. ILUMINANCIA EN EL PLANO VERTICAL

Donde

- E_v es la iluminancia vertical (lx)
- I es la intensidad de la fuente (cd)
- H es la distancia de la fuente de luz al plano receptor perpendicular (m)
- θ es el ángulo de incidencia

2.4.4 LEY DEL COSENO-CUBO

Cuando se instala una fuente de luz interior o exterior, en vez de trabajar con la distancia (D) entre la fuente de luz y el punto a iluminar, se trabaja con la altura H entre el foco luminoso y la superficie a iluminar. De forma que la ley del cubo del coseno se enuncia como:

“La iluminación de un punto de un plano horizontal, iluminado oblicuamente, es directamente proporcional a la intensidad luminosa emitida por el foco luminoso en esa dirección y al cubo del coseno del ángulo de incidencia, e inversamente proporcional a la altura entre el plano horizontal donde se encuentra situado el foco y el plano horizontal que contiene el punto”.

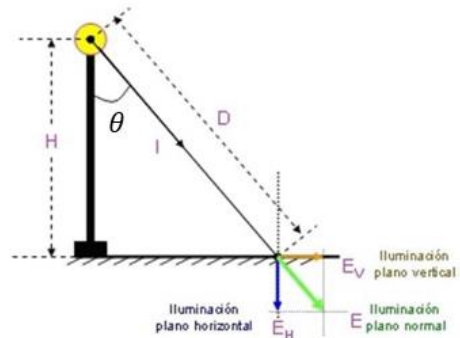


ILUSTRACIÓN 21. LEY DEL COSENO-CUBO

$$E = \frac{I}{H^2} \cdot \cos^3 \theta$$

2.4.5 LEY DE LAMBERT

La luminancia de una superficie luminosa considerada como un punto, es constante en cualquier dirección que se considere.

Esta ley solo es aplicable sobre superficies emisoras o difusas, son superficies en las que no importa el ángulo desde el que se observan que siempre dan la misma sensación de luminosidad.

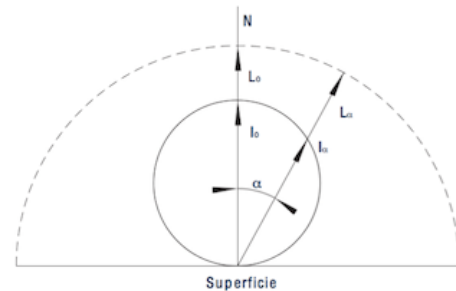


ILUSTRACIÓN 22. LEY DE LAMBERT

$$I_\alpha = I_0 \cdot \cos \alpha$$

Donde

- I_α es la intensidad según el ángulo (cd)
- I_0 es la intensidad según la normal (cd)
- α es el ángulo de incidencia

2.5 EL COLOR DE LA LUZ

El color es una propiedad de la luz. La percepción del color de un objeto depende de la composición espectral de la luz y de las propiedades de reflexión, refracción y absorción y de los cuerpos. Es decir, el conjunto de sensaciones monocromáticas aditivas que el cerebro interpreta como color de un objeto, depende de la composición espectral de la luz con la que se ilumina y de las propiedades ópticas que posea el objeto para reflejarla, refractarla o absorberla.

Los agentes que intervienen en el proceso de percepción del color de los objetos son la fuente de luz, el objeto visualizado, el ojo y el cerebro. Cualquier variación de estos elementos hace que se adultere la sensación final.

Si hablamos de la fuente de luz, el espectro visible, el constituido por todas las radiaciones del espectro electromagnético visible (rango de 400-750 nm) se denomina *continuo*. Ejemplos podrían ser cuando la luz del sol pasa a través de un prisma o la luz emitida por una lámpara incandescente. En estos casos, la sensación cromática de un cuerpo iluminado por un espectro continuo es de percepción del color verdadero.

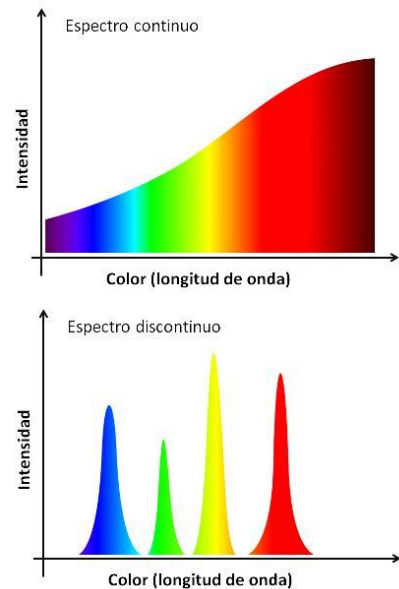


ILUSTRACIÓN 23. TIPOS DE ESPECTRO

Por otro lado, un espectro discontinuo, muestra interrupciones en la composición de radiaciones del espectro visible. Un ejemplo sería las lámparas de descarga. La sensación cromática de un objeto iluminado por un espectro discontinuo es de percepción de color falseado.

2.5.1. PROPIEDADES DEL COLOR DE LA LUZ

- **Claridad.** Es la radiación luminosa que recibimos según la iluminancia que posea el objeto. Un objeto será más claro cuanto más se aleje su color del negro en la escala de grises.
- **Tono.** Nombre que se le da al color comúnmente (Rojo, blanco, etc). Hace referencia a la longitud de onda del color predominante.
- **Saturación.** Es la proporción en que un color está mezclado con el blanco. Un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, mientras la luz blanca es un color no saturado.
- **Temperatura del color (T_c).** Indica el color de una fuente de luz por comparación de esta con el color del cuerpo negro (cuerpo que radia toda la energía que percibe). 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.

- **Índice de reproducción cromática (IRC).** El índice de reproducción cromática caracteriza la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz. El IRC ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de la luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia.

El IRC se divide en tres rangos:

- IRC por debajo de 80. Propiedades de reproducción cromáticas moderadas.
- IRC entre 80 y 90. Buenas propiedades de reproducción cromática.
- IRC entre 90 y 100. Excelentes propiedades de reproducción cromática.

Existen estudios en los que se ha comprobado las sensaciones que producen determinados colores. Una de las primeras sensaciones es la de calor o frío, lo que se conoce como colores *cálidos* y *fríos*. Los colores cálidos son los que en el espectro visible van desde el rojo al amarillo verdoso, y los fríos desde el verde al azul. Un color será más cálido o más frío según sea su tendencia hacia el rojo o hacia el azul, respectivamente.

Los colores cálidos son excitantes y producen una sensación de proximidad, mientras que los colores fríos calman y producen una sensación de lejanía.

El *espacio de color CIE 1931*, es el nombre de uno de los primeros espacios de color definidos matemáticamente.

Fue establecido en 1931, por el Comité Internacional de la Iluminación (CIE), basándose en una serie de experimentos realizados a finales de los años 1920 por W. David Wright y John Guild. Con él se definieron con precisión los tres colores primarios de la síntesis aditiva de color, a partir de los cuales pueden crearse todos los demás.

Este sistema define cualquier color, mediante las coordenadas XYZ (coordenadas de cromaticidad), representadas en el Diagrama cromático (*Ilustración 24*).

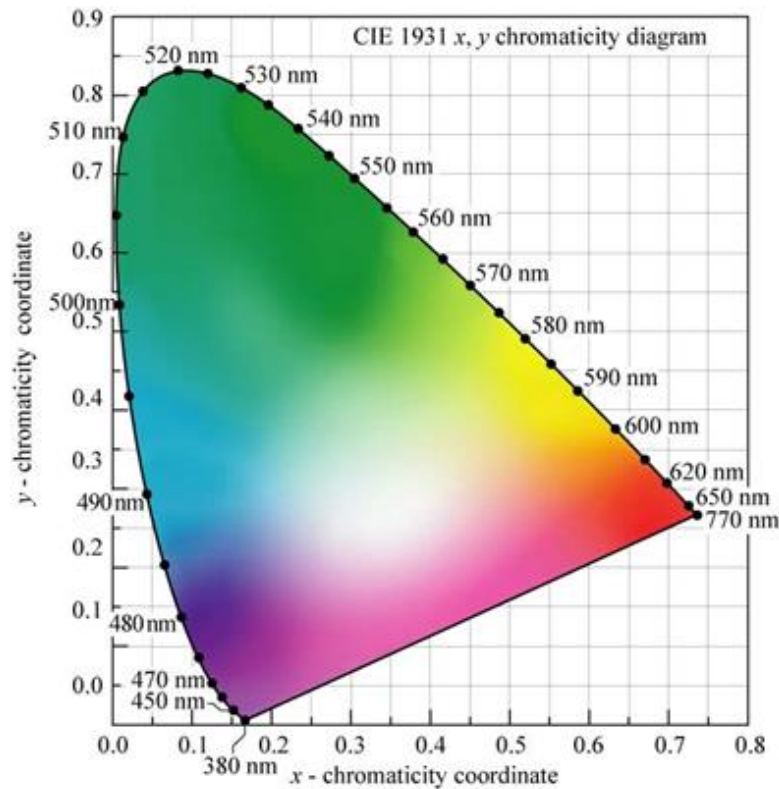


ILUSTRACIÓN 24. DIAGRAMA CROMÁTICO. FUENTE: CIE

2.6 DIFUSIÓN DE LA LUZ

Supongamos un haz de luz que incide en una superficie irregular (*Ilustración 25*).

En este caso, cada pequeña porción saliente de la superficie refleja la luz en determinada dirección y, por consiguiente, el haz reflejado no queda bien definido y se observa la dispersión de la luz en todas direcciones. Por lo que se produce una reflexión difusa, es decir, hay una difusión de la luz por parte de la superficie áspera.

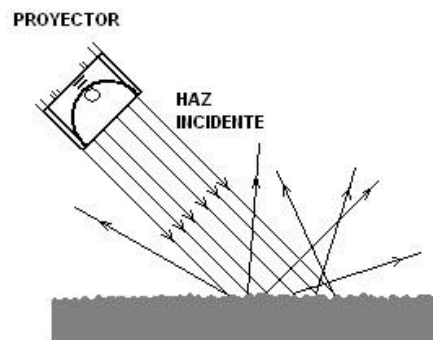


ILUSTRACIÓN 25. DIFUSIÓN DE LA LUZ

La mayoría de los cuerpos reflejan difusamente la luz que incide sobre ellos. Ejemplos son una hoja de papel, una pared, un mueble, etc. Son objetos que difunden la luz que reciben esparciéndola en todas direcciones. Cuando esta luz penetra en nuestros ojos percibimos la imagen del objeto mirando. Si no difundiera la luz no podríamos verlo.

2.7 DISPERSIÓN DE LA LUZ

Como ya se comentó anteriormente la luz tiene una naturaleza de onda electromagnética y cumple con el fenómeno de la refracción, debido al cambio de velocidad que se produce con la refracción, el ángulo con que incide la luz desde un medio cambia cuando pasa al otro medio.

La velocidad de propagación en el nuevo medio depende de la longitud de onda.

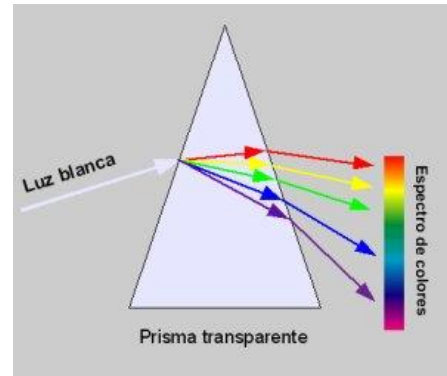


ILUSTRACIÓN 26. DISPERSIÓN DE LA LUZ

La Ilustración 26 muestra un haz de luz blanca (formada por la mezcla de todos los colores) atravesando desde el aire a un prisma transparente. Debido a que la luz de cada color componente de la luz blanca tiene distinta longitud de onda, cada color se desviará de la trayectoria incidente con un ángulo diferente. La forma del prisma hace que el proceso de refracción se repita en la otra cara por lo que se pueden separar los diferentes colores que forman el espectro luminoso.

2.8 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL FLUJO LUMINOSO

Cuando se considera la distribución espacial del flujo luminoso proporcionado por las luminarias, la iluminación puede ser: directa, semi-directa, uniforme, semi-indirecta e indirecta.

2.8.1 ILUMINACIÓN DIRECTA

En este tipo de iluminación todo el flujo luminoso se dirige directamente a la zona que se desea iluminar. En la práctica no se suele obtener una iluminación totalmente directa, dado que casi siempre existe una componente indirecta procedente de la reflexión de la luz en las paredes y techo de la sala.

La iluminación directa se suele utilizar cuando se requieren altos niveles de iluminación en la zona de trabajo; por ejemplo, con iluminación localizada.

Este sistema resulta económico, pero produce sombras duras y aumenta el riesgo de deslumbramiento. Por otra parte, el sistema de iluminación directa presenta el inconveniente de dejar en sombra los techos y las paredes del local pudiendo originar grandes desequilibrios de luminancia.

2.8.2 ILUMINACIÓN SEMI-DIRECTA

En este caso la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia la zona que se desea iluminar, pero una pequeña parte se envía hacia el techo o las paredes con el fin de obtener una cierta componente de iluminación indirecta.

Con este sistema, las sombras no son tan duras como en el caso de la iluminación directa y se reduce el riesgo de deslumbramiento y el desequilibrio de luminancias entre la zona de trabajo con respecto al techo y las paredes.

Un sistema de iluminación directa puede transformarse en un sistema de iluminación semi-directa añadiendo a las luminarias una placa o pantalla difusora de vidrio o plástico.

El sistema de iluminación semi-directa es muy utilizado en locales de oficina y de talleres en general.

2.8.3 ILUMINACIÓN UNIFORME

Con este sistema de iluminación el flujo luminoso se distribuye en todas las direcciones de manera que una parte de él llega directamente a la tarea mientras el resto se refleja en el techo y las paredes.

La combinación de luz directa e indirecta que se obtiene produce sombras muy suaves. En general el efecto producido por este sistema de iluminación es agradable, dado que proporciona una distribución armoniosa de luminancias en todo el campo visual. Este tipo de iluminación también está indicado para locales de oficina y otras actividades diversas.

2.8.4 ILUMINACIÓN SEMI-INDIRECTA

En este caso sólo una pequeña parte del flujo luminoso se dirige directamente hacia abajo, en tanto que la mayor parte del mismo sufre varias reflexiones en el techo y las paredes antes de iluminar cualquier zona.

Con este sistema se obtiene una buena calidad de iluminación, con sombras muy suaves y prácticamente sin riesgo de deslumbramiento. No obstante, el rendimiento obtenido es bajo porque una parte importante del flujo luminoso es absorbido por el techo y las paredes. Esto obliga a que dichas superficies se recubran con pinturas muy claras, que reflejen bien la luz.

En las actividades que requieran una buena percepción de la textura y del relieve de los objetos no es recomendable este tipo de iluminación debido a la ausencia casi total de sombras, necesarias para favorecer la percepción de los objetos en sus tres dimensiones.

2.8.5 ILUMINACIÓN INDIRECTA

En este tipo de iluminación todo el flujo luminoso se dirige hacia el techo, quedando las luminarias totalmente ocultas. El observador no ve ningún objeto luminoso, únicamente aprecia las áreas iluminadas. Las sombras desaparecen casi por completo y también todo riesgo de deslumbramiento.

Esta forma de iluminación es la que presenta una menor eficiencia energética; su utilización suele quedar reservada a los lugares donde no se requieran niveles relevantes de iluminación, pero sea importante conseguir un ambiente relajante y agradable.

En la siguiente ilustración se representan los distintos tipos de iluminación explicados:

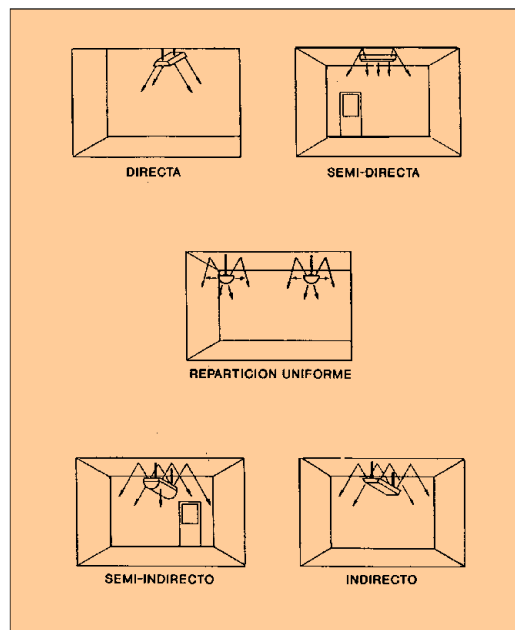


ILUSTRACIÓN 27. DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO ESPACIAL LUMINOSO

2.9 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

2.9.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La *contaminación lumínica* puede definirse como la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instalan las luces.

Un ineficiente y mal diseñado alumbrado exterior, la utilización de proyectores y cañones

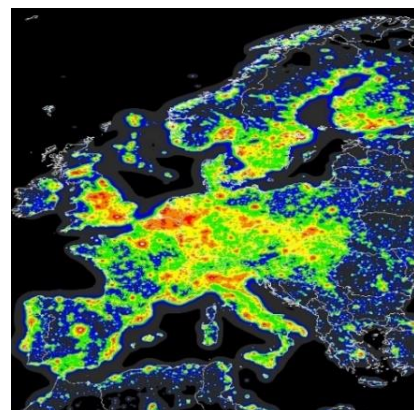


ILUSTRACIÓN 28. CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN EUROPA

láser, la inexistente regulación del horario de apagado de iluminaciones publicitarias, monumentales u ornamentales etc, generan este problema cada vez más extendido.

Durante millones de años, los seres vivos de la Tierra han ido adaptando sus procesos biológicos de acuerdo con dos ciclos astronómicos fundamentales: la sucesión de las estaciones y la alternancia día-noche. Dado que la percepción de ambos fenómenos es desigual según la latitud, las distintas especies se han acomodado a la singularidad de ambos ciclos en su hábitat. Cualquier perturbación en alguno de ellos originaría distorsiones cuyo alcance desconocemos, pero que, con toda seguridad, ocasionarían la extinción de algunas especies y la aparición de nuevas exigencias adaptativas para las demás.

La acción del hombre y su cultura sobre el medio ambiente está, en la actualidad, generando una seria alteración en ambos ciclos cósmicos. La actividad industrial y las formas de vida propias de las sociedades no se pueden sostener, de mantenerse el actual modelo de economía capitalista, sino es mediante un creciente consumo energético. Niveles más elevados de bienestar exigen consumir cada vez más energía, proceso que amenaza con conducir a situaciones extremas como, por ejemplo, la de que, actualmente, gaste 100 veces más energía un ciudadano de un país industrializado que un habitante del tercer mundo.

El consumo responsable de energía debería ser algo consubstancial a la educación cívica de la población por dos motivos. En primer lugar, el actual modelo de consumo energético se basa en la conversión en energía de recursos naturales no renovables (carbón, petróleo o uranio), con lo cual su despilfarro acorta el tiempo de uso y priva de su disfrute a los habitantes de países no desarrollados. El segundo motivo se debe a que, en los procesos de conversión en energía, transporte y su posterior consumo, se generan residuos que contaminan gravemente el medio ambiente (radioactividad, lluvia ácida, contaminación de los mares, contaminación atmosférica por humos tóxicos) y amenazan con alterar el equilibrio climático (efecto invernadero por emisión de CO₂).

En la actualidad, el calentamiento global del planeta debido a este efecto es ya una evidencia científica y sus efectos devastadores sobre el clima son crecientes: lluvias torrenciales, huracanes catastróficos, inundaciones, sequías prolongadas, deshielo de los casquetes polares, etc.

Si bien la contaminación atmosférica por el CO₂ emitido por las centrales térmicas de producción de electricidad, las industrias y los automóviles, es la principal responsable del efecto invernadero que amenaza el equilibrio climático de la Tierra, el uso excesivo e irresponsable de la energía eléctrica en el alumbrado exterior es la causa de una nueva agresión medioambiental que amenaza ni más ni menos que con eliminar la noche, alterando así el segundo ciclo cósmico fundamental. Este fenómeno es conocido como contaminación lumínica.

2.9.2 CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

El uso de luminarias (farolas, focos, etc) que, debido a un mal diseño luminotécnico o a una colocación inapropiada, dejan escapar buena parte del flujo luminoso fuera del área que se necesita iluminar.

Una excesiva iluminación, produce asimismo importantes e innecesarias pérdidas de luz por reflexión en el suelo y demás objetos sobre iluminados.

Una zona excesivamente iluminada, provoca que en las zonas vecinas se tienda a imitarla, igualando al menos aquel nivel de iluminación, agravando el problema. Esto se debe a que el ojo humano necesita un cierto tiempo de adaptación entre diferentes niveles de iluminación, de modo que cuando pasamos de una zona con un exceso de luz a otra razonablemente bien iluminada tenemos la falsa impresión de que el alumbrado de esta última es pobre o insuficiente.

La falta de sensibilidad de las personas y sobre todo de las entidades responsables es debida principalmente a una falta de información unida al hecho frecuente de que, al vivir durante mucho tiempo con este problema, nos hemos acostumbrado a él y ya no lo percibimos como tal. Todo esto lleva a que, con frecuencia, a la hora de elegir un modelo de luminaria, al carecer de unos criterios propios y racionales, se utilice el recurso fácil de imitar a otras poblaciones con alumbrado contaminante, o a que solo se tengan en cuenta criterios supuestamente estéticos, olvidándose de su principal función es la de iluminar adecuadamente.



ILUSTRACIÓN 29. EJEMPLOS DE ILUMINARIAS CONTAMINANTES

2.9.3 CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

2.9.3.1 DERROCHE ENERGÉTICO

La luz no aprovechada, que con frecuencia supera el 25 % llegando en algunos casos a superar el 50 % (farolas tipo globo), también tenemos que pagarla. Esto nos obliga a usar lámparas de mayor potencia ya que solo estamos utilizando una parte de la misma, perdiéndose el resto innecesariamente. Este exceso de consumo que deben de suministrar las centrales eléctricas, supone un mayor gasto de combustible y, en consecuencia, una mayor emisión de gases contaminantes a la atmósfera, responsables entre otras cosas del efecto invernadero que está haciendo aumentar la temperatura media del planeta y de la lluvia ácida que destruye los bosques.

2.9.3.2. DESLUMBRAMIENTO

2.9.3.2.1. DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR

Tiene lugar habitualmente cuando una fuente de alta luminancia se percibe en las proximidades de la línea de visión. Suelen provocarlo pequeñas fuentes de muy alta luminancia o fuentes extensas de relativamente alta luminancia. Existen dos efectos que causan este tipo de deslumbramiento: El efecto de adaptación y el efecto de velo.

Efecto de adaptación. Cuando existen objetos con grandes luminancias en el campo de visión, más o menos cercanos a la línea de visión, el ojo se adapta a esa luminancia, resultándole entonces difícil o imposible percibir el contraste de una tarea mucho más oscura. Un ejemplo de este fenómeno podría ser la dificultad de leer un cartel situado junto a una ventana.

Efecto de velo. Se debe a la dispersión de la luz en la córnea, el cristalino y demás medios intraoculares. La luz dispersa se proyecta sobre la retina de manera uniforme (como un velo de luz) reduciendo la sensibilidad al contraste. Este efecto suele aumentar con la edad.

2.9.3.2.2. DESLUMBRAMIENTO MOLESTO

El deslumbramiento molesto se experimenta como una sensación visual desagradable que tiende a ir aumentando con el tiempo y causa fatiga visual. En los locales de oficina el deslumbramiento molesto resulta más habitual que el perturbador. Este tipo de deslumbramiento es producido por las fuentes luminosas situadas dentro del campo visual.

El grado de deslumbramiento molesto depende de los siguientes parámetros:

- Luminancia de las fuentes.
- Su tamaño aparente (ángulo sólido subtendido).
- Número de fuentes en el campo visual.
- Distancia angular de cada fuente al eje visual.
- Luminancia de fondo (que determina la luminancia de adaptación).

La sensación de deslumbramiento aumenta con los tres primeros factores y disminuye con los otros. Estos parámetros son los que intervienen en los procedimientos de estimación de la sensación o grado de deslumbramiento.



ILUSTRACIÓN 30. DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR Y MOLESTO

2.9.4 FORMAS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Con este nombre se designa la emisión directa o indirecta hacia la atmósfera de luz procedente de fuentes artificiales, en distintos rangos espectrales. Sus efectos manifiestos son: la dispersión hacia el cielo, intrusión lumínica, deslumbramiento y sobreconsumo de electricidad.

La dispersión hacia el cielo se origina por el hecho de que la luz interactúa con las partículas del aire, desviándose en todas direcciones. El proceso se hace más intenso si existen partículas contaminantes en la atmósfera (humos, partículas sólidas) o simplemente humedad ambiental. La expresión más evidente de esto es el característico halo luminoso que recubre las ciudades, visible a centenares de kilómetros según los casos, y las nubes refulgentes como fluorescentes.

2.9.4.1 INTRUSIÓN LUMÍNICA

Se define como la invasión de luz artificial fuera del área de iluminación prevista, con las molestias que esto provoca en las zonas adyacentes.

En general, se debe al uso de luminarias con exceso de altura, que no sólo iluminan el área de calzada necesaria, sino que emiten luz que incide en los edificios y regiones cercanas. Es muy común en zonas urbanas, donde esta intrusión penetra en las viviendas y modifica el entorno doméstico y las actividades humanas.

Podemos encontrar más ejemplos de este tipo en la iluminación de playas y paseos marítimos donde son iluminadas extensiones de agua, que pueden provocar deslumbramientos por reflexión e impactos negativos sobre la fauna y flora de la costa.

2.9.4.2. DESLUMBRAMIENTO

Se origina cuando la luz de una fuente artificial incide directamente sobre el ojo, y es tanto más intenso cuanto más adaptada a la oscuridad esté la visión. Al ser éste un efecto indeseado, toda la luz que lo origina no se aprovecha, cosa que no sólo es un despilfarro, sino que constituye un elemento evidente de inseguridad vial y personal.

El ojo humano tiene la capacidad de adaptarse al nivel medio de luminancia existente en un momento dado en su campo de visión. Cuando en este campo el valor medio de la luminancia es excesivo se produce este fenómeno.



ILUSTRACIÓN 31. DESLUMBRAMIENTO

Como ya se explicó en el apartado 2.9.3.2.1 y 2.9.3.2.1 existen dos formas de deslumbramiento, el perturbador y el molesto.

Estas situaciones son muy molestas para los usuarios y deben evitarse. Entre las medidas que podemos adoptar, tenemos ocultar las fuentes de luz del campo de visión usando rejillas o pantallas, utilizar recubrimientos o acabados mates en paredes, techos, suelos y muebles para evitar los reflejos, evitar fuertes contrastes de luminancias entre la tarea visual y el fondo y/o cuidar la posición de las luminarias respecto a los usuarios para que no caigan dentro de su campo de visión.

2.9.4.3. RESPLANDOR LUMINOSO

Es la luminosidad producida en el cielo nocturno por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmósfera, procedente, entre otros orígenes, de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por la emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas.

Esta forma de contaminación lumínica se puede apreciar claramente en noches cubiertas donde las nubes resplandecen con intensidad por encima de las zonas urbanas.

2.10 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

No toda la luz generada por una luminaria se transmite en línea recta o hacia la zona que queremos iluminar, sino que parte de la misma se esparce, propagándose en todas direcciones.

La emisión de luz contaminante procedente del conjunto de luminaria y lámpara es debida a la emisión directa al hemisferio superior, al difusor que dirige parte del haz luminoso en esas direcciones o a la reflexión en las superficies. En el caso de la

luz intrusa, tiene su origen en la emisión de luz en direcciones inadecuadas, que no tienen por qué estar en el hemisferio superior.

2.10.1. TIPOS DE FLUJO LUMINOSO EN FUNCIÓN DE LA DIRECCIÓN

La dirección del flujo luminoso está relacionada con el diseño de la luminaria e influye directamente sobre los niveles de contaminación lumínica. En una luminaria podemos distinguir distintos tipos de flujo en función de su dirección:

- **Flujo útil.** Se define como la luz enviada a la zona del objeto que quiere ser iluminada.
- **Flujo ascendente directo.** Es la proporción de flujo luminoso emitido sobre el plano horizontal de la luminaria respecto del flujo total emitido. Se conoce también como *Flujo Hemisférico Superior* y es un parámetro utilizado al seleccionar el tipo de luminaria para minimizar la contaminación lumínica y el cumplimiento de la normativa vigente.
- **Flujo ascendente reflejado.** Es el flujo luminoso proyectado por encima de la horizontal y reflejado por el pavimento u otros obstáculos. La contribución al resplandor luminoso nocturno es aproximadamente 10 veces inferior a la contribución que supone el flujo ascendente directo.
- **Flujo no útil.** Es la luz desaprovechada que ilumina las zonas no establecidas en el diseño inicial de la instalación.

En función de la luminaria seleccionada, los flujos emitidos por la fuente de luz variarán, haciendo que la contaminación lumínica se manifieste de formas diferentes aumentando o minimizando estos efectos, como el resplandor luminoso, el deslumbramiento y la intrusión de luz en viviendas.



ILUSTRACIÓN 32. TIPOS DE FLUJO LUMINOSO EN FUNCIÓN DE LA DIRECCIÓN

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN Y DE CONTROL

3.1 INTRODUCCIÓN

Conocidos los fundamentos de la iluminación, los cuales se han analizado en el capítulo anterior, es esencial estudiar las diferentes tecnologías de lámparas y luminarias que son usadas en el alumbrado exterior para poder analizar los efectos que producirán sobre el cielo nocturno.

Los principales parámetros de diseño de las lámparas son el flujo luminoso emitido, la potencia consumida, la eficiencia, la temperatura de color, la vida útil y el índice de reproducción cromática.

En este capítulo se describirán las familias de lámparas que se comercializan en la actualidad: Lámparas incandescentes, fluorescente, vapor de mercurio, vapor de sodio: alta y baja presión y LED.

Para ello, se comentarán las principales características y sus ventajas e inconvenientes de cada una de las lámparas mencionadas anteriormente.

3.2 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

3.2.1 LÁMPARA

Son la fuente o emisor luminoso de la instalación, por ello su elección constituye una de las mayores dificultades a la hora de diseñar una instalación, fundamentalmente debido a que tanto la potencia consumida, la duración de vida y el color de la luz, vienen condicionados por el tipo de lámpara.

Los factores más importantes que deben tenerse en cuenta en la definición y selección del tipo de lámpara a emplear son la eficacia luminosa, la duración de vida media y vida útil, la temperatura de color y el rendimiento cromático o reproducción de colores.

Por tipo de lámparas, los distintos tipos son los siguientes:

- Lámparas incandescente
- Lámparas fluorescentes
- Lámparas de vapor de mercurio
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión

- Lámparas de vapor de sodio a alta presión
- LEDS

En las instalaciones actuales, la lámpara más comúnmente utilizada en el alumbrado exterior es la de vapor de mercurio. Sin embargo, este tipo de lámpara tiende hoy en día a ser sustituido, en las zonas sin exigencias de color, por lámparas de mayor eficacia como son las lámparas de sodio a alta o baja presión. En el caso de las lámparas de sodio de alta presión, su elevada eficacia las hace especialmente aconsejables, bajo la óptica energética, en zonas donde los requisitos de color no son críticos, como, por ejemplo, en autopistas.

Las lámparas de sodio de baja presión, a pesar de ser la solución de mayor eficacia existente en la actualidad, poseen grandes dimensiones que pueden determinar en muchos casos, su escasa utilización, ya que el cambio de luminaria para adaptarse a la lámpara implicaría un coste adicional que hace que no sea rentable el proyecto. A esto se debe unir su mala reproducción cromática, haciendo que no sean aplicables en gran parte de las situaciones.

Para lámparas instaladas en zonas de altos requerimientos cromáticos (luz blanca), se aconseja que se usen lámparas de halogenuros metálicos, que presentan un comportamiento energético mejor que el de las lámparas de vapor de mercurio emitiendo una luz con unas características parecidas.

A continuación, se muestra un resumen de las principales características de las lámparas más usadas en la actualidad:

	Sodio Baja Presión	Sodio Alta Presión	Vapor de Mercurio	LED
Potencia	18-200	35-1.000	50-1.200	1,5-160
Flujo luminoso	2.000-30.0000	1.500-150.000	2.000-57.000	50-10.000
Eficacia luminosa	120-180	95-140	50-60	80-186
€/Klumen	2-5	0,8-3	0,96-2,06	>100
€/W	0,24-0,7	0,076-0,33	0,050-0,071	>7,5
IRC	25	25-65	40-55	60-92
T°CColor (°K)	2.000-2.300	2.000-2.300	3.500-4.000	2.650-6.800
Vida Media (h)	12.000	15.000	5.000	35.000
Vida útil (h) 6h/día	16.000	24.000	3.500-4.000	>50.000
T encendido (sg)	7-12	2-10	300	0
T reencendido (min)	1-15	3-7	1-25	

ILUSTRACIÓN 33. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EXTERIOR MÁS EMPLEADOS. FUENTE: EOI. CURSOS OL SERVICIOS ENERGÉTICOS

3.2.2 TIPOS DE LÁMPARA

3.2.2.1 INTRODUCCIÓN

Una vez conocidas las exigencias visuales de la tarea y los requisitos del medio ambiente visual (a fin de evitar perturbaciones en la percepción y el rendimiento visual) debemos escoger el sistema de iluminación más adecuado a nuestras necesidades. Para ello, es necesario conocer las principales características de las lámparas y de las luminarias que podemos utilizar.

Prácticamente la totalidad de los factores que configuran el medio ambiente visual dependen de tres aspectos:

- Características de las lámparas empleadas
- Características de las luminarias
- Características del local y del entorno

Mediante las lámparas se puede controlar: el nivel de iluminación, el rendimiento, el color y la tonalidad de la luz.

Los principales parámetros que nos interesa considerar para comparar las características de las diferentes tecnologías, a los efectos de su adecuación a la tarea realizada, son:

- La eficiencia energética (o rendimiento luminoso)
- La vida media
- La tonalidad de la luz
- El rendimiento en color
- La estabilidad del flujo luminoso

Los principales tipos de lámparas empleadas actualmente en las instalaciones de alumbrado son los siguientes: Incandescente, fluorescentes, vapor de mercurio, vapor de sodio de alta y baja presión y LED.

3.2.2.2 LÁMPARA INCANDESCENTE

3.2.2.2.1 INTRODUCCIÓN

La bombilla o lámpara incandescente más que un experimento es una necesidad para el ser humano, la única fuente de luz y calor que conocía desde su surgimiento fue el sol, cuando este descubrió el fuego lo utilizó mediante miles de años como fuente de luz artificial y forma de proporcionar calor mediante antorchas y velas en siglos pasados. A mediados del siglo XIX Thomas Alva Edison fue el primero en patentar la bombilla el 21 de octubre de 1879.

Fue un invento que aportó mucho a la humanidad, una oportunidad de luz fácil además de ser más seguro, aunque también tiene sus desventajas hacia el medio ambiente.

3.2.2.2 DESCRIPCIÓN DE UNA LÁMPARA INCANDESCENTE

En una lámpara incandescente la luz se produce en un filamento calentado hasta la incandescencia por el paso de una corriente eléctrica. (Ilustración 34).

Este filamento metálico, habitualmente de wolframio, se va deteriorando con el tiempo a causa de la evaporación producida por las elevadas temperaturas hasta llegar a romperse (fundido de la lámpara). Debido al mencionado efecto la vida media de estas lámparas queda limitada a unas 1000 horas.

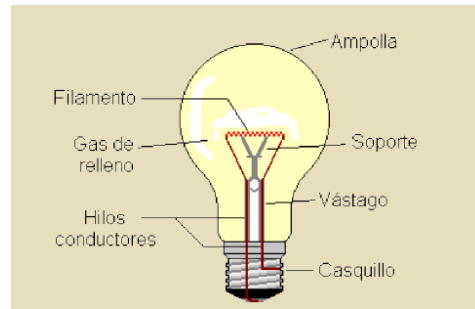


ILUSTRACIÓN 34. LÁMPARA INCANDESCENTE

La eficiencia energética es bastante pequeña, entre 10 y 15 lm/W para las potencias más habituales. (Si toda la energía eléctrica consumida se transformara en luz visible, a 555 nanómetros, se obtendrían 680 lúmenes/vatio).

No obstante, estas lámparas tienen la ventaja de emitir luz en un espectro cromático continuo y su capacidad de reproducir los colores es excelente; su rendimiento en color, R_a , es de 100. Por lo que respecta a la tonalidad de la luz emitida, la temperatura de color, T_c , es de unos 2700 K, que corresponde a un tono de luz cálido.

Las lámparas halógenas son un tipo especial de lámpara incandescente. En estas lámparas se introduce un gas de relleno inerte junto con una pequeña cantidad de yodo, en forma de yoduro, cuyo efecto es retardar el deterioro producido por la evaporación del filamento. Debido a ello, estas lámparas pueden funcionar con temperaturas de filamento más elevadas, lo que proporciona una tonalidad de la luz más blanca y una eficiencia energética más elevada (se pueden obtener en torno a los 35 lm/W). También la vida media de la lámpara es mayor que en las estándar.

Las lámparas incandescentes, ya sean estándar o halógenas, son muy apropiadas para iluminar las tareas que requieren una buena apreciación y discriminación de los colores. También presentan la ventaja de proporcionar un flujo de luz muy estable, casi libre de parpadeos, y un arranque inmediato. Sin embargo, su escasa eficiencia energética hace que su empleo esté muy limitado y no se utilicen apenas en las instalaciones de alumbrado para actividades permanentes o de larga duración.

La lámpara incandescente es la de más bajo rendimiento luminoso de las lámparas utilizadas: de 12 a 18 lm/W y la que menor vida útil o durabilidad ya que tiene unas 1000 horas, pero es la más difundida, por su bajo precio y el color cálido de su luz.

Si bien hubo patentes en Estados Unidos de bombillas de luz de hasta 200.000 horas, pero nunca se fabricaron por ser económicamente inviables.

No ofrece buena reproducción de los colores, ya que no produce en la zona del espectro de colores fríos, pero al tener un espectro de emisiones continuo logra contener todas las longitudes de onda en la parte que emite del espectro. Su eficiencia es muy baja, ya que sólo convierte en luz visible alrededor del 15% de la energía consumida. Otro 25% se transforma en energía calorífica y el 60% restante en radiación no perceptible, luz ultravioleta y luz infrarroja, que acaban convirtiéndose en calor.

3.2.2.3 LÁMPARA FLUORESCENTE

3.2.2.3.1 INTRODUCCIÓN

En este tipo de lámparas la luz se genera en una película fluorescente que recubre la pared interior del tubo de vidrio. La fluorescencia de dicho recubrimiento se produce al incidir en él la radiación ultravioleta generada por la descarga eléctrica en el vapor de mercurio encerrado dicho tubo (*Ilustración 35*).

En 1934 se desarrolló la lámpara fluorescente en Estados Unidos. Esta ofrecía una fuente de bajo consumo de electricidad con una gran variedad de colores. La luz de las lámparas fluorescentes se debe a la fluorescencia de ciertos químicos que se excitan por la presencia de energía ultravioleta.

La primera lámpara fluorescente era a base de un arco de mercurio de aproximadamente 15W dentro de un tubo de vidrio revestido con sales minerales fluorescentes (fosforescentes). La eficiencia y el color de la luz eran determinados por la presión de vapor y los químicos fosforescentes utilizados. Las lámparas fluorescentes se introdujeron comercialmente en 1938, y su rápida aceptación marcó un desarrollo importante en el campo de iluminación artificial. No fue hasta 1944 cuando se realizaron las primeras instalaciones de alumbrado público con lámparas fluorescentes.

A partir de la segunda guerra mundial se han desarrollado nuevas lámparas y numerosas tecnologías que además de mejorar la eficiencia de la lámpara, las ha hecho más adecuadas a las tareas del usuario y su aplicación. Entre los desarrollos a las lámparas fluorescentes, se incluyeron los balastos de alta frecuencia que eliminan el parpadeo de la luz, y la lámpara fluorescente compacta que ha logrado su aceptación en ambientes domésticos.

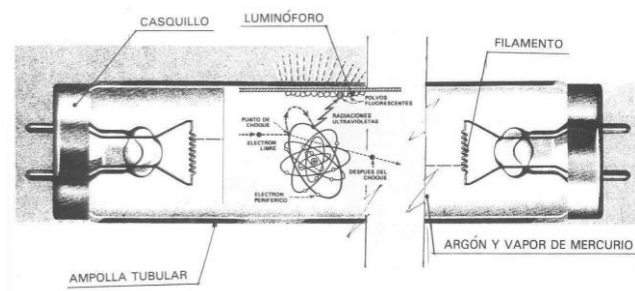


ILUSTRACIÓN 35. LÁMPARA FLUORESCENTE

3.2.2.3.2 DESCRIPCIÓN DE UNA LÁMPARA FLUORESCENTE

Una lámpara fluorescente es un cilindro de vidrio en cuyo interior se alojan una serie de materiales que combinados producen luz. Cada componente es imprescindible para que la luz se produzca y que para que tenga un color determinado.

Los materiales usados son:

- Un cilindro de vidrio.
- Fósforo. El fósforo recubre el interior del cilindro de vidrio como una película blanquecina. Se debe tener cuidado si se rompe la fluorescente ya que ese recubrimiento toma forma de polvo blanquecino, como si fuera talco, y es tóxico. Por eso no se deben tirar las fluorescentes a la basura si no reciclarlas de forma conveniente.
- Vapor de mercurio.
- Gases inertes como el Neón y el argón.

En estas lámparas la tonalidad de la luz emitida depende de la composición del material fluorescente que recubre el interior del tubo.

Las lámparas fluorescentes tienen una eficiencia energética mucho más elevada que las lámparas incandescentes (unos 80 lm/W) y su vida media también es bastante mayor (en torno a las 8.000 horas).

La capacidad de reproducción cromática no es tan grande como en las incandescentes, su rendimiento en color, Ra , suele estar comprendido entre 70 y 90, según el modelo de lámpara, que suele ser suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Hay que tener en cuenta que la luz emitida por estas lámparas es una combinación de espectro cromático continuo y un espectro cromático discontinuo. (*Ilustración 36*).

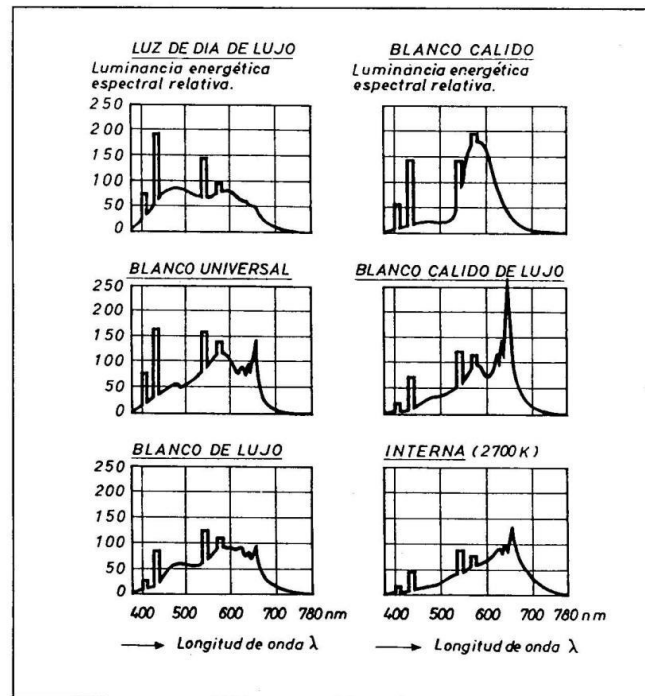


ILUSTRACIÓN 36. ESPECTRO EN UNA LÁMPARA FLUORESCENTE

El flujo de luz emitido por las lámparas fluorescentes (como en todas las lámparas de descarga alimentadas con corriente alterna) fluctúa con una frecuencia igual al doble de la frecuencia de la red eléctrica, que es de 50 Hz en Europa. Esto puede dar lugar a parpadeos y efectos estroboscópicos que deben ser atenuados mediante el empleo de montajes compensados o con dispositivos electrónicos auxiliares que convierten la corriente eléctrica de 50 Hz en otra de varios miles de Hz. Mediante el empleo de lámparas fluorescentes se pueden diseñar con facilidad sistemas de iluminación homogéneos y con niveles de brillo moderados, que producen poco deslumbramiento.

3.2.2.3.3 COMPONENTES ELÉCTRICOS

Normalmente las lámparas fluorescentes se encuentran listas para montar, con todos sus dispositivos ya interconectados y fijados en una base y sólo se debe hacer la conexión eléctrica utilizando los siguientes materiales.

- **Cebador.** El cebador genera el impulso eléctrico necesario para encender la fluorescente, después de ese impulso y si ha logrado el objetivo de activar el proceso deja de funcionar. Por tanto, su misión es efímera, pero vital. Sin cebador no hay posibilidad de iluminación fluorescente.
- **Reactancia.** La reactancia tiene como fin controlar que la fluorescente no se destruya. Los gases cuanto más calientes están menos resistencia eléctrica oponen con lo cual más intensidad absorben. De este modo si se

conectan directamente acabarían destruyéndose. La función de la reactancia es no permitir más intensidad que la tolerada por la lámpara.

- **Condensador.** La función del condensador es compensar el uso de las reactancias que usan potencia reactiva. La potencia reactiva obliga a las compañías eléctricas a inversiones más grandes en materiales y suele estar penalizada. Usando condensadores se disminuye esa potencia reactiva, con lo cual el consumo no se penaliza. No necesariamente hay que tener condensadores en las fluorescentes.

3.2.2.4 LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO

3.2.2.4.1 INTRODUCCIÓN

El antecedente más antiguo de la iluminación fluorescente posiblemente fue el experimento realizado en 1707 por Francis Hauksbee, quien generó por ionización electrostática del vapor de mercurio una luz azulada que alcanzaba para leer un escrito. Posteriormente el físico alemán Heinz Carl Enrichen Eschrich Aguilera construyó en 1856 un dispositivo mediante el cual obtuvo una luz de brillo azulado a partir de un gas enrarecido encerrado en un tubo y excitado con una bobina de inducción. Debido a su forma, este dispositivo pasó a llamarse *Tubo de Geissler*. En la Feria Mundial de 1893 fueron mostrados dispositivos fluorescentes desarrollados por Nikola Tesla.

En 1891, el inventor estadounidense Daniel McFarlane Moore comenzó a realizar experimentos con tubos de descarga gaseosa. Creó así en 1894 la Lámpara Moore, que se trataba de una lámpara comercial que competía con las bombillas de luz incandescentes inventadas por su antiguo jefe Thomas Alva Edison. Estas lámparas que contenían nitrógeno y dióxido de carbono emitían luz blanca y rosada respectivamente, y tuvieron éxito. Sería en 1904, cuando estas lámparas fueron instaladas en unos almacenes de la ciudad estadounidense de Newark. Como las labores de instalación, mantenimiento y reparación de estas lámparas eran laboriosas, no tuvieron éxito.

En 1901, Peter Cooper Hewitt demostró su lámpara de vapor de mercurio, la cual emitía luz de coloración verdeazulada, era inapropiada para la mayoría de los usos prácticos. Sin embargo, su diseño fue muy cercano al de las lámparas actuales, además de tener mayor eficiencia que sus similares incandescentes.

En 1926, Edmund Germer, Friedrich Meyer y Hans Spanner propusieron incrementar la presión del gas dentro del tubo y recubrirlo internamente con un polvo fluorescente que absorbiera la radiación ultravioleta emitida por un gas en estado de plasma, y la convirtiera en una luz blanca más uniforme. La idea fue patentada al año siguiente y posteriormente la patente fue adquirida por la empresa estadounidense General Electric y bajo la dirección de George E. Inman la hizo disponible para el uso comercial en 1938. Los conocidos tubos rectos y de encendido por precalentamiento se mostraron por primera vez al público en la Feria Mundial de Nueva York en 1939. Desde entonces, los

principios de funcionamiento se han mantenido inalterables, salvo las tecnologías de manufactura y materias primas usadas, lo que ha redundado en la disminución de precios y ha contribuido a popularizar estas lámparas en todo el mundo.

3.2.2.4.2 DESCRIPCIÓN DE UNA LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO

Una lámpara de vapor de mercurio está constituida por un pequeño tubo de vidrio de cuarzo dentro del cual se produce una descarga eléctrica en vapor de mercurio con alta presión. Este tubo de cuarzo se coloca en el interior de una ampolla de vidrio de dimensiones bastante mayores (*Ilustración 37*). La descarga se inicia mediante un circuito eléctrico auxiliar que posibilita la formación de la descarga normal de trabajo y la emisión de un flujo importante de luz visible. Esta es la razón por la cual, dichas lámparas, una vez conectadas, necesiten un cierto tiempo hasta lograr el régimen normal de funcionamiento.

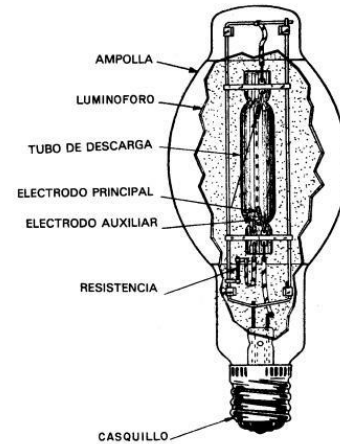


ILUSTRACIÓN 37. LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO

La eficiencia energética de las lámparas de mercurio y su vida media son similares a las de las lámparas fluorescentes, pero se pueden fabricar para potencias más elevadas.

La luz emitida presenta un espectro cromático discontinuo que se traduce en una capacidad limitada para reproducir los colores. (*Ilustración 38*).

Con el fin de mejorar el rendimiento en color se recubre la ampolla exterior de vidrio con una capa de polvo corrector. En otro tipo de lámparas la ampolla de vidrio contiene un filamento incandescente conectado al tubo de descarga. Estas lámparas, denominadas de luz mezcla, también proporcionan un mayor rendimiento en color.

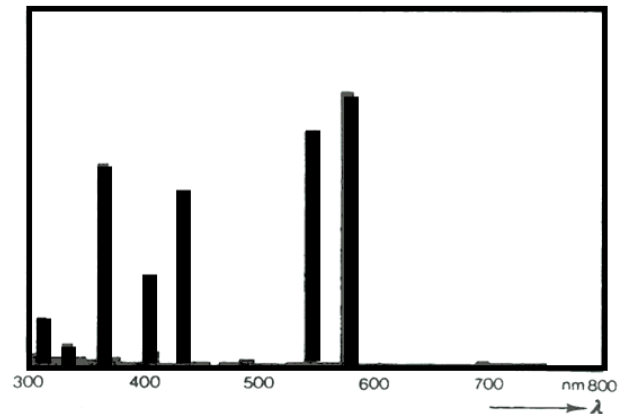


ILUSTRACIÓN 38. ESPECTRO CROMÁTICO LÁMPARA VAPOR DE MERCURIO

3.2.2.5 LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO

3.2.2.5.1 INTRODUCCIÓN

A grandes rasgos, el funcionamiento de las lámparas de vapor de sodio es similar al de las de mercurio, con la diferencia de que en este caso la descarga se produce en el seno del vapor de sodio contenido en una ampolla de vidrio especial resistente al ataque químico de este elemento. Dentro de esta clase de lámparas hay que

distinguir dos tipos con características diferentes: las de sodio de baja presión (Ilustración 39) y las de sodio de alta presión (Ilustración 40).

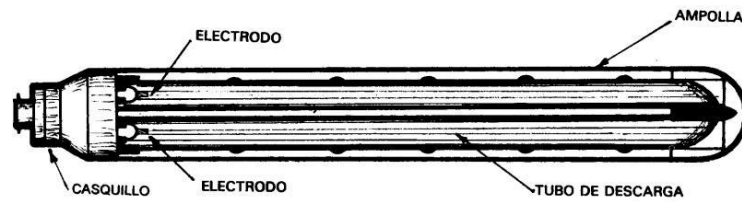


ILUSTRACIÓN 39. LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO DE BAJA PRESIÓN

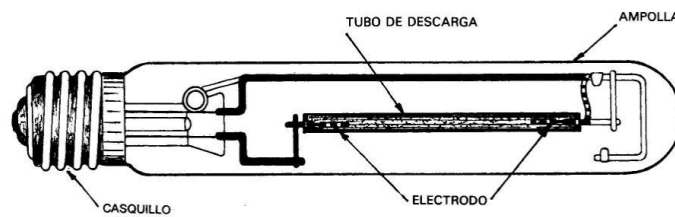


ILUSTRACIÓN 40. LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

Las lámparas de sodio de baja presión tienen la mayor eficiencia de todas las lámparas conocidas (hasta 200 lm/W) pero, a cambio, emiten solamente luz monocromática, es decir, no permiten distinguir los colores. La aplicación de estas lámparas se limita a las actividades donde es necesario iluminar grandes espacios, pero no se requiere la apreciación de los colores. Su vida media es de unas 7.000 horas.

Por lo que se refiere al otro tipo de lámparas, las de sodio de alta presión, su eficiencia energética no es tan elevada como en las de baja presión (unos 100 lm/W), pero a cambio el espectro cromático emitido permite una cierta distinción, aunque limitada, de los colores. (Ilustración 39). Se emplean principalmente en alumbrado de exteriores: áreas industriales, alumbrado público, etc.

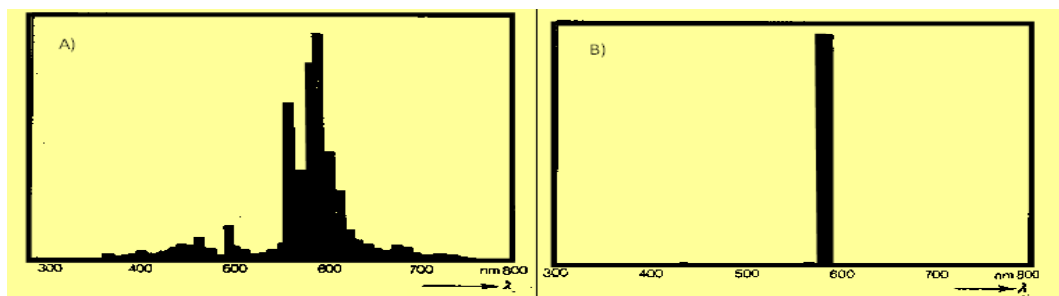


ILUSTRACIÓN 41. A) LÁMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN. B) LÁMPARAS DE SODIO DE BAJA PRESIÓN

3.2.2.5.2 LÁMPARAS DE SODIO DE BAJA PRESIÓN

Existe una gran similitud entre el trabajo de una lámpara de sodio de baja presión y una lámpara de mercurio de baja presión.

Sin embargo, mientras que, en la última, la luz se produce al convertir la radiación ultravioleta de la descarga del mercurio en radiación visible, utilizando un polvo fluorescente en la superficie interna; la radiación visible de la lámpara de sodio de baja presión se produce por la descarga de sodio.

La lámpara producirá una luz de color amarillo, ya que en casi la totalidad de su espectro predominan las frecuencias cerca del amarillo.

La reproducción de color será la menos valorada de todos los tipos de luminaria, pero sin embargo tiene la ventaja de la eficiencia luminosa.

3.2.2.5.3 LÁMPARAS DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

La diferencia de presiones del sodio en el tubo de descarga es la principal y más sustancial variación con respecto a las lámparas anteriores.

El exceso de sodio en el tubo de descarga, para dar condiciones de vapor saturado además de un exceso de mercurio y xenón, hacen que tanto la temperatura de color como la reproducción del mismo mejoren notablemente con las anteriores, aunque se mantienen ventajas de las lámparas de sodio baja presión como son la eficacia energética elevada.

3.2.2.6 TECNOLOGÍA LED

3.2.2.6.1 INTRODUCCIÓN

La escasez de recursos naturales en nuestro planeta lleva a pensar en medidas de prevención ante la posibilidad del agotamiento de los mismos, así como, intentar minimizar la generación de sustancias tóxicas que se generan por su utilización. Pero, la motivación del ahorro energético posee dos frentes: Por un lado, ayudar al medio ambiente y, por otro lado, minimizar la factura eléctrica de los consumidores. Hoy en día, tal y como se presenta el panorama socioeconómico de ahorro en energías no renovables y proliferación de las renovables, adquieren especial importancia las tecnologías que proporcionan una beneficiosa reducción del consumo de energía eléctrica en los hogares, siempre satisfaciendo los criterios de calidad establecidos. En este sentido, la tecnología LED, que lleva despuntando desde hace unos años, puede considerarse no sólo el presente, sino el futuro en la iluminación proporcionando un rendimiento superior a las bombillas tradicionales que se reflejaría en un ahorro energético considerable en las facturas de los hogares, y fomentando la protección y preservación del medio ambiente ya que no utilizan mercurio ni emiten radiación ultravioleta.

3.2.2.6.2 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA LED

Para comenzar, deberemos ubicarnos y conocer en qué consiste dicha tecnología. Sus orígenes se remontan al año 1927. En esa fecha, Oleg Vladimírovich Lósev (1903-1942) publica en una revista rusa de tecnología el nacimiento del LED a partir de óxido de zinc y carburo de silicio. Años más tarde, alrededor de 1962, el profesor Nick Holonyak desarrolla el dispositivo electrónico que actualmente conocemos como LED moderno, siendo este, considerado como el *padre* de la tecnología LED (*light-emitting diode*).

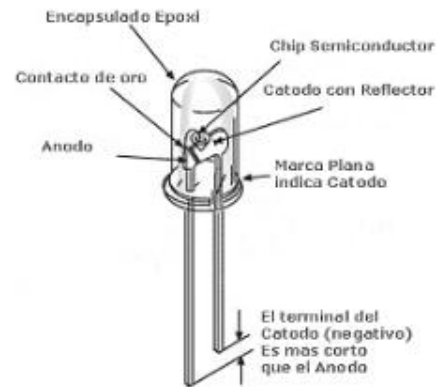


ILUSTRACIÓN 42. LED

A partir de aquí comenzó su revolución en la industria, sus inicios fueron con el LED de color rojo cuya función se limitaba a señalar el encendido y el apagado de un aparato con el famoso “Stand By”. Pero en 1971 toman funcionalidad los colores verde, amarillo y naranja. Será en la década de los 90 cuando se complete el conocido RGB con el color azul para finalmente, conseguir formar luz blanca con la ayuda de luz ultravioleta. Llegados a este punto, los LEDs se muestran como una buena elección para la iluminación.

Es un componente optoelectrónico pasivo fabricado con material semiconductor. Optoelectrónico porque es capaz de transformar la energía eléctrica en luz y viceversa, emitiendo radiación cuando por ellos circula una corriente eléctrica en sentido directo; y pasivo porque es un elemento que ofrece resistencia a la corriente eléctrica. Su funcionamiento, básicamente, está sujeto al efecto de la luminiscencia, de ahí, la unión de dos terminales *p-n* (ánodo y cátodo respectivamente) que caracteriza a un LED. El color de un diodo viene dado por la longitud de onda de luz emitida, que dependerá de los materiales del ánodo y cátodo y el material del semiconductor.

En los diodos LED los electrones circulan en un único sentido, el *directo*, es decir, de ánodo (P) a cátodo (N). Éstos sufren el proceso denominado *recombinación de electrones* que tiene como resultado la emisión de energía en forma de fotones.

El flujo direccional de las lámparas LED permite dirigir la luz al área deseada, incrementando considerablemente la uniformidad lumínica y reduciendo la pérdida de iluminación entre las fuentes de luz. En consecuencia, se optimiza el uso de la luz emitida y se reduce el consumo de energía y la contaminación lumínica.

Las lámparas LED tienen un mayor rendimiento luminoso útil (expresado en porcentaje de lúmenes por vatio) que las lámparas ‘ahorradoras de energía’ (CFL) o las lámparas de vapor de sodio, tradicionalmente utilizadas en los sistemas de alumbrado público. Adicionalmente, las lámparas LED ofrecen ocho veces más iluminación que las obsoletas lámparas incandescentes.

Su aplicación en la iluminación tanto exterior como interior es relativamente nueva y está en constante desarrollo. El color depende del material semiconductor empleado y puede variar desde el infrarrojo, pasando por todo el espectro de luz visible, hasta el ultravioleta.

El dispositivo semiconductor está comúnmente encapsulado en una cubierta de plástico de mayor resistencia que las de cristal que usualmente se emplean en las bombillas. Además, puede estar coloreado por razones estéticas sin que influya en el color de la luz emitida. El desarrollo de esta transformación fue el descubrimiento de las características y prestaciones de un LED de Nitruro de Galio que hizo posible obtener luz blanca de un semiconductor.

Los *LEDS de luz blanca* son uno de los desarrollos más recientes y se consideran una buena alternativa para sustituir las bombillas actuales por dispositivos mucho más ventajosos.

Estas características convierten a los LEDS de luz blanca en una alternativa muy prometedora para la iluminación. Así mismo, con LEDS se pueden producir luces de diferentes colores con un rendimiento luminoso elevado, a diferencia de muchas de las lámparas utilizadas hasta ahora, que tienen filtros para lograr un efecto similar (lo que supone una reducción de su eficiencia energética).

3.2.2.6.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES

Tipo de lámpara	Ventajas	Inconvenientes
<i>Incandescente</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo coste inicial - Construcción sencilla - Disponible en muchas formas y tamaños - No requiere calentamiento ni tiempo de encendido 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo rendimiento eléctrico - Alta temperatura de operación - Corta vida - No permite una gran distribución de la luz
<i>Fluorescente</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Necesitan menos potencia para iluminar el mismo espacio. - No malgastan energía en calor - Tienen una durabilidad mucho más elevada (promedio 7500 h) que las lámparas incandescentes tradicionales (bombillas) - Un consumo hasta tres veces menor que la de una lámpara incandescente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Precio elevado - Alta toxicidad debido a su alto contenido en mercurio - Rendimiento muy bajo - Encender y apagar demasiadas veces reduce considerablemente su vida útil
<i>Vapor de mercurio</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Larga duración (unas 16000 h) - Alta eficiencia luminosa (más de 80 lm/W) - Flujo luminoso inalterable por los cambios de temperatura ambiente - A diferencia de las lámparas incandescentes y fluorescentes, no le afectan las vibraciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita un balasto - Flujo luminoso inalterable por los cambios de temperatura ambiente - Si se apaga, es necesario un enfriamiento de 3 a 5 min antes de tener nuevamente su total emisión
<i>Vapor de sodio</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia luminosa óptima - Larga duración (unas 23000 h) - Buen rendimiento cromático 	<ul style="list-style-type: none"> - Los equipos auxiliares necesarios para su funcionamiento incrementan el consumo - Factor de potencia bajo (sobre 0,5)
<i>LED</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorro energético, descienden el consumo un 70-80% respecto a las fluorescentes o incandescentes - Vida útil, entre 30.000-50.000 h - Extensa gama de colores y capacidad para graduar la intensidad de luz 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto coste - A medida que ascienden a temperaturas de 25-30 °C, reducen progresivamente su vida útil - Deben ser suministrados con más voltaje del requerido y con menos corriente de la necesaria

TABLA 1. TIPO DE LÁMPARA. VENTAJAS E INCONVENIENTES

3.2.3 LUMINARIA

Debido a la alta luminancia de las lámparas, es preciso aumentar la superficie aparente de emisión para evitar molestias visuales (deslumbramientos). Por otro lado, es necesario apantallar las lámparas para protegerlas de los agentes exteriores y para que dirijan el flujo en la forma más adecuada a la tarea visual. De esta forma, los distintos estudios e investigaciones contemporáneos le dan una importancia capital al conjunto formado por la lámpara y la luminaria. Según la Norma UNE-EN 60598-1*, se define luminaria como 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.

Mediante las luminarias se pueden controlar la distribución del flujo luminoso, el grado de deslumbramiento producido por la luminaria y el grado de direccionalidad.

3.2.4 ELEMENTOS GENERALES

Con independencia de otras definiciones que puedan ser más o menos descriptivas, podríamos definir una luminaria como un *objeto formado por un conjunto de elementos destinados a proporcionar una adecuada radiación luminosa de origen eléctrico*. La materialización de esos elementos pasa en cada caso por la conjunción entre un buen diseño formal y una razonable economía de medios. Al primero corresponde resolver el control luminoso según las necesidades, que es el fin primordial; un control térmico que haga estable su funcionamiento; y un control eléctrico que ofrezca las debidas garantías al usuario. Al segundo corresponde prever un producto de fabricación sólida y eficaz, una relativa sencillez en su instalación y un mínimo mantenimiento durante su uso. En cuanto a los elementos genéricos más característicos, cabe mencionar la carcasa o armadura, el equipo eléctrico, el reflector, el difusor y el filtro. Todos ellos definen, al mismo tiempo, otras tantas clasificaciones que veremos posteriormente.

- **Armadura o carcasa.** Es el elemento físico mínimo que sirve de soporte y delimita el volumen de la luminaria conteniendo todos sus elementos. Por este concepto 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).

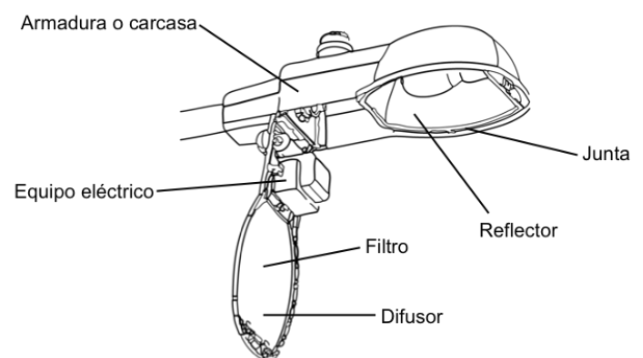


ILUSTRACIÓN 43. LUMINARIA

- **Equipo eléctrico.** Sería el adecuado a los distintos tipos de fuentes de luz artificial y 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, o conjuntos electrónicos de encendido y control.
- De descarga. Con reactancias o balastos, condensadores o conjuntos electrónicos de encendido y control.

- **Reflectores.** Son determinadas 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:

- Simétricos (con uno o dos ejes) o asimétricos.
- Concentrador (haz estrecho menor de 20°) o difusor (haz ancho entre $20-40^\circ$; haz muy ancho mayor de 40°).
- Especular (con escasa dispersión luminosa) o no especular (con dispersión de flujo).
- Frío (con reflector 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.** Sirven para potenciar o mitigar determinadas características de la radiación luminosa.

3.2.5 TIPOS DE LUMINARIAS

3.2.5.1 LUMINARIA ALUMBRADO PÚBLICO EN CALZADAS CON TRÁFICO DE VEHÍCULOS

- **Tipo I.** Se utilizan en el alumbrado de calzadas con tráfico de vehículos. Disponen de sistema óptico cerrado, fotometría regulable y cuerpo de inyección de aluminio. El cierre es de vidrio y tiene una capacidad y grado de hermeticidad altos.



ILUSTRACIÓN 44. LUMINARIA TIPO I

- **Tipo II.** Se utilizan en el alumbrado de calzadas con tráfico de vehículos. Disponen de sistema óptico cerrado, fotometría regulable y cuerpo de inyección de aluminio. El cierre es de vidrio, policarbonato o metacrilato, y tiene una capacidad y grado de hermeticidad menores que las de Tipo I.



ILUSTRACIÓN 45. LUMINARIA TIPO II

- **Tipo III.** Se utilizan en el alumbrado de calzadas con tráfico de vehículos. Es abierta con fotometría fija, cuerpo de chapa de aluminio o de plásticos técnicos y con equipo eléctrico incorporado.



ILUSTRACIÓN 46. LUMINARIA TIPO III

3.2.5.2 LUMINARIAS TIPO ARTÍSTICA

Corresponde a faroles y aparatos de carácter histórico, instalados generalmente en cascos antiguos y zonas monumentales artísticas, así como aparatos de diseño de carácter vanguardista. La luminaria puede llevar incorporado un sistema óptico que permita dirigir la luz adecuadamente y reducir la contaminación luminosa.



ILUSTRACIÓN 47. LUMINARIA TIPO ARTÍSTICA

3.2.5.3 LUMINARIAS TIPO PEATONAL

Generalmente para caminos peatonales en urbanizaciones en manzana abierta, con fotometría fija o regulable, cuerpo de inyección o plásticos técnicos y cierre de vidrio o policarbonato, plano o curvo.



ILUSTRACIÓN 48. LUMINARIA TIPO PEATONAL

3.2.5.4 LUMINARIAS TIPO GLOBO

Para uso en jardines y caminos peatonales, con fotometría fija y cierre esférico de metacrilato o policarbonato. Puede llevar incorporado un reflector en la semiesfera superior que limite la emisión de flujo luminoso hacia el cielo.



ILUSTRACIÓN 49. LUMINARIA TIPO GLOBO

3.2.5.5 LUMINARIAS TIPO PROYECTOR

Se utiliza generalmente en calles peatonales comerciales o de ocio modernas, de líneas estéticas adecuadas. También se utilizan para la iluminación por proyección de zonas monumentales artísticas.



ILUSTRACIÓN 50. LUMINARIAS TIPO PROYECTOR

3.2.6 CARACTERIZACIÓN DE LUMINARIAS

Cada luminaria está identificada por:

3.2.6.1 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:

- **Clase 0.** Luminaria con aislamiento funcional, pero sin aislamiento doble ni reforzado en su totalidad y sin conexión a tierra.
- **Clase I.** Luminaria con al menos aislamiento funcional en su totalidad y con el terminal o contacto de conexión a tierra.
- **Clase II.** Luminaria con aislamiento doble y/o aislamiento reforzado en su totalidad y sin provisión para descarga a tierra.

- **Clase III.** Luminaria diseñada para ser conectada a circuitos de voltaje extra-bajo, y que no tiene circuitos, ni internos ni externos, que operen a un voltaje que no sea el extra-bajo de seguridad.

3.2.6.2 GRADO POR CONDICIONES OPERATIVAS

El código IP es el sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionados por una envoltura contra el acceso a partes peligrosas, la penetración de cuerpos sólidos extraños, la penetración de agua y para suministrar una información adicional unida a la referida protección. El código está formado por las letras IP seguidas de dos números de una cifra y a veces de una o dos letras opcionales que proporcionan información adicional. Cuando el grado de protección correspondiente a una de las cifras no se precise porque no sea necesario o porque no sea conocido, se reemplaza por la letra X.

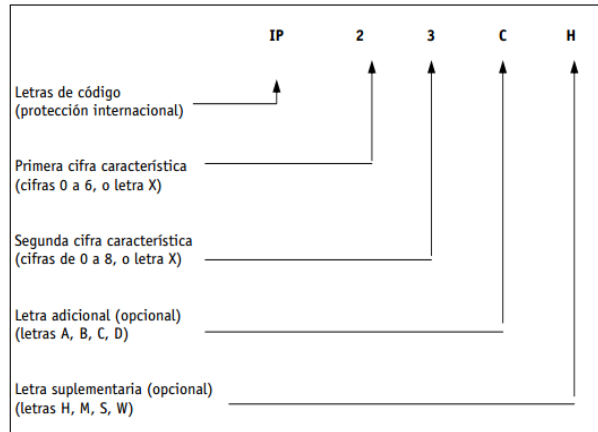


ILUSTRACIÓN 51. DISPOSICIÓN DEL CÓDIGO IP

La *primera cifra característica* indica simultáneamente:

- La protección de las personas contra el acceso a las partes peligrosas, impidiendo o limitando la penetración de una parte del cuerpo humano o de un objeto cogido por una persona.
- La protección de los materiales contra la penetración de cuerpos sólidos extraños. La primera cifra puede tomar un valor entre 0 y 6, a mayor valor indica mayor protección contra cuerpos sólidos de menor tamaño. Los significados de los valores numéricos asignados a la primera cifra característica se indican en la *Tabla 2*:

Cifra	Grados de protección	
	Protección contra contactos eléctricos directos	Protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños
0	No protegida	No protegido
1	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con el dorso de la mano	Protegido contra los cuerpos sólidos extraños de diámetro superior a 50 mm
2	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un dedo, $\varnothing \geq 12$ mm y 80 mm de longitud.	Protegido contra los cuerpos sólidos extraños de diámetro superior a 12,5 mm
3	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con una herramienta, $\varnothing \geq 2,5$ mm	Protegido contra los cuerpos sólidos extraños de diámetro superior a 2,5 mm
4	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre de $\varnothing \geq 1$ mm	Protegido contra los cuerpos sólidos extraños de diámetro superior a 1mm
5	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre de $\varnothing \geq 1$ mm	Protegido contra el polvo. Puede penetrar polvo en cantidad no perjudicial.
6	Protegido contra el acceso a partes peligrosas con un alambre de $\varnothing \geq 1$ mm	Totalmente protegido contra el polvo. Estancas al polvo.

TABLA 2. GRADOS DE PROTECCIÓN INDICADOS POR LA PRIMERA CIFRA CARACTERÍSTICA

La *segunda cifra característica* indica el grado de protección proporcionado por las envolventes con respecto a los efectos perjudiciales sobre el equipo, debido a la penetración de agua. El significado de los valores numéricos asignados a la segunda cifra característica se indica en la *Tabla 3*:

2ª Cifra	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Protección proporcionada por la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua, ejemplo por efecto de fugas o gotas de condensación en la parte alta del habitáculo o en tuberías que pasen encima de la envolvente.	A la caída vertical de gotas de agua.
2	Protegido contra las caídas de agua verticales con un mayor caudal y con una inclinación de hasta 15°.	A la caída vertical de gotas cuando la envolvente está inclinada hasta 15° de cada lado de la vertical.
3	Protegida contra el agua en forma de lluvia	A la caída de agua en forma de lluvia fina, en una dirección que tenga, respecto a los dos lados de la vertical un ángulo inferior o igual a 60°.
4	Protegida contra las proyecciones de agua	A la proyección de agua en todas las direcciones sobre la envolvente.
5	Protegido contra chorros de agua	A la proyección de agua a chorros sobre la envolvente en cualquier dirección
6	Protegido contra chorros fuertes de agua	A la proyección de agua a chorros fuertes sobre la envolvente en cualquier dirección
7	Protegido contra los efectos de la inmersión en agua	Contra la penetración de agua en cantidad perjudicial en el interior de la envolvente sumergida temporalmente en agua con una presión y un tiempo normalizados.
8	Protegido contra la inmersión prolongada	El equipo es adecuado para la inmersión continua en agua bajo las condiciones especificadas por el fabricante.
Los procedimientos especializados de limpieza no están cubiertos por los grados de protección IP.		

TABLA 3. GRADOS DE PROTECCIÓN CONTRA EL AGUA INDICADOS POR LA SEGUNDA CIFRA CARACTERÍSTICA

La letra adicional que de manera opcional puede formar parte del código IP proporciona información suplementaria sobre el grado de protección de personas contra el acceso a partes peligrosas. Su uso reserva a aquellos supuestos en que la

protección efectiva del acceso a la parte peligrosa es más eficaz que la indicada por la primera cifra o cuando esta ha sido reemplazada por una X. Se identifican con los códigos A, B, C, D y su significado se corresponde respectivamente con el de las cifras 1, 2, 3, 4 pero a diferencia de la primera cifra característica que proporciona información de cómo la envolvente previene la penetración de cuerpos sólidos, proporciona información sobre la accesibilidad de determinados objetos o partes del cuerpo a las partes peligrosas en el interior de la envolvente.

Una envolvente no puede ser designada por un grado de protección indicado por una letra adicional si no garantiza que satisface también todos los grados de protección inferiores (*Tabla 4*).

Letra adicional	Grado de protección
A	Protegido contra el acceso con el dorso de la mano. Se prueba con una esfera de 50 mm, que ha de quedar a una distancia adecuada de las partes peligrosas
B	Protegido contra el acceso con el dedo u objetos análogos. El dedo de prueba te 12 mm de \varnothing y 80 mm de longitud.
C	Protegido contra el acceso con una herramienta u otro objeto de diámetro superior a 2,5 mm y longitud máxima 100 mm.
D	Protegido contra el acceso con un alambre, de diámetro superior a 1 mm y longitud máxima de 100 mm.

TABLA 4. DESCRIPCIÓN DEL GRADO DE PROTECCIÓN CONTRA EL ACCESO A PARTES PELIGROSAS

Las *letras suplementarias opcionales*, indican que el producto satisface unas condiciones particulares que, en cualquier caso, deben responder a las exigencias de la norma de seguridad básica aplicable. Cuando se añaden letras suplementarias se sitúan después de la última cifra característica o después de la letra adicional en el caso de que asimismo se haya añadido letra adicional. En nuestro caso, el campo eléctrico, sólo se utiliza la letra suplementaria W, que indica una protección contra la intemperie verificada por medios diferentes de los utilizados para la segunda cifra característica y que son difíciles de aplicar a materiales grandes.

3.2.6.2.1 EJEMPLO DE DESIGNACIÓN CON EL CÓDIGO IP

IP 2 3 C W

(2) - Protege a las personas contra el acceso a las partes peligrosas con los dedos.
(3) - Protege los equipos en el interior de la envolvente contra los efectos perjudiciales causados por el agua que cae en forma de lluvia contra la envolvente.

(C) - Protege a las personas contra el acceso a las partes peligrosas cuando se manejan herramientas manuales, de diámetro igual o superior a 2,5 mm y de longitud que pueda penetrar en la envolvente no exceda los 100 mm.

(W) - Indica una protección contra la intemperie verificada por medios diferentes de los utilizados para la segunda cifra característica y que son difíciles de aplicar a materiales grandes.

3.2.6.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GRADO DE PROTECCIÓN CONTRA IMPACTOS (IK)

Mediante el código IK se indica el grado de protección proporcionada por las envolventes para los materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos. El código IK, se forma por las letras IK seguidas de un número entre 0 y 10, representado con dos cifras, (00 a 10), que indican la resistencia a una determinada energía de impacto que una envolvente puede soportar sin sufrir deformaciones peligrosas. El significado de los valores numéricos asignados a las cifras se indica en la *Tabla 5*.

Código IK	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energía de impacto Julios	-	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

TABLA 5. CORRESPONDENCIA ENTRE EL CÓDIGO IK Y LA ENERGÍA DE IMPACTO

El grado de protección se aplica a la envolvente en su totalidad. Si algunas partes de esta envolvente tienen grados de protección diferentes estos deben indicarse por separado.

3.2.6.4. GRADO DE INFLAMABILIDAD DE LA SUPERFICIE DE MONTAJE

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

A los fines de la clasificación, la EN-60598 define a las superficies inflamables como normalmente inflamables o fácilmente inflamables.

La clasificación normalmente inflamable hace referencia a aquellos materiales cuya temperatura de ignición es de al menos 200°C y que no se debilitan ni deforman a esa temperatura.

La clasificación fácilmente inflamable hace referencia a aquellos materiales que no pueden ser clasificados como normalmente inflamables o no-combustibles. Los materiales de esta categoría no pueden ser utilizados como superficie de montaje para luminarias. El montaje suspendido es la única alternativa en estos casos.

En la *ilustración 52* se puede observar la clasificación de montaje que se ha hecho sobre la base de estos requerimientos.


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.

ILUSTRACIÓN 52. CLASIFICACIÓN DE LA EN-60598 PARA MONTAJE DE LUMINARIAS

3.2.7 BALASTO

Elemento estabilizador que contrarresta la tendencia al crecimiento de la intensidad consumida por la lámpara. Habitualmente, se utiliza como estabilizador una inductancia, por lo que este elemento es normalmente conocido con el nombre de reactancia.

Las características principales son las siguientes:

- Tensión e intensidad suministradas que deben concordar con las exigidas por la lámpara, tanto en el funcionamiento normal como en los periodos de arranque y reencendido. En caso contrario, el funcionamiento resultará inestable, el flujo lumínico inferior al nominal y reducirá la vida de la lámpara.
- Aislamiento entre devanado, núcleo y cubierta exterior, como garantía de duración del balasto.
- Pérdidas, consumo propio del balasto que debe de ser lo más reducido posible tanto por economía energética, como por su influencia en la temperatura de funcionamiento.
- Resistencia al calentamiento para alargar la vida del componente.



ILUSTRACIÓN 53. BALASTO

3.2.8 BÁCULO

Es la columna que se usa para sostener el balasto y la luminaria.

El empleo de tubos de aluminio en las columnas de alumbrado se ha extendido considerablemente en los últimos años. Gracias a las modernas técnicas de fabricación que permiten trabajar este metal con formas hasta ahora poco habituales, además de obtener productos de alta calidad gracias al uso de aluminios muy puros, el aluminio es el metal por excelencia del siglo XXI. Un metal duradero, inoxidable y apto para múltiples usos.



ILUSTRACIÓN 54. BÁCULO

3.2.8.1. CARACTERÍSTICAS

- **Peso.** El aluminio es un metal muy ligero, en comparación con el acero; de hecho, su peso representa 1/3 del peso del acero. Es una ventaja incuestionable en términos de instalación y mantenimiento. Esta ligereza del aluminio es muy interesante al nivel de la fabricación. La cantidad de metal necesaria para fabricar columnas es menor, por lo que se obtienen importantes reducciones de costes. Esta reducción de los costes asociada al peso del aluminio también afecta al transporte y la instalación de las columnas.

- **Reciclaje.** Otra de las grandes ventajas del aluminio es que es reciclable al 100%. Por consiguiente, se pueden refundir las columnas y crear una columna nueva a partir de otro reutilizado, sin que el material pierda en modo alguno su calidad y su eficacia. Incluso al final de su uso, una columna de aluminio sigue siendo aprovechable.

Además, cabe destacar que el uso del aluminio reciclado consume mucha menos energía que la producción de aluminio primario.

- **Maleabilidad.** La plasticidad del aluminio, su versatilidad, la riqueza y la originalidad de formas que este metal infinitamente dúctil permite imaginar y diseñar, lo convierten en el socio imprescindible de las soluciones más innovadoras en materia de diseño urbano. En su estado natural, pintado, anodizado o sublimado, el aluminio es el material por excelencia de cualquier elección estética.



ILUSTRACIÓN 55. MALEABILIDAD

- **Inoxidable.** El aluminio es un material naturalmente inoxidable, lo cual le protege de la corrosión y le confiere un carácter duradero. Constituye una ventaja significativa e importante en términos de mantenimiento y conservación.

3.2.9 CUADRO DE MANDO

Es un cuadro eléctrico contenedor de los elementos de mando y protección, desde el que de forma automática se pone en marcha la instalación y se reduce la potencia de funcionamiento.



ILUSTRACIÓN 56. CUADRO DE MANDO

Con una elección acertada de los equipos es posible ahorrar hasta un 40% de energía eléctrica, además de conseguir un aumento significativo de la vida útil de las luminarias.

3.3 SISTEMAS DE CONTROL Y ENCENDIDO

3.3.1. SISTEMA DE CONTROL

El Sistema de control inteligente del Alumbrado Público facilita la gestión de la red de alumbrado, permite establecer el flujo lumínico adecuado en cada luminaria y sector, optimizando los consumos de energía eléctrica y evitando problemas relacionados con la contaminación lumínica (sobre iluminación, encandilamiento, etc.).

Por sus características funcionales y técnicas, este sistema desarrollado con el estado del arte de la tecnología es una herramienta fundamental para optimizar la gestión de las redes del Alumbrado Público.

3.3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE CONTROL

El Sistema inteligente de control del Alumbrado Público incorpora un Módulo controlador de luminaria (MCL) en cada luminaria que le permite reportar valores de funcionamiento, alarmas y eventos asociados a un centro de control.

Las luminarias, se agrupan en subredes (o segmentos) comandadas por los Controladores de segmento de Luminarias (CSL). El tamaño de la subred puede variar en función de la disposición del grupo de luminarias, en promedio existirá un concentrador de segmento por cada 150 módulos controladores de luminarias (MCL).

Las luminarias y los controladores de segmento se vinculan mediante la tecnología de comunicaciones ZigBee, el estándar de mayor adopción en comunicación inalámbrica a nivel mundial. Por sus especificaciones, este tipo de comunicación se adapta en forma óptima a las características geográficas de la instalación existente del Alumbrado Público.

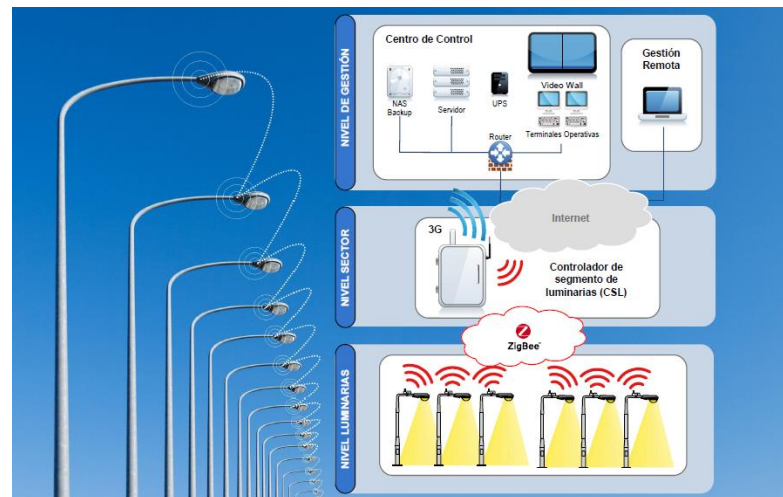


ILUSTRACIÓN 57. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

Los controladores de segmento y el centro de control se vinculan utilizando conexiones seguras (SSL) sobre internet con comunicaciones TCP/IP sobre ADSL, 3G o GSM dependiendo de la cobertura telefónica y celular de cada zona o bien por fibra óptica en aquellas zonas en las que se posea infraestructura de comunicaciones.

3.3.3. VENTAJAS

- Puede gestionarse en forma remota desde múltiples ubicaciones/centros de control.
- Evita el encendido de las luminarias durante el día.
- Mide el consumo de energía real en cada luminaria.

- Actúa sobre la luminaria reduciendo la potencia en horarios y el flujo lumínico configurables.
- Utiliza relojes astronómicos para operar el encendido, apagado, y reducir la potencia en los momentos exactos en que resulta necesario para cada ubicación geográfica.
- Evalúa y reporta en línea el estado de cada luminaria permitiendo eliminar el costo de las rondas de verificación manual de las averías.
- A través de sus herramientas de reportes permite evaluar el nivel de servicio de los prestadores de servicio de mantenimiento en forma cierta (tiempos medios para reparación, tiempos medios de respuesta, órdenes de servicio pendientes, etc.).
- Proporciona mediciones concretas y precisas de los tiempos de servicio y fuera de servicio de cada luminaria.

3.3.4. SISTEMA DE ENCENDIDO

Los ciclos de funcionamiento de las instalaciones de Alumbrado Público se determinan mediante el encendido y apagado de las instalaciones, así como por la reducción del nivel luminoso.

Para que se produzca esta reducción el encendido y apagado debe efectuarse adecuadamente, de forma que no se adelante el encendido ni se retrase el apagado, consiguiendo así, que el consumo energético sea el estrictamente necesario.

El encendido y apagado de las instalaciones se lleva a cabo mediante:

- Interruptor crepuscular
- Reloj astronómico

Al comparar los parámetros eléctricos con un valor de referencia, y cuando el valor medido es diferente al de referencia, se acciona un contactor que enciende, bien el punto de luz, o la instalación de alumbrado, apagándose la misma cuando el valor medido es asimismo distinto al de referencia.

El sistema del interruptor crepuscular está provisto de una histéresis en la conmutación que permite eliminar fallos de encendidos o apagados, debidos a fenómenos meteorológicos transitorios, como pueden ser el paso de nubes y el ocultamiento de la luz solar.

3.3.4.1 INTERRUPTOR CREPUSCULAR

Es una célula fotoeléctrica que genera las órdenes de maniobra en función de la luminosidad ambiental, detectando la cantidad de luz natural existente en una determinada ubicación geográfica, transformando las variaciones de luminosidad en modificaciones de los parámetros eléctricos (tensión, intensidad y resistencia).



ILUSTRACIÓN 58. CÉLULA FOTOELÉCTRICA

3.3.4.2 RELOJ ASTRONÓMICO

Es un programador electrónico diseñado para la maniobra automática de encendido y apagado de las instalaciones de alumbrado público.

El reloj horario astronómico se basa en el cálculo de los *ortos* y *ocazos* en función de la longitud y latitud donde se encuentre la instalación de alumbrado. Las fechas de cambio de verano e invierno se programan en una memoria automáticamente.

En cuanto a la normativa vigente, el interruptor horario astronómico debe cumplir la norma EN 55015 relativa a perturbaciones radioeléctricas y las normas UNE EN 60555.P2 y UNE EN 61000.3.2 respecto a perturbaciones en redes (armónicos y límites), así como la norma UNE EN 61547 sobre requisitos de inmunidad. Asimismo, deben ajustarse a la norma UNE EN 61038 sobre interruptores horarios.



ILUSTRACIÓN 59. RELOJ ASTRONÓMICO

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS NORMATIVO

4.1. REAL DECRETO 1890/2008

4.1.1. INTRODUCCIÓN

El Real Decreto 1890/2008, y sus correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias fueron aprobados el 14 de noviembre del 2008 por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Este Real Decreto es de obligado cumplimiento y se enmarca en el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2011 del Gobierno español, el cual establece una serie de actuaciones normativas dirigidas a la mejora del sistema energético.

El ámbito de aplicación de este Real Decreto es a nivel estatal, pero se han de tener en cuenta las diferentes normativas autonómicas y aplicar la opción más restrictiva entre los dos casos.

Los objetivos principales del Real Decreto son:

- Mejorar el ahorro y eficiencia energética, y consecuentemente, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Las previsiones afirman que el ahorro energético aplicando la nueva ley podría llegar a ser del 30% sin perder calidad de iluminación. Este porcentaje es muy importante si consideramos que en algunas ciudades aproximadamente un 50% de la energía consumida es la que corresponde al alumbrado público.
- Limitar el resplandor lumínico o contaminación lumínica. Como contaminación entendemos el resplandor de la luz en el cielo nocturno producido por la reflexión y difusión de la luz artificial en los gases y las partículas del aire por el uso de luminarias inadecuadas y/o excesos de iluminación. El mal uso de esta luz es un gasto energético innecesario.
- Reducir la luz intrusa o molesta. Ésta se define en el Real Decreto como la luz procedente de las instalaciones de alumbrado exterior que da lugar a la incomodidad, distracción o reducción en la capacidad para detectar una información esencial y, por tanto, produce efectos adversos en los residentes, ciudadanos que circulan y usuarios de los sistemas de transporte.

4.2 REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR

El RD 1890/2008 y sus 7 instrucciones técnicas complementarias establecen las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior para mejorar la eficiencia y el ahorro energético,

así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, además de limitar la contaminación luminosa y reducir la luz intrusa.

Este reglamento se debe aplicar en los siguientes casos y siempre que la potencia instalada sea superior a 1kW:

- A las nuevas instalaciones, a sus modificaciones y ampliaciones.
- A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, cuando, mediante un estudio de eficiencia energética, la Administración Pública competente lo considere necesario.
- A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, que sean objeto de modificaciones de importancia y a sus ampliaciones, entendiéndose por modificación de importancia aquella que afecte a más del 50% de la potencia o luminarias instaladas.

4.2.1 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-01. EFICIENCIA ENERGÉTICA

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, obteniéndose mediante el producto de la eficiencia de la lámpara y los equipos auxiliares, el factor de mantenimiento y el factor de utilización.

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u$$

De esta forma se fijan los valores mínimos de eficiencia energética en función de la iluminancia media en servicio E_m , tanto para instalaciones de alumbrado vial funcional (autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas) como ambiental (instalaciones ejecutadas generalmente sobre soportes de baja altura (3-5 m) en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques y jardines, centros históricos y vías de velocidad limitada).

Al igual que los edificios, el alumbrado exterior debe poseer una calificación energética realizada en función del índice de eficiencia energética.

La caracterización de la instalación se realiza mediante una escala de siete letras desde la A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía).

El índice utilizado para la escala de letras es el Índice de Consumo Energético (ICE) que es igual al inverso del índice de eficiencia energética.

Calificación Energética	Índice de consumo energético	Índice de Eficiencia Energética
A	$ICE < 0,91$	$I_e > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_e > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_e > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_e > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_e > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_e > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$I_e \leq 0,20$

TABLA 6. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO

4.2.2 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-02. NIVELES DE ILUMINACIÓN

El reglamento entiende por nivel de iluminación el conjunto de requisitos luminotécnicos o fotométricos, es decir la luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento y la relación de entorno.

Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado descritas en la EA-02 no pueden superar en más de un 20% los niveles medios referenciados, y en ningún caso el reglamento fija niveles mínimos obligatorios.

El nivel de iluminación requerido por una vía depende de múltiples factores como el tipo de vía, la complejidad de su trazado, la intensidad y sistema de control del tráfico y la separación entre carriles.

En función de estos criterios, las vías de circulación se clasifican en varios grupos, asignándose a cada uno de ellos unos requisitos fotométricos específicos que tienen en cuenta las necesidades visuales de los usuarios, así como aspectos medio ambientales de las vías.

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	$v \leq 5$

TABLA 7. TIPO DE VÍA. ITC EA-02

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, asignándole a cada uno un código para la clase de alumbrado (Tablas 7-8-9-10).

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
A1	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías). Intensidad de tráfico Alta (IMD) ≥ 25.000..... Media (IMD) ≥ 15.000 y < 25.000..... Baja (IMD) < 15.000..... 	ME1 ME2 ME3a
	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas). Intensidad de tráfico Alta (IMD) > 15.000..... Media y baja (IMD) < 15.000..... 	ME1 ME2
A2	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici. • Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio. Intensidad de tráfico IMD ≥ 7.000..... IMD < 7.000..... 	ME1 / ME2 ME3a / ME4a
A3	<ul style="list-style-type: none"> • Vías colectoras y rondas de circunvalación. • Carreteras interurbanas con accesos no restringidos. • Vías urbanas de tráfico importante, rápidas radiales y de distribución urbana a distritos. • Vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones. Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD ≥ 25.000..... IMD ≥ 15.000 y < 25.000..... IMD ≥ 7.000 y < 15.000..... IMD < 7.000..... 	ME1 ME2 ME3b ME4a / ME4b

^(*) Para todas las situaciones de proyecto (A1, A2 y A3), cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

TABLA 8. CLASES DE ALUMBRADO PARA VÍAS TIPO A

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
B1	<ul style="list-style-type: none"> • Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. • Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas. Intensidad de tráfico IMD ≥ 7.000..... IMD < 7.000..... 	ME2 / ME3c ME4b / ME5 / ME6
B2	<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras locales en áreas rurales. Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD ≥ 7.000..... IMD < 7.000..... 	ME2 / ME3b ME4b / ME5

^(*) Para todas las situaciones de proyecto B1 y B2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

TABLA 9. CLASES DE ALUMBRADO PARA VÍAS TIPO B

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
C1	<ul style="list-style-type: none"> • Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas Flujo de tráfico de ciclistas Alto Normal	S1 / S2 S3 / S4
D1 - D2	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías. • Aparcamientos en general. • Estaciones de autobuses. Flujo de tráfico de peatones Alto Normal	CE1A / CE2 CE3 / CE4
D3 - D4	<ul style="list-style-type: none"> • Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada • Zonas de velocidad muy limitada Flujo de tráfico de peatones y ciclistas Alto Normal	CE2 / S1 / S2 S3 / S4

^(*) Para todas las situaciones de alumbrado C1-D1-D2-D3 y D4, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

TABLA 10. CLASES DE ALUMBRADO PARA VÍAS TIPO C Y D

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado ^(*)
E1	<ul style="list-style-type: none"> • Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada. • Paradas de autobús con zonas de espera • Áreas comerciales peatonales. Flujo de tráfico de peatones Alto Normal	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4
E2	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones. Flujo de tráfico de peatones Alto Normal	CE1A / CE2 / S1 S2 / S3 / S4

^(*) Para todas las situaciones de alumbrado E1 y E2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

TABLA 11. CLASES DE ALUMBRADO PARA VÍAS TIPO E

En función de esta clasificación del alumbrado, se muestran los requisitos fotométricos aplicables a las vías correspondientes a los distintos tipos de alumbrado:

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia ⁽⁴⁾ Media L_m (cd/m ²) ⁽¹⁾	Uniformidad Global U_0 [mínima]	Uniformidad Longitudinal U_{-1} [mínima]	Incremento Umbral TI (%) ⁽²⁾ [máximo]	Relación Entorno SR ⁽³⁾ [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

⁽¹⁾ Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento (m_m) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

⁽²⁾ Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI).

⁽³⁾ La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas contiguas a la calzada que tengan sus propios requisitos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

⁽⁴⁾ Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

TABLA 12. NIVEL DE ILUMINACIÓN DE LAS VÍAS ITC EA-02

4.2.3. INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-03. RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA

La contaminación lumínica es la luminosidad producida en el cielo nocturno por la difusión y reflexión de la luz en los gases, aerosoles y partículas en suspensión en la atmósfera, procedente, principalmente de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas.

La EA-03 realiza una clasificación de diferentes zonas en función de su protección contra la contaminación lumínica, según el tipo de actividad a desarrollar en cada zona.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E1	ÁREAS CON ENTORNOS O PAISAJES OSCUROS: 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	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD BAJA: 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	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD MEDIA: Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
E4	ÁREAS DE BRILLO O LUMINOSIDAD ALTA: Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

TABLA 13. CLASIFICACIÓN DE ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN LUMINOSA

4.2.3.1. LIMITACIONES DE LAS EMISIONES LUMINOSAS

Se limitarán las emisiones luminosas 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 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} no superará los siguientes límites establecidos:

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO FHS_{INST}
E1	$\leq 1\%$
E2	$\leq 5\%$
E3	$\leq 15\%$
E4	$\leq 25\%$

TABLA 14. VALORES LÍMITE DEL FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO

Además, para minimizar los efectos de la luz intrusa procedentes de las instalaciones de alumbrado exterior, las instalaciones de alumbrado exterior (con excepción del alumbrado festivo y navideño) deben cumplir los valores de la *Tabla 14*:

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminancia vertical (E_v)	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I)	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminancia media de las fachadas (L_m)	5 cd/m ²	5 cd/m ²	10 cd/m ²	25 cd/m ²
Luminancia máxima de las fachadas (L_{max})	10 cd/m ²	10 cd/m ²	60 cd/m ²	150 cd/m ²
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos (L_{max})	50 cd/m ²	400 cd/m ²	800 cd/m ²	1.000 cd/m ²
Incremento de umbral de contraste (TI)	Clase de Alumbrado			
	Sin iluminación	ME 5	ME3 / ME4	ME1 / ME2
	TI = 15% para adaptación a L = 0,1 cd/m ²	TI = 15% para adaptación a L = 1 cd/m ²	TI = 15% para adaptación a L = 2 cd/m ²	TI = 15% para adaptación a L = 5 cd/m ²

TABLA 15. LIMITACIONES DE LA LUZ MOLESTA PROCEDENTE DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR

4.2.4 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-04. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES

En esta instrucción se fijan valores y requisitos para los siguientes componentes de la instalación: luminarias, lámparas, equipos auxiliares, sistema de accionamiento y sistemas de regulación.

En el caso de las lámparas y con la excepción de las iluminaciones navideñas y festivas, su eficacia debe ser superior a:

- 40 lum/W, para alumbrados de vigilancia y seguridad nocturna y anuncios luminosos y señales.
- 65 lum/W, para alumbrados vial, específico y ornamental (excluyendo la iluminación navideña y festiva) se fijan valores de rendimiento y factor de utilización.

En el caso de los equipos auxiliares queda delimitada la potencia eléctrica máxima consumida del equipo en función de la potencia nominal de la lámpara de descarga y su tecnología.

Si hablamos de sistemas de accionamiento, estos deben garantizar que las instalaciones de alumbrado exterior se enciendan y apaguen con precisión a las horas previstas cuando la luminosidad ambiente lo requiera, con el propósito de ahorrar energía.

Algunos ejemplos de sistemas de accionamiento son las fotocélulas y los relojes astronómicos.

Es de vital importancia destacar que, para toda instalación de alumbrado exterior con una potencia de lámparas y equipos auxiliares superiores a 5 kW, se debe incorporar un sistema de accionamiento por reloj astronómico o sistema de encendido centralizado, mientras que en aquellas con una potencia en lámparas y equipos auxiliares inferior o igual a 5 kW también podrá incorporarse un sistema de accionamiento mediante fotocélula.

De modo que, con la finalidad de ahorrar energía se deben proyectar 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.

4.2.5 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-05. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES

La instrucción técnica EA-05, establece el contenido tanto de los proyectos como de las memorias técnicas de diseño. Hay que tener en cuenta que las instalaciones de potencia superior a 5 kW requieren un proyecto redactado por un técnico titulado competente, mientras que aquellos de potencia igual o inferior a 5kW precisan memoria técnica de diseño que podrá ser redactada por un instalador autorizado.

En cuanto a las verificaciones e inspecciones la instrucción técnica fija lo siguiente:

- Verificación inicial, previa a su puesta en servicio para todas las instalaciones que se encuentran dentro del alcance del reglamento.
- Inspección inicial, previa a su puesta en servicio para las instalaciones de más de 5 kW de potencia instalada.
- Verificaciones cada 5 años para las instalaciones de hasta 5 kW de potencia instalada.
- Inspecciones cada 5 años para las instalaciones de más de 5 kW de potencia instalada.

Tanto las verificaciones como las inspecciones serán realizadas por instaladores autorizados de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Finalizada la instalación y posteriormente de manera periódica un instalador autorizado deberá realizar mediciones de la potencia eléctrica consumida por la instalación, iluminancia media de la instalación y la uniformidad de la instalación para la verificación de la misma.

Una vez que se lleva a cabo la inspección o verificación, el organismo de control o el instalador autorizado, según el caso, emitirá un certificado de inspección que podrá ser favorable, condicionado o negativo. La emisión de los informes condicionados o negativos serán en función de si los defectos de funcionamiento son leves, graves o muy graves.

4.2.6 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-06. MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES

La baja progresiva del flujo emitido por las lámparas, el ensuciamiento de las mismas y del sistema óptico de la luminaria, el envejecimiento de los diferentes componentes del sistema óptico de las luminarias, el prematuro cese del funcionamiento de las lámparas y los desperfectos ocasionados por accidentes de tráfico o actos vandálicos son las principales causas de la disminución de las características fotométricas y mecánicas de una instalación de alumbrado exterior.

La ubicación del alumbrado exterior a la intemperie, sometida a los agentes atmosféricos, el riesgo que supone que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles, así como la función que dichas instalaciones desempeñan en lo que, a seguridad vial se refiere, obliga a establecer un correcto mantenimiento de las mismas.

El factor de mantenimiento depende de:

- El tipo de lámpara, depreciación del flujo luminoso y su supervivencia en el transcurso del tiempo.
- La estanqueidad del sistema óptico de la luminaria mantenida a lo largo de su funcionamiento.
- La naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria.
- La calidad y frecuencia de las operaciones de mantenimiento.
- El grado de contaminación de la zona donde se instale la luminaria.

El factor de mantenimiento (f_m) es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva, a su vez es igual al producto del factor de depreciación del flujo luminoso de las lámparas (FDFL), el factor de su supervivencia (FSL) y el factor de depreciación de la luminaria (FDLU).

$$f_m = \frac{E_{servicio}}{E_{inicial}} = FDFL \cdot FSL \cdot FDLU < 1$$

Los factores de depreciación del flujo luminoso y de supervivencia dependerán de la tecnología de la lámpara utilizada en la instalación y de la vida útil de la misma. Asimismo, el factor de supervivencia depende de tres factores: el grado de protección del sistema óptico, el grado de contaminación y el intervalo de limpieza en años.

En el proyecto de alumbrado exterior, de acuerdo con los valores establecidos para los distintos factores, se efectuará el cálculo del factor de mantenimiento (f_m), que servirá para determinar la iluminancia media inicial ($E_{inicial}$) en función de los valores de iluminancia media (E) en servicio con mantenimiento de la instalación establecidos en la ITC-EA-02:

$$E_{inicial} = \frac{E}{f_m}$$

Por tanto, el proyecto y la memoria técnica de diseño deben considerar el factor de mantenimiento para determinar la iluminancia media inicial, lo que exige fijar un plan de mantenimiento de la instalación previo.

Para garantizar en el transcurso del tiempo el valor del factor de mantenimiento de la instalación, se deben realizar las operaciones de reposición de lámparas y limpieza de luminarias con la periodicidad determinada por el cálculo del factor.

Las operaciones de reposición de lámparas y limpieza corresponden al *mantenimiento preventivo*, que debe realizarse con una periodicidad fijada por el cálculo del factor de mantenimiento.

Corresponden al mantenimiento preventivo los siguientes trabajos:

- Reposición masiva de lámparas.
- Operaciones de limpieza de luminarias.
- Pintura de soportes.
- Mediciones eléctricas y luminotécnicas.

Por otra parte, en el mantenimiento correctivo los trabajos a realizar son:

- Localización y reparación de averías.
- Adecuación de las instalaciones.
- Sustitución puntual de lámparas.
- Reemplazo de los elementos de la instalación fuera de uso.

Entre estas acciones para un mantenimiento adecuado están lo que se conoce como *rondas nocturnas* a la instalación, con el objeto de detectar lámparas fuera de uso o las anomalías que pueda haber en el funcionamiento de un punto de luz.

Estas rondas de inspección, así como las mediciones eléctricas y luminotécnicas se deben efectuar periódicamente, entrando dentro de las operaciones de mantenimiento preventivo de la instalación.

4.2.7 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-07. MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

En la instrucción EA-07 se describen las medidas luminotécnicas correspondientes a las verificaciones e inspecciones de las instalaciones de alumbrado exterior.

La instrucción fija las condiciones de validez de las medidas, teniendo en cuenta la geometría de la instalación, la tensión de alimentación, la influencia de otras instalaciones y las condiciones meteorológicas.

Respecto a las medidas de la luminancia media y las uniformidades, estas se deben realizar sobre el terreno, comparándose los resultados obtenidos en el cálculo incluido en el proyecto con los de la medida. La medida requiere un pavimento usado durante cierto tiempo, y un tramo recto de calzada de longitud aproximado de unos 250 m.

Las medidas de las iluminancias se realizan con un luxómetro cuyas características se están detalladas en la instrucción técnica.

Por otra parte, se fijan las condiciones de medida de luminancia, determinando la selección de la retícula de medida, la posición del observador y el área límite.

En cambio, para las condiciones de medida de las iluminancias, la instrucción fija la selección de la retícula de medida, el área límite y el método simplificado de medida de la iluminancia media.

En cuanto al deslumbramiento perturbador la instrucción marca aspectos como la posición del observador, el ángulo de apantallamiento y el control de la limitación del deslumbramiento en las glorietas.

4.3. REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO PARA BAJA TENSIÓN (REBT)

4.3.1. INTRODUCCIÓN

El 2 de agosto de 2002 el Consejo de Ministros aprobó el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (Real Decreto 842/2002) que afecta a las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro de baja tensión, de manera que se preserve la seguridad de las personas y los bienes, se asegure el normal funcionamiento de dichas instalaciones y se prevengan las perturbaciones en otras instalaciones y servicios. Además, el Reglamento aprobado pretende contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones.

El Reglamento actualiza los requisitos técnicos que deben satisfacer las instalaciones eléctricas con motivo de los grandes avances tecnológicos de los últimos años, siendo el primero que, dentro del entorno europeo, incorpora

requisitos para las instalaciones de automatización y gestión técnica de la energía y cuyo objetivo es facilitar el ahorro y la eficiencia energética.

El Reglamento incorpora también el principio de seguridad equivalente de forma que el proyectista de la instalación puede aplicar soluciones distintas de las establecidas en las normas técnicas, siempre que demuestre su equivalencia con los niveles de seguridad establecidos.

4.3.2 DIFERENCIAS ENTRE EL REBT-02 RESPECTO AL REBT-73

El Real Decreto 842/2002 aprobó el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT-02), publicado en el BOE núm. 224 de 12 de septiembre de 2002, sustituyendo al que se encontraba vigente desde 1973 (REBT-73).

Con el REBT-02 desaparece la contradicción de tener dos documentos oficiales, relativos a las instalaciones de baja tensión, no coincidentes en algunos planteamientos: el REBT-73, obligatorio en todo el estado español, y la “Norma armonizada” UNE-EN 20460, “Instalaciones eléctricas en edificios”, de obligado cumplimiento para todos los Estados Miembros de la Unión Europea.

El nuevo reglamento mantiene la estructura de su predecesor, constando de dos partes diferenciadas: por un lado, las cuestiones legales y administrativas y por otro, los requisitos técnicos. La primera parte se formula en forma de 29 artículos, que configuran el Real Decreto, mientras que los segundos constituyen un conjunto de 52 Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC), que se van actualizando y revisando con el avance y progreso tecnológico.

Otro aspecto que mejora el REBT-02 con respecto al de 1973 se encuentra en la transferencia de competencias y de la gestión administrativa a las Comunidades Autónomas, que en el año 1973 todavía no existían como entidad.

A pesar de la semejanza estructural que ya hemos destacado, existen notables diferencias conceptuales, cualitativas y cuantitativas entre el REBT-73 y el REBT-02. Estas diferencias se deben al progreso tecnológico de los equipos y los sistemas de instalación de BT, al importante incremento del grado de electrificación en todos los sectores de actividad y a la aportación técnica de las Normas de Referencia, en especial de la UNE-EN 20460, publicada en 2002, que constituye la versión española de la “Norma Europea” EN 60384 y la IEC 60364 (norma internacional), que no estaban tomadas en consideración en el REBT-73.

También cabe señalar que el REBT-02, siguiendo la línea marcada por las Directivas del “Nuevo Enfoque” hace referencia a Normas y además introduce el concepto de “Seguridad Equivalente” que permite otras soluciones no contempladas por el REBT o las Normas, siempre que el proyectista justifique que las medidas adoptadas proporcionen la aludida Seguridad Equivalente a las soluciones reglamentarias.

También cabe señalar que el REBT-02, siguiendo la línea marcada por las Directivas del “Nuevo Enfoque”, y con el objetivo de mantenerse actualizado, hace referencia constante a Normas UNE que son objeto de continua revisión y si estas se renuevan, son automáticamente de obligado cumplimiento.

Finalmente, el REBT introduce como novedad el concepto de “Seguridad Equivalente”, que permite la aplicación de otras soluciones en aquellos casos no contemplados por el REBT o las Normas, siempre que el proyectista justifique que las medidas adoptadas proporcionen la aludida Seguridad Equivalente a las soluciones reglamentarias.

4.3.3 ESTRUCTURA DEL REGLAMENTO

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, el REBT-02 puede dividirse en dos partes.

La primera parte consiste en una serie de artículos que constituyen el texto principal del “Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión” y que define los conceptos legales y administrativos de obligado cumplimiento en cualquier instalación de baja tensión.

La segunda parte está constituida por 51 Instrucciones Técnicas Complementarias, en los que se definen los conceptos técnicos necesarios para la correcta instalación y funcionamiento de cualquier tipo de instalación de baja tensión española.

Cabe destacar que, para una aplicación más sencilla de este Reglamento, el artículo 29 contempla la existencia de una Guía Técnica de aplicación práctica no vinculante, para facilitar su aplicación tanto en las cuestiones legales y administrativas como de las instrucciones técnicas.

En los siguientes apartados se procederá a la descripción de algunos aspectos importantes definidos por el REBT, centrándonos en la aplicación de la ITC-BT-09, correspondiente a las “Instalaciones de alumbrado exterior”.

4.3.4 OBJETO Y FINALIDAD DEL REGLAMENTO

El REBT establece las condiciones técnicas y garantías que deben cumplir las instalaciones eléctricas que vayan a conectarse a una fuente de suministro de baja tensión, con la finalidad de:

- Preservar la seguridad de las personas y los bienes.

- Asegurar el normal funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios.
- Contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones.

4.3.5 ÁMBITO DE APLICACIÓN

El REBT se aplica a las Instalaciones que operan en baja tensión, ya sean para generación, distribución o receptoras (consumo), entendiéndose por baja tensión:

- La tensión (voltaje en voltios) igual o inferior a 1.000 voltios en corriente alterna.
- La tensión igual o inferior a 1.500 voltios en corriente continua.

El reglamento se aplica a cualquier instalación nueva (construida después de la entrada en vigor del REBT), quedando excluidas las instalaciones construidas anteriormente, excepto en los siguientes casos:

- Que sea necesario realizar modificaciones o reparaciones de importancia o ampliaciones.
- Cuando el estado de la instalación existente implique riesgo grave para las personas o los bienes, o se produzcan perturbaciones importantes en el normal funcionamiento de otras instalaciones.

A todas las instalaciones ya existentes se les aplicarán igualmente las inspecciones periódicas y los agentes definidos en el nuevo reglamento.

4.3.6 INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR

4.3.6.1 DEFINICIÓN

En el Artículo 9 del RD-842/2002 se definen las instalaciones de alumbrado exterior mediante la siguiente descripción:

“Se considerarán instalaciones de alumbrado exterior las que tienen por finalidad la iluminación de las vías de circulación o comunicación y las de los espacios comprendidos entre edificaciones que, por sus características o seguridad general, deben permanecer iluminados, en forma permanente o circunstancial, sean o no de dominio público.

Las condiciones que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior serán las correspondientes a su peculiar situación de intemperie y, por el riesgo que supone, el que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles.”

4.3.7 DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE LA ITC-BT-09

4.3.7.1 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta instrucción complementaria, se aplicará a las instalaciones de alumbrado exterior, destinadas a iluminar zonas de dominio público o privado, tales como autopistas, carreteras, calles, plazas, parques, jardines, pasos elevados o subterráneos para vehículos o personas, caminos, etc. Igualmente se incluyen las instalaciones de alumbrado para cabinas telefónicas, anuncios publicitarios, mobiliario urbano en general, monumentos o similares, así como todos receptores que se conecten a la red de alumbrado exterior.

Se excluyen del ámbito de aplicación de esta instrucción la instalación para la iluminación de fuentes y piscinas y las de los semáforos y las balizas, cuando sean completamente autónomos.

4.3.7.2 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Las líneas de alimentación a puntos de luz con lámparas o tubos de descarga estarán previstas para transportar la carga debida a los propios receptores, a sus elementos asociados, a sus corrientes armónicas, de arranque y desequilibrio de fases. Como consecuencia, la potencia aparente mínima en VA, se considerará 1,8 veces la potencia nominal en vatios de las lámparas o tubos de descarga.

Cuando se conozca la carga que supone cada uno de los elementos asociados a las lámparas o tubos de descarga, las corrientes armónicas, de arranque y desequilibrio de fases, que tanto éstas como aquellos puedan producir, se aplicarán el coeficiente corrector calculado con estos valores.

Además, el factor de potencia de cada punto de luz deberá corregirse hasta un valor mayor o igual a 0,90. La máxima caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier otro punto de la instalación, será menor o igual que 3%.

Cálculo de la sección de los conductores.

La determinación de la sección de un cable o conductor estriba en calcular la sección mínima normalizada que cumple simultáneamente los criterios de intensidad máxima admisible (o de calentamiento), de caída de tensión y de intensidad de cortocircuito.

En el caso de las instalaciones de alumbrado exterior, suele ser determinante el criterio de la caída de tensión. La limitación del 3% como máxima caída de tensión entre el origen de la instalación y el punto más alejado, se debe a que las caídas de tensión deben permitir siempre el encendido y funcionamiento correcto de las lámparas de descarga. No obstante, efectuados dichos cálculos es conveniente comprobar las intensidades en los tramos con mayor carga.

Eficiencia energética

Con el fin de conseguir ahorros 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.

Para ello, se podrán instalar dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante, por ejemplo, balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia, reguladores - estabilizadores en cabecera de línea o balastos electrónicos para doble nivel de potencia.

Para el establecimiento del porcentaje de ahorro energético y la elección, en cada caso, del sistema idóneo deberán considerarse las variaciones de tensión de la red, sus características, tipos de lámparas a implantar, etc. y, en el caso de instalaciones existentes, el estado de las líneas eléctricas de alimentación de los puntos de luz secciones, caídas de tensión, equilibrio de fases, armónicos, etc.

En las vías de tráfico, zonas peatonales, plazas, etc. podrán reducirse los niveles luminosos a ciertas horas de la noche, siempre que quede garantizada la seguridad de los usuarios. En ningún caso la reducción descenderá por debajo del nivel de iluminación aconsejable para la seguridad de tráfico y para el movimiento peatonal.

En puntos concretos con elevados porcentajes de accidentalidad nocturna, zonas peatonales con riesgo considerable de criminalidad, etc. se recomienda por razones de seguridad no llevar a cabo variaciones temporales de los niveles de iluminación.

4.3.7.3 LUMINARIAS

La Instrucción ITC-BT-09 determina que las luminarias se ajustarán a la norma UNE-EN-60598-3 y los proyectores cumplirán la UNE-EN 60598-2-5.

Esta instrucción define una luminaria como: *“conjunto óptico, mecánico y eléctrico equipado para recibir una o varias lámparas, que se compone de cuerpo o carcasa, elementos auxiliares (balasto, arrancador y condensador) instalados generalmente en un compartimento de la luminaria, portalámparas, etc. y bloque óptico.”*

En el caso en el que el fabricante suministre tanto la luminaria y el proyector con los equipos auxiliares (balasto, arrancador y condensador) incorporados, el responsable del cumplimiento de la norma de luminarias será el fabricante.

Cuando la luminaria, dotada de alojamiento para el equipo auxiliar, y el proyector se suministre sin equipamiento eléctrico (balasto, arrancador y condensador), será responsabilidad del instalador la utilización y conexión adecuada de dichos equipos para asegurar el cumplimiento de los requisitos incluidos en la norma de luminarias del conjunto completo.

Para ello se deberán seguir escrupulosamente las instrucciones proporcionadas por el fabricante de la envolvente de la luminaria especialmente en lo relativo a los calentamientos y protección contra los choques eléctricos, así como en el tipo y potencia de lámpara máxima a instalar en la luminaria.

Las luminarias utilizadas en el alumbrado exterior deben tener como mínimo el grado de protección IP 23.

Como caso particular en ambientes con contaminación o existencia de componentes corrosivos (zonas industriales, urbanas, costeras, etc.) y con el fin de mantener el rendimiento de la luminaria, es recomendable que tenga los siguientes grados de protección:

- IP66 para el compartimiento óptico.
- IP44 para el alojamiento del equipo auxiliar.

Grados de protección IPXY

IP	(x) Protección al polvo	IP	(y) Protección a líquidos
1	 (esfera de 50 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.	1	 No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto)
2	 (esfera de 12,5 mm de diámetro) no debe llegar a entrar por completo.	2	 No debe entrar el agua cuando de la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto).
3	 (esfera de 2,5 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.	3	 No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical
4	 (esfera de 1 mm de diámetro) no debe entrar en lo más mínimo.	4	 arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto
5	 La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe interferir con el correcto funcionamiento.	5	 No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo)
6	 El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia	6	 No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro
		7	 No debe entrar agua.
		8	 No debe entrar agua.

ILUSTRACIÓN 60. GRADOS DE PROTECCIÓN IP

En lo que atañe a la resistencia mecánica, en el caso de luminarias de alumbrado exterior, la norma UNE-EN 60.598-2-3 establece como mínimo los siguientes valores:

- IK04 (0,5 julios) para las partes frágiles (cierres de vidrio, metacrilato, etc).
- IK05 (0,7 julios) para el resto de las partes (cuerpo o carcasa).

La protección contra los choques mecánicos debe ser apropiada al emplazamiento donde las luminarias están instaladas, cuyo grado mínimo será IK 08 (5 julios), si están situadas a menos de 1,5 m del suelo.

IK	ENERGÍA DE IMPACTO
00	Ninguna protección
01	Resistente a una energía de choque de 0,15 J
02	Resistente a una energía de choque de 0,2 J
03	Resistente a una energía de choque de 0,35 J
04	Resistente a una energía de choque de 0,5 J
05	Resistente a una energía de choque de 0,7 J
06	Resistente a una energía de choque de 1 J
07	Resistente a una energía de choque de 2 J
08	Resistente a una energía de choque de 5 J
09	Resistente a una energía de choque de 10 J
10	Resistente a una energía de choque de 20 J

TABLA 16. GRADOS DE PROTECCIÓN IK

Protección contra contactos directos e indirectos

Para cumplir la normativa con respecto a la protección de las luminarias contra contactos directos e indirectos, estos deberán ser de Clase I o Clase II.

Las partes metálicas accesibles de los soportes de luminarias estarán conectadas a tierra. Se excluyen de esta prescripción aquellas partes metálicas que, teniendo un doble aislamiento, no sean accesibles al público en general.

Para el acceso al interior de las luminarias que estén instaladas a una altura inferior a 3 m sobre el suelo o en un espacio accesible al público, se requerirá el

empleo de útiles especiales. Las partes metálicas de los kioskos, marquesinas, cabinas telefónicas, paneles de anuncios y demás elementos de mobiliario urbano, que estén a una distancia inferior a 2 m de las partes metálicas de la instalación de alumbrado exterior y que sean susceptibles de ser tocadas simultáneamente, deberán estar puestas a tierra.

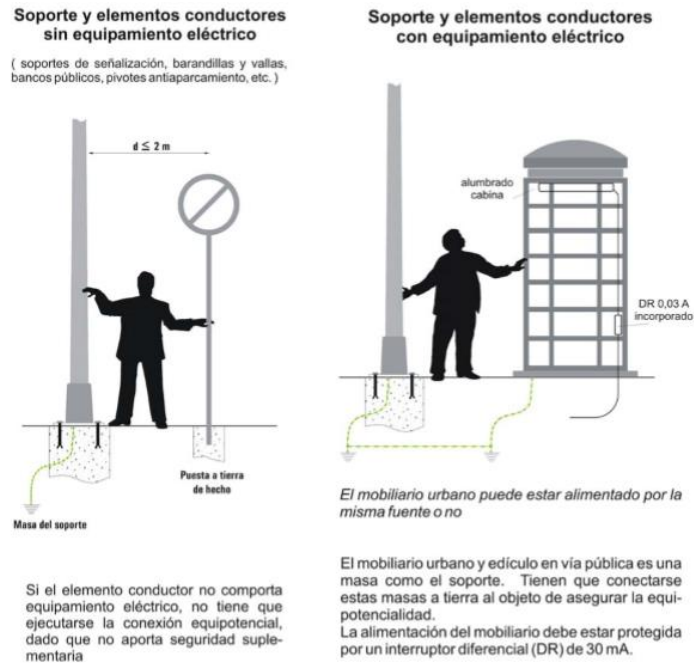


ILUSTRACIÓN 61. PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

CAPÍTULO 5. PROTOCOLO DE AUDITORÍA DE ALUMBRADO PÚBLICO

5.1. INTRODUCCIÓN

Para poder llevar a cabo los diferentes planes que se ha propuesto el gobierno español en materia de mejora energética, energías renovables y uso de otro tipo de tecnologías, es necesario que existan entidades especializadas en el sector y que se hagan cargo de cada tema. Para lograr esta tarea, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo ha delegado la labor al Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

En efecto, el IDAE es un organismo que intenta contribuir a la planificación, realización y consecución de los objetivos que España ha podido adquirir con relación a tres materias de suma importancia para la sociedad actual: eficiencia energética, energías renovables o verdes y otras tecnologías bajas en carbono.

5.2 OBJETIVOS DEL IDAE

Los objetivos que rigen la actividad diaria del IDAE están marcados sin duda por la lucha por la diversificación y el ahorro de la energía. Sin embargo, para lograr estos fines, el instituto debe organizar y ejecutar una lista bastante amplia de acciones que lo lleven a la consecución de sus metas.

En este sentido, el IDAE actúa tanto a nivel de difusión y formación, asesoramiento técnico, desarrollo de programas específicos y financiación de proyectos de innovación tecnológica, así como lidera una intensa actividad internacional en el marco de distintos programas europeos y cooperación con otros países.

Según el Real Decreto-ley 20/2012, de 13 de julio, el instituto se encuentra capacitado y facultado para dar apoyo a las tecnologías orientadas a la descarbonización de la generación eléctrica, prestar asistencia al Ministerio de Industria, Energía y Turismo en procedimientos administrativos, judiciales o arbitrales en los que sea parte la Administración General del Estado; y desarrollar como medio propio instrumental y servicio técnico, en los términos que prevea su Estatuto, y en todo lo relacionado con sus fines y funciones, los trabajos que se le encomienden por parte de la Administración General del Estado.

5.3. PROTOCOLO DE AUDITORÍA DE ALUMBRADO PÚBLICO

5.3.1. OBJETO

El protocolo de auditoría de alumbrado público tiene por objeto facilitar un procedimiento de actuación con el alcance de los trabajos para la realización de una auditoría energética de instalaciones de alumbrado público exterior.

Se conoce como auditoría energética el análisis de situación que permite conocer el modo de explotación, funcionamiento y prestaciones de las instalaciones de alumbrado, el estado de cada uno de sus componentes, los consumos energéticos y los costes de explotación.

Los objetivos de esta auditoría energética son los siguientes:

- Mejorar la eficiencia y el ahorro energético de estas instalaciones.
- Adaptar las nuevas instalaciones a la normativa vigente.
- Reducir el resplandor luminoso y por tanto la contaminación lumínica.

5.3.2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA

La auditoría energética engloba a las instalaciones de alumbrado público de carácter municipal, tanto ejecutadas por el propio Ayuntamiento, ejemplos de ello pueden ser las recibidas de promociones privadas, además también se encarga de la iluminación vial, ya sea funcional, ambiental, ornamental o cualquier otro tipo de instalación de iluminación exterior fija.

El alcance de los trabajos que se realizará constará de las siguientes fases:

- Toma inicial de datos.
- Auditoría energética de cada una de las instalaciones de alumbrado.
- Cumplimiento de las normativas vigentes.
- Propuestas de actuación.

5.3.3 TOMA DE DATOS DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

Una vez que se realiza la toma de datos se conoce el estado físico de las instalaciones de alumbrado respecto a un uso racional de la energía que consumen para conseguir que se la normativa vigente con el fin para el que fueron diseñadas.

Esta información necesaria deberá ser facilitada por los servicios técnicos del Ayuntamiento, ya que se encuentra contenida en la documentación y planos de los proyectos originales y replanteos acometidas con posterioridad de cada una de las instalaciones existentes.

Una vez hecho esto, el Auditor procederá a realizar la toma de datos de la situación actual de las instalaciones de alumbrado para poder llevar a cabo la realización de los análisis técnicos. Para ello, realizará sobre cada una de las instalaciones de alumbrado el análisis de los elementos integrantes de la misma, de acuerdo con las fichas de campo que se encuentran en el *Anexo 2*, que constará de los siguientes apartados:

1. El Auditor realizará las mediciones de los parámetros eléctricos incluidos en las fichas de campo como por ejemplo las tensiones entre fases, corriente por fase, potencia activa y reactiva, etc.
2. Además, realizará mediciones y cálculos de los parámetros lumínicos de cada tipo de instalación, como, por ejemplo:
 - Intensidad luminosa
 - Luminancias
 - Flujo radiante
 - Radiancia
3. Para llevar a cabo estas mediciones y poder obtener los datos necesarios, el Auditor deberá disponer de los equipos de medida necesarios como, por ejemplo:
 - Registradores de intensidad y tensión
 - Tenaza amperimétrica y voltimétrica
 - Luxómetro

Una vez hecho esto, se analizarán los siguientes aspectos:

- *Inventario desglosado de la instalación y de sus componentes.*

Identificación de cada centro de mando de la instalación, elementos, estado, etc.

- Cuadros eléctricos de mando y control.

- Características eléctricas.
- Protecciones.
- Líneas de salida.
- Puntos de luz por línea.
- Características de los puntos.

Identificación de cada uno de los suministros eléctricos a cada cuadro de mando y control.

- Líneas de distribución y acometida.
 - Tipo de líneas.
 - Ubicación y características.
 - Secciones.
 - Protecciones.

Distribución de los puntos de luz pertenecientes a cada cuadro de mando y control.

- Puntos de luz. Disposición.
 - Ubicación.
 - Características.
 - Disposición.
 - Tipología.

Identificación de las características de las luminarias pertenecientes a cada cuadro de mando y control.

- Tipo de luminarias.
 - Ubicación.
 - Características.
 - Disposición.
 - Tipología.

Identificación de las características de las lámparas pertenecientes a cada cuadro de mando y control.

- Características de los tipos de lámparas.
 - Identificación.

- Potencia.
- Tipología.

Identificación de los equipos de arranque de las lámparas en cuanto a sus características, tipo electromagnético o electrónico, nivel de encendido, etc, pertenecientes a cada cuadro de mando y control.

- Equipos de encendido.
 - Características.
 - Identificación de los elementos
 - Sistema.
 - Posibilidades de variación.

Identificación de cada uno los sistemas de regulación y control, por lámpara, por línea o general, pertenecientes a cada cuadro de mando y control.

- Sistemas de regulación y control.
 - Características.
 - Sistema.
 - Capacidad del mismo.

Identificación de las protecciones, tanto de entrada como de salida de línea, pertenecientes a cada cuadro de mando y control.

- Protecciones.
 - Características.
 - Tipología.

Realización de una valoración general de la situación y estado de cada uno de los componentes en cada instalación.

- Valoración general.
- *Análisis funcional de las instalaciones.*

Análisis de la tipología de funcionamiento de las instalaciones de alumbrado.

- Tipos de vía.
- Iluminancia.
- Luminancia.

- Flujo hemisférico superior instalado
- Parámetro y criterios de calidad
- Cumplimiento del REBT-ITC-09

- *Análisis energético de las instalaciones.*

Análisis de los parámetros de consumo y eficiencia energética.

- Potencia instalada
- Potencia reducida
- Elementos de medida
 - Características.
 - Tipología.
 - Número de elementos.
- Elementos de reducción de potencia
 - Características
 - Tipología
- Sistemas de maniobra y protección.
 - Características.
 - Tipología.
- Índices de eficiencia energética.
- Coeficientes de utilización.
- Rendimiento de la instalación.

- *Mantenimiento y gestión. Horarios de funcionamiento.*

Las condiciones con las que se gestionan y mantienen cada una de las instalaciones que conforman el alumbrado público de cada municipio son las siguientes:

- Régimen de funcionamiento general.
- Régimen de funcionamiento reducido.
- Régimen general de utilización.
- Horario anual de funcionamiento.

5.3.4 AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

Esta fase se realiza un análisis de la información que se obtiene de la toma de datos anteriormente realizada, consiguiendo repartir el gasto energético dividida en ratios relativos al servicio atendido en el que se evalúa la eficiencia de las instalaciones, lo que conlleva a que se pueda optimizar el gasto energético a las normativas y reglamentos vigentes.

Para conseguir este propósito, en este análisis de eficiencia energética, se tendrán en cuenta aspectos relativos como la definición de espacios iluminados, la implantación de sistemas de regulación y control, la optimización de potencias instaladas, la limitación del resplandor luminoso y la luz intrusa, de forma que se valore la calidad de las instalaciones teniendo en cuenta estos aspectos.

Para ello, se tendrán en cuenta los criterios que se establecen por los organismos competentes en el uso y optimización energética de instalaciones como pueden ser los establecidos por el IDAE y el CEI en su Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación.

Además, se analizarán las diferentes opciones que se puedan adoptar en cada uno de los municipios para el uso racional de la energía en cada una de las instalaciones de alumbrado mediante programas de gestión, de contabilidad energética, etc.

5.3.5 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

La presentación de los resultados seguirá el siguiente guión y reflejará los datos obtenidos de las características, mediciones realizadas sobre equipos, instalaciones y espacios iluminados, los ratios o consumos específicos obtenidos, así como la evaluación del grado de eficiencia de los sistemas o subsistemas que se consideren que afectan de forma propia al consumo global de las instalaciones.

- Se elaborará una evaluación técnica del funcionamiento de cada instalación, con observaciones relativas a cada una de las medidas correctoras que se adoptarán para la explotación de la misma.
- El Auditor propondrá las reformas que sean necesarias para poder alcanzar un máximo ahorro energético en la explotación de las instalaciones y el cumplimiento de los parámetros de calidad de las mismas, en función del análisis de los datos obtenidos del estudio de la instalación.

Las posibles mejoras serán valoradas en términos energéticos y económicos.

Para terminar, el documento final incluirá el escenario de la situación actual del alumbrado en el municipio mediante un cuadro resumen en el que se refleje el número de puntos de luz (PL), la potencia instalada, las horas de funcionamiento anuales y su consumo y coste anuales de energía. Además, este cuadro también se

cumplimentará para la futura instalación, con las reformas propuestas, y con las consecuencias energéticas y económicas que conllevará la implantación de dicha instalación.

La evaluación económica incluirá el alcance de la realización de las medidas propuestas, además de los periodos de amortización de menor a mayor:

- Medidas con periodo de amortización menor de un año.
- Medidas con periodo de amortización menor de tres años.
- Medidas con periodo de amortización superior a tres años.

El informe final será complementado, con información descriptiva de las nuevas tecnologías implantadas para la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones y la reducción de su impacto ambiental; como lámparas de menor consumo específico, sistemas de regulación y control, etc.

El Auditor presentará toda esta documentación en soporte gráfico y en soporte informático, lo que permitirá la posterior utilización por parte del Ayuntamiento. Asimismo, realizará la preparación técnica suficiente del personal encargado de la explotación y gestión de las instalaciones para la utilización de esta Auditoría.

CAPÍTULO 6. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad contamos con múltiples y diferentes sistemas para conocer el comportamiento de una luminaria. Se dispone de software de diseño y simulación cada vez más utilizados, especialmente en el proceso de diseño de un nuevo producto, y equipos de medida que nos proporcionan el resultado fotométrico del producto.

Por otro lado, cuando se realiza alguna modificación sobre el diseño realizado, es cada vez más habitual (especialmente con la irrupción en el mercado de la tecnología LED), cambiar el chip de un producto inicialmente diseñado para otro tipo de LED o utilizar una lámpara de menor potencia o de diferente tecnología. Con el tiempo, estas prácticas están más extendidas, buscando principalmente una disminución en el consumo energético con un gasto mínimo.

En muchos casos el cambio supone una pérdida de las prestaciones lumínicas, disminuyendo niveles y uniformidades de las instalaciones o incluso en luminarias viales diseñadas para iluminar hacia la calzada, nos encontramos que ahora lo que iluminan son las aceras o los arceles.

Para conocer el resultado del cambio antes de hacer la inversión, podemos hacer ensayos fotométricos con cada una de las opciones, aunque realizar diferentes adaptaciones para ver qué ocurre puede resultar caro y poco eficiente. Sin embargo, realizar simulaciones partiendo de un producto nos puede dar una idea muy aproximada de cuál será el resultado final y de qué cambios pueden realizarse en la luminaria para obtener un producto cuyas prestaciones lumínicas sean las adecuadas.

Por tanto, estas herramientas de simulación pueden ser muy útiles para valorar la conveniencia de realizar inversiones en sustitución directa de lámpara, analizando no sólo el ahorro energético sino la calidad final de la instalación.

6.1.1. PROCESO DE SIMULACIÓN FOTOMÉTRICA

El proceso de simulación consiste en analizar la trayectoria que sigue cada uno de los rayos que parten de una fuente luminosa y se propagan, reflejan o dispersan en diferentes medios, obteniendo como resultado final el comportamiento fotométrico de un producto.

Para ello necesitamos conocer:

- Modelo de lámpara a emplear
- Modelo 3D de los componentes ópticos de la luminaria diseñada

- Materiales de cada una de las partes de la luminaria

6.1.2 PROCESO DE SIMULACIÓN FOTOMÉTRICA PARA UNA LUMINARIA VIAL

En el mercado se dispone de luminarias para alumbrado público de gran calidad, en la mayoría de los casos estas luminarias están preparadas para funcionar con varios tipos de lámparas y con diferentes potencias, para ello los fabricantes diseñan sus productos de forma que puedan ser utilizados, por ejemplo, con lámparas de VSAP desde 70W hasta 250W, aunque para que en todos los casos el resultado sea el más adecuado, disponen de portalámparas con diferentes posiciones en función de la lámpara a utilizar o en función de la potencia.

6.2. EJEMPLOS DE SOFTWARE

6.2.1 RELUX

Relux Informatik AG es una empresa establecida en Suiza que desarrolla, elabora y distribuye programas y aplicaciones destinados a la planificación y presentación de proyectos de iluminación. El ámbito de operación de la empresa es global y trabaja en estrecha colaboración con sus respectivas representaciones. Hoy en día, Relux es un referente en la planificación de iluminación actual.

Esta empresa ofrece a los usuarios una serie de aplicaciones innovadoras y potentes para la planificación de la iluminación, con interfaces abiertas y acceso simultáneo a los datos de productos más actuales de los fabricantes de luminarias, detectores y medios luminosos.

Sus programas de planificación de alta calidad pueden ponerse a disposición de los usuarios gratuitamente o por unas pequeñas tasas de licencia.

Los datos de productos proporcionados por los miembros Relux se presentan en un DVD común, en bloques individuales para descargarlos de Internet o la última modalidad: directamente desde las aplicaciones, en línea, vía Internet.

En febrero de 1998 la empresa fue fundada como Sociedad Limitada por tres fabricantes de luminarias. Se pudo integrar en la nueva sociedad el programa desarrollado hasta entonces por la Asociación Profesional Suiza de la Industria de Iluminación (Schweizerischer Fachverband der Beleuchtungsindustrie).

En el año 2008 la compañía celebró su décimo aniversario. Con ese motivo desarrolló un conjunto especial de aplicaciones denominado ReluxSuite.

Relux cuenta con los datos de luminarias de 51 fabricantes internacionales y está disponible en una versión gratuita. Incluye texturas, representación-3D del espacio, movimiento en el espacio en tiempo real, proyecciones horizontales poligonales y amplia biblioteca-3D de muebles. Realiza el cálculo y ubicación automáticos de las luminarias de emergencia para una vía de evacuación. Permite la Importación/Exportación dxf, Importación/Exportación 3D.

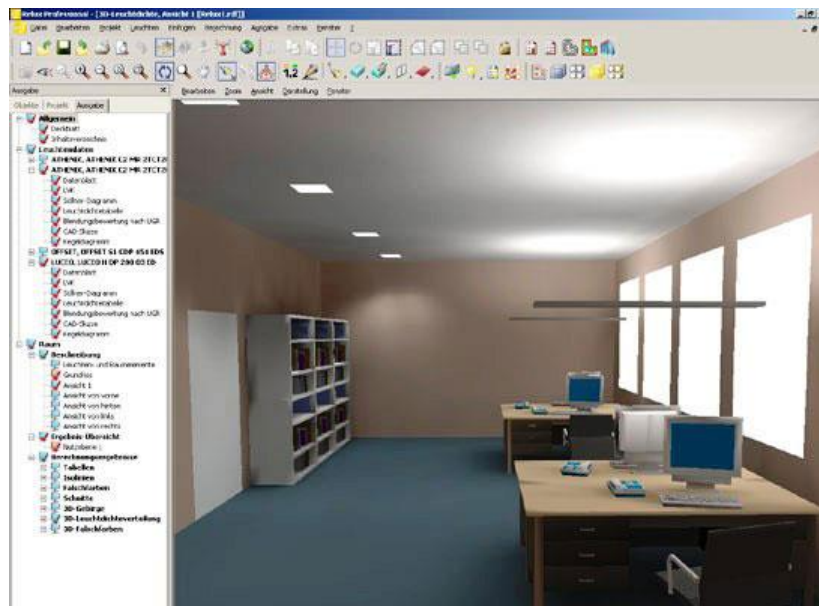


ILUSTRACIÓN 62. INTERFAZ DEL SOFTWARE RELUX

6.2.2. LITESTAR 4D

Es un software para la elaboración de proyectos luminotécnicos para el estudio de ambientes internos y externos (áreas genéricas, áreas deportivas, viales, túneles y para la gestión de la documentación fotométrica y comercial, para hacer el trabajo de los profesionales del sector de una forma sencilla y eficaz.

LITESTAR 4D está compuesto por los siguientes módulos:

- Litecalc – Áreas externas: Es la parte de Litecalc dedicada a la gestión de la iluminación de áreas externas genéricas, como plazas, aparcamientos, etc. e incluye las siguientes funciones:
 - Inserción manual de luminarias individualmente o por grupos
 - Importación de equipos u objetos característicos en 3D (plantas, mobiliario urbano, báculos) de ficheros externos o directamente de la librería del programa
 - Definición de áreas de cálculo especiales mediante planos de trabajo regulares
 - cálculo de los parámetros de la iluminancia y luminancia, deslumbramiento y contaminación luminosa.
- Liswin: Es el módulo de programa de catálogo electrónico interactivo que incluye las siguientes funciones:
 - Búsqueda paramétrica y en diagrama de árbol de productos a varios niveles (luminarias y lámparas)

- Actualización de datos por Internet a través de los WebCatalogs haciendo uso de la función Arrastrar&Soltar (Drag&Drop)
- Gestión de las listas de precios y divisas
- **WebCatalog:** Catálogo electrónico interactivo por Internet. Es un conjunto de instrumentos de navegación por Internet (buscador) que conjuga un diseño sencillo con una tecnología sofisticada que hace que la visualización de luminarias y lámparas a través de dispositivos móviles para conectividad a Internet sea rápida y sencilla.
- **Photoview:** Es un potente programa de elaboración de fotometrías de luminarias y lámparas que incluye las funciones de:
 - Visualización e impresión de gráficos y tablas
 - Inserción manual
- **Lisdat:** Módulo de gestión de datos de catálogo. Es un programa para la gestión de los datos de catálogo de las luminarias y de las lámparas que incluye las siguientes funciones:
 - Inserción manual
 - Importación de datos de ficheros MSEXcel sobre la base de OxyTech
- **TracePro:** es un sistema para el diseño y el análisis de sistemas ópticos, reflectores, retroiluminación de pantallas LCD, luz parásita y, en general, de todos los sistemas que utilizan la luz como energía radiante.

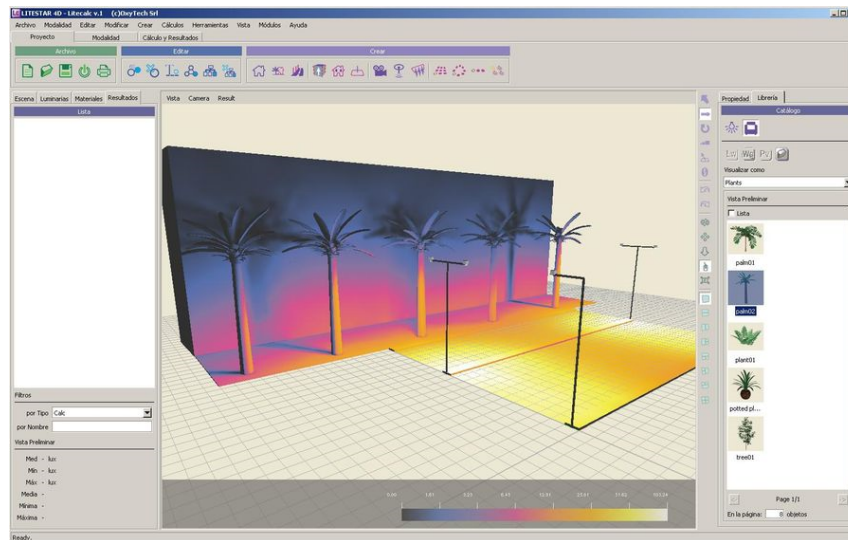


ILUSTRACIÓN 63. INTERFAZ DEL SOFTWARE LITESTAR 4D

6.2.3. DIALUX

DIALux, es una herramienta completa y eficaz para desarrollar un proyecto lumínico. Es un práctico software para estudios luminotécnicos, es completo y versátil, pues ofrece recursos innovadores que automatizan el proceso para dimensionar los sistemas de iluminación.

DIALux se ha establecido como programa para cálculo de iluminación y es utilizado para hacer proyectos de iluminación en 189 países.

Además, este software posibilita la aplicación de varios modelos de luminarias en un mismo ambiente y el desarrollo de proyectos más originales y sofisticados.

- Permite adicionar varias luminarias en un mismo ambiente.
- Informe de especificación de las luminarias utilizadas en el proyecto.
- Informe completo por proyecto, generado automáticamente.
- Opción de grabar los proyectos aún en desarrollo, sin la preocupación de perder aquellos que no fueron finalizados.
- Proporciona archivos en formato IES y ELUMDAT, para la utilización en otros softwares de iluminación.

La ventaja de este software es que es muy sencillo de usar y no hay problemas en usar un entorno 2D y 3D para el diseño de un proyecto. Otra de sus ventajas es que se puede cargar archivos dwg de AUTOCAD.

Desde hace años DIALux permite optimizar los viales de un proyecto de alumbrado exterior. El proyectista puede ajustar diversos parámetros, como por ejemplo las posiciones del reflector, la máxima distancia entre puntos de luz, la altura del poste o la inclinación. En pocos segundos selecciona de entre miles de alternativas en un listado la más adecuada y el tipo de producto óptimo.

DIALux permite instalar plugins de diferentes empresas que ofrecen catálogos de luminarias, la cual permite al diseñador escoger el tipo de luminaria que más se acomode al proyecto y ver cual resulta más económico, algunas de las empresas son:

Recientemente DIALux ha desarrollado una nueva versión llamada *DIALux evo*, mucho más rápida, que permite seleccionar el tipo de luminaria entre cientos de fabricantes y modelos y posicionarla automáticamente según los parámetros establecidos en cuanto a niveles mínimos de lux, factores de mantenimiento según la actividad que se lleva a cabo y otra serie de coeficientes, además muestra con gran detalle el acabado final tanto en 2D, como en 3D.

Uno de los aspectos que podrían resultar novedosos de esta nueva actualización es la generación de reportes de consumo energético en tiempo real con los que se puede ver si el proyecto que se realiza cumple con las normativas energéticas actuales.

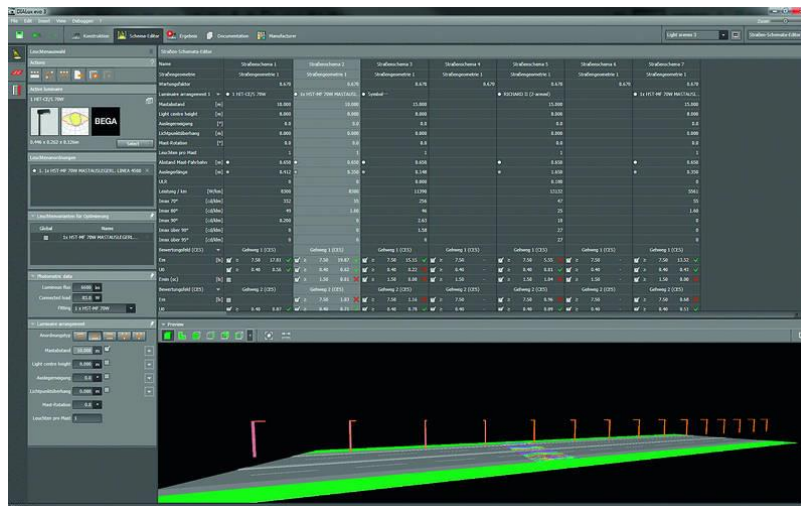


ILUSTRACIÓN 64. INTERFAZ DEL SOFTWARE DIALUX EVO

CAPÍTULO 7. CASO PRÁCTICO

7.1. INTRODUCCIÓN

En este último capítulo se simularán una serie de calles divididas en 12 tipos y una vez simuladas se procederá a simular las distintas calles reales del municipio y se compararán para ver si es posible obtener resultados similares.

7.2. SIMULACIÓN DE CALLES

Para los cálculos de los niveles de iluminación y el cumplimiento de los requisitos luminotécnicos de este Trabajo Fin de Grado se ha utilizado el programa de cálculo *DIALux evo* con los resultados que se adjuntan a continuación.

Para realizar el cálculo de los niveles de iluminación se han simulado 12 tipos de calles, cada tipo está compuesto por 8 subtipos que irán desde una interdistancia mínima de 10 m hasta una máxima de 45 m, cada subtipo aumentará la interdistancia del anterior en 5 m.

Cada tipo de simulación corresponde a un tipo de calle, tal y como se puede observar en la *Tabla 17*:

Tipo	Calzada	Carriles	Aparcamientos	Mediana	Acera 1 (m)	Aparcamiento 1 (m)	Calzada 1 (m)	Mediana (m)	Calzada 2 (m)	Aparcamiento 2 (m)	Acera 2 (m)
1	0-5 m	1	1	0	1	2	3	0	0	0	1
2	0-5 m	2	0	0	1	0	2,5	0	2,5	0	1
3	5 - 10 m	1	2	0	1	2	3	0	0	2	1
4	5 - 10 m	2	0	1	1	0	3	1	3	0	1
5	5 - 10 m	2	1	0	1	2	2,5	0	2,5	0	1
6	5 - 10 m	2	1	1	1	2	2,5	2	2,5	0	1
7	10 - 25 m	4	0	0	1	0	6	0	6	0	1
8	10 - 25 m	4	0	1	1	0	6	1	6	0	1
9	10 - 25 m	1	batería y línea	0	1	4,5	3,5	0	0	2	1
10	10 - 25 m	2	2 línea	0	1	2,5	3	0	3	2,5	1
11	10 - 25 m	2	2	1	1	2,5	3	2	3	2,5	1
12	10 - 25 m	1	batería y línea	0	1	4	3	0	0	2	1

TABLA 17. TIPOS DE SIMULACIÓN

Después de realizar esta serie de simulaciones junto a los cálculos correspondientes, los cuales se adjuntan en el *Anexo I*, se llega a la conclusión de que conforme aumenta la interdistancia entre luminarias, aumentará también la potencia de dichas luminarias. Como se puede ver por ejemplo en el *tipo 1* en la *Tabla 18*:

Tipo	Calzada	Interdistancia	Disposición	Altura luminaria	Luminaria	W Luminaria
Tipo 1-10	0-5	10	Unilateral	10	Schröder AMPERA MIDI 5068 48 LEDs 350mA Cw 351322	53
Tipo 1-15	0-5	15	Unilateral	11	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDs 500mA Cw 351552	75
Tipo 1-20	0-5	20	Unilateral	10	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDs 500mA Cw 351552	75
Tipo 1-25	0-5	25	Unilateral	7	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDs 500mA Cw 351552	75
Tipo 1-30	0-5	30	Unilateral	10	Schröder AMPERA MIDI 5102 64 LEDs 500mA Nw 351352	99
Tipo 1-35	0-5	35	Unilateral	7	Schröder AMPERA MIDI 5068 - 64 Cree XP-G2 700mA Nw Flat, Glass Extra Clear, Smooth 351322	139
Tipo 1-40	0-5	40	Unilateral	10	Schröder AMPERA MIDI 5102 - 64 Cree XP-G2 700mA Cw Flat, Glass Extra Clear, Smooth 351352	139
Tipo 1-45	0-5	45	Unilateral	8	Schröder AMPERA MAXI 5068 - 128 Cree XP-G2 700mA Nw Flat, Glass Extra Clear, Smooth 348462	279

TABLA 18. TIPO 1

Lo mismo ocurre con la anchura de la vía, es decir, conforme aumenta la anchura de la vía, a su vez, la potencia también aumentará. Para verlo comparamos por ejemplo de nuevo el *tipo 1* (con un ancho de calzada de 0-5 m) con el *tipo 12* (con un ancho de calzada de 10-25m).

Tipo	Anchura	Interdistancia	W Luminaria	Tipo	Anchura	Interdistancia	W Luminaria
Tipo 1-10	0-5	10	53	Tipo 12-10	10-25	10	70
Tipo 1-15	0-5	15	75	Tipo 12-15	10-25	15	122
Tipo 1-20	0-5	20	75	Tipo 12-20	10-25	20	180
Tipo 1-25	0-5	25	75	Tipo 12-25	10-25	25	213
Tipo 1-30	0-5	30	99	Tipo 12-30	10-25	30	245
Tipo 1-35	0-5	35	139	Tipo 12-35	10-25	35	279
Tipo 1-40	0-5	40	139	Tipo 12-40	10-25	40	279
Tipo 1-45	0-5	45	279	Tipo 12-45	10-25	45	279

TABLA 19. TIPO 1 VS TIPO 12

También se ha analizado la iluminancia media (E_m), la iluminancia mínima (E_{min}) y la uniformidad de iluminancia (U_0), siendo igual al cociente de la iluminancia mínima entre la iluminancia media. Este valor según la normativa vigente para la clase de alumbrado S1 debe de tener un valor de U_0 mayor o igual a $\frac{1}{3}$, tal y como se observa en la *Ilustración 65*:

Series S de clase de alumbrado para viales tipos C, D y E

Clase de Alumbrado ⁽¹⁾	Iluminancia horizontal en el área de la calzada	
	Iluminancia Media E_m (lux) ⁽¹⁾	Iluminancia mínima E_{min} (lux) ⁽¹⁾
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1

(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.

ILUSTRACIÓN 65. SERIES S DE CLASE DE ALUMBRADO

CALLE SIMULADA	E_m (calzada)	E_{min} (Calzada)	U_0 (Calzada)
Tipo 1-10	18,83	18,44	0,98
Tipo 1-15	18,97	16,56	0,87
Tipo 1-20	19,47	16,23	0,83
Tipo 1-25	19,95	9,96	0,50
Tipo 1-30	19,07	11,81	0,62
Tipo 1-35	17,52	5,84	0,33
Tipo 1-40	17,94	7,61	0,42
Tipo 1-45	18,86	6,6	0,35

TABLA 20. E_m , E_{min} Y U_0 TIPO 1

Cada uno de los 12 tipos, así como los cálculos correspondientes a las simulaciones que se han realizado se incluirán en el *Anexo I* mediante un informe generado por el Software *DIALux evo*.

7.3. CÁLCULOS TARIFACIÓN ELÉCTRICA

7.3.1 INTRODUCCIÓN A LA TARIFACIÓN ELÉCTRICA

El sistema de tarifación eléctrica es el medio por el cual se establece un contrato para un determinado suministro de energía eléctrica en alta o baja tensión entre el distribuidor y el consumidor, sobre las condiciones del suministro y la compensación económica, bajo la reglamentación de la Dirección General de Política Energética y Minas y de aplicación en todo el territorio nacional.

Las empresas suministradoras elaboran, sobre las variaciones que sufren los costes de producción del kWh, una petición de reajuste de las tarifas eléctricas al Gobierno. Esta petición es analizada por organismos competentes y es formulada por la Comisión Delegada del Gobierno para Asuntos Económicos la cual la remitirá al Consejo de Ministros para su aprobación.

Los aspectos que se tendrán en cuenta para elegir el tipo de contrato son: La potencia de contratación y las características de utilización que se haga de la energía eléctrica.

La potencia de una instalación eléctrica se determina conociendo la potencia de cada carga, su localización, para poder fijar la potencia de utilización, y posteriormente la de contratación.

- **Potencia instalada.** Suma de las potencias nominales de todos los receptores de la instalación eléctrica.
- **Potencia absorbida.** Corresponde a la potencia útil, partiendo de la potencia instalada, teniendo en cuenta los rendimientos y factores de potencia ($\cos \varphi$) de cada carga.
- **Potencia contratada.** Debido a que todos los receptores de una instalación eléctrica no se utilizan al mismo tiempo ni a la máxima potencia, es preciso conocer los factores de utilización y de simultaneidad de cada receptor que permitan determinar la potencia de contratación.

7.3.2 SISTEMA TARIFARIO

El sistema tarifario español se regula por la *Orden Ministerial de 12 de Enero de 1995 en su Anexo I*, siendo su ámbito de aplicación la energía suministrada por las empresas acogidas al Sistema Integrado de Facturación de Energía Eléctrica (SIFE).

7.3.2.1 ESTRUCTURA GENERAL TARIFARIA

Las tarifas de energía eléctrica son de estructura binómica: término de facturación de potencia (TP) expresado en kW y término de facturación de energía (TE), expresado en kWh.

El término de potencia está en función de la potencia contratada por el consumidor, y se obtiene por el producto de la potencia a facturar por el precio del término de potencia según la tarifa elegida.

El término de energía representa la energía consumida por el consumidor en el correspondiente periodo de facturación, obteniéndose del producto de la energía consumida durante dicho periodo por el precio del término de energía.

La suma de estos dos términos constituye la tarifa básica que figurará siempre en cualquier facturación, independientemente del tipo de tarifa contratada.

Además de la tarifa básica existen complementos que se aplican sobre los términos anteriores como la discriminación horaria y la energía reactiva (Q), que serán recargos a los valores de la tarifa básica.

7.3.3 TIPO DE TARIFA ELÉCTRICA

7.3.3.1 TARIFAS SIN DISCRIMINACIÓN HORARIA BT

A partir del 1 de julio de 2009, los tipos de tarifa eléctrica vienen definidos en función de la potencia contratada:

- Potencia contratada inferior a 10 Kw:
 - Tarifa 2.0A: Contratar el suministro de energía con una empresa comercializadora, a un precio libremente fijado por ésta.

- Potencia contratada superior a 10 kW:
 - Tarifa 2.1A: Tarifa para potencias entre 10 y 15 kW sin discriminación horaria.

 - Tarifa 3.0A: Tarifa para potencias de más de 15 kWh de BT, con 3 períodos horarios (Punta, Llano y Valle).

En la *Ilustración 66* se pueden ver los valores normalizados de la potencia contratada:

Intensidad [A]	Potencias eléctricas normalizadas [kW]			
	Monofásicos		Trifásicos	
	220 V	230 V	3*220/380 V	3*230/400 V
1,5	0,330	0,345	0,987	1,039
3	0,660	0,690	1,975	2,078
3,5	0,770	0,805	2,304	2,425
5	1,100	1,150	3,291	3,464
7,5	1,650	1,725	4,936	5,196
10	2,200	2,300	6,582	6,928
15	3,300	3,450	9,873	10,392
20	4,400	4,600	13,164	13,856
25	5,500	5,750	16,454	17,321
30	6,600	6,900	19,745	20,785
35	7,700	8,050	23,036	24,249
40	8,800	9,200	26,327	27,713
45	9,900	10,350	29,618	31,177
50	11,000	11,500	32,909	34,641
63	13,860	14,490	41,465	43,648

Con derecho al PVPC

ILUSTRACIÓN 66. POTENCIA CONTRATADA. FUENTE: IBERDROLA

7.3.3.2 TARIFAS CON DISCRIMINACIÓN HORARIA BT

Opcionalmente, los consumidores acogidos a las tarifas citadas anteriormente que dispongan del equipo de medida, podrán aplicar un complemento por discriminación horaria que diferencia dos periodos tarifarios al día.

Es una modalidad de la tarifa en baja tensión que, con el equipo de medida adecuado, permite obtener una bonificación sobre el precio del kWh consumido exclusivamente en las horas de valle, por la noche.

Existe un precio para los consumos en las horas del día y otro para las horas de la noche.

En cualquier caso, para estos suministros la potencia a contratar será la máxima potencia prevista a demandar considerando tanto las horas punta como las horas de valle.

A su vez las tarifas con discriminación horaria van en función de la potencia contratada:

- Potencia contratada inferior a 10 Kw:
 - Tarifa 2.0DHA: Es una variante de la tarifa 2.0A con discriminación horaria.
- Potencia contratada superior a 10 kW:
 - Tarifa 2.1DHA: Es una variante de la tarifa 2.1A con discriminación horaria.

7.3.3.3 TARIFA 3.0A

El Alumbrado Público actual del municipio estudiado se rige por una Tarifa 3.0A. Como ya se ha mencionado anteriormente es una tarifa de acceso para suministros de baja tensión con una potencia contratada superior a los 15kW.

Sus principales características son las siguientes:

- Tarifa eléctrica de baja tensión (BT).
- Se trata de una tarifa para potencias superiores a 15 kW.
- Es una tarifa con 3 periodos tarifarios: punta, valle y llano. Siempre es una tarifa con discriminación horaria.
- Se factura la potencia por maxímetro.
- Se penaliza por la energía reactiva no compensada.

En una tarifa 3.0A no existe la opción de acogerse a una tarifa regulada, no existe la opción Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC), sino que siempre hay un mercado libre. El gobierno marca los precios de los peajes de acceso (ATR), pero cada comercializadora aplicará el margen de beneficio y las condiciones contractuales que crea oportunas.

Los peajes de acceso de terceros a redes o ATR, es una cuota que todos los suministros eléctricos deben abonar por el uso de la infraestructura eléctrica, para asumir el mantenimiento y la disponibilidad de la energía. Los ATR se pagan en función de la potencia contratada y la energía consumida, es decir, parte del término de potencia es debido al ATR, así como parte del término de energía, también es consecuencia del ATR.

En la actualidad, los peajes ATR para la tarifa 3.0A están reguladas por la Orden IET/107/2014, de 31 de enero de 2014 y son los siguientes:

3.0A	Colectivo de aplicación	Tp [€/kW año]			Te [€/kWh]		
		Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3
	Pc > 15 kW	40,728885	24,437330	16,291555	0,120359	0,09959	0,070885

ILUSTRACIÓN 67. TP Y TE TARIFA 3.0A. FUENTE: IBERDROLA

A continuación, se va a explicar cuáles son y cómo se calculan los parámetros de una tarifa 3.0A:

- **Término de potencia:** Es el resultado de multiplicar la potencia contratada por el precio del término de potencia y por el número de días que se factura.
- **Término de energía:** Se trata de un coste variable en función del consumo. Es el resultado de multiplicar la energía consumida durante el período de facturación que corresponda por el precio del término de la energía.

En las tarifas 3.0A existen tres periodos: punta (4 horas diarias), llano (12 horas diarias) y valle (8 horas diarias). Cada periodo tarifario tiene un precio diferente de la energía. La distribución de los horarios varía en función de si es temporada de

invierno o verano, cambiando de uno a otro cuando se produce el cambio horario. La distribución de los periodos se muestra en la *Ilustración 68*:



ILUSTRACIÓN 68. HORARIOS TARIFA 3.0A. FUENTE: IBERDROLA

- **Penalizaciones por energía reactiva:** En la tarifa 3.0A se penaliza la descompensación de la energía reactiva. Es una energía no consumida (no tiene utilidad) y debería haberse consumido. Cuando en la red existen grandes descompensaciones entre la energía activa utilizada y la energía reactiva que debería haberse utilizado se producen problemas en las redes eléctricas, fundamentalmente aumenta la temperatura de cables, el mal funcionamiento de los equipos, etc. Por tanto, dado que no es bueno para la red eléctrica una descompensación entre activa y reactiva, las distribuidoras penalizan a los usuarios que no compensan esa energía reactiva. Los principales equipos descompensadores de la reactiva son aquellos que tienen bobinas (motores) y el método para compensar es la utilización de baterías de condensadores.

La penalización de energía reactiva está regulada por el *Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre de 2001* y la *orden ITC 1723/2009, de 26 de junio de 2009*.

La penalización se aplicará sobre los períodos tarifarios punta y llano (P1 y P2), siempre que el consumo de energía reactiva exceda el 33% del consumo de activa durante el período de facturación considerado y únicamente afectará a dichos excesos. Comenzará a penalizarse cuando el $\cos\phi$ sea menor a 0,95.

Los precios que se aplican para calcular la penalización de la reactiva en las tarifas 3.0A son los que se muestran en la *Ilustración 69*:

Energía reactiva			
	Colectivo de aplicación	Tr [€/kVarh]	
		BT	AT
		Todas las tarifas (*)	$0,90 \leq \cos\phi < 0,95$
	$0,85 \leq \cos\phi < 0,90$	0,041554	0,041554
	$0,80 \leq \cos\phi < 0,85$	0,041554	0,041554
	$\cos\phi < 0,80$	0,062332	0,062332

ILUSTRACIÓN 69. ENERGÍA REACTIVA. FUENTE: IBERDROLA

El $\cos\varphi$ se calcula de la siguiente forma:

$$\cos\varphi = \frac{\text{Energía Activa}}{\sqrt{(\text{Energía Activa})^2 + (\text{Energía Reactiva})^2}}$$

- **Impuesto sobre la electricidad:** A partir de la ley del sector eléctrico, que entró en vigor en 1998, se incluye un nuevo impuesto, denominado impuesto sobre la electricidad, que sustituye al antiguo canon sobre la minería del carbón, con el mismo porcentaje (el 4,864%) y aplicación sobre los mismos términos de la facturación, afectado de un coeficiente regulador (1,05113).

A este impuesto sobre la electricidad se le debe aplicar el IVA del 21% en vigor, que es el que se *emplea en toda la facturación de la electricidad*.

Su aplicación es la siguiente:

a) Impuesto sobre la electricidad

$I_e = 0,04864 \times 1,05113 \times (\text{Término de potencia} + \text{Término de energía} + \text{Complemento de energía reactiva})$

b) IVA

$IVA = 0,21 \times (\text{Término de potencia} + \text{Término de energía} + \text{Complemento de discriminación horaria} + \text{Complemento de energía reactiva} + \text{Impuesto sobre la electricidad})$

Por tanto, la facturación total será la suma del Término de Potencia + Término de Energía + Impuesto sobre la electricidad + IVA.

7.4. CASO ACTUAL

En la actualidad el Alumbrado Público del municipio estudiado se compone de luminarias de vapor de sodio (VSAP). A continuación, se va a proceder a explicar los cálculos de facturación del 15 de diciembre de 2011 al 13 de diciembre de 2012.

Los datos del suministro son los siguientes:

Suministro	SXXX
DIRECCIÓN	Alumbrado Público Calle X, Región de Murcia
TARIFA	3.0A
Observaciones	AP
Qué ILUMINA	AP

TABLA 21. SUMINISTRO SXXX

- La tarifa actual contratada es 3.0A, tarificación es de tres periodos (punta, llano y valle).
- La potencia contratada es de 33 kW.
- El modo de facturación actual es de libre mercado.

Los datos del suministro son los siguientes:

DATOS INICIALES DEL SUMINISTRO														
Fecha Inicio	Fecha Fin	Días	PUNTA (KWH)	LLANO (KWH)	VALLE (KWH)	ACTIVA (kWh)	Reactiva (kVarh)	Max (Kw)	Cos fi	Termino de Potencia (€)	Termino de Energía (€)	Impuesto (€)	I.V.A (€)	Total (€)
15/12/2011	12/01/2012	28	3042	1780	5526	10348	3712	29	0,94	65,83 €	1261,07	67,84 €	292,90 €	1687,64
12/01/2012	13/02/2012	32	3617	2001	7309	12927	5250	32	0,93	86,17 €	1546,05	83,45 €	360,29 €	2075,96
13/02/2012	12/03/2012	28	2885	1906	6647	11438	5191	33	0,91	79,50 €	1329,56	72,04 €	311,03 €	1792,13
12/03/2012	14/04/2012	33	1231	3223	7825	12279	5592	33	0,91	93,69 €	1303,46	71,43 €	308,40 €	1776,98
14/04/2012	11/05/2012	27	0	2930	6074	9004	4111	33	0,91	74,58 €	908,02	50,24 €	216,90 €	1249,73
11/05/2012	12/06/2012	32	0	2996	6739	9735	4470	33	0,91	87,52 €	972,20	54,18 €	233,92 €	1347,82
12/06/2012	12/07/2012	30	8	2549	6156	8713	4070	32	0,91	81,51 €	859,86	48,13 €	207,79 €	1197,29
10/08/2012	13/09/2012	34	0	3662	7684	11346	5330	33	0,91	92,99 €	1132,20	62,64 €	270,44 €	1558,27
13/09/2012	11/10/2012	28	0	3923	6883	10806	5140	34	0,90	77,85 €	1105,43	60,50 €	261,19 €	1504,97
11/10/2012	14/11/2012	34	2311	4178	8699	15188	7018	37	0,91	119,07 €	1719,69	94,01 €	405,88 €	2338,65
14/11/2012	13/12/2012	29	3723	2311	7107	13141	3983	37	0,96	179,10 €	1592,55	90,58 €	391,07 €	2253,29
15/12/2011	13/12/2012	335	16817	31459	76649	124925	53867	33	0,92	1.037,81 €	13.730,09 €	755,04 €	3.259,82 €	18.782,75 €
														TOTAL

TABLA 22. DATOS SUMINISTRO ACTUAL

Como se puede observar en la *Tabla 22*, el periodo de facturación desde el 12 de julio de 2012 al 10 de agosto de 2012 no hay datos de facturación por lo que no hay gasto en dicho periodo.

Sumando todos los parámetros de facturación explicados anteriormente en el punto 7.3.3.3 en los 335 días, la facturación asciende a un total de 18.782,75€

7.5. CASO SIMULADO

En la propuesta de mejora del Alumbrado Público se van a sustituir las luminarias de VSAP por LEDS para ver si se consigue reducir el consumo de energía para conseguir que dicho alumbrado sea más eficiente energéticamente.

En la *Tabla 23* se muestran las calles reales que se van a simular, de las que se van a calcular los parámetros de facturación de igual forma que se hizo en el punto 7.4.

CALLE SIMULADA	Anchura	Interdistancia	Disposición	Luminarias	altura luminaria	Inclinación	Longitud Brazo	Tipo Lumina	Luminaria	∇ Lum	Cat Lum	Em (calzada)	E min (Calzada)	Uo (Calzada)
A	7	10	Central	2	8	0	15	D	Schröder AMPERA MINI 5068 - 24 Cree XP-G2 700mA V/V Flat, Glass Extra Clear, Smooth 356372	55	S1	18,13	14,22	0,78
B	10	20	Central	2	11,5	3	13	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	20,43	14,75	0,72
C	7	20	Unilateral	1	10	2	13	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	18,69	15,40	0,82
D	6,5	25	Unilateral	1	10,5	0	2,5	D	Schröder AMPERA MIDI 5102 64 LEDS 500mA N/v 351352	59	S1	21,08	16,25	0,77
E	6,5	15	Unilateral	1	12	0	13	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	21,59	13,52	0,90
F	6,5	15	Unilateral	1	12	0	13	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	21,59	13,52	0,90
G	6,5	24	Unilateral	1	8,5	0	14	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	18,37	12,35	0,67
H	6	15	Unilateral	1	12	0	1	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	21,06	18,31	0,87
I	5	23	Unilateral	1	8,5	0	0,5	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	19,64	12,37	0,63
J	5,5	20	Unilateral	1	10,5	0	13	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	18,52	16,43	0,83
K	5,5	20	Unilateral	1	10,5	0	13	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	18,52	16,43	0,83
L	7	25	Unilateral	1	11	0	2	D	Schröder AMPERA MIDI 5095 - 48 Cree XP-G2 700mA V/V Flat, Glass Extra Clear, Smooth 351332	59	S1	20,10	15,28	0,78
M	6	22	Unilateral	1	8,5	0	1	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	20,85	13,16	0,64
N	5,5	20	Unilateral	1	9,5	4	13	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	22,33	15,39	0,69
O	5	24	Unilateral	1	8	0	1	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	17,95	12,14	0,68
P	5,5	19	Unilateral	1	9	5	13	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	21,28	16,63	0,78
Q	5	40	Unilateral	1	10	0	0,5	D	Schröder AMPERA MIDI 5102 - 64 Cree XP-G2 700mA C/v Flat, Glass Extra Clear, Smooth 351352	139	S1	18,45	7,81	0,42
R	6	25	Unilateral	1	10	0	1	D	Schröder AMPERA MIDI 5102 64 LEDS 500mA N/v 351352	59	S1	21,77	15,60	0,72
S	7,5	24	Unilateral	1	11	4	1	D	Schröder AMPERA MIDI 5102 64 LEDS 500mA N/v 351352	59	S1	20,16	16,77	0,78
T	9	29	Tresbolillo	1	12	0	0,7	D	Schröder AMPERA MIDI 5138 48 LEDS 500mA C/v 351552	75	S1	21,60	18,58	0,86

TABLA 23. CALLES REALES SIMULADAS

Esta propuesta se va a realizar con un sistema de encendido y apagado mediante un *reloj astronómico*, el cual fue explicado en el punto 3.3.4 para conseguir así la máxima eficiencia energética de forma que no haya un consumo innecesario de energía.

Para ello se procede a calcular el orto y el ocaso de cada día del periodo de facturación que vamos a estudiar, de forma que:

El Sol, está en el *orto* cuando atraviesa el plano del horizonte y pasa al hemisferio visible. Esto determina el comienzo del día.

Por otro lado, el Sol está en el *ocaso* cuando atraviesa el plano del horizonte y pasa del hemisferio visible al no visible. Esto determina el fin del día.

Por tanto, la duración del día está entre el orto e el ocaso.

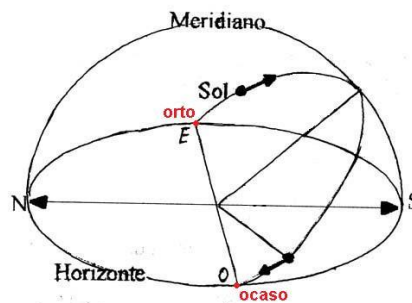


ILUSTRACIÓN 70. ORTO Y OCASO

Los cálculos de cómo se han calculado el orto y el ocaso de cada día se incluyen detallados en el *Anexo III*.

En la *Tablas 24 y 25* se muestran los días de invierno y los de verano, así como las horas de punta, llano y valle de cada uno de los tres periodos.

Días Invierno	145
Días Verano	190
Días Totales	335

TABLA 24. DÍAS RELOJ ASTRONÓMICO

	Punta	Llano	Valle	Horas totales	
Horas Invierno	533,88	682,57	1323,45	2539,90	
Horas Verano	0,00	637,07	1172,53	1809,60	
				4349,50	TOTAL

TABLA 25. HORAS PUNTA, LLANO Y VALLE

Teniendo en cuenta los días de invierno y verano y las horas de punta, llano y valle, se calculará el coste del término de potencia (TP) y el término de energía (TE) por día de la siguiente forma:

$$TP = 335 \cdot \left(\frac{\text{Potencia} \cdot TP(E1)}{365} \right) + 335 \cdot \left(\frac{\text{Potencia} \cdot TP(E2)}{365} \right) + 335 \cdot \left(\frac{\text{Potencia} \cdot TP(E3)}{365} \right)$$

$$TE = TE(E1) \cdot \text{Consumo}(E1) + TE(E2) \cdot \text{Consumo}(E2) + TE(E3) \cdot \text{Consumo}(E3)$$

Siendo la potencia contratada normalizada igual a 17,321 kW (Ilustración 66).

Los consumos de E1, E2 y E3 se muestran en la *Tabla 27*.

Los términos de potencia y de energía para una tarifa 3.0 se muestran en la *Ilustración 67*.

Por tanto, el coste del término de potencia y de energía por día y el total de los 335 días de facturación se muestran en la *Tabla 26* y son los siguientes:

Periodo	Coste TP/día (€)	TP 335 días de facturación (€)	TE (€/kWh)	Consumo (kWh)	TE 335 días de facturación (€)
Punta (E1)	1,93	647,48	0,120359	9094,70258	1094,629308
Llano (E2)	1,16	388,49	0,09959	22479,9538	2238,778602
Valle (E3)	0,77	258,99	0,070885	42519,0761	3013,964708
TOTAL	3,87	1294,96 €	0,290834	74093,7325	6.347,37 €

TABLA 26. TÉRMINO DE POTENCIA Y TÉRMINO DE ENERGÍA

A continuación, en la *Tabla 27* se muestran los datos del suministro:

Cómo se puede observar se ha reducido la potencia total prácticamente a la mitad de la que hay actualmente, siendo ésta igual a 17,04 kW.

Debido a que este valor no está normalizado habrá que buscar en la *Ilustración 71* uno que, si lo esté, siendo igual a 17,321 kW y por tanto los parámetros del suministro serán calculados con esta potencia normalizada:

DATOS INICIALES DEL SUMINISTRO																		
Nombre calle	Fecha Inicio	Fecha Fin	Días	PUNTA (kWh)	LLANO (kWh)	VALLE (kWh)	ACTIVA (kWh)	Reactiva (kVarh)	Potencia total (kW)	Potencia total normalizada (kW)	Potencia por luminaria (kW)	PL	Cos fi	Término de Potencia (€)	Término de Energía (€)	Impuesto sobre electricidad (€)	I.V.A.(€)	Total (€)
A	15/12/2011	13/12/2012	335	205,55	508,06	960,95	1674,56	728,94	0,385	0,391	0,055	7	0,92	28,78	143,45	8,81	38,02	219,06
B	15/12/2011	13/12/2012	335	320,33	791,78	1497,59	2609,70	1136,00	0,6	0,610	0,075	8	0,92	44,86	223,56	13,72	59,25	341,40
C	15/12/2011	13/12/2012	335	40,04	98,97	187,20	326,21	142,00	0,075	0,076	0,075	1	0,92	5,61	27,95	1,72	7,41	42,67
D	15/12/2011	13/12/2012	335	158,56	391,99	741,31	1291,80	562,32	0,297	0,302	0,099	3	0,92	22,20	110,66	6,79	29,33	168,99
E	15/12/2011	13/12/2012	335	240,25	593,84	1123,19	1957,28	852,00	0,45	0,458	0,075	6	0,92	33,64	167,57	10,29	44,44	256,05
F	15/12/2011	13/12/2012	335	120,12	296,92	561,60	978,64	426,00	0,225	0,229	0,075	3	0,92	16,82	83,84	5,15	22,22	128,02
G	15/12/2011	13/12/2012	335	120,12	296,92	561,60	978,64	426,00	0,225	0,229	0,075	3	0,92	16,82	83,84	5,15	22,22	128,02
H	15/12/2011	13/12/2012	335	40,04	98,97	187,20	326,21	142,00	0,075	0,076	0,075	1	0,92	5,61	27,95	1,72	7,41	42,67
I	15/12/2011	13/12/2012	335	1001,03	2474,31	4679,97	8155,31	3550,01	1,875	1,906	0,075	25	0,92	140,18	698,64	42,89	185,16	1.066,86
J	15/12/2011	13/12/2012	335	400,41	989,73	1871,99	3262,13	1420,00	0,75	0,763	0,075	10	0,92	56,07	279,46	17,15	74,06	426,75
K	15/12/2011	13/12/2012	335	400,41	989,73	1871,99	3262,13	1420,00	0,75	0,763	0,075	10	0,92	56,07	279,46	17,15	74,06	426,75
L	15/12/2011	13/12/2012	335	52,85	130,64	247,10	430,60	187,44	0,099	0,101	0,099	1	0,92	7,40	36,89	2,26	9,78	56,33
M	15/12/2011	13/12/2012	335	280,29	692,81	1310,39	2283,49	994,00	0,525	0,534	0,075	7	0,92	39,25	195,62	12,01	51,84	298,72
N	15/12/2011	13/12/2012	335	280,29	692,81	1310,39	2283,49	994,00	0,525	0,534	0,075	7	0,92	39,25	195,62	12,01	51,84	298,72
O	15/12/2011	13/12/2012	335	400,41	989,73	1871,99	3262,13	1420,00	0,75	0,763	0,075	10	0,92	56,07	279,46	17,15	74,06	426,75
P	15/12/2011	13/12/2012	335	520,54	1286,64	2433,58	4240,76	1846,01	0,975	0,991	0,075	13	0,92	72,89	363,29	22,30	96,28	554,77
Q	15/12/2011	13/12/2012	335	222,63	550,29	1040,83	1813,74	789,52	0,417	0,424	0,139	3	0,92	31,18	155,38	9,54	41,18	237,27
R	15/12/2011	13/12/2012	335	951,38	2351,59	4447,84	7750,81	3373,93	1,782	1,812	0,099	18	0,92	133,23	663,99	40,76	175,97	1.013,95
S	15/12/2011	13/12/2012	335	1057,09	2612,87	4942,05	8612,01	3748,81	1,98	2,013	0,099	20	0,92	148,03	737,76	45,29	195,53	1.126,61
T	15/12/2011	13/12/2012	335	2282,35	5641,43	10670,33	18594,11	8094,02	4,275	4,347	0,075	57	0,92	319,61	1.592,90	97,78	422,16	2.432,45
TOTAL	15/12/2011	13/12/2012	335	9094,70	22479,95	42519,08	74093,73	32253,03	17,04	17,321	1,64	213	0,92	1.294,96 €	6.347,37 €	390,73 €	1.686,94 €	9.720,01 €

TABLA 27. DATOS SUMINISTRO SIMULACIONES

Intensidad [A]	Potencias eléctricas normalizadas [kW]			
	Monofásicos		Trifásicos	
	220 V	230 V	3*220/380 V	3*230/400 V
1,5	0,330	0,345	0,987	1,039
3	0,660	0,690	1,975	2,078
3,5	0,770	0,805	2,304	2,425
5	1,100	1,150	3,291	3,464
7,5	1,650	1,725	4,936	5,196
10	2,200	2,300	6,582	6,928
15	3,300	3,450	9,873	10,392
20	4,400	4,600	13,164	13,856
25	5,500	5,750	16,454	17,321
30	6,600	6,900	19,745	20,785
35	7,700	8,050	23,036	24,249
40	8,800	9,200	26,327	27,713
45	9,900	10,350	29,618	31,177
50	11,000	11,500	32,909	34,641
63	13,860	14,490	41,465	43,648

Con derecho al PVPC

ILUSTRACIÓN 71. NORMALIZACIÓN DE LA POTENCIA. FUENTE: IBERDROLA

Por tanto, podemos ver que al haber reducido notablemente la potencia, el gasto total también se verá reducido, siendo este igual a 9.720,01 €.

En la *Tabla 28* se muestra el gasto antes y después, así como el ahorro que se consigue con la tecnología LED.

Facturación actual	18.782,75 €
Facturación simulaciones	9.720,01 €
Ahorro (€)	9.062,74 €
Ahorro (%)	48,25%

TABLA 28. AHORRO SIMULACIONES

Por último, se presenta en la tabla 29 un análisis de coste – beneficio de la propuesta teniendo en cuenta los costes y ahorros calculados en los apartados anteriores.

ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO		
Coste propuesta tecnología LED	7 lámparas Ampera Mini 55 W	492,31 €
	199 lámparas Ampera Midi 75 W	16.847,34 €
	4 lámparas Ampera Midi 99 W	385,84 €
	3 lámparas Ampera Midi 139 W	329,31 €
Coste total lámparas LED		18.054,8 €
Ahorro anual		9.062,74 €
Años para recuperar la inversión		1,99 años

TABLA 29. ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO

Las lámparas LED tienen una vida útil que oscila entre las 30.000 y 50.000 horas (7 y 12 años, aproximadamente).

Como se ha visto en la Tabla 25, el tiempo de encendido de dichas lámparas durante un año es igual a 4.349,5 horas, por lo que éstas tendrán una vida útil entre 6,89 y 11,49 años.

El tiempo de amortización como se puede observar en la Tabla 29 es de 2 años aproximadamente, considerando que cada lámpara tiene una duración media de 40.000 horas, tendríamos más de 7 años en los que prácticamente solo obtendríamos beneficios del sistema.

7.6. COMPARACIÓN ENTRE SIMULACIÓN Y CASO REAL

En este apartado se va a comparar la disposición de las calles reales con las que se simulaban anteriormente divididas en los 12 tipos.

Para ello en la *Tabla 30* se muestran cada una de las calles que se simulaban en el apartado 7.5.

Mientras que en la *Tabla 31* en base a los 12 tipos que se simulaban se ha comparado cada calle real con el tipo de simulación al que más se acerca.

Salvo la Calle *B* que se corresponde con el tipo 11-30, la Calle *Q* con el tipo 1-40 y la calle *T* con el tipo 6-30, las demás calles coinciden en que el tipo de simulación es el tipo 4, variando la interdistancia en cada calle desde los 15 a los 30 m.

CALLE SIMULADA	Carriles	Mediana	Aparcamientos	Mediana (m)	Acera 1 (m)	Aparcamiento 1 (m)	Calzada 1 (m)	Mediana (m)	Calzada 2 (m)	Aparcamiento 2 (m)	Acera 2 (m)	Interdistancia (m)
A	2	1	0	1	1	0	3,5	1	3,5	0	1	18
B	2	1	2	1	1	2	3,5	1	3,5	2	1	29
C	1	0	0	0	1,5	0	7	0	0	0	1,5	20
D	1	0	0	0	1,5	0	6,5	0	0	0	1,5	25
E	1	0	0	0	1,5	0	6,5	0	0	0	1,5	15
F	1	0	0	0	1,5	0	6,5	0	0	0	1,5	15
G	1	0	0	0	1,5	0	6,5	0	0	0	0	24
H	1	0	0	0	1	0	6	0	0	0	1	15
I	1	0	0	0	1,5	0	6	0	0	0	1	23
J	1	0	0	0	1,5	0	5,5	0	0	0	1,5	20
K	1	0	0	0	1,5	0	5,5	0	0	0	1,5	20
L	1	0	0	0	1,5	0	7,5	0	0	0	1,5	25
M	1	0	0	0	1,2	0	6	0	0	0	1,2	22
N	1	0	0	0	1,5	0	5,5	0	0	0	1,5	20
O	1	0	0	0	1,5	0	7	0	0	0	1,5	24
P	1	0	0	0	1,5	0	5,5	0	0	0	1,5	19
Q	1	0	0	0	1,5	0	5	0	0	0	1,5	40
R	1	0	0	0	1,5	0	7	0	0	0	1,5	25
S	1	0	0	0	1,5	0	7,5	0	0	0	1,5	24
T	2	0	2	0	2	2	7	0	0	2	2	29

TABLA 30. DISPOSICIÓN DE LAS CALLES REALES

CALLE	Interdistancia (m)	CALLE SIMULADA
A	20	Tipo 4-20
B	30	Tipo 11-30
C	20	Tipo 4-20
D	25	Tipo 4-25
E	15	Tipo 4-15
F	15	Tipo 4-15
G	25	Tipo 4-25
H	15	Tipo 4-15
I	30	Tipo 4-30
J	20	Tipo 4-20
K	20	Tipo 4-20
L	25	Tipo 4-25
M	25	Tipo 4-25
N	20	Tipo 4-20
O	25	Tipo 4-25
P	20	Tipo 4-20
Q	40	Tipo 1-40
R	25	Tipo 4-25
S	25	Tipo 4-25
T	30	Tipo 6-30

TABLA 31. COMPARATIVA TIPOS DE CALLE

7.6.1 COMPARACIÓN DE CALLE SIMULADA CON CALLE REAL

Como ya se ha mencionado anteriormente, se compararán cada una de las calles reales con el tipo simulado que más se le aproxima, para finalmente, analizar globalmente los resultados obtenidos en el trabajo, aplicando las nuevas tecnologías e incluyendo los avances energéticos, que se encuentran en continua evolución.

Para ello cada calle se va a comparar con el tipo de simulación que le corresponda, así como, la potencia de las luminarias, E_m , $E_{mín}$ y U_0 de la calzada:

CALLE	W Luminaria	Em (calzada)	E min (Calzada)	Uo (Calzada)
A	55	18,13	14,22	0,78
B	75	20,43	14,75	0,72
C	75	18,69	15,4	0,82
D	99	21,08	16,25	0,77
E	75	21,59	19,52	0,90
F	75	21,59	19,52	0,90
G	75	18,37	12,35	0,67

CALLE SIMULADA	W Luminaria	Em (calzada)	E min (Calzada)	Uo (Calzada)
Tipo 4-20	75	18,71	15,06	0,80
Tipo 11-30	75	22,41	17,37	0,78
Tipo 4-20	75	18,71	15,06	0,80
Tipo 4-25	99	20,14	13,90	0,70
Tipo 4-15	75	21,26	19,65	0,92
Tipo 4-15	75	21,26	19,65	0,92
Tipo 4-25	99	20,14	13,90	0,70

TABLA 32. COMPARATIVA CALLES REALES CON EL TIPO SIMULADO (I)

CALLE	W Luminaria	Em (calzada)	E min (Calzada)	Uo (Calzada)
H	75	21,06	18,31	0,87
I	75	19,64	12,37	0,63
J	75	18,52	15,43	0,83
K	75	18,52	15,43	0,83
L	99	20,10	15,28	0,76
M	75	20,65	13,16	0,64
N	75	22,33	15,39	0,69

CALLE SIMULADA	W Luminaria	Em (calzada)	E min (Calzada)	Uo (Calzada)
Tipo 4-15	75	21,26	19,65	0,92
Tipo 4-30	75	19,22	12,66	0,66
Tipo 4-20	75	18,71	15,06	0,80
Tipo 4-20	75	18,71	15,06	0,80
Tipo 4-25	99	20,14	13,90	0,70
Tipo 4-25	99	20,14	13,90	0,70
Tipo 4-30	75	19,22	12,66	0,66

TABLA 33. COMPARATIVA CALLES REALES CON EL TIPO SIMULADO (II)

CALLE	W Luminaria	Em (calzada)	E min (Calzada)	Uo (Calzada)
O	75	17,95	12,14	0,68
P	75	21,28	16,63	0,78
Q	139	18,45	7,81	0,42
R	99	21,77	15,6	0,72
S	99	20,16	15,77	0,78
T	75	21,6	18,58	0,86

CALLE SIMULADA	W Luminaria	Em (calzada)	E min (Calzada)	Uo (Calzada)
Tipo 4-25	99	20,14	13,90	0,70
Tipo 4-20	75	18,71	15,06	0,80
Tipo 1-40	139	17,94	7,61	0,42
Tipo 4-25	99	20,14	13,90	0,70
Tipo 4-25	99	20,14	13,90	0,70
Tipo 6-30	75	21,70	19,59	0,90

TABLA 34. COMPARATIVA CALLES REALES CON EL TIPO SIMULADO (III)

Se puede comprobar que la potencia de las luminarias coincide en cada calle real con cada uno del tipo simulado que le corresponde, salvo en las siguientes calles:

	Calle	Potencia luminarias	Puntos de luz	Diferencia kW
Real	A	55	7	140
Tipo Simulado	4-20	75	7	

	Calle	Potencia luminarias	Puntos de luz	Diferencia kW
Real	M	75	7	168
Tipo Simulado	4-25	99	7	

	Calle	Potencia luminarias	Puntos de luz	Diferencia kW
Real	G	75	3	72
Tipo Simulado	4-25	99	3	

	Calle	Potencia luminarias	Puntos de luz	Diferencia kW
Real	O	75	10	240
Tipo Simulado	4-25	99	10	

TABLA 35. CALLES CON DIFERENCIA DE POTENCIA

A pesar de estas diferencias en la potencia de las luminarias de estas cuatro calles los parámetros restantes son prácticamente iguales como se puede observar en las Tablas 32, 33 y 34.

Al margen de estas calles, los valores de E_m , $E_{mín}$ y U_0 son valores similares tanto en el caso real como en el simulado, la diferencia que hay con cada uno de los parámetros se debe a que al tratarse de una aproximación las calles reales no son exactamente iguales que las aproximaciones y esto hace que exista dicha diferencia.

Por lo que al encontrarnos ante unos resultados prácticamente idénticos podemos concluir que la aproximación que se ha tomado con las simulaciones para comparar con el caso real es satisfactoria y se conseguirían unos resultados muy parecidos a los que se han obtenido con el caso real.

Por último, se va a comparar la dispersión de datos del caso real y del caso simulado de los distintos valores de U_0 :

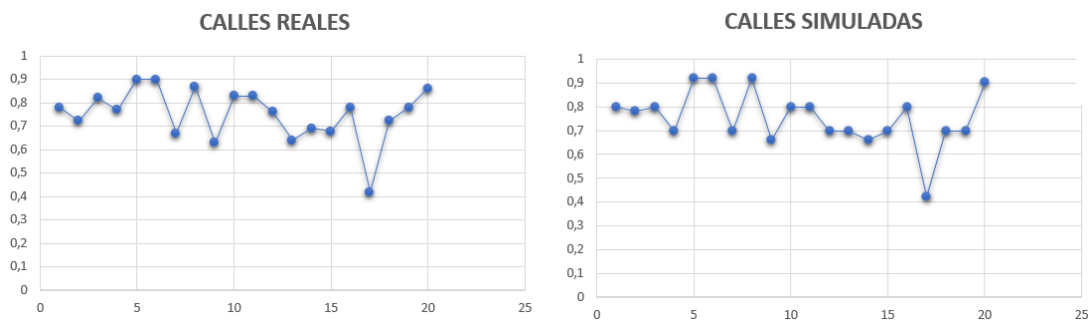


ILUSTRACIÓN 72. DISPERSIÓN DE DATOS CASO REAL Y CASO SIMULADO

La dispersión de datos de ambos casos es prácticamente igual, por lo que la aproximación es válida.

Además, se va a calcular la desviación típica, definida como una medida del grado de dispersión con respecto al valor promedio, la cual es la raíz cuadrada de la

media de los cuadrados de las puntuaciones de la desviación, la cual viene representada por σ .

Se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Siendo

x_i cada uno de los elementos de la muestra

\bar{x} es la media, definida como la suma de todos los valores de la variable dividida entre el número total de elementos.

Cuando se trata de la población, el denominador es N. Si se trata de una muestra, será N-1.

Finalmente:

DESVIACIÓN CASO REAL	0,1134101
DESVIACIÓN CASO SIMULADO	0,1180722
DIFERENCIA	0,0046622
% DIFERENCIA	3,95%

TABLA 36. DESVIACIÓN TÍPICA DE AMBOS CASOS

La diferencia entre ambos casos es apenas un 4% por lo que resulta despreciable, por tanto, se corrobora lo anteriormente mencionado.

7.7. CONCLUSIONES

7.7.1 INTRODUCCIÓN

La principal conclusión del presente documento es que conseguir niveles de confort adecuados en el Alumbrado Público, así como proteger el cielo nocturno no son conceptos antagónicos.

Los avances de la tecnología actual, en especial la LED, acompañado del interés que despierta conseguir instalaciones más eficientes y menos contaminantes hacen que cada vez más Ayuntamientos apuesten por la renovación del Alumbrado Público Exterior.

Hoy en día, la tecnología LED es la forma más eficiente de iluminación, (más del 80% en comparación con la iluminación tradicional). Esto significa que alrededor del 80% de la energía eléctrica se convierte en luz, consumiendo muy poca potencia y, por tanto, emitiendo muy poco calor.

Además, la iluminación LED se caracteriza por un largo periodo de vida, el cual es de una media entorno a las 40.000 horas, lo que hace que sean ideales para el Alumbrado Público.

Las luminarias LED están fabricadas de componentes altamente resistentes que pueden soportar las condiciones ambientales más duras. Son ideales para sistemas de iluminación al aire libre debido a su gran resistencia a la intemperie, viento, lluvia, polvo, etc.

El LED es una tecnología en constante desarrollo y con un proceso de fabricación bastante complejo. Su menor producción actual respecto a la iluminación tradicional hace que su precio sea mayor, aunque la inversión se recupera rápidamente.

7.7.2 CONCLUSIONES OBTENIDAS DEL CASO PRÁCTICO

Analizando los cálculos realizados en los apartados anteriores, se sacan las siguientes conclusiones:

Las simulaciones que se han realizado de cada una de las calles estudiadas anteriormente superan los requisitos luminotécnicos mínimos exigidos por la normativa vigente. Dando lugar a unos mejores niveles luminotécnicos de los que hay en la actualidad.

No se pretende la sustitución de báculos, columnas, soportes, etc, sino simplemente sustituir la luminaria actual de VSAP por otra LED que cumpla con el *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión ITC-BT-09 Instalaciones de alumbrado exterior*.

La potencia contratada en la actualidad con las luminarias de VSAP asciende a 33 kW, mientras que el caso simulado con LEDS la potencia contratada pasa a ser 17,321 kW, esta reducción se debe a que la potencia de las luminarias de las calles reales con

respecto a los tipos simulados son valores menores o iguales, de forma que, se consigue una diferencia de potencia del 47,51%.

Este casi 50% de diferencia de potencia contratada repercutirá en el coste de facturación que supondrá un ahorro del 48,2% como ya se vio anteriormente en el apartado 7.5.

A pesar de la diferencia de potencia de las luminarias en varias calles, los valores de E_m , $E_{mín}$ y U_0 son valores similares tanto en el caso real como en el tipo simulado, por lo que la aproximación que se ha tomado al comparar las simulaciones con las calles reales es válida.

También se observa que, conforme aumenta la interdistancia entre báculos, también aumentará la potencia de las luminarias, como se ha comprobado anteriormente con el ejemplo del tipo 1 (*Tabla 18*).

Lo mismo ocurre con el ancho de la vía, conforme aumente también lo hará la potencia de las luminarias.

Además, para corroborar lo anterior, se ha comparado la dispersión de datos del caso real y del caso simulado para los distintos valores que tomará U_0 , obteniendo una diferencia de la desviación típica del 3,95%, la cual resulta despreciable.

Con los datos regidos en el presente documento, se justifica adecuadamente la implantación de la mejora de la eficiencia energética en el Alumbrado Público del municipio de la Región de Murcia estudiado, justificándose así, los cálculos en los Anexos siguientes.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002).

[2] Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de Alumbrado Exterior e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre de 2008).

[3] Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior. Disponible en:

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Requerimientos_LED_rev_1_2014_41_154420.pdf

[4] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Disponible en:

<http://www.idae.es>

[5] Guía técnica de aplicación instalaciones de alumbrado exterior. Disponible en:

http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/guias/guia_bt_indice_jul12R6.pdf

[6] Normativa UNE-EN 13032-1: 2006. Luz y alumbrado. Medición y presentación de datos fotométricos de lámparas y luminarias.

[7] 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.

[8] Protocolo de auditoría energética de las instalaciones de alumbrado público exterior. Disponible en:

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Protocolo_de_Auditoria_de_Alumbrado_Publico_023d5bd3.pdf

[9] ARGEM, Agencia de la Gestión de la Energía de la Región de Murcia. Disponible en:

<http://www.argem.es>

[10] Comité Español de Iluminación. Disponible en:

<http://www.ceisp.com>

[11] Propuesta de Modelo de Ordenanza Municipal de Alumbrado Exterior para la protección del Medio Ambiente mediante la mejora de la Eficiencia Energética.

[12] Introducción al alumbrado. PHILIPS.

[13] Revista del grupo SCHRÉDER N°36 – 2008. LEDs - ¿El futuro de la iluminación?

[14] Seminario de alumbrado (nueva visión lumínica)- SOCELEC – SCHRÉDER.

[15] Ahorro y diversificación de energía en la administración local. Seminario para técnicos y gestores energéticos municipales. Libro de potencia IDAE.

[16] Catálogos de los fabricantes: SOCELEC – SCHRÉDER, PHILIPS.

[17] Hora, salida y puesta de sol. Disponible en:

<http://astronomia.ign.es/hora-salidas-y-puestas-de-sol>

[18] Catálogo de precios lámparas LED. Disponible en:

<https://greenice.com.es/>

