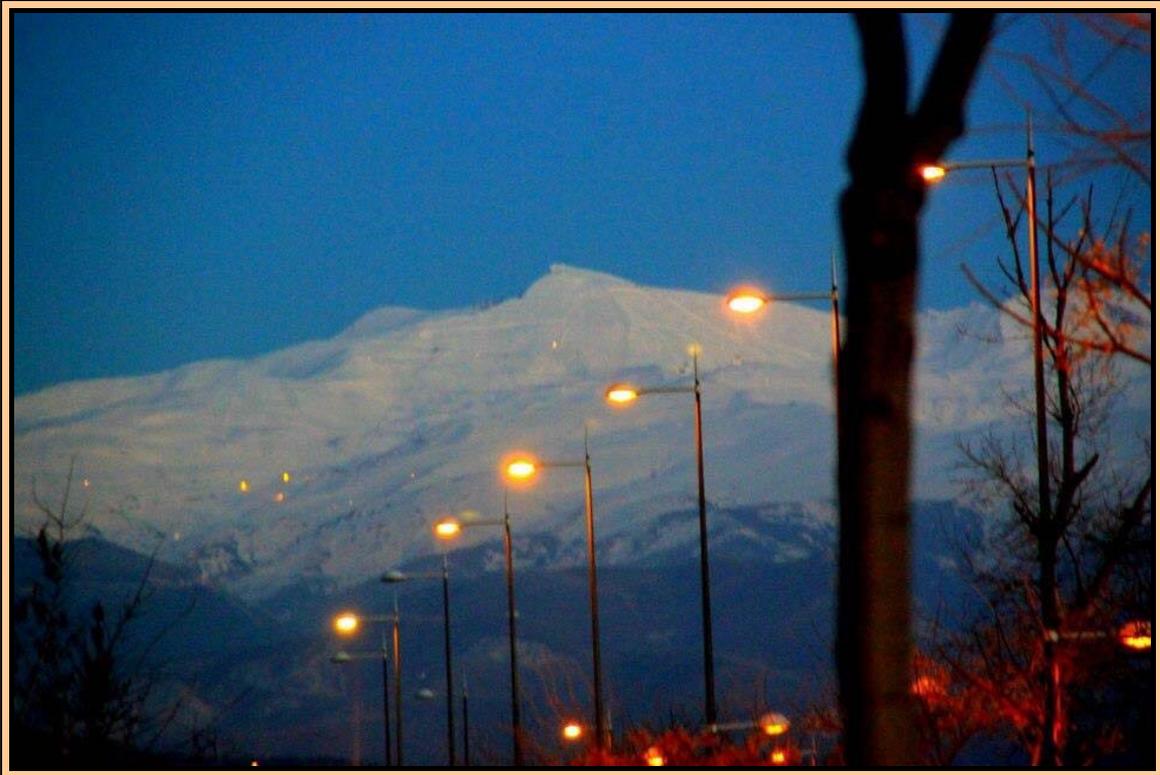


**UNIVERSIDAD DE GRANADA**  
Departamento de Ingeniería Civil



# INFLUENCIA DEL ALUMBRADO PÚBLICO SOBRE LA SEGURIDAD Y LA CONDUCTA

Tesis doctoral

**Autor:**

*Antonio Manuel Hurtado González*

**Directores:**

*Antonio Manuel Peña García*  
*M del Carmen Aguilar Luzón*

**Granada, 2015**

Editorial: Universida de Granada. Tesis Doctorales

Autor: Antonio Hurtado González

ISBN: 978-84-9125-318-1

URI: <http://hdl.handle.net/10481/41093>

# **INFLUENCIA DEL ALUMBRADO PÚBLICO SOBRE LA SEGURIDAD Y LA CONDUCTA**

Directores de la Tesis

Fdo.: Dr. Antonio Manuel Peña García  
Profesor Titular de Universidad  
Departamento de Ingeniería Civil  
Universidad de Granada

Fdo.: María de Carmen Aguilar Luzón  
Profesora Contratada Doctora  
Departamento de Psicología Social  
Universidad de Granada



El Doctorando, D. Antonio Manuel Hurtado González, y los directores de la tesis, Dr. Antonio Manuel Peña García y la Dra. María del Carmen Aguilar Luzón, pertenecientes a los Departamentos de Ingeniería Civil y Psicología Social de la Universidad de Granada respectivamente,

GARANTIZAMOS:

Que el trabajo ha sido realizado por el doctorando bajo la dirección de los directores de la tesis y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo, se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados y publicaciones.

Granada, 10 de septiembre de 2015

Los Directores de la tesis

Fdo: Antonio Manuel Peña García

Fdo: María del Carmen Aguilar Luzón

El Doctorando

Fdo: Antonio Manuel Hurtado González



Trabajo presentado para aspirar al grado de  
Doctor por la Universidad de Granada.

Fdo.: Antonio Manuel Hurtado González



El tribunal nombrado por la Mgfca. Sra. Rectora de la Universidad de Granada:

**Presidente:**

**Vocales:**

**Secretario:**

Realizado el acto de defensa y lectura de la tesis el día        de        de  
2015 en Granada, acuerda otorgarle la calificación de



## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado y me han apoyado en la redacción de este documento que a su vez es la conclusión de un amplio trabajo de campo anterior.

Gracias a mis directores de tesis, los profesores D. Antonio Peña García y Doña M Carmen Aguilar Luzón por su dedicación a este trabajo y el apoyo que me ha brindado en toda ocasión y la motivación que me han aportado para la finalización del trabajo.

Un recuerdo para mi familia, y en especial para mi esposa de la que siempre he recibido el apoyo y la confianza sin la cual hubiera sido imposible seguir adelante.

Y para finalizar, un recuerdo emocionado y agradecido para mis padres, que me enseñaron el valor del esfuerzo, el trabajo bien hecho y el tesón y a los que dedico esta obra.



## **RESUMEN**

En la tesis doctoral que aquí se presenta, se ha analizado la relación existente entre los principales parámetros del alumbrado público, y determinados aspectos psicosociales, con objeto de explorar las posibles influencias del alumbrado público sobre la percepción de seguridad y sensación de bienestar de los viandantes. Existe un gran número de parámetros que caracterizan al alumbrado en general y al urbano en particular. De entre ellos, en este trabajo se han considerado, la iluminancia media horizontal, la uniformidad global y la temperatura de color correlacionada de la fuente de luz. Así mismo, se define y utiliza otro parámetro que se ha venido a denominar “sobrealuminación”. Este parámetro relaciona el nivel de iluminancia real sobre la superficie de la vía con el exigido por la normativa para una vía como la considerada.

Una vez identificados desde un punto de vista teórico los parámetros objeto de estudio, la siguiente fase se ha centrado en la medición “in situ” de los parámetros luminotécnicos mencionados en las instalaciones de alumbrado de determinados distritos de la ciudad de Granada. Se ha puesto especial empeño en detectar aquellas vías cuyos niveles de iluminación excedan los límites establecidos por la norma dando lugar a contaminación lumínica y despilfarro energético. Esta primera fase responde al objetivo de obtener una medida objetiva y cuantitativa de los parámetros implicados en el alumbrado público.

En una siguiente fase del estudio, se han tomado medidas de las variables psicosociales identificadas en la literatura y relacionadas con la percepción de seguridad y bienestar de los ciudadanos. Para ello, se ha administrado un cuestionario en una muestra aleatoria de ciudadanos residentes en las zonas de la ciudad de Granada consideradas en la fase anterior de recogida de datos (medida objetiva). El número de participantes en esta fase del estudio se ha estimado a partir de los datos recogidos en el censo a fin de que sea una muestra representativa de los residentes en los distritos de Granada. La revisión de la literatura nos lleva a afirmar que son escasos los trabajos que, desde un punto de vista empírico, han analizado estas relaciones en el contexto español. Además, son múltiples las aplicaciones prácticas que pueden derivarse de este tipo de estudios. Así por ejemplo, existe una tendencia en las nuevas

---

instalaciones de alumbrado exterior que se realizan con luz blanca y se elimina sistemáticamente el sodio en la fase de diseño por considerarlo una fuente de luz inapropiada. Estas decisiones se toman sin que existan referencias rigurosas y científicas. Este trabajo pretende determinar si existen preferencias de los ciudadanos sobre el color de la luz, y de existir cuales son esas preferencias.

Otra aplicación práctica que se puede obtener es como afecta la sobreiluminación a la sensación de seguridad y bienestar de los ciudadanos. Es una práctica habitual diseñar las instalaciones de alumbrado urbano para que mantengan un nivel de iluminancia media superior al reglamentario, posiblemente en la creencia de que dichos niveles son insuficientes para la demanda de los ciudadanos. Las conclusiones que se obtengan en este trabajo servirán para estimar si están justificadas estas actuaciones o si por el contrario la sobreiluminación consiste solamente en un gasto sin incrementar los beneficios de la iluminación en la percepción de los ciudadanos.

Dado el interés en profundizar en las relaciones entre alumbrado público y seguridad y bienestar, a fin de obtener beneficios que permitan aumentar o mejorar la calidad de vida, en términos generales, de los viandantes, y dada la escasez de los trabajos destinados a realizar esta cuestión, se ha considerado interesante la realización de esta tesis doctoral.

Finalmente se han cruzado ambos tipos de resultados (objetivos y subjetivos) para encontrar una correlación entre ambos, algo que por el momento no existe en la literatura consultada al respecto.

Así, este estudio se ha estructurado en ocho capítulos, dos primeros dedicados a contenidos teóricos, y los restantes a la parte empírica de esta tesis doctoral.

En el primer capítulo se aborda el recorrido histórico de las instalaciones de alumbrado y sus fuentes de luz, y se da un breve repaso a los elementos que

---

---

componen las instalaciones, su mantenimiento y gestión. Finaliza este capítulo con los nuevos retos y tendencias dentro del alumbrado.

El segundo capítulo se ha dedicado a analizar los aspectos medioambientales y energéticos del alumbrado que son los que se destacan en las nuevas tendencias como los de mayor influencia en esta disciplina. Aquí se abordan temas relacionados con la eficiencia energética, la calificación energética, la contaminación lumínica y la relación entre el alumbrado y el bienestar y la percepción de seguridad de los ciudadanos.

Los objetivos del estudio se han recogido en el tercer capítulo, dedicado a la parte empírica del estudio y que se ha denominado "Objetivos". El capítulo cuarto, se ha dedicado a describir en detalle la metodología empleada en el desarrollo de la investigación. Se sigue un orden sensiblemente cronológico del trabajo donde lo primero que se realizó fue la determinación de las variables luminotécnicas a utilizar y se siguió con la determinación de las calles objeto del estudio. Se describe también el proceso de elaboración de la encuesta, con la confección de un estudio piloto mediante la técnica de "panel de expertos" y la confección de la encuesta final.

El quinto capítulo se dedica a la presentación de los resultados hallados, así como a su discusión. Los resultados obtenidos se presentan tabulados y en diferentes gráficas y desagregados por el tipo de color de la luz, según sea esta amarillo sodio o blanca.

Por último, en el sexto capítulo se presentan las conclusiones del estudio, así como las posibles limitaciones. Las futuras líneas de investigación que pueden derivarse de este estudio se muestran en el capítulo séptimo, poniéndose a disposición de los investigadores interesados en los resultados obtenidos en este trabajo.

Finalmente se da cuenta de la bibliografía consultada y utilizada a lo largo de este trabajo.

Los anexos presentan una información complementaria pero que se entiende necesario incluir en aras de un rigor expositivo.

---

Como conclusión, se trata de una investigación en un campo de vital importancia que aúna luminotecnia, psicofísica y percepción de la seguridad ciudadana. Se trata además, de un campo muy inexplorado que desarrollará una potente sinergia entre la luminotecnia y psicología social. Muestra del interés científico del mismo es la publicación de parte de los resultados y conclusiones en la prestigiosa revista indexada en JCR *Safety Science* que se adjunta al final de la presente memoria así como numerosas comunicaciones a congresos.





## **INDICE**

<b>1.- INTRODUCCIÓN. EL ALUMBRADO URBANO COMO ELEMENTO CLAVE EN LA CIUDAD .....</b>	<b>7</b>
1.1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL ALUMBRADO URBANO .....	11
1.1.1.- Los orígenes del alumbrado y su evolución .....	11
1.1.2.- Luz de gas .....	11
1.1.3.- Iluminación eléctrica. Arco voltaico .....	13
1.1.4.- Lámparas incandescentes .....	13
1.1.5.- Luz de descarga en gas .....	14
1.1.6.- Situación actual .....	19
1.2.- EL CONCEPTO MODERNO DEL ALUMBRADO URBANO .....	21
1.2.1.- El modelo de la eficacia y eficiencia .....	21
1.2.2.- El consumo energético de las instalaciones de alumbrado público .....	22
1.3.- CONCEPTOS GENERALES SOBRE ALUMBRADO URBANO.....	25
1.3.1.- Conceptos lumintécnicos básicos.....	25
1.3.1.1.- Conceptos fotométricos .....	26
1.3.1.2.- Conceptos colorimétricos.....	27
1.3.1.3.- Vida o duración.....	28
1.3.2.- Características de las fuentes de luz en alumbrado público.....	28
1.3.2.1.- Lámpara de vapor de sodio de baja presión .....	29

1.3.2.2.- Lámpara de vapor de sodio de alta presión .....	29
1.3.2.3.- Lámpara de vapor de mercurio de alta presión .....	30
1.3.2.4.- Lámpara de mezcla .....	31
1.3.2.5.- Lámpara de halogenuros metálicos con tubo de descarga de cuarzo	32
1.3.2.6.- Lámpara de halogenuros metálicos con tubo de descarga cerámico.	33
1.3.2.7.- Lámparas de inducción .....	34
1.3.2.8.- Dispositivos en estado sólido emisores de luz (led y oled) .....	34
1.3.3.- Equipos eléctricos auxiliares .....	39
1.3.3.1.- Equipos auxiliares para lámparas de descarga.....	39
1.3.3.2.- Equipos auxiliares electrónicos asociados a fuentes de luz en estado sólido (Drivers).....	41
1.3.4.- Luminarias .....	42
1.3.4.1.- Conceptos básicos .....	42
1.3.4.2.- Clasificación de las luminarias .....	43
1.3.4.3.- Criterios de selección de luminarias.....	47
1.3.5.- Sistemas de regulación y control de instalaciones.....	49
1.3.5.1.- Equipos reductores estabilizadores.....	49
1.3.5.2.- Sistemas de control .....	51
1.3.5.3.- Sistema de gestión.....	54
1.3.6.- Implantaciones .....	56

1.3.6.1.- Alumbrado vial en tramos rectos .....	56
1.3.6.2.- Iluminación de tramos singulares.....	59
1.4.- MANTENIMIENTO DEL ALUMBRADO URBANO.....	69
1.4.1.- Aspectos legales y normativos .....	70
1.4.2.- Planes de mantenimiento .....	71
1.4.2.1.- Inventario de equipos.....	72
1.4.2.2.- Histórico de incidencias y averías.....	73
1.4.2.3.- Documentación técnica.....	73
1.4.2.4.- Procedimiento de actuación.....	74
1.5.- LOS NUEVOS RETOS DEL ALUMBRADO URBANO.....	77
1.5.1.- Reducción de costos.....	77
1.5.2.- Adecuación de niveles.....	80
1.5.3.- Sustitución de elementos ineficientes y obsoletos.....	81
1.5.4.- Gestión automatizada de instalaciones .....	81
<b>2.- IMPACTO ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL DEL ALUMBRADO URBANO .....</b>	<b>85</b>
2.1.- EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO URBANO....	87
2.1.1.- Fuentes de luz.....	88
2.1.2.- Equipos auxiliares y otros elementos.....	90
2.1.3.- Montaje de los sistemas de alumbrado .....	92
2.1.4.- Explotación de las instalaciones.....	94
2.1.5.- Depreciación de las instalaciones .....	97

---

2.1.6.- Conclusiones.....	99
2.2.- CALIFICACIÓN ENERGÉTICA.....	101
2.2.1.- Concepto y marco legal .....	101
2.2.2.- Eficiencia energética de una instalación .....	103
2.2.3.- Eficiencia energética de referencia .....	107
2.2.4.- Etiqueta identificativa del consumo energético .....	109
2.3.- CONTAMINACIÓN LUMÍNICA .....	113
2.3.1.- Resplandor luminoso nocturno .....	113
2.3.2.- Criterio de zonificación.....	114
2.3.3.- Criterios de reducción del resplandor luminoso .....	116
2.3.3.1.- Lámparas y fuentes de luz .....	116
2.3.3.2.- Flujo hemisférico superior .....	117
2.3.3.3.- Luminarias .....	118
2.3.3.4.- Pavimentos .....	119
2.4.- IMPACTO DEL ALUMBRADO URBANO SOBRE LA SEGURIDAD CIUDADANA...	123
<b>3.- OBJETIVOS.....</b>	<b>127</b>
<b>4.- METODOLOGÍA .....</b>	<b>129</b>
4.1.- PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS .....	131
4.1.1.- Criterios de selección .....	131
4.1.2.- Parámetros luminotécnicos considerados .....	132

4.2.- SELECCIÓN DE INSTALACIONES .....	135
4.3.- ELABORACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA .....	145
4.3.1.- Aspectos generales.....	145
4.3.1.1.- Modelo de escalamiento .....	145
4.3.1.2.- Diseño del instrumento de medida .....	146
4.3.2.- Estudio piloto.....	162
4.3.3.- Encuesta definitiva .....	164
4.4.- DESARROLLO .....	167
4.5.- PARTICIPANTES.....	171
<b>5.- RESULTADOS .....</b>	<b>175</b>
5.1.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	175
5.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	211
5.2.1.- Análisis detallado.....	212
Cuestión 1: ¿Le gusta la iluminación de esta calle?.....	212
Cuestión 2: ¿Le gusta el color de luz de esta calle?.....	215
Cuestión 3: ¿Cómo de intenso cree usted que es el alumbrado público de esta calle? .....	217
Cuestión 4: ¿Cree usted que el número de farolas en esta calle es suficiente? .....	221
Cuestión 5: ¿Cree usted que la iluminación de esta calle podría influir sobre posibles accidentes (Tráfico, caídas de peatones,...)?.....	225

Cuestión 6: ¿Cómo de seguro se siente usted cuando camina por esta calle en horario nocturno?.....	229
Cuestión 7: Valore el nivel de estrés que sufre al pasear por esta calle en horario nocturno.....	231
Cuestión 8: ¿Le produce el alumbrado público de esta calle algún tipo de molestia?.....	235
Cuestión 9: ¿Influye la iluminación de esta calle sobre su estado de ánimo? .	238
Cuestión 10: Valore en términos generales la calidad de la iluminación de esta calle.....	242
Cuestión 11: ¿Cómo de conforme estaría usted con la reducción de la intensidad del alumbrado público para ahorrar energía?.....	245
<b>6.- CONCLUSIONES</b> .....	<b>249</b>
<b>7.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>253</b>
<b>8.- BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>257</b>

## **1.- INTRODUCCIÓN. EL ALUMBRADO URBANO COMO ELEMENTO CLAVE EN LA CIUDAD**

Las instalaciones de alumbrado público son parte sustancial del paisaje urbano actual. No se entiende el modo de vida existente hoy en día sin la iluminación exterior. Desde el principio de los tiempos un objetivo primordial para el hombre ha sido dominar la naturaleza y poder controlar el ciclo de luz-oscuridad que fija el sol. Desde unos requerimientos iniciales de la iluminación que consistían en poder mantener algo de actividad domestica cuando desaparecía la luz solar, hasta la época actual en la que no existe prácticamente ninguna actividad que no se puede realizar por no tener la iluminación adecuada, se ha hecho un largo recorrido.

En lo que respecta a la iluminación urbana, la evolución se ha producido en todos los ámbitos posibles. Desde las primeras instalaciones que en realidad eran puntos de luz sueltos a los que no se les confiaba otra misión que proporcionar un mínimo de iluminación para poder circular hasta las instalaciones actuales la evolución ha sido impresionante. El concepto moderno de iluminación es completamente diferente hoy en día. No se concibe un paisaje urbano sin sus instalaciones de iluminación, pero estas instalaciones no son unas instalaciones cualquiera, sino que están dotadas de la más avanzada tecnología en sus componentes, se gestionan de una forma global y eficaz y presentan una alta eficiencia que minimizan los altos costes de energía asociados a la iluminación.

Pero no debe entenderse que ya está todo hecho. Mantener una sensación de seguridad en las personas es uno de los fines primordiales de la iluminación desde su origen y sigue siendo el objetivo a cumplir. Este trabajo trata de aclarar y de intervenir en este concepto, analizando cómo afectan los diferentes parámetros luminotécnicos en la sensación de seguridad y vulnerabilidad de los peatones.

El mundo de la iluminación se ha ido especializando, y con un mismo objetivo inicial, el de mantener la actividad humana en las horas de noche, se adoptan soluciones diferentes para cada caso y con requerimientos y tecnologías diversas. No es el mismo tratamiento ni los requerimientos que son necesarios atender para

iluminar una calle de una población que un recinto deportivo o un local de espectáculos. El campo concreto de este trabajo es la seguridad de los peatones que pasean por calles y vías públicas de las poblaciones. Este tipo de alumbrado viene claramente referenciado y definido en la legislación española del sector, por lo que es conveniente hacer algunas consideraciones sobre lo que se entiende por alumbrado exterior y el sentido en el que se emplea en este documento.

Tratamos de acercarnos al concepto de alumbrado urbano usando el marco normativo de referencia (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008). La legislación existente consiste fundamentalmente en el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (al que nos referiremos en este trabajo como R.E.E.I.A.E) y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA.07, aprobados ambos textos, reglamento e instrucciones técnicas, por Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre y publicado en el BOE de 19 de noviembre del mismo año. El artículo 2 del R.E.E.I.A.E., ámbito de aplicación, indica que será de aplicación *“a las instalaciones, de más de 1 kW de potencia instalada, incluidas en las instrucciones técnicas complementarias ITC-BT del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, siguientes:*

- *Las de alumbrado exterior, a las que se refiere la ITC-BT 09.*
- *Las de fuentes, objeto de la ITC-BT 31.*
- *Las de alumbrados festivos y navideños, contempladas en la ITC-BT 34.”*

Las instalaciones de alumbrado consideradas aquí y que son objeto de la investigación se encuadran claramente en el primero de los apartados anteriores y cuya definición más amplia encontramos en la referida ITC-BT 09 como *“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.”*

El propio R.E.E.I.A.E concreta los tipos de alumbrado al referirse a la Eficiencia Energética en si ITC-EA-01. Así, en el apartado 2 sobre requisitos mínimos de eficiencia energética toma el alumbrado vial como contraposición a otros tipos de alumbrado como son el ornamental, de vigilancia y seguridad nocturno, de señalización y publicitario y el festivo y navideño. Dentro del alumbrado vial se realiza otra división como vial funcional y ambiental.

El vial funcional se define como el de las instalaciones de *“autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas, consideradas en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 como situaciones de proyecto A y B.”*

Análogamente, el alumbrado vial ambiental se definen como *“el que se ejecuta 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, vías de velocidad limitada, etc., consideradas en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-02 como situaciones de proyecto C, D y E”.*

No debe inducirnos a error la tipología de alumbrado que se acompaña a la definición del alumbrado vial ambiental. Se trata más de una orientación que de una descripción rigurosa. Utilizamos, por ser más precisa y fiable, la clasificación de vías a efectos de situaciones de proyecto y la clase de alumbrado asignado a cada una de ellas y que se definen con todo detalle en las tablas 1 a 5 de la ITC-EA-02 del R.E.E.I.A.E y que se incluyen en el Anexo V. La tipología de las vías estudiadas, tanto las preseleccionadas como las finalmente elegidas y donde se ha realizado la investigación poseen las clases de alumbrado D3-D4, E1 y E2. Tan solo dos vías no cumplen esa condición y tiene clase de alumbrado B1, pero finalmente no fueron elegidas para la investigación.

Se deduce claramente que el trabajo presente se realiza sobre alumbrado vial ambiental. Es ésta la tipología de alumbrado considerada y objeto de la investigación independientemente de que a lo largo del trabajo se hable indistintamente de alumbrado público o urbano.



## **1.1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL ALUMBRADO URBANO**

### **1.1.1.- LOS ORÍGENES DEL ALUMBRADO Y SU EVOLUCION**

El alumbrado urbano ha seguido una evolución paralela a la de las ciudades. Si bien desde tiempos inmemoriales el hombre ha utilizado diferentes dispositivos e invenciones para proporcionar luz, no es menos cierto que el desarrollo urbano de la ciudad origina también la necesidad de utilizar esas invenciones. El relato de la historia del Alumbrado Público comienza con la propia historia sobre la iluminación y está determinado por la evolución de las necesidades humanas y sus requerimientos de confort en las diversas épocas de la historia.

El empleo de la luz artificial comenzó cuando el hombre aprendió a controlar el fuego y fue capaz de trasladarlo con una tea hasta la cueva que permitía ver cuanto ocurría en su entorno. Había nacido la primera luminaria. Aún en estados muy poco evolucionados de la humanidad aparece la primera lámpara llamada de cazoleta, en la que quemando aceite animal o vegetal y con ayuda de una mecha, se producía una llama más o menos intensa que proporcionaba luz suficiente para determinadas tareas.

Si bien actualmente el alumbrado público es fruto de la evolución de disciplinas tan variadas como la metalurgia, la electricidad, la óptica, la electrónica, la química, el urbanismo, la sociología o las ciencias de los materiales, es el desarrollo de las fuentes de luz y su aplicación lo que supone el autentico hilo conductor del desarrollo de este campo. Recorrer por tanto la historia de la iluminación es hacerlo por la historia de las fuentes de luz que el ingenio y el trabajo del hombre ha ido desarrollando y perfeccionado a lo largo del tiempo.

### **1.1.2.- LUZ DE GAS**

Apenas tres centurias nos separan del gran salto que supuso el quemador tubular para la obtención de más luz a partir de la llama. El físico Argand fue quien dio

su nombre a este quemador tubular y a él debemos el inicio de la era de la tecnología del alumbrado.

Posteriormente, se desarrollan los primeros quemadores de llama plana, que fueron los encargados de mejorar la eficacia de estos alumbrados, pero fue la camisa de gas de Carl Auer conocido también como “capillo” el que en 1887 produjo un avance espectacular al conseguir una luz blanca y una mejora sustancial de la eficacia del sistema. Se consigue llevar hasta la incandescencia un cuerpo sólido formado por un tubo de material textil impregnado con sales de Torio y Cerio. La fibra quemada se transformaba en una estructura frágil, pero resistente al calor como consecuencia del tratamiento recibido con los óxidos de los metales antes mencionados.

Otro elemento irrumpe en la Historia de la iluminación urbana de forma significativa. Aunque la existencia del gas inflamable se conocía de antiguo no fue hasta el siglo XVIII cuando el hombre intentó usarlo en su propio beneficio. En Holanda, Francia e Inglaterra surgen nombres que utilizan por primera vez el gas con aplicación al alumbrado. Un alemán residente en Londres, Friedrich Albert Winzer fue el primero en idear la centralización de la producción de gas y distribuirlo mediante una red por toda la ciudad. Se trataba de un hombre de negocios emprendedor que consigue captar el interés de los círculos políticos y financieros de entonces. La proliferación del gas en el alumbrado público fue tan grande que en pocos años estaba presente en las principales ciudades de Europa: Londres, París, Madrid, Ámsterdam, Barcelona, Hamburgo, etc. Para 1823 la fuerte competencia existente, pues sólo en Londres había tres compañías que se disputaban el suministro de gas, hizo que mejorase la calidad de éste y que los precios bajaran sensiblemente. Este hecho, unido a los bajos costos de mantenimiento de los puntos de luz de gas hizo que este alumbrado permaneciera en el tiempo. En Madrid los bulevares de Atocha, Velázquez y otros muchos fueron iluminados con este sistema “luz de gas” que estaba constituido básicamente por el báculo de hierro fundido de unos 3 a 5 metros de altura y rematados por los conocidos faroles de gas. Esta etapa se puede considerar como el nacimiento de las redes de alumbrado tal y como las conocemos actualmente. Hasta la

construcción de las redes de gas para alumbrado, la iluminación se conformaba con puntos de luz sueltos y sin mayor coherencia entre unos y otros. En esta época ya se tiene una visión más conjunta e integradora de la iluminación y se tratan calles enteras de forma homogénea.

En el caso de la ciudad de Granada, en el año 1866, la empresa Eugenio Lebón y Cía se convierte en concesionaria del servicio de alumbrado público de la ciudad mediante gas, instalando una fábrica en las inmediaciones del Río Genil. En 1887 tiene lugar la prórroga del contrato de suministro de gas suscrito con el ayuntamiento obteniendo el privilegio del alumbrado público por gas hasta 1927.

### **1.1.3.- ILUMINACIÓN ELÉCTRICA. ARCO VOLTAICO**

En la década de 1890 se introduce un elemento novedoso hasta esa época para la iluminación. Los primeros experimentos de iluminación eléctrica los realizó el químico británico sir Humphry Davy, provocando la incandescencia de un fino hilo de platino en el aire al hacer pasar una corriente a través de él. Partiendo de ese descubrimiento, el francés Foucault fabricó en 1844 una lámpara de arco, que producía luz por descarga eléctrica entre dos electrodos de carbono. Este sistema sería utilizado para el alumbrado público hasta la aparición de las lámparas de filamentos.

Tendrían que pasar varias décadas, hasta 1898 para ver instaladas en la ciudad de Granada las primeras farolas de arco voltaico como elementos del alumbrado urbano. Estas se pusieron Plaza Nueva, las primeras, y posteriormente se amplió la instalación a las principales calles del centro de la ciudad.

### **1.1.4.- LÁMPARAS INCANDESCENTES**

El origen de las lámparas incandescentes en su aspecto comercial hay que buscarlos en los Estados Unidos. En 1879, Thomas A. Edison ideó una lámpara eléctrica de incandescencia de larga duración con filamento de carbono. El 27 de octubre de ese año en New York, se consiguió que una lámpara de este tipo estuviera encendida ininterrumpidamente durante dos días, cosechando un éxito fulminante. Ya en 1882 se

instalaría la primera central eléctrica en Pearl Street, la primera calle en ser iluminada artificialmente, extendiéndose rápidamente su uso a otros barrios y ciudades.

En el año 1907, gracias a los trabajos de Just y Haran, los originales filamentos de carbono son sustituidos por los de wolframio, mas duraderos y fiables.

En el año 1892, se constituye en Granada la Sociedad General de Electricidad, con objeto de aprovechar la contrata del alumbrado público municipal para determinados barrios. El Ayuntamiento le concede el alumbrado público de la ciudad durante 10 años, creándose para poder atender la demanda, una central térmica de corriente continua en el céntrico Paseo de Salón que estuvo en funcionamiento hasta el año 1897.

Desde esta época en adelante, y hasta pasada la primera mitad del siglo XX, son las lámparas de incandescencia las que mayoritariamente soportan el alumbrado urbano, coexistiendo con las lámparas de gas y de arco pero en menor medida.

#### **1.1.5.- LUZ DE DESCARGA EN GAS**

En investigaciones realizadas a mediados del siglo XIX pudo comprobarse que con tubos de vidrio en vacío y mediante descargas eléctricas, se podía emitir una luz violeta brillante. Se observó que el fenómeno luminoso cambiaba en función de la presión con que se actuaba en el tubo de descarga o por la adicción de otros gases. En este momento aparece una nueva fuente de luz, es la conocida lámpara de descarga, de la que pronto se iniciaría su producción comercial. Las primeras lámparas de descarga comerciales fueron las lámparas de alta tensión, también conocidas como "Luz de Neón". En principio diseñadas para el alumbrado en general fueron de gran aplicación para anuncios luminosos pero poco útiles para el alumbrado público, por su baja eficacia por unidad de longitud, para conseguir un buen efecto luminoso se necesitan tubos de gran longitud llegando a alcanzar los 60 metros. Los más modernos disponen de un recubrimiento fluorescente para incrementar su eficacia luminosa. En

los años siguientes a la Segunda Guerra Mundial, ciudades y pueblos de España ven realizarse con éxito las primeras instalaciones de alumbrado público con fluorescencia, no sin dificultades, por la dispersión que había en las tensiones de las redes de 120V y 220V, y las caídas de esas tensiones que dificultaban el funcionamiento de la fluorescencia en muchos lugares. Tal fue el problema que el balasto fue sustituido por una lámpara incandescente reguladora que permitía un mejor funcionamiento del tubo fluorescente a pesar de estas variaciones de las tensiones. Mientras que la eficacia de la incandescencia estándar, de paso mucho más efímero por el alumbrado público frente a otros campos de aplicación, se mantenía en torno a los 9 *lm/W*, la fluorescencia, con las modificaciones de su recubrimiento fluorescente, se había incrementado hasta los 60 *lm/W*. La fluorescencia había tomado auge en muchos alumbrados públicos e incluso de grandes ciudades. Estos valores de eficacia junto con los bajos precios de la energía eléctrica propiciaron un gran desarrollo de las instalaciones de alumbrado en las principales ciudades Europeas que sirvieron de ejemplo y referente para el resto, alcanzándose altos niveles de luz con instalaciones que ya se diseñaban considerando parámetros de calidad usado en la actualidad.

En España y sobre todo en las grandes ciudades el paso fue más directo de la incandescencia a la lámpara de Vapor de mercurio alta presión color corregido. Su desarrollo comenzó con Cooper en 1901 con muy pobre rendimiento en color. Posteriormente se descubre un recubrimiento fluorescente capaz de soportar la gran cantidad de radiación UV producida por la lámpara aunque su efecto corrector del color era solo moderado. Y fue justo en los años 60 cuando comienza una gran revolución del alumbrado público, inicialmente en Madrid y seguido por otras grandes ciudades como Barcelona, San Sebastián, Sevilla, etc. Además de las lámparas de nueva aparición, por primera vez irrumpen en el mercado español luminarias cerradas con filtros para la polución, equipadas con reflectores y equipos en la propia luminaria. El cierre con refractores de vidrio, y posteriormente de policarbonato o metacrilato, vienen a contrarrestar los problemas de mantenimiento creados por la polución de las grandes ciudades. No hay que olvidar que para aquel entonces el tráfico, e incluso el pesado, circulaba por el interior de las ciudades y pueblos. Debido a las altas potencias de las lámparas y a las ópticas de las luminarias, se empiezan a colocar puntos de luz

de mayor altura que permite interdistancias mayores y por tanto una economía en las nuevas instalaciones. No hay que perder de vista que esta época coincide con un gran desarrollo de las ciudades españolas en detrimento del mundo rural y por tanto una gran superficie nueva a urbanizar y un aumento considerable del parque de puntos de luz.

Pero no cabe duda que en nuestros días la lámpara más usada en el alumbrado público sea la lámpara de Sodio de Alta Presión. Su eficacia luminosa, próxima en la actualidad a los 200 *lm/W*, y su vida la han presentado durante muchos años como la lámpara predominante. Sin embargo su falta de reproducción cromática ha imposibilitado su utilización para algunas aplicaciones concretas en el alumbrado público. Ha sido pues una lámpara de aplicación fundamentalmente en el alumbrado viario donde el color hasta las últimas investigaciones parecía que no era relevante.

Con la introducción de este tipo de lámparas, se empieza a ver la luz anaranjada en nuestras calles. La respuesta de los ciudadanos ante este tipo de luz no era una cuestión que preocupara entonces, pero si supuso el inicio de una cierta diferencia a nivel popular de la luz anaranjada frente a la luz blanca, que era la única existente hasta ese momento.

La primera instalación de sodio alta presión que tiene lugar en España es en Madrid y data aproximadamente de finales de 1969. Por primera vez los técnicos de alumbrado pudieron contemplar una instalación de este género donde la lámpara utilizada por ser la única existente fue de 400W, esto supuso nuevamente una modificación en los báculos hasta entonces instalados pues necesitaban de una mayor altura para una buena uniformidad (Gandolfo, 2008). En años posteriores la proliferación de estas instalaciones se generalizó. Posteriormente con la salida al mercado de potencias más bajas las instalaciones de antaño se modificaron y reconvirtieron a valores de luminancia más bajos, con los consiguientes ahorros energéticos.

Nos situamos ya en la década de los 70, donde la gran crisis energética supuso el apagón de Europa. Los alumbrados públicos fueron utilizados por las propias autoridades para mostrar al pueblo que nos encontrábamos ante una gran crisis energética y durante meses muchos de ellos permanecieron apagados. A España esta crisis llegó con un cierto retraso pero lo hizo con la misma virulencia con que lo había hecho en otros países de Europa. Como toda crisis también afectó a la economía y los ayuntamientos faltos de dinero utilizaron el momento para disminuir sus inversiones en nuevas instalaciones de alumbrado. En este contexto surgen elementos cuyo objetivo es la reducción del consumo y así aparecieron en el mercado los balastos de doble flujo que permitieron reducir más o menos al 50% el flujo de la lámpara al llegar a determinadas horas de la noche solución que garantizaba la uniformidad necesaria sobre la calzada. Otros sistemas de regulación del flujo nacieron con vistas a este mismo fin. Para un mejor aprovechamiento de la luz natural se desarrollaron sistemas de control con encendido y apagado mediante relojes o células fotoeléctricas. A largo plazo, la crisis produjo un cambio en algunas políticas estructurales de Occidente, avanzando hacia una mayor conciencia energética, situación que se mantiene aun en nuestros días.

Como producto de la evolución tecnológica experimentada en las lámparas de descarga en gas, más recientemente se han desarrollado para el alumbrado público lámparas de halogenuros metálicos. La características de estas lámparas es su temperatura de color próxima a los 2800 K, por eso también llevan normalmente, el apelativo de luz blanca, si bien se trata de un blanco cálido. Las tradicionales lámparas de vapor de mercurio con halogenuros metálicos alcanzan unas temperaturas rondando los 4000 K que le dan un aspecto blanco pero frío. Su existencia se debe a la combinación de dos tecnologías: por un lado el conocimiento del quemador cerámico de las lámparas de sodio que se aplicó y por otro las ventajas de la conocida calidad de luz de los halogenuros metálicos. El quemador cerámico permite obtener una mejor eficacia y reproducción de los colores con respecto a las lámparas de halogenuros metálicos con el quemador de cuarzo, una mejor estabilidad del color a lo largo de toda su vida y menor dispersión del color de unas lámparas a otras.

Esta gama de lámparas, de luz blanca, vuelven de nuevo a colocar este tipo de luz en la fisonomía del paisaje urbano nocturno, que tras la aparición de las lámparas de sodio había quedado relegado a aplicaciones específicas. De nuevo la tecnología de la iluminación ofrece lámparas eficientes que generan luz blanca.

Particularizando para la ciudad de Granada, las lámparas de descarga en sus diferentes tipos irrumpen en un breve espacio de tiempo y rápidamente sustituyen a las lámparas de incandescencia en la práctica totalidad de los puntos de luz.

Las primeras instalaciones de lámpara de descarga que se realizan lo son con lámpara de vapor de sodio de baja presión y se colocan en tramos urbanos de las Carreteras de Málaga y Motril, en su zona de conexión a la ciudad. La pobre reproducción cromática de este tipo de lámparas frenó su extensión a otras zonas, apoyado sobre todo por el desarrollo casi a continuación de otros tipos de lámparas con luz de mejor calidad.

Pocos años después, al principio de la década de los 70 se comienza a instalar lámparas de vapor de mercurio en su versión más evolucionada de color corregido. Las Calles Alhamar y la Avenida de Dílar son las vías urbanas que ven por primera vez este tipo de luz característica, que se ha mantenido en uso hasta el año 2005 en que se eliminaron las últimas lámparas de vapor de mercurio color corregido.

De esta época es también la instalación de lámparas de luz mezcla, denominadas así por combinar en un solo bulbo una lámpara de vapor de mercurio e incandescencia, si bien el mal resultado que ofrecían en ambientes exteriores, la calidad de la luz que proporcionaban y su bajo rendimiento hizo que entraran rápidamente en desuso y fueron sustituidas por vapor de mercurio color corregido.

Las lámparas de sodio de alta presión tardaron unos años más en hacer su aparición en el alumbrado de la ciudad de Granada. Tras unas instalaciones de pocos puntos en lugares dispersos, a modo más bien experimental, es con la reforma de la

Avenida Calvo Sotelo, actual Constitución a mediados de los 70 cuando se inaugura la primera instalación de importancia con este tipo de lámpara.

A partir de estas fechas se inició una rápida expansión de las lámparas de descarga, quedando el vapor de mercurio color corregido para los barrios históricos, zonas ajardinadas y peatonales, y el vapor de sodio para los viales de tráfico, abarcando este concepto tanto carreteras y vías de circulación densa como calles secundarias de escaso tráfico local. Esta ha sido la característica general del alumbrado hasta el año 2.000 aproximadamente con la sustitución total de las lámparas de vapor de mercurio color corregido por las modernas lámparas de vapor de mercurio con halógenos y tubo de descarga cerámico, de mayor rendimiento y durabilidad que las lámparas de vapor de mercurio. Para los alumbrados urbanos viarios, la lámpara de vapor de sodio continúa siendo la de mayor implantación en el alumbrado de Granada si bien en pugna con la emergente instalación de luminarias con fuentes de luz de tecnología led.

#### **1.1.6.- SITUACIÓN ACTUAL**

La situación actual es, como no podía ser de otra forma, producto de la evolución histórica que se muestra más arriba.

En este entorno, debemos tener en cuenta que durante los últimos 10-15 años se ha producido una revolución en el mundo del alumbrado que puede proporcionar grandes ayudas para cumplir con los objetivos puesto que en la actualidad tanto las fuentes de luz, como los equipos y las luminarias pueden proporcionarnos importantes ahorros a la vez que nos proporcionan un mayor confort. Se han incrementado en las lámparas sus eficacias y rendimientos de color, mientras que hemos disminuido su tamaño consiguiendo de este modo poder realizar luminarias más pequeñas con ópticas mucho más eficientes que nos permiten aprovechar mucho mejor la luz producida por la fuente. Por último, los equipos electrónicos junto con los sistemas de control nos permiten una gestión integral del punto de luz.

Respecto de las fuentes de luz utilizadas, se está avanzando y desarrollando continuamente en las fuentes de luz de estado sólido, conocidas como led. Esta forma

de iluminación presenta hoy en día un gran poder de penetración en el mercado, tanto para nuevas instalaciones como para renovación de existentes. La gran versatilidad en su uso, su adaptación a las diferentes soluciones demandadas en cada caso, su gran durabilidad y fiabilidad le confieren unas estupendas expectativas de futuro.

## **1.2- EL CONCEPTO MODERNO DEL ALUMBRADO URBANO**

### **1.2.1.- EL MODELO DE LA EFICACIA Y EFICIENCIA**

Durante las últimas décadas se ha mantenido en los países de nuestro entorno un crecimiento sostenido del gasto en el área de los servicios públicos. Este incremento del gasto se encuentra sustentado en un amplio consenso político y social en el que participan, de una forma más o menos expresa, de un lado los dirigentes políticos encargados de la organización y planificación y de otro los ciudadanos como receptores de servicios (Hurtado, Delgado, 2004). Esta situación ha llevado a la creación de unas expectativas de demanda de servicios públicos que difícilmente se puede cubrir con los recursos disponibles y con los modelos de gestión que se venían utilizando. Estos factores explican la aparición de unas nuevas reglas de juego que han cristalizado en el modelo de la eficacia-eficiencia, lo que supone ofrecer más por menos, obtener mejores resultados mediante la racionalización de los recursos disponibles.

En los últimos años, se introduce un elemento novedoso sobre los modelos que se están desarrollando: Los ciudadanos que pagan los servicios públicos con sus impuestos están legitimados a exigir que estos servicios se presten con eficiencia y calidad.

Por otro lado, en un mercado competitivo, quienes determinan si un servicio es aceptable y satisface sus necesidades son los clientes y usuarios. Como conclusión cabe citar que la administración pública debe asegurar a los ciudadanos no sólo los servicios, sino que estos sean servicios de calidad. Este modelo organizativo de los servicios es aceptado por la administración que se ve obligada a modificar su organización y formas de gestión de tal modo que pueda satisfacer las demandas de los ciudadanos y de la forma que estos reclaman, es decir, prestando un servicio de calidad y con un coste de funcionamiento lo menor posible.

### **1.2.2.- EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO URBANO**

Las administraciones prestan un elevado número de servicios de forma directa a los ciudadanos. La prestación de estos servicios lleva asociado el consumo de una considerable cantidad de energía. Existen estudios y recopilaciones estadísticas a nivel nacional donde se manejan unas estimaciones de consumo que indican que en torno al 8% del total de la demanda energética del país es la correspondiente a la administración. Tomando como ámbito de estudio la Unión Europea, esta cantidad asciende hasta valores en torno al 11%. Si bien los porcentajes pueden parecer bajos respecto de otros sectores de consumo, no debemos olvidar que estamos considerando cantidades que para el año 2001, citando datos del Ministerio de Economía, representa un consumo de 7.970 ktep. Estas mismas fuentes dan un consumo de 9.564 ktep para el año 2013 que representa un 11,8 % del total de la demanda nacional. Alumbrado público, edificios municipales, abastecimiento y saneamiento de aguas, recogida de residuos, servicios sociales o actividades deportivas son la causa directa del consumo energético municipal, constituyendo el alumbrado urbano el mayor componente de este consumo.

Asimismo, las necesidades energéticas asociadas a todos estos servicios han experimentado un importante aumento, relacionado intrínsecamente con la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos (Hurtado, et al, 2006). Con estas premisas, resulta de vital importancia la gestión controlada del consumo asociado a los servicios anteriormente citados. El gasto de energía eléctrica que se ha de asumir en aras a satisfacer sus necesidades, se puede estimar en dos terceras partes de la demanda doméstica total de energía de cada municipio. Los servicios que requieren un mayor consumo de energía es, con diferencia, el alumbrado público. Según este principio, la importancia que supone una óptima gestión de la energía destinada al sector de la iluminación de viarios y espacios públicos, es de primera necesidad en el ámbito de la eficiencia energética en los municipios. El ahorro y la optimización de los recursos energéticos disponibles, se vislumbran, por tanto, como objetivos prioritarios en todo planteamiento futuro, no sólo desde la óptica de la reducción del gasto, sino también

como mejora medioambiental. Estas líneas generales de actuación en las instalaciones de alumbrado constituyen un fin en si mismo.

Pero esto no debe significar el sacrificio de la eficacia. No debe perderse de vista que el objetivo de la iluminación urbana es satisfacer las necesidades de los ciudadanos en ausencia de luz natural. La actual tendencia a la eficiencia energética parece que nos lleva a un mero y automático cumplimiento de los criterios lumínicos y una vez establecido esto aplicar las soluciones de menos consumo posible. Este trabajo pretende a ahondar en la primera cuestión planteada de la eficacia de las instalaciones. Qué percepciones tiene el ciudadano sobre la iluminación que percibe independientemente de los valores energéticos de la instalación.



### **1.3.- CONCEPTOS GENERALES SOBRE ALUMBRADO URBANO**

La energía eléctrica es hoy día realidad cotidiana, pues interviene en numerosas actividades como la producción de calor o frío, el movimiento, la comunicación, el tratamiento de la información, el desarrollo tecnológico, o simplemente, y no por ello menos trascendente, generando luz. Desde su nacimiento, a finales del siglo XIX, la implantación de la luz eléctrica ha llevado consigo profundos cambios en el modo de vida de la sociedad, esto es, mejorando las condiciones de trabajo, creando ambientes apropiados o conquistando nuevas parcelas de ocio. De hecho, según datos de la Agencia Internacional de la Energía, la iluminación es la segunda aplicación eléctrica más utilizada a efectos energéticos, con un diecisiete por ciento de la demanda total.

En las últimas décadas, el sector de la iluminación está generando un meritorio esfuerzo por proporcionar fuentes de luz energéticamente eficaces, dedicando un importante impulso al sector de la investigación a todos los niveles. Sin embargo, una buena iluminación no depende exclusivamente de las fuentes de luz, sino del sistema de alumbrado en general, de manera que aporte iluminación suficiente para resolver una tarea visual con comodidad, para proporcionar seguridad o crear un ambiente determinado. Así, el diseño del sistema debe hacerse a fin de proporcionar calidad de iluminación en términos de eficacia y eficiencia energética, entendiendo dicho diseño como la óptima solución capaz de integrar el espacio a iluminar, los requerimientos visuales, las diferentes percepciones del observador, la fuente de luz y su equipo asociado, la luminaria, y el sistema de control utilizado en cada caso.

#### **1.3.1.- CONCEPTOS LUMINOTÉCNICOS BÁSICOS**

En este apartado se definen una serie de términos básicos, con la intención de mejorar la comprensión del fenómeno luminotécnico. Por su importancia y frecuencia de utilización en el ámbito del diseño y explotación de las instalaciones, se han recogido aquellos conceptos que son clasificados como fotométricos, aquellos referentes a la cuantificación de la potencia luminosa y conceptos colorimétricos, los asociados al color de la luz:

### 1.3.1.1.- CONCEPTOS FOTOMÉTRICOS

Son cinco los conceptos fotométricos:

- Flujo luminoso: Es el flujo radiante emitido dentro del espectro visible y ponderado por la curva de sensibilidad del ojo humano. Su unidad de medida es el lumen (lm), que se define como el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido unidad por una fuente puntual uniforme que tiene una intensidad luminosa de 1 candela (cd).
- Intensidad luminosa: La intensidad luminosa en una dirección determinada es el flujo luminoso emitido en el ángulo sólido que contiene dicha dirección. Su unidad de medida es la candela, que se define como la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite radiación monocromática de  $540 \times 10^{12}$  Hz de frecuencia y cuya intensidad energética en esa dirección es de  $1/683 \text{ W sr}^{-1}$ .
- Iluminancia: Cociente entre el flujo luminoso incidente sobre una superficie y el área de esta. Su símbolo es E y la unidad el lux (lm/m<sup>2</sup>).
- Luminancia: Es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por dicha superficie en la dirección del ojo del observador. Su símbolo es L y su unidad la candela por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>). La expresión de la luminancia en un punto es función de la intensidad luminosa que recibe dicho punto, de la altura de la luminaria y de las características fotométricas del pavimento.
- Eficacia luminosa: Relación existente entre el flujo luminoso de una fuente de luz y la potencia consumida para producirla (lm/W). La eficacia depende principalmente de dos factores: Potencia eléctrica consumida y distribución espectral de la radiación emitida respecto a la sensibilidad espectral del ojo humano.

### **1.3.1.2.- CONCEPTOS COLORIMÉTRICOS**

Existen básicamente dos cualidades que definen las propiedades de color de una fuente de luz, la apariencia de color de la fuente, es decir, el color que presenta la propia fuente de luz y la reproducción cromática obtenida con una fuente de luz determinada, o lo que es lo mismo, cómo son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esa fuente de luz. Estas dos características dependen de la composición espectral de la luz emitida. Así, para una fuente de luz, las longitudes de onda contenidas en su espectro de emisión determinarán el color resultante que presenta la propia fuente y, además los objetos iluminados, reflejarán y reproducirán los colores que reciben de esa fuente.

- **Temperatura de color:** La mayoría de los cuerpos calentados hasta una temperatura suficientemente alta, emiten una luz rojiza, y a medida que la temperatura aumenta, la luz emitida se hace cada vez más blanca. Bajo determinadas circunstancias, este fenómeno, válido para las emisiones de luz por termorradiación, establece una relación entre la temperatura de la fuente de luz y su apariencia de color. Así, el parámetro que caracteriza la tonalidad de la luz emitida recibe el nombre de temperatura de color. La equivalencia práctica entre apariencia de color y temperatura de color se establece convencionalmente como luz cálida, siendo aquella que tiene una temperatura de color  $< 3.300\text{ K}$  o, luz fría para referirse a aquella que tiene una temperatura superior a  $5.000\text{ K}$ . Cuando se trata de para valores intermedios entre estos, se considera luz intermedia.
- **Índice de reproducción cromática:** La capacidad de reproducción cromática una fuente de luz de los objetos iluminados, se caracteriza por medio del índice de reproducción cromática. Este índice ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de luz para reproducir unas muestras de colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia. Convencionalmente, el índice varía entre 0 y 100, pero no debe entenderse como un porcentaje

de fiabilidad de reproducción de cada uno de los colores, sino como una cifra de mérito global que se obtiene como promedio de las reproducciones efectuadas de los colores de la muestra. Así, dos lámparas de descarga pueden tener el mismo índice y, sin embargo, reproducir de un modo distinto un determinado color. Se considera, en interiores, un índice de reproducción bueno si este es superior a 85, aceptable si se encuentra entre 85 y 70, y malo para valores inferiores a 70.

### 1.3.1.3.- VIDA O DURACIÓN

Es el tiempo, en horas, que transcurre hasta que una fuente de luz se considera no apta según un determinado criterio. En general, se definen dos tipos de duración:

- **Vida media:** Se considera que la fuente de luz es inútil cuando deja de funcionar. La vida media se determina mediante ensayos de duración, por lotes de lámparas, asignando el valor de la vida media al número de horas de funcionamiento hasta que se ha producido 50% de fallos en el lote.
- **Vida útil:** Se considera que la fuente de luz es inútil cuando, a pesar de seguir en funcionamiento, no satisface algún requisito de prestaciones, como puede ser el mantenimiento de un nivel de flujo luminoso adecuado.

### 1.3.2.- CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE LUZ EN ALUMBRADO PÚBLICO

Se debe de establecer un equilibrio racional entre las características más importantes de las fuentes de luz, a saber, rendimiento del color, duración, eficiencia y el espacio a iluminar.

Se presentan a continuación algunas consideraciones sobre las diferentes fuentes de luz utilizadas en el alumbrado urbano convencional. No se trata de hacer una relación exhaustiva de todas las fuentes de luz existentes sino de las de mayor utilización en iluminación urbana. Por tanto, no se incluyen aquí fuentes de luz obsoletas, como la incandescencia o aquellas sin aplicación práctica en el alumbrado público como las fuentes de luz de grandes potencias para proyección o recintos deportivos.

#### **1.3.2.1.- LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO DE BAJA PRESIÓN**

En este tipo de lámpara, la radiación visible es producida por la descarga eléctrica en el interior de un tubo de descarga que contiene una mezcla de gases y vapor de sodio a baja presión. En estas condiciones se genera emisión de energía luminosa en longitudes de onda próximas los 589nm (lo que produce una luz denominada amarillo-sodio). La eficacia de este tipo de lámparas oscila entre los 100 y los 198 lm/W, en función de la potencia de las mismas. Estas lámparas se definen como lámparas con una Tc de unos 1.800 K. La vida útil puede superar las 12.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones de funcionamiento facilitadas por el fabricante. Necesitan un equipo auxiliar para su funcionamiento. El tiempo de encendido hasta alcanzar el régimen de funcionamiento nominal es de unos 12 minutos y no se puede regular la emisión de luz. Dado el color de la luz emitida por estas lámparas, su uso queda reducido a aquellas aplicaciones en las que no es importante la reproducción cromática de los objetos iluminados.

#### **1.3.2.2.- LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN**

El tubo de descarga que incorpora este tipo de lámparas está relleno de xenón y una amalgama de sodio y mercurio a alta presión. La emisión de energía luminosa es mayoritaria en longitudes de onda entre los 550 y 650nm, pero varía en función del tipo y potencia. La eficacia de este tipo de lámparas oscila entre los 68 y los 150 lm/W, en función de la potencia de las mismas. La apariencia de color es variable en función del tipo, alcanzando o superando levemente una Tc de unos 2.000 K por lo que entran

en el apartado de luz amarillo-sodio. El rendimiento de color es pobre ( $R_a=25$ ). La vida útil varía entre las 10.000 y las 22.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones de funcionamiento facilitadas por el fabricante. También necesitan de un equipo auxiliar para su funcionamiento, si bien, en este caso, el tiempo de encendido hasta alcanzar el régimen de funcionamiento nominal puede oscilar entre los 5 y 10 minutos. Además permite regular la emisión de luz utilizando para ello un sistema adecuado a tal fin.

Dada la elevada vida útil de esta lámpara, se considera idónea para su utilización en aquellas instalaciones con periodos de encendido diario de varias horas como ocurre en el alumbrado público, y donde la reproducción cromática no sea esencial.

Existen variaciones de este tipo de lámparas donde se consigue un rendimiento de color más elevado, alcanzando valores de  $R_a=60$ . Permiten la regulación del flujo luminoso emitido, pero pierden sus características de color.

Otra variante de este tipo de lámparas son las denominadas lámparas de sodio blanco, que proporciona el mayor índice de reproducción cromática posible en lámparas de sodio. Gracias a la tecnología utilizada en esta lámpara se consigue una luz blanca dorada, con temperatura de color de 2.500 K y un índice de reproducción de color superior a 80 ( $R_a>80$ ). Todo ello a costa de perder mucha eficacia, ya que difícilmente alcanza los 50 lm/W.

No es recomendable su regulación porque tanto la  $T_c$  como el  $R_a$  se ven reducidos de forma muy notable.

### **1.3.2.3.- LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO DE ALTA PRESIÓN**

Estas lámparas disponen de un tubo de descarga en el interior del cual existe mercurio y un gas de relleno inerte, normalmente argón. Como en todas las lámparas mencionadas hasta el momento, el citado tubo de descarga o quemador, queda

encapsulado en una ampolla de vidrio. La eficacia de este tipo de lámparas oscila entre los 36 y los 59 lm/W, en función de la potencia de las mismas. La apariencia de color es blanco-azulada, con una temperatura de color correlacionada de 6.000 K. El rendimiento de color es pobre ( $R_a=15$ ), existiendo una variante denominada “vapor de mercurio con color corregido con recubrimientos especiales” que alcanza un  $R_a=52$  y una  $T_c=3.300$  K.

La vida útil de la lámpara de vapor de mercurio de alta presión varía entre las 12.000 y las 24.000 horas siempre que se mantengan las especificaciones de funcionamiento facilitadas por el fabricante. Necesitan un equipo auxiliar para su funcionamiento, si bien el tiempo de encendido hasta alcanzar el régimen de funcionamiento nominal es menor que en las lámparas anteriormente descritas (aproximadamente 4 minutos) y no es recomendable su regulación.

El RD 1890/2008 del 14 de Noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, prohíbe la utilización, en estas instalaciones, de lámparas con eficacias inferiores a 65lm/W; por lo tanto queda excluida este tipo de lámpara para tales aplicaciones. No obstante, y dado que aun existe un gran parque de lámparas de este tipo instaladas en España y todavía se siguen fabricando, se han incluido en esta descripción, siendo conscientes de que se trata de una fuente de luz en regresión y que quedará excluida en breve de las aplicaciones en alumbrado público urbano.

#### **1.3.2.4.- LÁMPARA DE MEZCLA**

También conocida como “lámpara de luz mezcla” por disponer en la misma ampolla de vidrio de una lámpara de vapor de mercurio y de una lámpara de filamento incandescente conectadas en serie. En el encendido, inmediato en la lámpara de incandescencia, es el filamento el que emite la luz, pero cuando la lámpara se estabiliza al cabo de unos 3 minutos, el flujo luminoso procedente del tubo de descarga es aproximadamente el doble del que produce el filamento. La denominación de esta lámpara es debida a que ambos tipos de luz se combinan o mezclan, dando lugar a unas características de lámpara completamente distintas a las de

incandescencia o vapor de mercurio. La Tc de estas lámparas varía de 3450 a 3700 K, y los índices de reproducción cromática de 50 a 65 ( $50 < Ra < 65$ ). Las eficacias son bastante pobres, con valores entre los 19 y los 26 lm/W.

La vida útil es muy variable, ya que estas lámparas son muy sensibles a las vibraciones y a las sobretensiones. Igual que la lámpara de vapor de mercurio también está en desuso en su aplicación para alumbrado público.

#### **1.3.2.5.- LÁMPARA DE HALOGENUROS METÁLICOS CON TUBO DE DESCARGA DE CUARZO**

Como ya se ha hecho mención, es posible mejorar el rendimiento en color de la lámpara de vapor de mercurio de alta presión mediante el uso de diferentes aditivos fluorescentes adheridos en el interior de la ampolla de vidrio, si bien es la adición a la descarga de otros metales distintos al mercurio, los que ha permitido mejorar el índice de reproducción de color de la luz emitida.

En base a los elementos incorporados, las lámparas de este apartado pueden dividirse en tres grupos:

- Radiadores de tres bandas que emplean yoduros de sodio, talio e indio.
- Radiadores multilínea, que emplean yoduros de tierras raras y metales asociados, tales como escandio, disprosio, tulio y holmio.
- Radiadores moleculares, que emplean yoduro de estaño y cloruro de estaño.

Las distintas tecnologías empleadas en la fabricación de estas lámparas, hace que sea muy difícil conseguir dos lámparas exactamente iguales con respecto a las características de temperatura de color, índice de reproducción cromática, eficacia y vida útil, ya que se producen variaciones importantes en los citados parámetros. Incluso los equipos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento de las

lámparas pueden ser incompatibles, por lo que antes de su aplicación se debe consultar a los fabricantes. La depreciación del flujo luminoso de estas lámparas suele ser muy importante, debido principalmente a la migración de los componentes a través del tubo de descarga.

Ninguna de las lámparas de los tres grupos citados puede regularse manteniendo sus características de color y vida razonables, con el riesgo añadido de la extinción del arco y el consiguiente apagado de la lámpara.

### **1.3.2.6.- LÁMPARA DE HALOGENUROS METÁLICOS CON TUBO DE DESCARGA CERÁMICO**

Este tipo de lámpara es el último desarrollo de lámparas de descarga en gas. La utilización de la mezcla de Ioduro metálico mezclado con tierras raras en un tubo de descarga cerámico permite la fabricación de lámparas de características de color superiores a sus equivalentes de halogenuros metálicos en tubo de descarga de cuarzo. Así como ejemplo, la lámpara de cuarzo de  $T_c=3000$  K con un  $R_a=70$  pasa a tener un  $R_a=80$  con tecnología de cuarzo y, la de cuarzo de  $T_c=4200$  K con un  $R_a=80$ , pasa a tener un  $R_a>90$  con la tecnología de cuarzo. Las lámparas de este tipo que inicialmente se conocieron en el mercado no podían ser reguladas sin alterar gravemente sus características de color, pero posteriormente algún fabricante ha lanzado este tipo de lámparas como regulables, admitiendo que al regular la lámpara al 50% de su flujo nominal, esta pase de un  $R_a=90$  a  $R_a=80$ .

Las características fundamentales de la última generación de lámparas de halogenuros metálicos con tubo de descarga de cuarzo son:

- Temperatura de color  $T_c=2.800$  K
- Índice de reproducción cromática entre 65 y 70 ( $65 < R_a < 70$ )
- Eficacias entre 96 y 120 lm/W
- Funciona solamente con equipo auxiliar electrónico

- Son regulables, con el hándicap ya anteriormente mencionado.

### **1.3.2.7.- LÁMPARAS DE INDUCCIÓN**

La tecnología de esta lámpara tiene sus orígenes en los trabajos de Nikola Tesla en la década de 1890, quien posteriormente patentó un sistema de luz basado en los principios de transferencia de la energía a las lámparas incandescentes y fluorescentes sin electrodos.

En la lámpara de inducción, la excitación eléctrica de los átomos de mercurio del gas tiene lugar por la acción de un campo electromagnético producido por un generador de alta frecuencia que transmite una corriente mediante una antena u otro sistema, en función del modelo de lámpara. Al no existir electrodos, la vida de este tipo de lámpara es muy superior a la de una lámpara fluorescente de las nombradas anteriormente, pudiendo alcanzar las 60.000 horas de vida útil, con eficacias entre los 65 y 85 lm/W. Estas lámparas se comenzaron a comercializar un siglo más tarde, en 1990. En la actualidad, por su limitada eficacia, bajo factor de utilización (utilancia) en instalación y elevado coste, estas lámparas han desaparecido de los catálogos de los principales fabricantes.

### **1.3.2.8.- DISPOSITIVOS EN ESTADO SÓLIDO EMISORES DE LUZ (LED Y OLED)**

El principio físico de generación de energía luminosa en el que están basados estos dispositivos difiere de los analizados para las otras familias de fuentes de luz analizadas anteriormente, al no existir ni un filamento metálico incandescente ni una descarga eléctrica en el seno de un determinado gas.

Como dispositivos en estado sólido emisores de luz analizaremos dos tipos: los led y los oled.

El acrónimo LED proviene de las siglas en idioma inglés *Lighting Emitting Diode* (Diodo Emisor de Luz). Por tanto, un led es un diodo (componente electrónico)

---

semiconductor) que, al ser atravesado por una corriente eléctrica en unas determinadas condiciones, emite luz.

La energía luminosa emitida, en forma de fotones, puede ser visible, infrarroja o muy próxima al espectro ultravioleta. Su longitud de onda y por tanto su color, depende básicamente de la composición química del material semiconductor utilizado. Los utilizados en alumbrado se denominan genéricamente como led de alta potencia.

El led, desde el punto de vista de emisión de energía luminosa, solamente funciona cuando es alimentado con una polarización correcta en sus bornes. No puede conectarse directamente a la tensión de la red, necesitando para su correcto funcionamiento la utilización de una fuente de alimentación, denominada comúnmente “driver”. En términos generales la luz generada por los led es monocromática, y los distintos colores son producto del material semiconductor utilizado para su fabricación.

La aplicación del denominado “led de alta potencia como iluminante”, es la generación de luz blanca y buena reproducción de color, es la que despierta el mayor interés. Esto se puede conseguir mediante dos métodos:

- Mediante la mezcla de luz emitida por tres chip monocromáticos: azul, verde y rojo
- Mediante la combinación de un chip azul y capas de fósforo.

El primer método raramente se utiliza para producir un led “blanco”, aunque si que se utiliza para realizar juegos de colores, regulando independientemente la intensidad de corriente que circula por cada chip.

Mediante el segundo método se puede obtener luz blanca cálida o fría en función de los fósforos que se utilicen. Si se utilizan fósforos amarillos se tendrá un led blanco frío y de un Ra en torno a 60, mientras que si se utilizan fósforos rojos y verdes, se puede obtener un led blanco cálido de mejor reproducción cromática ( $Ra < 80$ ) pero con algo menos de flujo luminoso.

Con el objeto de obtener un cierto grado de homogeneidad para una aplicación determinada, se recurre al denominado “binning”, que involucra la caracterización de los led mediante sus características fundamentales: Flujo, color y voltaje. Este segundo método tiene una variante denominada de “fósforos remotos”, consistente en montar una placa con varios led azules en el interior de una cámara de alto grado de reflexión. Esta cámara, denominada cámara de mezcla, permite que las eventuales diferencias en color y flujo de los chip empleados se mezclen, dando lugar a una luz azul uniforme. La capa de fósforos y el difusor utilizado transforman esta luz azul en luz blanca de gran uniformidad. Con esta variante es posible incrementar la eficiencia del sistema en un 40%, asegurando la estabilidad del color. Al igual que el resto de las fuentes de luz anteriormente citadas, los led empleados en el alumbrado deberán cumplir lo establecido en la norma UNE-EN 62471 (“Seguridad fotobiológica de las lámparas”) y sus correspondientes revisiones, en la que se hace referencia al posible daño para la retina al mirar directamente a dichas fuentes de luz.

La utilización de los led en un alumbrado general, ya sea de interior o de exterior, al igual que sucede con las otras fuentes de luz descritas en esta capítulo, están clasificadas como exentas de riesgo o de riesgo muy bajo por la citada norma, siempre que sean utilizadas en las condiciones indicadas por los fabricantes.

### **Conjuntos multi-LED-PCB (Printed Circuit Board)**

Dado que el flujo luminoso unitario de los LED de alta potencia es aún relativamente bajo comparado con el de otras fuentes de luz anteriormente mencionadas, para su aplicación en iluminación se utilizan varios de ellos fijados a un circuito impreso, con dos funciones principales:

1. Establecer las conexiones eléctricas entre los led y el “driver”. Pueden ser fabricadas en fibra de vidrio o con un núcleo de metal (generalmente aluminio) con una ligera capa de fibra de vidrio, en cuyo caso se denominan MCPCB (Metal Core Printed Circuit Board).

2. Transferir el calor generado por los led al disipador térmico.

### **Características del LED**

Frente a las otras fuentes de luz citadas en este capítulo, el led aporta importantes ventajas para su utilización en el alumbrado exterior:

- Pequeñas dimensiones, que permiten gran flexibilidad y simplicidad de diseño de luminarias.
- Elevada eficacia lm/W en función de la intensidad de corriente con la que sea alimentado. Con la elevación de la corriente que circula por el led (750 mA, 1 A) se incrementa el flujo emitido al mismo tiempo que la potencia consumida. Habitualmente con intensidades de corriente de 350mA se consigue la mayor eficacia, alcanzando a día de hoy los 100 o 120 lm/W cuando varios led trabajan en forma conjunta en una luminaria.
- Gran vida útil, de hasta 50.000 horas dependiendo de la temperatura ambiente en la que trabaje el LED, de la corriente de alimentación y de la disipación térmica de la solución empleada.
- Sin radiación ultravioleta ni infrarroja.
- Emisión luminosa fácilmente direccionable mediante lentes o reflectores, pudiendo alcanzar utilancias mayores con luminarias que incorporen led que las obtenidas en luminarias dotadas de otras fuentes de luz convencionales.
- Mayor resistencia a golpes y vibraciones que el resto de las fuentes de luz habitualmente utilizadas.
- Encendido instantáneo y fácilmente regulable.

### **Los OLED (Organic Light Emitting Diode)**

Es un diodo orgánico de emisión de luz, que está formado por dos finas capas orgánicas denominadas capa de emisión y capa de conducción, que se encuentran comprendidas a su vez entre dos finas películas que hacen de ánodo y cátodo que, al aplicarles una estimulación eléctrica, reaccionan generando luz.

Los materiales utilizados y la estructura de las capas determinan las características de color de la luz emitida, vida útil y eficacia.

Actualmente se pueden encontrar dos tipos de OLED, en función de la tecnología empleada para la generación de energía luminosa: generación mediante moléculas, denominados SM-OLED (Small Molecule- OLED) y generación mediante polímeros, denominados PLED (Polymer Light Emitting Diodes).

En relación a las características del OLED, para su aplicación al alumbrado podemos destacar:

- Ligero y de muy poco espesor, permitiendo aplicaciones en las que el peso y volumen sean determinantes.
- Elevada reproducción cromática de la luz emitida ( $R_a > 80$ ).
- Larga vida útil ( $> 10.000$  horas).
- Fuente de luz difusa.
- Bajo voltaje de funcionamiento.
- Sin sustancias peligrosas en su composición.

A día de hoy la utilización del OLED como fuente de luz se encuentra en su fase inicial de desarrollo, esperándose que a medio plazo se consigan eficacias superiores a 100 lm/W (actualmente unos 20 lm/W) y elevada vida útil a un costo competitivo para su utilización, especialmente en el alumbrado interior.

Del mismo modo, si la tecnología permite la fabricación del OLED totalmente transparente, tendrá una gran aplicación como elemento de construcción.

### **1.3.3.- EQUIPOS ELÉCTRICOS AUXILIARES**

Las fuentes de luz referidas en el apartado anterior necesitan de un equipo auxiliar para ser conectadas a la red de alimentación eléctrica. Tanto las lámparas de descarga en gas como los dispositivos en estado sólido emisores de luz necesitan del citado equipo auxiliar para su correcto funcionamiento.

Tanto unos como otros pueden aparecer en sus versiones electrónicas o electromagnéticas.

#### **1.3.3.1.- EQUIPOS AUXILIARES PARA LÁMPARAS DE DESCARGA**

Como ya se ha comentado anteriormente, las lámparas de descarga requieren la presencia de un equipo auxiliar entre dichas lámparas y la red de alimentación. Estos equipos existen en versión electromagnética y electrónica.

##### **Equipos auxiliares electromagnéticos para lámparas de descarga**

Son equipos formados por varios elementos: Arrancador, Balasto o reactancia y Condensador.

*Arrancador:* El arrancador es el componente que proporciona en el momento del encendido, bien por sí mismo o en combinación con el balasto, la tensión requerida para el cebado de la lámpara. El arrancador puede ser eléctrico, electrónico o electromecánico. En casi todas sus versiones, la lámpara de descarga necesita de un arrancador auxiliar para comenzar la descarga, venciendo la diferencia de potencial existente entre sus electrodos. Es un componente del equipo auxiliar cuyas características eléctricas tienen una importancia fundamental en la vida de la lámpara. La tensión de pico, la corriente máxima (independiente / en serie), posición de fase, tensión de conexión e interrupción, tiene que ser la idónea para lo requerido por tipo y potencia. Los más comúnmente empleados son: Arrancadores semi-paralelo;

arrancadores serie o de superposición y los arrancadores de montaje paralelo, existiendo versiones denominados temporizados, que tras un determinado periodo de tiempo sin que la lámpara arranque, se desconectan automáticamente. También existe la versión de reencendido en caliente, especialmente utilizada en altas potencias de lámpara utilizadas generalmente en iluminación deportiva. En el caso de las lámparas fluorescentes este dispositivo (arrancador) se denomina cebador.

*Balasto:* Una característica común a todas las lámparas de descarga es que ofrecen una impedancia al paso de la corriente eléctrica, que disminuye a medida que esta aumenta, motivo por el que no pueden ser conectadas directamente a la red de alimentación sin un dispositivo, denominado balasto o reactancia, que controle la intensidad de corriente que circula por ellas. Los más comúnmente utilizados son los de choque, que pueden considerarse puramente inductivos. Para su utilización con lámparas de descarga en alta presión, también los hay autotransformadores y autorreguladores. Especialmente destinados a las lámparas de sodio de alta presión, existen en el mercado equipos electromagnéticos denominados de doble nivel, cuyo balasto dispone de dos bobinados en serie, capaces de alimentar a la lámpara con dos intensidades y modificando por tanto el flujo luminoso emitido por ella. En estos equipos, la conmutación entre los dos niveles de impedancia del balasto, se realiza a través de un relé temporizado o mediante un hilo de mando.

*Condensador:* El balasto electromagnético en funcionamiento con la lámpara posee un factor de potencia en torno a 0,5, lo que provoca un consumo de energía reactiva penalizado por las compañías eléctricas aplicando recargos en las facturas. Para corregir este problema se utiliza la carga capacitiva que genera el condensador intercalado en el circuito.

### **Equipos auxiliares electrónicos para lámparas de descarga**

Como alternativa a los equipos electromagnéticos se han desarrollado los equipos auxiliares electrónicos, tanto para lámparas fluorescentes como de descarga en alta presión. Estos equipos electrónicos integran en un solo conjunto los sistemas

de encendido, estabilización y compensación, y en muchas ocasiones de regulación del flujo luminoso emitido por la lámpara. Estos equipos se venían utilizando desde hace varios años como equipo de encendido para lámparas fluorescentes tanto con pre-caldeo como sin pre-caldeo, pero actualmente también existen equipos electrónicos para lámparas de descarga (sodio a alta presión, halogenuros metálicos de quemador de cuarzo o cerámicos), si bien es cierto que no para todo tipo de potencia.

Las principales ventajas de los equipos electrónicos frente a los electromagnéticos son:

- Mayor eficacia del sistema por menor consumo propio.
- Menor peso y tamaño.
- Simplificación del cableado (un solo elemento).
- Fiabilidad de encendido.
- Incremento de la vida útil de las lámparas y estabilidad del flujo y la temperatura de color.
- Menor sensibilidad a las variaciones de tensión de la red de alimentación.
- Posibilidad de regulación en muchos de sus modelos y potencias.

### **1.3.3.2.- EQUIPOS AUXILIARES ELECTRÓNICOS ASOCIADOS A FUENTES DE LUZ EN ESTADO SÓLIDO (DRIVERS)**

Son fuentes de alimentación que suministran la tensión necesaria para que se produzca la emisión luminosa de estos elementos (diodos) y que garanticen la correcta polarización de los mismos; el funcionamiento permanente dentro del rango nominal de trabajo y la correcta estabilidad de sus parámetros de funcionamiento.

Los más comúnmente usados en la tecnología led de alta potencia, son los denominados “drivers” de corriente constante, que varían el voltaje para mantener un valor de intensidad constante a través del diodo.

Para los led o módulos led de baja potencia suele utilizarse las fuentes de alimentación a tensión constante.

Además de lo definido para los equipos auxiliares respecto al cumplimiento del marcado CE y Directivas relacionadas, los equipos auxiliares electrónicos asociados a las fuentes de luz led se regirán por la siguiente normativa:

UNE-EN 61347-2-13. Dispositivos de control de lámpara. Parte 2-13: Requisitos particulares para dispositivos de control electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para módulos LED.

UNE-EN 62384. Dispositivos de control electrónicos alimentados en corriente continua o corriente alterna para módulos led. Requisitos de funcionamiento.

Como en todo equipo electrónico, es vital la temperatura máxima de trabajo de los mismos, que debe ir marcada en un punto de su envoltente.

#### **1.3.4.- LUMINARIAS**

##### **1.3.4.1.- CONCEPTOS BÁSICOS**

Según la norma UNE-EN 60598-1, se entiende por el término luminaria, el “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 las lámparas y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación”.

Como esto no basta para desempeñar eficientemente su función, es necesario el cumplimiento de una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas determinadas.

Otro requisito que deben cumplir las luminarias es su facilidad de instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento.

Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.

#### **1.3.4.2.- CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS**

Las luminarias pueden clasificarse atendiendo a diversos criterios aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, mecánicos o eléctricos. También se puede establecer una clasificación en función del uso al que se destinan:

- De uso vial: Las más comunes en las principales avenidas de las ciudades y que se corresponden con las utilizadas en carreteras y en general en vías donde el componente de tráfico rodado prevalece sobre el peatonal.
- De uso peatonal: En vías compartidas por vehículos y peatones pero donde la preferencia se realiza sobre estos últimos y se adecuan los diseños a estas circunstancias.
- De uso ornamental y deportivo: Su haz ha de estar controlado de forma especial puesto que las zonas a iluminar son muy singulares y tiene la característica de su utilización en periodos concretos por lo que debe evitarse su utilización con posterioridad a la media noche.

Para las luminarias destinadas específicamente al alumbrado público, ya sea este viario o ambiental, se utilizan las clasificaciones según tres parámetros: alcance, dispersión y control.

Estos parámetros dependen de sus características fotométricas. Los dos primeros nos informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente. Mientras, el control nos da una idea sobre el deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios.

### **Clasificación según las características ópticas de la luminaria**

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la fuente de luz. Es importante, pues, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto fuente de luz-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios.

Según el tipo de óptica y el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la fuente de luz, se distinguen cinco clases. En la tabla 1.1 se muestran los tipos de luminarias a efectos de esta clasificación y los porcentajes de flujo emitido en los diferentes hemisferios que las definen

<b>TIPO</b>	<b>FLUJO HACIA EL HEMISFERIO SUPERIOR</b>	<b>FLUJO HACIA EL HEMISFERIO INFERIOR</b>
DIRECTA	0÷10%	90÷100%
SEMI-DIRECTA	10÷40%	60÷90%
GENERAL DIFUSA	40÷60%	40÷60%
SEMI-INDIRECTA	60÷90%	10÷40%
INDIRECTA	90÷100%	0÷10%

**Tabla 1. 1 Clasificación de luminarias en función de su reparto de flujo luminoso**

Atendiendo al número de planos de simetría que tenga el sólido fotométrico, existen luminarias con simetría de revolución que tienen infinitos planos de simetría y por tanto nos basta con uno de ellos para conocer su distribución completa, con dos planos de simetría, usualmente los planos transversal y longitudinal y con un plano de simetría, el longitudinal, como ocurre en las luminarias de alumbrado viario.

### **Clasificación según las características mecánicas de la luminaria**

Existe una clasificación normativa de las luminarias a efectos de su grado de protección frente a la entrada de agua y de partículas y polvo en suspensión. Esta clasificación, establecida en la norma UNE-20342:1993 asigna un código denominado IP a las luminarias en función del grado de protección que poseen con respecto a cuerpos extraños, polvo y humedad.

Esta designación consiste en las letras "IP" seguidas de de dos dígitos. El primer dígito oscila entre 0 (sin protección) a 6 (máxima protección) e indica la protección contra la entrada de polvo y cuerpos sólidos en la luminaria. El segundo, de 0 a 8, indica el grado de protección contra la penetración de líquidos. La tabla 1.2 ilustra mejor este tema.

Por otra parte, el código "IK", definido en la norma UNE-EN 50102:2002, proporciona el grado de protección contra los impactos mecánicos externos, mediante estas dos letras características seguidas de cifras entre 00 y 10, que representan un valor de la energía de impacto cuya correspondencia aparece en la tabla 1.3

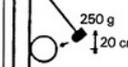
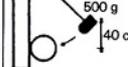
1.ª cifra: protección contra los cuerpos sólidos			2.ª cifra: protección contra los líquidos			3.ª cifra: protección mecánica		
IP	test		IP	test		IP	test	
0		Sin protección	0		Sin protección	0		Sin protección
1		Protegido contra cuerpos sólidos, superiores a 50 mm (ej.: contactos involuntarios de la mano)	1 ↓		Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua (condensación)	1		Energía de choque: 0,225 Julios
2		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 12 mm (ej.: dedos de la mano)	2		Protegido contra las caídas de agua hasta 15° de la vertical	2		Energía de choque: 0,375 Julios
3		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 2,5 mm (ej.: herramientas, cables...)	3 ↓		Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° de la vertical	3		Energía de choque: 0,500 Julios
4		Protegido contra cuerpos sólidos superiores a 1 mm (ej.: herramientas finas, pequeños cables).	4 ⚠		Protegido contra las proyecciones de agua en todas direcciones	5		Energía de choque: 2,00 Julios
5		Protegido contra el polvo (sin sedimentos perjudiciales)	5 ⚠⚠		Protegido contra el lanzamiento de agua en todas direcciones	6		Energía de choque: 6,00 Julios
6		Totalmente protegidos contra el polvo	6		Protegido contra el lanzamiento de agua similar a los golpes de mar	7		Energía de choque: 20,00 Julios
Las dos primeras cifras son definidas de idéntica forma por las normas UTE C 20 010, CEI 144 y 525 DIN 40 050			Las dos primeras cifras son definidas de idéntica forma por las normas UTE C 20 010, CEI 144 y 525 DIN 40 050			La tercera cifra ha sido definida por la norma francesa UTE C 20 010, en estudio por la CEE y la CEI		

Tabla 1. 2 Grado de protección IP de las luminarias

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

Tabla 1. 3 Grado de protección IK frente a impactos de las luminarias

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

### **Clasificación según las características eléctricas de la luminaria**

Según el grado de protección eléctrica que ofrezcan las luminarias, éstas se dividen en cuatro clases (0, I, II, III), como muestra la tabla 1.4.

<b>Clase</b>	<b>Protección eléctrica</b>
0	Aislamiento funcional sin toma de tierra
I	Aislamiento funcional con toma de tierra
II	Doble aislamiento sin toma de tierra.
III	Luminarias para conectar a circuitos de muy baja tensión, sin otros circuitos internos o externos que operen a otras tensiones distintas a la mencionada.

**Tabla 1. 4 Clases de protección eléctrica de las luminarias**

#### **1.3.4.3.- CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LUMINARIAS**

En este apartado se citan los criterios generales de selección de las luminarias adecuadas en función del tipo de calle a iluminar, nivel de luminancia de la calzada, nivel de iluminancia deseado, eficiencia, deslumbramiento, luminarias menos contaminantes, etc. Por tanto, las características básicas de una luminaria deben ser:

- Niveles de iluminancia proporcionados
- Eficiencia.
- Control y distribución adecuada del flujo luminoso de las lámparas.
- Estética.
- Protección de las lámparas.

- Soporte en condiciones normales de uso.

Así, para una elección óptima, debe de primar la eficacia, control y distribución del flujo. Como norma general, se deberán elegir aquéllas que tengan el mejor rendimiento, las que distribuyan la mayor cantidad de flujo posible hacia la zona que interesa iluminar, minimizando el flujo de luz hacia el hemisferio superior para evitar la contaminación lumínica. Además, las luminarias que se adopten en las instalaciones de alumbrado, deberán cumplir con los requisitos reglamentarios exigidos en el R.E.E.I.A.E, en su instrucción ITC-EA-04 respecto del rendimiento de la luminaria y su factor de utilización, entendiendo estos conceptos según la definición aportada en el capítulo 2.

Estos valores se representan en la tabla 1.5.

PARAMETROS	ALUMBRADO VIAL		RESTO DE ALUMBRADOS	
	FUNCIONAL	AMBIENTAL	PROYECTORES	LUMINARIAS (1)
<b>RENDIMIENTO</b>	≥65%	≥55%	≥55%	≥60%
<b>FACTOR DE UTILIZACIÓN</b>	(2)	(2)	≥0,25	≥0,30
(1) A excepción de alumbrado festivo y navideño				
(2) Alcanzarán los valores que permitan cumplir los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en las Tablas 1 y 2 de la ITC-EA-01				

**Tabla 1. 5 Características de las luminarias y proyectores**

### **1.3.5.- SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL DE INSTALACIONES**

Los sistemas de regulación y control son aquellos que actúan sobre un conjunto de puntos de una instalación, ya sean todos iguales o diferentes. Son elementos que superan el concepto de punto de luz aislado y aplican un criterio de homogeneidad en el modo de funcionamiento de una instalación. Han sido los últimos elementos incorporados a la iluminación urbana. Aunque hablando estrictamente, siempre han existido elementos de control en las instalaciones de iluminación, no es desde hace aproximadamente una década cuando estos sistemas se hacen más sofisticados, lo que permite un aumento en sus prestaciones y sobre todo en utilidad puesto que a ellos se le confía el buen servicio prestado por la instalación así como, y no menos importante, el ahorro de costes de explotación. Los sistemas de regulación y control van desde los simples mecanismos de encendido y apagado de la instalación hasta complejos sistemas inteligentes que monitorizan y actúan sobre el alumbrado de toda una ciudad o comarca y que constituyen una herramienta insustituible para la gestión y la toma de decisiones de la iluminación.

Se muestran aquí, de forma resumida y simplificada los diferentes sistemas existentes y de mayor implantación con objeto de completar el retrato de las instalaciones de iluminación que componen este capítulo.

#### **1.3.5.1.- EQUIPOS REDUCTORES ESTABILIZADORES**

Los sistemas reguladores-estabilizadores, como su propio nombre indica, son sistemas que combinan dos funciones muy importantes de cara a la eficiencia de las instalaciones, como son:

- Estabilización de la tensión de alimentación,
- Regulación del nivel luminoso por variación de tensión.

En la actualidad existen en el mercado una gran diversidad de equipos reguladores estabilizadores que con respecto a su modo de funcionamiento pueden clasificarse genéricamente en:

- Reguladores-estabilizadores electrodinámicos.
- Reguladores-estabilizadores estáticos.

Los reguladores electrodinámicos son aquellos que para realizar las funciones de regulación y estabilización utilizan elementos móviles, tales como motorreductores, escobillas, contactores, etc.

Los estáticos, por el contrario, sólo utilizan elementos o componentes estáticos, es decir que no tienen movimiento, razón por la que sus componentes tienen más duración y su funcionamiento es más fiable.

Todos estos sistemas se montan en el origen aguas arriba de la instalación, en cabecera de línea y además no requieren apertura de zanjas, ni tendido de conductores, dado que su empleo debe ser universal, tanto para instalaciones nuevas, como para las ya existentes.

La utilización de toda instalación de alumbrado público tiene dos costes de explotación fundamentales:

- Coste de energía eléctrica.
- Gastos de reposición y mantenimiento.

Las instalaciones de alumbrado público deben preverse para que durante las horas de mucho tránsito de peatones y tráfico de vehículos, la iluminación satisfaga las necesidades visuales. Ahora bien, para no hacer un mal uso de las instalaciones cuando dicho tránsito y tráfico disminuyen y la tarea visual se realiza con menores riesgos, debe poder reducirse el nivel de iluminación en las instalaciones, manteniéndose las uniformidades de iluminación. Normalmente los cuadros de alumbrado se ubican

próximos a los centros de transformación de las Compañías Eléctricas, desde los que se alimentan. En general la tensión de salida de dichos centros es superior a la nominal, especialmente durante la noche, cuando disminuye el consumo eléctrico de otra índole, lo que implica que los alumbrados públicos trabajen generalmente con sobretensiones. La importancia de dichas sobretensiones se pone de manifiesto si tenemos presente que la tensión de alimentación deberá adaptarse a los valores de la Directiva de Baja Tensión, es decir: 230 V + 7% (214-246 V).

A modo de ejemplo, en instalaciones de alumbrado con lámparas de vapor de sodio alta presión, una sobretensión del 10%, representa un sobreconsumo del 29% en lámpara y la vida de éstas se acorta como consecuencia en un 50%. Por consiguiente, la estabilización de la tensión de alimentación a los puntos de luz, produce un importante ahorro económico, tanto en la vertiente de ahorro de consumo de energía eléctrica, como en la de gastos de reposición y mantenimiento, y esto no sólo en las lámparas sino también en sus equipos auxiliares. Los equipos reductores-estabilizadores de cabecera de línea, permiten realizar las funciones de reducir el nivel de iluminación a partir de cierta hora de la noche, mediante la reducción del flujo de las lámparas al alimentarlas a una menor tensión, y estabilizar la tensión de alimentación a los puntos de luz tanto en el régimen nominal (100%) de iluminación, como en el régimen reducido. Estos equipos se pueden alojar bien en un mismo armario con la medida y maniobra, o en armario independiente, junto a éste, siendo recomendable en ambos casos que el armario sea de material aislante sin rejillas de ventilación, con una hermeticidad mínima IP-54.

#### **1.3.5.2.- SISTEMAS DE CONTROL**

Teniendo en cuenta que tanto las acciones de vigilancia como de mantenimiento y conservación de las instalaciones son de carácter repetitivo y se ejecutan sobre una extensión muy grande, la utilización de un sistema que permita, sin presencia humana, obtener información completa, actualizada y fiable del estado de los diferentes elementos de la instalación, en cualquier instante y en tiempo real, será fundamental para poder tratar dicha información con posterioridad y generar las

acciones correctoras necesarias (San Martín, 2011). Un sistema de gestión centralizado para el alumbrado público, tiene como función la obtención y concentración de la información procedente de todos los elementos componentes de las instalaciones de alumbrado, la toma de decisiones consecuentes y su tratamiento posterior en un puesto de mando central. Las funciones esenciales son las siguientes:

- Detección de averías potencialmente peligrosas, tales como fallos de aislamiento, maniobras inadecuadas, sectores o circuitos apagados y fallos de puntos de luz críticos.
- Detección de intrusismo en cuadros de alumbrado.
- Medida de las características eléctricas del suministro y de los consumos.
- Ajuste de encendidos y apagados totales y parciales.
- Obtención de estadísticas para la compra de energía eléctrica a las diferentes comercializadoras, con los precios más ventajosos y cumplimiento de especificaciones de compra.
- Aportación de datos para una adecuada organización del mantenimiento predictivo.

Estas funciones permiten lograr los objetivos siguientes:

- Mejorar la seguridad de las instalaciones.
- Aumentar la calidad del servicio de alumbrado.
- Reducir los costes de explotación del alumbrado en sus vertientes ahorro energético y gastos de reposición y mantenimiento.

Las instalaciones de alumbrado público se estructuran, partiendo de los centros de mando, donde se alojan los elementos de medida y maniobra, y de aquí, salen las distintas líneas de distribución o circuitos, a los que se conectan los puntos de luz. El

sistema reproduce esta estructura mediante una organización de control distribuido a tres niveles que son:

1. **Nivel punto a punto:** En el nivel inferior, en cada punto de luz está la denominada Unidad de Punto de Luz, y cuya misión es detectar si el punto de luz está encendido o apagado y en este último caso discriminar cual es el componente averiado y transmitir esta información. Cuando no hay anomalía de funcionamiento, la unidad reporta parámetros de funcionamiento, o bien los almacena por si le son demandados por instancias superiores del sistema.
2. **Nivel cuadro de alumbrado:** En el nivel intermedio, en cada cuadro de medida y maniobra está la Unidad de Cuadro de Alumbrado, que recoge la información de todas las Unidades de punto de luz que pertenecen a un determinado cuadro y junto con la información que adquiere sobre el funcionamiento del propio cuadro de alumbrado referente a las características eléctricas del suministro, consumos y eventos, la envía al siguiente nivel.
3. **Nivel puesto de mando central:** En el nivel superior está la Unidad de Control Remoto, con su correspondiente sistema informático, que recibe toda la información de los dos niveles inferiores, es decir, de la unidad de cuadro de mando que a su vez contiene la información de sus las unidades de punto de luz que gobierna. Toda esta información recibida sobre la instalación del alumbrado, tratada convenientemente permite la gestión y control del servicio del alumbrado público a todos los niveles. La Unidad de control remoto constituye el corazón de todo el sistema puesto que reúne todas las informaciones de los niveles inferiores para su tratamiento y a su vez genera órdenes de actuación sobre los elementos de la instalación. La forma en la que opera es la siguiente:
  - Recibe todos los datos de los dos niveles inferiores.

- Recibe las alarmas y las visualiza e imprime en tiempo real.
- Elabora órdenes de encendido y apagado total o parcial en función de los criterios adoptados.
- Programa y configura cada punto de luz.
- Elabora y presenta información para las labores de mantenimiento

La comunicación forma una parte esencial de todo el sistema. Existen sistemas cuya comunicación entre las unidades de punto de luz y las de cuadro se establece a través de la red de fuerza de la propia instalación de alumbrado. La transmisión se realiza en tiempo real y en presencia de tensión. En otros casos la comunicación entre las Unidades de cuadro con el centro de control remoto se puede realizar vía inalámbrica o por red de telefonía convencional. Existen actualmente una gran cantidad de medios de comunicación, sobre todo inalámbricos, ya sean exclusivos para este servicio o compartido con otras funciones. El desarrollo de las *smart city*, ofrece soluciones particulares y personalizadas para cada caso experimentándose actualmente un gran avance en este campo acompañado por el imparable desarrollo de la tecnología led en iluminación, que al tener un componente electrónico importante facilita la gestión y operación por redes inteligentes y comunicadas.

#### **1.3.5.3.- SISTEMA DE GESTION**

Para hacer posible el funcionamiento del sistema, y aplicarle inteligencia, es decir, que el propio sistema pueda tomar decisiones en función de los valores que mida de forma que no sea necesaria la intervención humana, es necesario disponer del software y hardware capaz de realizar, al menos, las siguientes tareas básicas:

- Servir de terminal remoto de los puntos de luz.
- Permitir al usuario programar y configurar cada cuadro de alumbrado junto con los puntos de luz asociados a él.

- Recoger y visualizar los datos que el usuario solicite de cada cuadro y punto de luz.
- Gestionar la comunicación entre la Unidad de control remoto y las Unidades de cuadro recibiendo información y transmitiendo órdenes, a través de los diferentes medios de transmisión.
- Permanecer a la escucha para recibir las posibles alarmas que eventualmente puede enviar una Unidad de cuadro. Estas alarmas se procesarán y almacenarán para su posterior estudio. En cualquier caso, se podrá configurar un grupo de estas alarmas como críticas, que al ser detectadas podrán originar eventos inmediatos para su resolución automática.
- Programación de los horarios generales de encendido y apagado de todas los centro de mando así como de los distintos períodos de reducción de flujo.
- La programación directa de encendido y apagado de cada centro de mando de forma individual. Se pueden introducir modificaciones para cada uno de los centro de mando con respecto al criterio general.
- Testear de forma periódica todos los puntos de luz conectados y almacenar estos datos para posteriores análisis. Este testeo se realizará de forma automática sin la intervención del usuario.
- Originar, a petición del usuario, informes de mantenimiento. Estos informes serán extractos creados a partir de los datos almacenados. Los informes de mantenimiento podrán visualizarse en pantalla o ser listados por impresora.
- Llevar a cabo un estudio estadístico con los datos tomados periódicamente y con las características de las posibles alarmas detectadas. Este estudio puede contemplar, entre otros muchos aspectos, vida media de las lámparas, porcentaje de lámparas defectuosas de un determinado modelo o sector, porcentaje de causas que originan alarmas, etc.

### **1.3.6.- IMPLANTACIONES**

Para finalizar este apartado sobre las instalaciones de alumbrado urbano, se debe hacer mención a la implantación (IDAE, 2001). Este proceso materializa sobre el terreno todo lo diseñado y considerado con anterioridad. En la realización práctica de las instalaciones, hay que distinguir diferentes situaciones que se presentan en la realidad y que requieren un tratamiento adecuado a las circunstancias.

#### **1.3.6.1.- ALUMBRADO VIAL EN TRAMOS RECTOS**

Esta situación se da en los casos en que las vías son rectas, o con una curva ligera de forma que es percibido por un peatón o conductor que circula por dicha vía. En estos casos siempre es posible ver tramos de alrededor de 100 metros.

La implantación de luminarias en tramos rectos de vial dependerá principalmente de:

- La sección tipo del vial.
- Los parámetros luminotécnicos a cumplir según la clase de alumbrado.
- Los condicionantes geométricos de la planificación urbanística.
- Los condicionantes de mantenimiento.
- La economía de la instalación

A continuación se dan unas referencias en cuanto a la toma de decisiones de los distintos parámetros que condicionan el preceptivo estudio luminotécnico posterior.

### **Altura mínima de los puntos de luz**

En las vías de tráfico rodado, la altura mínima de los puntos de luz depende de la anchura de la calzada. Para asegurar una uniformidad media de iluminación suficiente, se recomienda, como norma general, una altura de implantación de  $0,7 \div 0,8$  de la anchura de la calzada. Los cálculos exactos de cada instalación determinan la altura con total precisión considerando que deben adoptar alturas existentes en soportes de fabricación habitual salvo en casos excepcionales y muy singulares.

### **Relación Separación / Altura**

Para alcanzar una uniformidad longitudinal de luminancia adecuada para la iluminación de situaciones de alumbrado A y B, (Según clasificación de tipos de vías del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior) típicos de este tipo de vías, se recomienda como norma general la relación entre la separación S entre puntos de luz y la altura H de implantación de los mismos de  $4 \div 4,5$ . Nuevamente es necesario remitirse a los cálculos luminotécnicos exactos de la instalación aceptando además que pueden existir condicionantes para la implantación como puede ser el mobiliario urbano, árboles, líneas de aparcamientos o accesos y vuelos de edificios.

### **Elección de la fuente de luz según la altura de implantación**

Al objeto de reducir los problemas de deslumbramiento e implantar instalaciones de alumbrado eficientes, se aconseja limitar las potencias de las fuentes de luz en función de la altura de montaje de los puntos de luz.

En consecuencia, siguiendo el código de buenas prácticas, los cálculos y la experiencia al respecto, se recomienda una potencia y tipo de lámpara en función de la altura de implantación como se muestra en la tabla 1.6.

## **DISTRIBUCIONES TIPO**

En tramos de vial recto las posibles distribuciones habituales son limitadas a 5 casos:

- Unilateral: Cuando los puntos de luz se sitúan en un mismo lado de la vía de tráfico. Se utiliza generalmente cuando la anchura de la calzada sea igual o inferior a 1,2 veces la altura H de montaje de las luminarias.
- Tresbolillo: Cuando los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico a tresbolillo o en zigzag. Se utilizará principalmente cuando la anchura de la calzada sea de 1,2 a 1,5 veces la altura de montaje de las luminarias.

ALTURA IMPLANTACIONES (m)	FLUJO LUMINOSO (lm)	TIPO DE LÁMPARA		
		V.S.A.P. (W)	V.M.H (W)	LED (W)
5	5.000	50-70	20-35-50-70	15-50
8	7.500÷17.000	100-150	100-150	70-100
10	17.000÷32.000	150-250	150-250	100-190
12	32.000÷56.000	250-400	250-400	190-300
15	56.000÷90.000	400-600	1.000	-
20	90.000÷130.000	600-1.000	1.000	-

Tabla 1. 6 Fuentes de luz y altura de implantaciones habituales

- Bilateral pareada: Cuando los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico, uno opuesto al otro. Se utilizará normalmente cuando la anchura de la calzada sea mayor de 1,5 veces la altura de montaje de las luminarias, considerándose más recomendable utilizarlo cuando la anchura supere 1,3 veces la altura.
- Central: Esta implantación es similar a la unilateral aplicada y a la bilateral pareada en aquellas vías en las que es posible la implantación de los puntos de luz en la reserva o mediana central. Tiene la ventaja de que tan sólo es necesaria la instalación en esta línea central y que la iluminación se mantiene uniforme en los carriles de circulación rápida ya que no le afecta la mayor anchura que toman las vías con los carriles de incorporación o desaceleración.
- En catenaria: Los puntos de luz se fijan axialmente a los cables longitudinales de la catenaria, tendida entre dos sólidos soportes implantados en la mediana central y situados a una gran distancia uno del otro, del orden de 50 a 100 m. En vías urbanas es usual extender estas catenarias transversalmente a la vía, sujetándolas a las propias edificaciones, evitando así la instalación de soportes en la vía pública.

Son posibles otras distribuciones no regulares, e incluso combinando diferentes tipologías de luminarias y puntos de luz, que no dejan de ser combinaciones de las anteriores.

### **1.3.6.2.- ILUMINACIÓN DE TRAMOS SINGULARES**

En el apartado anterior se han expuesto la implantación de puntos de luz en tramos rectos (unilateral, bilateral tresbolillo, pareada y central o axial) (De Boer, 1967). A continuación se expone la problemática de las curvas y calzadas en pendiente, así como las posibles alternativas y soluciones al respecto sobre la implantación de puntos de luz en tramos singulares, tales como intersecciones, glorietas y rotondas, enlaces y puentes, etc.

### **Curvas y calzadas en pendiente**

Los problemas de visión para los conductores se incrementan en casos de curvas cerradas o inclinaciones de la calzada.

De forma genérica, las curvas de gran radio y las calzadas con pequeñas pendientes se iluminan correctamente si se tratan como tramos rectos y llanos. Para radios de curvatura pequeños e inclinaciones pronunciadas, especialmente en cambios de rasante, se puede garantizar una buena iluminación acortando la interdistancia entre puntos de luz para incrementar el nivel de luminancia en dichas zonas.

Se recomienda la implantación unilateral en la parte exterior de las curvas, ya que además de proporcionar luminancia a la calzada establece un correcto guiado visual, balizando las curvas. Cuando obligadamente deban situarse los puntos de luz unilateralmente en la parte interior de las curvas, se procurará alcanzar una buena uniformidad transversal de luminancia.

Debe evitarse en la medida de lo posible la implantación al tresbolillo en curvas, ya que generalmente desaparece el guiado óptico, pudiendo inducir a confusión a los conductores de los vehículos. En el caso de curvas con calzadas anchas deberán instalarse puntos de luz en ambos lados de la calzada, pues en este caso el riesgo de confusión es menor. No obstante, la instalación de puntos de luz en la parte exterior de las curvas, deberá llevarse a cabo después de realizar un minucioso examen de las posibilidades de colisión de los vehículos en el caso de que los conductores pierdan el control de los mismos en las curvas. En todo caso será necesaria la instalación de barreras de seguridad y protección.

La geometría de las curvas cerradas, tales como las que se producen en las interconexiones y muchas zonas de tráfico, requieren un análisis pormenorizado. La iluminación propia del vehículo no es efectiva en estas situaciones, y el contorno de los objetos visualizados por el conductor en algunos casos no puede ser bien percibido.

Las luminarias deben estar situadas de forma que proporcionen suficiente cantidad de luz sobre los vehículos, recovecos y barreras de protección.

Los soportes deben emplazarse de forma adecuada y segura, detrás del balizamiento o barrera natural, si ésta existiese. Es evidente que las columnas y báculos son una fuente de posibles accidentes si se instalan en el exterior de las curvas. Muchos conductores pueden desconocer el trazado de la calzada, pero la iluminación de los alrededores de la curva ayuda de una forma considerable a mantener la trayectoria dentro de la calzada.

### **Iluminación de tramos singulares**

El alumbrado viario, en muchas situaciones, puede plantear problemas muy complicados en cuanto a visión y maniobra de los vehículos, como ocurre en los casos de cruces que comprenden tanto intersecciones como enlaces, glorietas, zonas de incorporación de nuevos carriles, áreas en las que se forman embotellamientos, así como tipos de interconexiones complejas de tráfico, etc. El diseño en estas áreas requiere una especial consideración.

Cuando se analizan estos casos, puede observarse la presencia de tres factores básicos distintos a los de las situaciones estándar:

- Los conductores sufren un incremento de las tareas visuales y de análisis cuando se acercan y tratan de circular por estas zonas.
- El contorno de los objetos no se reconoce muchas veces debido a parámetros como la localización del vehículo, peatones, obstáculos y la geometría general de las calzadas. Muy frecuentemente suele presentarse un problema de deslumbramiento, provocado por las luminarias o proyectores que dirigen la luz en sentido contrario al vehículo.
- Generalmente no se dispone de una buena iluminación con los faros del vehículo. Esto se debe a la geometría de la calzada y la dificultad de detenerse

de forma efectiva a velocidades superiores a los 60 km/h, además se constata el hecho de que el haz luminoso de los faros del vehículo se aparta de la dirección de desplazamiento al entrar en una curva pronunciada.

En el alumbrado de estas situaciones especiales se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Desde el comienzo del estudio de la situación especial o tramo singular, se requerirá efectuar un reconocimiento in situ de la situación al objeto de verificar las posibilidades reales de implantación de la instalación de alumbrado. En casos muy complejos se recomienda realizar un estudio sobre maqueta del tramo singular.
- Se evitará la implantación de puntos de luz en isletas de pequeñas dimensiones separadoras o direccionales del tráfico de vehículos.
- En las zonas de transición en los extremos de las calzadas iluminadas, los niveles luminosos corresponderán a lo establecido en la tabla 5.1 para la relación entorno.
- Los soportes de igual altura instalados en una situación especial o tramo singular corresponderán al mismo modelo, o como mínimo presentarán la misma silueta.

El alumbrado de situaciones especiales o tramos singulares tiene como finalidad la legibilidad, es decir la lectura o comprensión de dichas áreas por parte de los usuarios de las mismas (Peña-García, et al, 2011). En este sentido, el alumbrado de un tramo singular aislado situado en un itinerario que carece de iluminación, deberá permitir al automovilista lo siguiente:

- A larga distancia (800 a 1000 m.), ver una zona luminosa llamando su atención.

- A media distancia (300 a 500 m.), comenzar a percibir una idea de la configuración del tramo singular, mediante un guiado visual llevado a cabo merced a una disposición juiciosa de los puntos de luz.
- A corta distancia, ver sin ambigüedad los obstáculos y la trayectoria a seguir.
- Saliendo de la zona iluminada, no sufrir el efecto “agujero negro”, al pasar súbitamente de la luz a la sombra, estableciendo un decrecimiento progresivo de la luminancia, durante una longitud de al menos 200 m.

### **Intersecciones**

Son cruces al mismo nivel de distintas vías de tráfico, que pueden ser en ángulo recto, en Y, en T, así como intersecciones complejas, además de las glorietas y rotondas que merecen un apartado específico. Se han seleccionado una serie de intersecciones con las soluciones tipo recomendadas en cada caso.

#### **Intersecciones en ángulo recto con una calzada iluminada.**

Los vehículos que circulan por una calzada que carece de alumbrado, normalmente abordan la intersección con las luces de cruce del vehículo encendidas, al objeto de señalar su presencia a los otros automovilistas. Por el contrario, los vehículos que circulan por la calzada iluminada son bien visibles.

La visibilidad de dichos vehículos se acentúa cuando la distribución luminosa de las luminarias que encuadran o enmarcan la intersección se orienta lo más posible hacia el corazón de la intersección de las calzadas, de forma que se produzca una iluminancia vertical elevada sobre el vehículo que circula, facilitando su visibilidad.

La obtención de la elevada iluminancia vertical en la intersección requiere que la separación entre los puntos de luz que encuadran la intersección se reduzca.

Los puntos de luz que delimitan la zona crítica de la intersección se denominan puntos de luz o luminarias básicas, ya que en la realización del estudio de iluminación de la intersección se partirá de dichos puntos para la implantación del resto del alumbrado.

Se debe señalar que esta reducción de la separación de los puntos de luz que enmarcan la intersección, no establece la obligatoriedad de realizar una implantación de los puntos de luz perfectamente simétrica encuadrando la intersección.

#### **Intersecciones en “T” de dos calzadas iluminadas parcialmente canalizadas**

En este tipo de intersecciones se recomienda valorar la continuidad de las vías de tráfico rodado asegurando un buen guiado óptico. Puede ser útil dotar a los puntos de luz que refuerzan el guiado óptico de una potencia superior.

#### **Intersecciones en “Y” o “T” de dos calzadas importantes totalmente canalizadas**

En la proximidad de tales intersecciones, generalmente los dos sentidos de circulación de vehículos están separados por isletas direccionales de grandes dimensiones, a lo largo de las cuales la implantación de los puntos de luz es unilateral. Asimismo, se puede emplazar puntos de luz más potentes y de mayor altura.

#### **Intersecciones complejas**

Cuando se trata de intersecciones complejas, se recomienda comenzar por tratar separadamente el alumbrado de cada uno de los elementos de la intersección en “X”, en “Y” o en “T”, siguiendo las indicaciones dadas para cada una de estas

categorías. Después, una vez efectuados los oportunos tanteos, el número total útil de puntos de luz se ajustará a las necesidades reales.

### **Glorietas y rotondas**

Bajo la denominación de glorieta se designa a un tipo especial de nudo (intersección), caracterizado porque los tramos que en él confluyen se comunican a través de un anillo en el que se establece una circulación rotatoria alrededor de una isleta central. Las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen.

El funcionamiento de una glorieta se basa en la prioridad de paso de los vehículos que circulan por la calzada anular, frente a los que pretenden entrar en ella desde los tramos o accesos.

La mayoría de los accidentes en intersecciones o cruces a nivel cuya circulación está ordenada por prioridad de paso están relacionados con los conflictos de cruce debidos a giros a la izquierda, que no tienen lugar en las glorietas y rotondas, por lo que existe una fuerte reducción del número de accidentes en las glorietas frente a las intersecciones convencionales.

Las isletas centrales demasiado grandes, de más de 50 m de diámetro, o no circulares presentan un nivel de seguridad menor. La presencia de peatones o vehículos de dos ruedas puede aumentar los problemas de circulación.

Debe tenerse en cuenta que en las glorietas y rotondas en las que se producen accidentes suelen terminar por instalarse semáforos, con lo que pasa a ser considerada como una intersección con semáforos.

Es necesario volver a considerar al automovilista para traducir sus necesidades visuales.

Cuando se aproxima a la glorieta deben cumplirse dos funciones: reconocimiento del entorno y de la señalización preventiva. Durante el día esas dos

funciones se cumplen. Por la noche, la primera de las dos funciones (reconocimiento del entorno) no queda asegurada y únicamente la señalización preventiva sufre el riesgo de dejar al automovilista un tiempo muy corto para reconocer la configuración de los lugares.

Paralelamente puede existir una dificultad de adaptación del ojo al nivel de iluminación de la glorieta si la zona de aproximación no está iluminada. Así, a campo abierto debe evitarse una transición brutal entre la zona no iluminada y la zona iluminada y, por tanto, el alumbrado de la zona de aproximación resulta indispensable.

El conductor que se aproxima a la entrada de la glorieta por la noche necesita distinguir claramente el tráfico que se encuentra en la entrada precedente situado a su izquierda y al que se encuentra girando en los carriles de la glorieta, así como una adecuada visibilidad delantera para que una vez en la glorieta sea capaz de ver el tráfico de vehículos que le rebasan por la izquierda y proceder en consecuencia.

Todo ello implica que el trabajo visual que debe efectuar el conductor del vehículo sea más complejo y difícil que en una carretera recta y, por tanto, el nivel de iluminación en la glorieta debe ser superior al de las carreteras que se aproximan.

La función de reconocimiento del entorno y la de la percepción visual de la glorieta deben tener en cuenta los parámetros siguientes:

- Visión de los paneles de señalización vertical.
- Visión de la calzada.
- Visión del fondo sobre el cual se perfilan los eventuales obstáculos.
- Visión de los otros vehículos que circulan.

Todas estas funciones se realizan gracias a la iluminación natural de la luz diurna que inunda de luz la “escena” que se presenta al conductor bajo todos los ángulos.

Aunque desgraciadamente por razones físicas, tecnológicas y económicas fáciles de comprender, no es posible en su totalidad reconstruir esta relativa perfección por la noche, si resulta factible proporcionar mediante alumbrado público unas condiciones de visibilidad suficientes a los conductores de los vehículos.



#### **1.4.- MANTENIMIENTO DEL ALUMBRADO URBANO**

Las instalaciones de iluminación necesitan ser mantenidas en buen estado para asegurar la conservación de los resultados obtenidos a la puesta en marcha de la instalación, o los que deben obtenerse al cabo de un determinado tiempo de funcionamiento garantizando los rendimientos, la seguridad, la eficacia y el confort de los usuarios durante el mayor tiempo posible y deseable (Hurtado, Cruz, 2009). Los componentes de las instalaciones tienen una vida limitada y durante ese periodo de tiempo algunos de ellos deberán ser sustituidos por muerte o fallo prematuro. No obstante antes del fallo de dichos componentes se producirán disminuciones en los resultados, tanto cualitativos como sobre todo cuantitativos, fruto de la depreciación de las fuentes de luz y de la suciedad de las luminarias que se verá agravado con las condiciones climatológicas.

La combinación de la falta de mantenimiento con el envejecimiento de los componentes pueden llegar a suponer disminuciones de rendimiento de las instalaciones de entre el 25 y el 50 %, lo cual se transforma en que se obtienen menores prestaciones incluso sin disminuir el consumo energético, que en algunos casos puede incluso verse aumentado. Es importante por tanto prestar atención al mantenimiento en aspectos tales como el marco legal de obligado cumplimiento para las instalaciones en general y las de alumbrado exterior en particular, las recomendaciones sobre los planes de mantenimiento, los datos mínimos a inventariar de los diferentes componentes, las operaciones de mantenimiento concretas dentro de las diferentes tipologías y los procedimientos tipo que permiten realizar una explotación eficiente de la instalación de acuerdo con los estándares recomendados y aplicados en entornos propios de una gestión de mantenimiento asistida por ordenador, conocido por sus siglas como GMAO, dado que los volúmenes de datos a tratar en la gestión y la explotación de las instalaciones de iluminación urbana, hacen imprescindible la utilización de herramientas informáticas (Hurtado, Peña-García, Espín, 2011).

Podemos definir el mantenimiento como el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones sigan funcionando adecuadamente. Esta

---

definición indica la importancia del mantenimiento de las instalaciones de alumbrado como herramienta indispensable para que estas sigan proporcionando los resultados lumínicos que se requieran y al mismo tiempo reduzcan su consumo energético y mejoren la calidad del servicio.

En cuanto a su función, no hay que olvidar que la fiabilidad y la disponibilidad de una instalación de iluminación dependen ambas de:

- La concepción y calidad del montaje
- La correcta y adecuada explotación que se haga de la instalación
- El mantenimiento que se lleve a cabo, entendiéndose no solo la reparación de averías cuando se produzcan, sino de prevenir los fallos o averías en base a acciones generalmente programadas.

Toda instalación de iluminación deberá disponer de un plan de mantenimiento. El plan de mantenimiento debe analizar todos los fallos posibles y probables y dar las soluciones para evitarlos. Por esta razón, antes de su elaboración es necesario realizar un detallado análisis de posibles fallos y averías de todos los componentes y sistemas de la instalación, para así poder prevenirlos y sobre todo adecuar las soluciones a los fallos que se presenten. La mención implícita del mantenimiento preventivo al hablar de un plan de mantenimiento no significa que otros tipos de mantenimiento no posean también su importancia, por lo que ambos deberán incluirse en el plan de mantenimiento.

#### **1.4.1.- ASPECTOS LEGALES Y NORMATIVOS**

El mantenimiento de las instalaciones de iluminación exterior en general está sometido a las determinaciones normativas y legales del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, en adelante (R.E.E.I.A.E.) y sus

instrucciones técnicas correspondientes, EA-01 a EA-07, aprobado por el RD 1890/2008 de 14 de noviembre.

Dicho reglamento, en su artículo 12, establece la necesidad de disponer de un plan de mantenimiento que deberá incluir las operaciones de mantenimiento preventivo necesarias para mantener la instalación lo más próxima posible en su parámetros iniciales de funcionamiento. Para ello deberá contemplar las actuaciones sobre las fuentes de luz, limpieza de elementos, reposiciones, operaciones de vigilancia e inspección y las frecuencias de cada una de estas actuaciones.

Por otro lado se considera también la evaluación de los parámetros de funcionamiento, seguimiento este que se realizará con los indicadores adecuados o incluso con mediciones directas si fuera necesario.

#### **1.4.2.- PLANES DE MANTENIMIENTO**

Un plan de mantenimiento, se compone de una lista exhaustiva de las acciones que es necesario realizar sobre una instalación para mantenerla en su estado original y que debe abarcar las operaciones relacionadas con:

- Inspección de los elementos.
- Control y ajuste de los equipos y componentes de la instalación.
- Limpieza de elementos.
- Reposición de elementos trascurrido su periodo de vida útil o cuando sus prestaciones no alcancen un mínimo exigido o recomendado.

Un plan de mantenimiento incorpora además otros elementos que contribuyen a la consecución del objetivo final y que se describen con más detalle en apartados a continuación

#### **1.4.2.1.- INVENTARIO DE EQUIPOS**

Un inventario esencialmente consiste en conocer y relacionar ordenadamente el número y características de todos y cada uno de los elementos y dispositivos que componen una instalación de alumbrado exterior. Siguiendo un estricto concepto de gestión de base de datos, es necesario definir inicialmente las diferentes entidades que van a componer el inventario. Esto hace que se definan entidades como Fuente de luz, Luminaria, Centro de Mando, etc. Dentro de cada una de estas entidades, se define la ficha de cada entidad donde se relacionan las características principales y que es necesario conocer para la implantación de las operaciones del plan de mantenimiento.

Una característica muy importante de todos y cada uno de los elementos es su posición. La geo-referenciación de puntos y elementos, que hace algunos años se comenzó a implantar en los inventarios, constituye a día de hoy una información completamente imprescindible. Hay que tener en cuenta que los inventarios de instalaciones de iluminación, se hacen a nivel municipal y en algunos casos supra-municipal, donde a la gran cantidad de datos que componen el inventario se añade su dispersión en el espacio. Con la extensión y popularización de las aplicaciones de gestión de información geográfica se ha conseguido que la incorporación de este dato sea totalmente imprescindible.

Algunas de las características que deben figurar en la ficha de cada elemento, de forma genérica se relacionan a continuación:

- Número de referencia
- Posición, expresado por sus coordenadas GPS
- Año de fabricación
- Marca, modelo y versión
- Consumo de energía nominal al inicio de su vida

- Características básicas agrupadas por sistemas: Eléctricas, lumínicas, Económicas, etc.
- Variación de parámetros de funcionamiento a lo largo de su vida.

#### **1.4.2.2.- HISTÓRICO DE INCIDENCIAS Y AVERIAS**

El plan de mantenimiento debe disponer de un archivo histórico completo de averías de todos y cada uno de los componentes de la instalación, desde su puesta en marcha, consignándose además las explicaciones técnicas, los costes de las operaciones de mantenimiento, tanto de reparación, como de conservación y limpieza, de la mano de obra y de los materiales utilizados. El objetivo es poder disponer de una amplia experiencia sobre el comportamiento de cada componente o equipo perteneciente a la instalación en las condiciones de funcionamiento de esta, de manera que se facilite la prevención de averías y la posibilidad de reparación o sustitución del modo más sencillo posible, o incluso la posibilidad de una toma de decisión casi inmediata sobre reparar, y en que condiciones o sustituir directamente la pieza o componente averiado.

Esto se consigue lógicamente registrando los incidentes y almacenando los datos de estos registros íntimamente ligados a la pieza, componente o equipo particular.

#### **1.4.2.3.- DOCUMENTACIÓN TÉCNICA**

Se debe disponer de la documentación técnica más completa posible, tanto en lo relativo a características, como a instrucciones de mantenimiento se refiere, para todos y cada unos de los elementos componentes de la instalación, debiendo estar redactada por el propio fabricante del elemento o equipo y complementada por la experiencia a través de normas de revisión o instrucciones operativas internas sobre el citado equipo.

Entre los documentos de que debe constar la documentación técnica completa, cabe citar:

- Descripción detallada del equipo.
- Composición y conexiones eléctricas y mecánicas de todo tipo, detalladas.
- Procedimientos relativos al funcionamiento del equipo: Modo de puesta en servicio, modos de funcionamiento y advertencias de seguridad.
- Procedimientos operativos de los sistemas eléctricos, luminotécnicos y mecánicos.
- Acciones preventivas, rutinarias y ocasionales.
- Listado de acciones de reparación.
- Intervenciones recomendadas entre fallos.
- Listado de posible averías e incidentes y su tratamiento.
- Mantenimiento preventivo.

#### **1.4.2.4.- PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN**

Una vez en posesión de todos los datos anteriores, se debe definir un procedimiento de actuación con relación al plan de mantenimiento. Este procedimiento puede estar basado en lo que se ha dado en denominar los ficheros maestros que se compondrán fundamentalmente de los ficheros correspondientes a los componentes de la instalación con carácter individual. El fichero maestro general de componentes es el fichero fundamental de cualquier sistema de Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador, o GMAO como usualmente se le conoce, ya que determina los equipos que van a ser susceptibles de mantenimiento. En este

fichero maestro se puede introducir información específica de cada uno de estos elementos y componentes.

Posteriormente se define el fichero maestro de acciones preventivas. Una acción preventiva da origen a un parte de trabajo abierto que puede tener uno o varios procedimientos, y estos a su vez pueden tener uno o varios puntos de inspección, que definen las revisiones, reparaciones, sustituciones, etc. Esta acción lleva asociada una periodicidad en el tiempo permitiendo asignarlas a una o varios equipos. Como criterio fundamental al definir la acción se deberá introducir en el fichero maestro la información mínima para su correcta ejecución, sin que aparezcan aquí datos superfluos o que no sean necesarios para realizar las acciones programadas.

Una vez definidos los ficheros maestros de componentes y equipos y de acciones preventivas es necesario definir el fichero maestro de procedimientos. Es decir, sabiendo ya el qué y el cuando es necesario implementar el cómo. El fichero maestro de inspección es aquel en el se que codifica los puntos de inspección. A estos puntos de inspección se les asignan unos valores para que el personal que realiza la inspección marque uno, y también se le podrá asociar un tiempo de inspección. Una vez definidos los puntos de inspección se procederá a definir el citado fichero de inspecciones, en el que cada inspección estará formada por una serie de puntos de inspección. Basándose en este fichero se pueden introducir todos y cada uno de los puntos de inspección que la experiencia requiera, quedando automáticamente relacionados. El fichero maestro de procedimientos, va a permitir codificar los procedimientos entendiendo estos como los planes de trabajo de una actividad de mantenimiento, ya sean particulares o específicos, detallando una serie de datos que los caracterizan como puede ser el grado de seguridad, zona, estado del equipo, plantilla y personal repuestos asociados.



## **1.5.- LOS NUEVOS RETOS DEL ALUMBRADO URBANO**

Es difícil estimar la incidencia que ha tenido el alumbrado público y viario sobre nuestras sociedades. La luz artificial ha supuesto que la vida comercial, cultural, deportiva y social continuase al llegar la noche. El alumbrado en las ciudades es como otros muchos logros una consecuencia de la Revolución Industrial iniciada al principio del siglo XVIII. No fue sólo una revolución técnica, lo fue también bajo el punto de vista económico y social. Supuso la producción industrial masiva y el transporte mecanizado. En unos pocos cientos de años, la humanidad cambió como nunca lo había hecho a lo largo de su historia. En aquella época el alumbrado disponible era inadecuado y caro, por lo que se veían frenadas la expansión de las nuevas actividades. Para que nos podamos hacer una idea, si comparamos una lámpara compacta a igualdad de producción de luz con la vela, el resultado sería que el consumo energético de la tradicional vela sería de unas 2000 veces más caro.

Pero igual que en el pasado el alumbrado supuso una revolución en las ciudades, actualmente se plantean nuevos retos de futuro que se deben afrontar y solucionar con las armas tecnológicas existentes.

### **1.5.1.- REDUCCIÓN DE COSTOS**

La iluminación representa un 19% del consumo energético mundial de electricidad. Aproximadamente 2/3 de la iluminación instalada hoy en Europa utiliza una tecnología anticuada e ineficiente, que fue desarrollada antes de 1970. Nuestro ritmo anual de renovación del alumbrado a favor de las nuevas tecnologías es demasiado lento, en torno al 3% anual.

Para el caso particular de España, los municipios españoles disponen en su conjunto de 7.964.000 puntos de luz, con una potencia media de 165 W por punto y una media de 4.081 horas de utilización anual, lo que supone un consumo de electricidad de 5.367 GWh/año, con un coste para los municipios de 697 millones de euros al año, es decir, el 2% del consumo eléctrico nacional.

Este fuerte consumo de energía por parte del alumbrado supone un problema para los ayuntamientos que son los responsables de prestar este servicio a los ciudadanos y que ven como tienen que destinar importantes cantidades de sus presupuestos a pagar la factura energética de la iluminación. Para evitar esto, se desarrollan políticas de eficiencia energética y de ahorro.

Este es uno de los principales ejes de evolución del alumbrado urbano en la actualidad. Se adoptan medidas encaminadas a reducir el consumo energético y por tanto el costo de su componente energética. La principal forma de conseguir este objetivo es mediante la reducción de la potencia instalada por punto de luz ya que el resto de variables que intervienen en la facturación es muy difícil de modificar.

No es posible reducir los horarios de funcionamiento del alumbrado urbano de una de población de forma significativa sin generar graves problemas de seguridad ciudadana. Toda corrección que vaya más allá de un par de minutos en el retraso del encendido o en el adelanto del apagado en función de la claridad de la atmósfera, genera unas disfunciones en la calidad que no son en absoluto admisibles. Esto no significa que no sea necesario prestar atención a los sistemas de control del encendido y apagado. Más bien, quiere decir que no vigilar que los horarios sean los correctos puede hacer incurrir al gestor de la instalación en un sobrecosto innecesario.

Otro factor a considerar en la disminución de costes de explotación de las instalaciones de alumbrado exterior es la adecuación de las tarifas eléctricas al consumo real de la iluminación. Actualmente nos encontramos ante un escenario de precios liberalizados del mercado eléctrico por lo que el cliente acude a las diferentes empresas comercializadoras a buscar aquellas propuestas de precios que resulten más ventajosas. Para poder optar a las mejores ofertas es necesario conocer de forma precisa el perfil de consumo de las instalaciones. Los precios ofertados por una empresa comercializadoras son diferentes para los distintos periodos tarifarios y es necesario conocer la curva de consumo propia de forma que se elija aquella que resulte con un precio más bajo considerando todos los periodos de consumo.

No se deben olvidar tampoco otros aspectos de la gestión de suministros como es la adecuación de las potencias y de la energía reactiva.

La potencia contratada representa un componente alto de la factura total, componente este que al estar regulado no es objeto de negociación con las empresas comercializadoras de energía eléctrica. Se debe por tanto prestar especial atención al ajuste de potencias a las realmente demandadas por la instalación, y además hacer esto para los diferentes periodos de consumo en los que las instalaciones de alumbrado se encuentran en funcionamiento.

La energía reactiva es un tipo de energía que se transporta por las redes de alumbrado, ocasionando pérdidas y sin que tenga un aprovechamiento útil para la iluminación. A más de esto, supone un recargo en la facturación eléctrica. Hay que prestar atención a la existencia de este tipo de energía y en caso de que se genere, adoptar los medios necesarios para su compensación, evitando los recargos que las empresas comercializadoras realizan por este concepto.

Pero es en la reducción de las potencias instaladas, como ya se ha comentado más arriba, donde se pueden obtener los mejores y mayores beneficios en la política de reducción de costes que de forma mayoritaria se vienen realizando por los gestores del alumbrado.

El uso de lámparas y fuentes de luz más eficientes y la moderación de los niveles de alumbrado constituyen los dos grandes ejes sobre los que se desarrollan las actuaciones de alumbrado tendentes a la reducción de costos.

Entre las medidas de ahorro que se pueden aplicar se encuentra la sustitución de las lámparas por otras de mayor eficiencia lumínica, la mejora de la calidad reflectante y direccional de la luminaria o la implantación de sistemas de regulación del flujo lumínico de los puntos de luz y de los encendidos y apagados, permitiendo su variación a lo largo de la noche en función de las necesidades. Con ello se adecuan unos niveles de iluminación, excesivos en muchas calles de nuestros municipios, a las necesidades reales de este tipo de servicio público y se reduce el consumo de electricidad y por tanto la consiguiente factura energética.

### **1.5.2.- ADECUACIÓN DE NIVELES**

La normativa existente en España sobre niveles de iluminación y demás características luminotécnicas es relativamente reciente, y data del año 2008. Hasta la publicación el 14 de noviembre de 2008 y entrada en vigor el 1 de abril de 2009 del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07, no existía reglamentación que fijara niveles de luz en calzadas, calles y aceras. Si bien es cierto que había recomendaciones y publicaciones tanto a nivel nacional como internacional, también los es que estas carecían de la obligatoriedad de su cumplimiento (CIE, 2010).

A esta circunstancia se une unos años de gran desarrollo urbanístico de las ciudades españolas. Este desarrollo generaba ingresos adicionales en las arcas municipales que se transformaban en obras de remodelación de espacios urbanos consolidados o en incremento de la superficie urbana de la ciudad, con el consiguiente incremento de sus respectivos espacios dotacionales.

Estas actuaciones, en lo referente al alumbrado público, si bien es posible que se hicieran siguiendo criterios de eficiencia en su mayor parte no ocurrió así en lo que respecta a su eficacia. Durante este periodo se marco una tendencia hacia la sobreiluminación contagiado posiblemente del ambiente general de la existencia de recursos casi ilimitados. El alumbrado urbano no fue una excepción a esta tónica general.

Pasado un tiempo, y con un cambio radical de la situación, los municipios se encuentran con un parque de instalaciones con niveles superiores a los reglamentarios y a la cuales deben atender y sobre todo costear los gastos energéticos que ocasionan.

Esta situación supone un reto para los actuales gestores de las instalaciones de alumbrado que deben optimizar los escasos recursos disponibles atendiendo al consumo energético de las instalaciones pero sin olvidar las inercias de niveles que se han creado ya en la población.

### **1.5.3.- SUSTITUCIÓN DE ELEMENTOS INEFICIENTES Y OBSOLETOS**

En un gran número de instalaciones de iluminación urbana no se ha realizado las renovaciones necesarias de sus elementos por lo que se puede considerar que en líneas generales presentan una obsolescencia mayor de la deseada.

Esto hace que actualmente exista en general un parque de elementos y componentes de instalaciones, como puede ser luminarias y soportes que están sobrepasados de su vida útil.

Con la irrupción de la tecnología led en el mundo de la iluminación y su aplicación particular al alumbrado público se abre un nuevo planteamiento de este tema. Las renovaciones ya no se realizan únicamente para eliminar componentes obsoletos sino que se hace además por razones de eficiencia energética y de ahorro en mantenimiento.

Como se expone en diferentes apartados de esta obra, las fuentes de luz a base de led presentan la gran ventaja sobre el resto de fuentes, sobre todo sobre la descarga en gas, de la mayor eficacia, tanto en la propia fuente de luz como en las luminarias sobre las que se montan.

Por otra parte, su gran vida útil, del orden de 20 veces superior a la descarga en vapor de sodio de alta presión, lo hace especialmente atractivo por los bajos costes de mantenimiento que presenta frente a otras fuentes, sin que se esto suponga alteración o pérdida de calidad en los parámetros luminotécnicos de las instalaciones.

### **1.5.4.- GESTIÓN AUTOMATIZADA Y CONTROL DE INSTALACIONES**

En la sociedad de las tecnologías de la información y la comunicación, el alumbrado urbano no puede ser ajeno a esta corriente. Resulta por tanto necesario que se incorpore a esta dinámica de funcionamiento. Existen algunas claves que pueden dar una orientación sobre como es previsible que se haga esta incorporación.

Un factor a tener considerar es el bajo nivel de control existente actualmente en las instalaciones de alumbrado. Si bien existe abundante literatura y

---

recomendaciones sobre este tema, lo cierto es que el grado de automatización de control, es bastante bajo.

Aun existen infinidad de instalaciones cuyo único elemento de control es el dispositivo de apagado y encendido y que carecen en absoluto de ningún elemento que aporte información sobre el modo de funcionamiento. Recientemente se están implementando sistemas de control a nivel de centro de mando pero con funciones más de monitorización que de actuación y control de las instalaciones.

En las instalaciones que se diseñen en un futuro, se dedicaran esfuerzos a implementar sistemas de control que además de monitorizar el funcionamiento de la instalación desde sus niveles más básicos hasta los más generales, posean la inteligencia necesaria para tomar decisiones en tiempo real sobre los ajustes a realizar para el mejor y más eficiente funcionamiento de las instalaciones.

Pero hay un aspecto que colaborará a conseguir este objetivo. Este es la incorporación de la electrónica a los elementos y componentes de las instalaciones. Tradicionalmente, los equipos auxiliares y de control eran dispositivos electromecánicos, con muy escasa posibilidad de control y gestión. La electrónica, debido a su baja fiabilidad en instalaciones en intemperie no tenía una implantación significativa.

Pero el panorama ha cambiado radicalmente en los últimos años. Se han diseñado equipos y componentes electrónicos, que además de realizar sus funciones propias en una instalación de alumbrado convencional, admiten amplias posibilidades de control, monitorización, comunicación y gestión.

Esto abre un campo amplio de evolución puesto que además se crean funciones de integración de elementos por lo que es posible pasar de lo particular a lo general fácilmente, usando las aplicaciones y gestión de datos adecuada.





## **2.- IMPACTO ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL DEL ALUMBRADO URBANO**

Pese al enorme desarrollo que ha experimentado el alumbrado urbano en las últimas décadas y los indiscutibles beneficios de las actuales instalaciones de alumbrado público para la ciudad y sus habitantes, no se puede ajeno a las contrapartidas asociadas como son el excesivo consumo energético y de materias primas y su impacto medioambiental e incluso la recurrente controversia sobre sus pros y sus contras en materia de seguridad ciudadana.

En el presente capítulo analizaremos esta problemática cuya solución, al menos parcial, es uno de los principales objetivos de esta tesis.



## **2.1.- EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO URBANO**

En el caso concreto que nos ocupa, podemos particularizar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado público como la relación entre la cantidad de luz aprovechada y el gasto de energía correspondiente. Con frecuencia se confunden los conceptos que corresponden realmente con la eficiencia energética y el ahorro energético en las instalaciones de alumbrado público. Para tratar de aclarar esta cuestión se exponen una serie de definiciones y precisiones de estos dos conceptos.

Según la norma UNE EN 16001:2009 *“Sistemas de Gestión Energética”*, se define la eficiencia energética de forma general como *“la relación entre producción de actividades, bienes o servicios de una organización y el gasto de energía”*.

Como ya se ha indicado anteriormente, la eficiencia es la relación entre los recursos consumidos respecto del bien producido, en este caso iluminación. Una instalación, independientemente de las características que posea, es más eficiente cuantos menos recursos se consuman respecto del mismo servicio producido. De esto se deduce que los conceptos que se barajan al hablar de eficiencia energética son siempre comparativos, es decir, para obtener un mismo bien producido, lo que podemos generalizar en primera aproximación como nivel de iluminación, de las distintas soluciones posibles es la más eficiente aquella que consume menos energía.

Este propósito se puede obtener de dos maneras diferentes:

- Mediante el uso de la tecnología adecuadas en pro de la disminución del consumo.
- Mediante la adecuación de los niveles de iluminación a las exigencias de la Norma, evitando sobreiluminaciones.

Así, el desarrollo de las fuentes de luz, desde la lámpara de incandescencia a los led, ha supuesto una notable mejora de la eficacia y de la eficiencia luminosa de la

fuente de luz y todos los sistemas y dispositivos puestos por la tecnología al alcance de la mano de los diseñadores de instalaciones ha contribuido a mejorar progresivamente dicha eficiencia.

En cuanto al ahorro energético, este es un concepto que se identifica de modo unívoco con la reducción del consumo, y en el caso concreto de las instalaciones de alumbrado, del menor consumo de energía eléctrica. Esta disminución no tiene por qué implicar en exclusiva una mejora en la tecnología utilizada, sino que en una misma instalación valdría, o bien con mejorar la eficiencia energética de la instalación, o bien con adecuar el servicio de alumbrado a las necesidades reales y no exclusivamente a valores teóricos de aprovechamiento de la energía (Peña-García, et al, En prensa). En una instalación de alumbrado el ahorro que se puede conseguir incluye, por tanto, no sólo la mejora de la eficiencia energética mediante el empleo de componentes y sistemas eficientes, sino sobre todo la optimización de su explotación, mediante:

- El ajuste de los niveles de iluminación a cada tarea visual a realizar.
- La adecuación de las características de la instalación a la frecuencia de uso, evitando en lo posible la aportación de niveles de iluminación excesivos que no proporcionan una mejora del servicio y si un aumento del consumo energético.

Podría decirse como resumen de la diferencia establecida, que mientras optimizar la eficiencia energética de una instalación está relacionado íntimamente con utilizar la menor potencia nominal comparativamente co otras soluciones, conseguir un ahorro energético está estrechamente ligado a que el consumo energético durante la explotación de la instalación propiamente dicha sea la menor posible.

### **2.1.1.- FUENTES DE LUZ**

En esta fase se consideran las múltiples pérdidas en el proceso de generación de la luz visible para el ojo humano. De esta forma, toda la energía que no se destina a producción de luz en el espectro de visión humana, es considerada una pérdida.

El punto de partida de este análisis es la energía eléctrica suministrada por la red de distribución. Se podría hacer un análisis partiendo de la energía primaria pero actuarían factores ajenos a la iluminación y en cualquier caso fuera del control de la gestión de la iluminación propiamente dicha. Desde la conexión a la red intervienen una serie de elementos y componentes que origina diferentes pérdidas que se comentan a continuación. La magnitud que expresa la eficiencia energética de una fuente de luz en términos de su emisión luminosa es la eficacia luminosa de una lámpara, que es el cociente entre el flujo luminoso emitido por la fuente de luz y la potencia eléctrica consumida. Se expresa en Lumen/Watio que se representa como lm/W.

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

Donde:

$\eta$ : Eficacia luminosa de un lámpara o fuente de luz

$\Phi$  : Flujo luminoso emitido por la fuente de luz expresado en lm

$P$ : Potencia eléctrica consumida por la fuente de luz expresada en W

No obstante, en el proyecto luminotécnico no solo se tiene en cuenta la eficacia de la fuente de luz, sino que se han de considerar otras variables de diseño, que condicionan el uso de una fuente de luz u otra. Es el caso del Rendimiento Cromático o de la vida y duración de las fuentes de luz.

En la tabla 2.1 de muestran de forma resumida los valores de las principales características de las fuentes de luz usuales en alumbrado exterior.

La eficacia energética de una fuente de luz está íntimamente relacionada con el espectro de emisión de la misma y con la curva de sensibilidad del ojo humano. El ojo humano presenta una forma de visión escotópica, correspondiente a niveles bajos de luminancias, y la forma fotópica, para niveles altos, a partir de 3cd/m<sup>2</sup> aproximadamente. Para ambas condiciones al curva de sensibilidad varía para las diferentes longitudes de onda, estando la máxima sensibilidad en torno a lo 555 nm en

la visión fotópica. Esta se traduce en que aquellas fuentes de luz que emitan en la zona próxima al máximo de sensibilidad, tendrán siempre una mayor eficiencia.

<b>TIPO DE FUENTE DE LUZ</b>	<b>EFICACIA (lm/W)</b>	<b>VIDA MEDIA (h)</b>	<b>RENDIMIENTO CROMÁTICO</b>	<b>COLOR DE LA LUZ</b>
Halogenuros Metálicos	70÷100	12.000	80	Blanca
Vapor de Sodio de Alta Presión	70÷120	16.000	25	Amarillo-sodio
Fluorescente Compacto	50÷75	10.000	80	Blanca
Vapor de Sodio de Baja Presión	120÷180	16.000	0	Amarillo-sodio
Led	70÷120	50.000	80	Blanca

**Tabla 2. 1 Características principales de las fuentes de luz**

### **2.1.2.- EQUIPOS AUXILIARES Y OTROS ELEMENTOS**

Estos elementos se tratan en general de equipos empleados para la generación, estabilización y alimentación de las fuentes de luz, de las conexiones de los diferentes componentes y sus conductores.

Las pérdidas energéticas asignadas a los equipos eléctricos auxiliares tales como balastos, arrancadores, condensadores, componentes de circuitos electrónicos, etc., son:

- Pérdidas por efecto Joule, que son aquellas que se producen como consecuencia de circular una corriente eléctrica por un conductor y que elevan la temperatura del mismo. Estas pérdidas suelen llevar valores asociados al 20% de la potencia nominal de la lámpara si bien con los nuevos desarrollos se están produciendo equipos y componentes con valores medios inferiores.
- Pérdidas debidas a las cargas reactivas e inductivas que poseen los equipos eléctricos que tiene un factor de potencia menor que la unidad, usualmente entre 0,85 y 0,98 por lo cual la eficacia del trabajo del equipo en cuestión y de las red de suministro eléctrico disminuye conforme el factor se aleja de la unidad, traduciéndose en un mayor gasto de energía y por tanto en un mayor desembolso económico.
- Pérdidas por resistividad de los conductores de distribución desde un punto de origen hasta los puntos finales de la instalación.

Existen en el mercado equipos electromagnéticos cuyo funcionamiento se basa en elementos estructurales eléctricos y mecánicos como la inductancia del cobre, elementos bimetálicos o condensadores. Son robustos y económicos pero con grandes pérdidas y por tanto ineficientes.

Los equipos electrónicos realizan las funciones de arranque, estabilización y compensación de fase mediante circuitos electrónicos. Son más sensibles a las condiciones del entorno pero presentan bajas pérdidas.

Los equipos híbridos son una mezcla de los anteriores con características intermedias entre los electromecánicos y los electrónicos.

El elemento encargado de distribuir la luz generada en la lámpara o fuente de luz en general es la luminaria. Además de esta función, tiene además las de protección mecánica y eléctrica de las fuentes de luz y de los equipos auxiliares y es el elemento que le confiere el aspecto estético y decorativo al alumbrado, tan importante esto en los últimos tiempos en los que el alumbrado constituye un elemento urbano más del paisaje y la imagen de la ciudad.

Podemos definir el rendimiento luminoso de una luminaria como:

$$\eta = \frac{\Phi_{lum}}{\sum \Phi_{lamp}}$$

Donde:

$\eta$ : Rendimiento luminoso de una luminaria

$\Phi_{lum}$ : Flujo útil que sale de la luminaria expresado en lm

$\Phi_{lamp}$ : Flujo emitido por cada lámpara de la luminaria expresado en lm

Las fuentes de luz empleadas son emisores de radiación en todo el espectro de longitudes de onda. Sólo una paeter de esa radiación es visible y con diferente eficiencia sobre la sensibilidad espectral del ojo humano. La mayoría de las fuentes de luz emiten gran cantidad de energía en franjas de emisión no visibles o casi ineficientes para el sistema de visión humano.

En cuanto a la luz generada, y teniendo en cuenta que se considera que el máximo teórico que se puede llegar a alcanzar en este proceso de generación sería de una eficacia de 638 lm/W, se considera que en su totalidad el proceso es muy ineficiente energéticamente. Como orden de magnitud, se puede señalar que los rendimientos usuales en lámparas comerciales utilizadas en alumbrado exterior oscilan entre 12%, del Vapor de Mercurio (Prácticamente extinguido como fuente de luz en alumbrado público), el 26% del Vapor de Sodio de Alta Presión o el 33% del led.

### 2.1.3.- MONTAJE DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO

En esta apartado se consideran las pérdidas producidas en el proceso que tiene por objetivo dirigir la luz emitida por una fuente de luz a la superficie que se quiere

iluminar, considerando los sistemas de alumbrado necesarios y el montaje de los mismos, es decir, la finalidad del proyecto luminotécnico (Gómez, 2013). La energía que no se gasta en la obtención de los niveles de iluminación sobre la superficie objeto a iluminar se considera una pérdida. Partiendo de la energía lumínica total, y considerando como energía útil la cantidad de luz proyectada sobre la superficie a iluminar, se pueden considerar las siguientes pérdidas:

- Rendimiento de la luminaria: se define como la relación entre el flujo luminoso que sale de la luminaria al flujo luminoso emitido por la fuente de luz. La luz emitida por la fuente de luz se refleja, se absorbe y se refracta en los elementos integrantes del sistema óptico de la luminaria. Como consecuencia de este direccionamiento de luz, hay unas pérdidas inherentes, que dependen de los materiales utilizados en el sistema óptico y del ensuciamiento o la depreciación de sus características ópticas. Son valores usuales del 70÷80% de este parámetro.
- Factor de utilización: De la luz que sale de la luminaria, sólo una parte se dirige exactamente a la superficie a iluminar. El resto se dispersa en el entorno o es absorbida por otras superficies que no se desea iluminar.

Las luminarias son los elementos cuya función luminotécnica es dirigir la luz emitida por la fuente de luz a la superficie que se quiere iluminar. Tiene inherente unos factores de pérdida energética como ya se ha dicho que son el rendimiento y el factor de utilización.

El factor de utilización tiene en cuenta la posición de la luminaria respecto de la superficie que va a iluminar por lo que depende de su implantación. La forma en que se aprovecha el flujo luminoso emitido por las luminarias dependerá de la fotometría de la luminaria.

Para calcular el factor de utilización se emplea la expresión:

$$F_u = \frac{S \cdot E_m}{F_{lamp} \cdot F_m}$$

Donde:

$F_u$  : Factor de utilización de la instalación

$S$  : Superficie a iluminar en m<sup>2</sup>

$E_m$  : Iluminancia media en servicio en lx

$F_{lamp}$  : Flujo luminoso de todas las lámparas o fuentes de luz empleadas en lm

$F_m$  : Factor de mantenimiento

#### 2.1.4.- EXPLOTACIÓN DE LAS INSTALACIONES

En esta fase se considera la eficacia energética y las pérdidas producidas en el proceso que tiene como finalidad el funcionamiento de la instalación propiamente dicha, es decir, tanto la conservación de lo que se denomina nivel de iluminación en servicio o mantenido, que es aquel que resultará en el caso más desfavorable teniendo en cuenta las depreciaciones de la instalación en función de su antigüedad, como el periodo de utilización de la instalación, según las necesidades de los usuarios y la frecuencia de uso de la misma.

La eficiencia se define, de acuerdo con el punto 1, Eficiencia Energética de una Instalación de la ITC-EA-01 como:

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

Donde:

$\varepsilon$ : Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior en  $m^2 \cdot lux/W$

$P$ : Potencia activa total instalada en lámparas, fuentes de luz y equipos auxiliares en  $W$

$S$ : Superficie iluminada en  $m^2$

$E_m$ : Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto en  $lux$

Se deben analizar muy detenidamente aquellos factores que pueden evidenciar un gasto excesivo en las instalaciones, teniendo en cuenta todas las circunstancias que se pueden dar, tales como ignorar la aportación de luz natural, la presencia o ausencia de transeúntes, así como las fluctuaciones del tráfico de vehículos, que aconsejarían disminuir los niveles en determinadas horas o incluso, en algunos casos en todas las horas consecuencia de unos niveles de diseño muy sobredimensionados.

En la explotación se tiene en cuenta el uso de los sistemas con un horizonte diferente, el constituido por la vida funcional de la instalación y las circunstancias que en ella se pueden ocasionar, tales como:

- Gestión del encendido y apagado.
- Adecuación de los niveles a las necesidades y usos en cada momento mediante la regulación del flujo luminoso.
- Depreciación de los elementos componentes de los sistemas.
- Mantenimiento de las instalaciones.

Actualmente, el encendido y el apagado, así como el control de los diferentes parámetros de la instalación y la adecuación de niveles según las necesidades, se pueden realizar de diferentes formas: Manual, automatizada y mixta. Tradicionalmente, los sistemas según su función pueden ser:

- Sistemas de mando de encendido y apagado: son aquellos sistemas que permiten activar tanto el encendido como el apagado. Alimentan eléctricamente a tensión nominal, según una señal exterior y pueden ser:
  - Interruptor: Señal exterior dependiente del comportamiento humano.
  - Reloj: Accionamiento a una hora determinada del día.
  - Reloj Astronómico: accionamiento acorde con la hora en se pone el sol y sale. Es programable y se debe especificar la ubicación geográfica de la instalación y la fecha del año a fin de ajustar el parámetro de su funcionamiento.
  - Célula fotoeléctrica: Es un dispositivo que transforma un estímulo luminoso en una corriente eléctrica que activa o desactiva el encendido o apagado de la instalación o la disminución o aumento del nivel de iluminación en función de la aportación de luz natural. Este sistema requiere un mantenimiento más frecuente para garantizar las condiciones de funcionamiento.
- Sistemas de regulación de flujo luminoso: Son aquellos sistemas mediante los cuales se pueden variar el nivel de iluminación de una instalación, variando el flujo luminoso emitido por las fuentes de luz en función de las necesidades de cada momento. Algunas de las tecnologías disponibles son:
  - Regulador en cabecera de línea: Varía la tensión de alimentación de los diferentes puntos de luz, regulando al mismo tiempo la emisión del flujo luminoso.

- Regulación mediante balastos electromagnéticos con hilo de mando: La regulación se hace variando la impedancia del equipo auxiliar, para variar la tensión sobre los bornes de la fuente de luz y de ese modo el flujo luminoso emitido, pero necesita un hilo que transporta la señal que comanda la variación de impedancia. existen en el mercado versiones programables sin necesidad de utilizar hilo de mando.
- Regulación mediante balastos electrónicos regulables: Se trata de balastos electrónicos o de alta frecuencia que pueden autoprogramarse y se regulan en función de una señal de mando que pueden recibir a través de un sistema de comunicación estándar como puede ser DALI, DMX, 0-10 V, etc.
- Sistemas de gestión y control: Son sistemas que aportan el estado de ciertos parámetros de la instalación mediante la medición de ciertos datos o parámetros de los circuitos de las fuentes de luz tales como tensión de alimentación, consumos, tiempo de vida de la lámparas, averías, etc., y que a través de un ordenador central ejecutan una serie de programas que permiten actuar sobre la explotación de la instalación , tanto sobre el encendido y apagado como sobre la regulación de los niveles de iluminación.

#### **2.1.5.- DEPRECIACIÓN DE LAS INSTALACIONES**

Las depreciaciones de las fuentes de luz, de las luminarias y el ensuciamiento deben ser tenidos en cuenta en la fase de diseño de la instalación y está representado por el denominado factor de mantenimiento, que es el factor por el que hay que dividir el nivel de iluminación de la instalación que se pretende tener en servicio y mantenido, para obtener el nivel de iluminación inicial o de partida. La minimización de estas pérdidas se consigue con la utilización de componentes de calidad y diseño adecuados para el entorno y la finalidad que se pretende con la aplicación de un programa de mantenimiento adecuado.

El factor de mantenimiento, según se define en el apartado 2 de la instrucción ITC-EA-06 sobre *Mantenimiento de la eficiencia energética de las instalaciones del*

---

Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado periodo de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior y la luminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva. Su expresión es:

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

El factor de mantenimiento también se puede expresar como producto de los diferentes factores de depreciación obteniéndose la expresión:

$$f_m = FDFL \cdot FSL \cdot FDLU$$

Donde:

$F_m$ : Factor de mantenimiento

$FDFL$ : Factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara

$FSL$ : Factor de supervivencia de la lámpara

$FDLU$ : Factor de depreciación de la luminaria

La falta de control sobre las instalaciones de lugar a despilfarros energéticos como consecuencia de que los resultados que se obtienen con la aportación de la iluminación artificial están por encima de los necesarios.

El desajuste horario tiene como consecuencia el empleo de los sistemas de iluminación a un nivel de iluminación que no es el necesario para la tarea visual a realizar, como cuando el tráfico de vehículos y personas es menor que el habitual.

### **2.1.6.- CONCLUSIONES**

Como resumen general del análisis realizado en las diferentes fases que intervienen, se puede decir que la eficiencia del proceso de la iluminación mediante sistemas de alumbrado artificial es un proceso ineficiente. Así se consideran valores óptimos, considerando las tres fases arriba descritas, entre un 8 y un 10%, en el caso de los sistemas con diseño y gestión más eficientes.

Pero la mayoría de las veces los valores de la eficiencia energética que se encuentran en las instalaciones habituales oscilan entre el 1 y el 3%. Teniendo en cuenta algunos datos como que el 20% de la energía consumida en el mundo se destina a iluminación, o que el gasto energético de los municipios dedicado al alumbrado tanto exterior como interior supera el 50% de la facturación eléctrica, y se reflexiona sobre la baja eficiencia de las instalaciones de iluminación, se llega inmediatamente a la conclusión de la enorme importancia de optimizar la eficiencia energética en dichas instalaciones.



## **2.2.- CALIFICACIÓN ENERGÉTICA**

### **2.2.1.- CONCEPTO Y MARCO LEGAL**

La calificación energética de las instalaciones de alumbrado exterior tiene por objeto medir la eficiencia de dichas instalaciones y poder asignarle un valor.

De forma análoga a como se obtiene una calificación energética para un electrodoméstico, una lámpara o incluso para un edificio completo, es posible obtener una clasificación energética de una instalación de alumbrado público.

El procedimiento de obtención de la calificación está completamente regulado y definido en la legislación específica del sector. Esto parece evidente en tanto en cuanto se pretende obtener una caracterización de las instalaciones que resulte universal y de esta forma poder establecer comparaciones entre diferentes instalaciones por distantes y ajenas que resulten unas de otras. Otro aspecto a considerar y en el que la calificación de instalaciones tiene un papel fundamental es en la reforma o modificación de instalaciones existentes. De esta forma, cuando actuamos sobre una instalación que está en servicio y que posee una clasificación energética determinada, podemos establecer la bondad o idoneidad de la actuación comparando la calificación existente con la que obtendremos una vez efectuada la modificación.

Para el procedimiento de calificación es necesario acudir a la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-01 que está dedicada exclusivamente a la eficiencia energética. En esta instrucción, en su Apartado 3, Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado, se indica que las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrados de señales y anuncios luminosos y festivo y navideño, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética.

El índice de eficiencia energética  $I_\varepsilon$  se define como:

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}$$

Donde:

$\varepsilon$  : Eficiencia energética de una instalación

$\varepsilon_R$  : Eficiencia energética de referencia.

La calificación energética de una instalación de alumbrado se efectuará para cada sección de vial de iguales características geométricas, luminotécnicas y de igual distribución de los puntos de luz.

En el supuesto en que se requiera realizar la calificación en la totalidad de los puntos de luz de un alumbrado vial alimentados por un cuadro de alumbrado, o a viales con diferentes tramos y configuraciones de la iluminación, se aplicará la siguiente expresión:

$$I_\varepsilon = \frac{\sum (I_{\varepsilon_i} \cdot S_i)}{\sum S_i}$$

Donde:

$I_\varepsilon$  : Índice de eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado vial alimentada por un cuadro o con tramos diferentes

$I_{\varepsilon_i}$  : Índice de eficiencia energética de cada sección tipo

$S_i$  : Superficie de cada tipo de sección

Para ambos casos, de la relación de entre estas dos eficiencias se obtiene la calificación de la instalación.

Se define a continuación los términos que intervienen en la expresión anterior y se analiza con más detalle cómo obtener cada uno de estos índices.

### **2.2.2.- EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN**

Este índice valora y cuantifica los aspectos relativos a la eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior que ya han sido comentados en el Capítulo 2.1 anterior. Puesto que su cálculo es usado para la obtención del índice de eficiencia energética y este a su vez determina la calificación energética de la instalación con la asignación de la letra correspondiente, es evidente que esta obtención del índice sigue un proceso también normalizado.

En efecto, la eficiencia se define, de acuerdo con el punto 1, Eficiencia Energética de una Instalación de la ITC-EA-01 como:

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

Donde:

$\varepsilon$  : Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior en  $m^2 \cdot lux/W$

$P$ : Potencia activa total instalada en lámparas, fuentes de luz y equipos auxiliares en  $W$

$S$ : Superficie iluminada en  $m^2$

$E_m$  : Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto en  $lux$

La superficie a considerar será la definida por la dimensión de la sección transversal, y longitudinalmente, por una dimensión representativa de la implantación de los puntos de luz proyectados o existentes.

La iluminancia media será la obtenida en el cálculo de la superficie anteriormente citada.

La potencia considerada será la correspondiente a todas las luminarias comprendidas en la superficie de cálculo, teniendo en cuenta que la potencia de las luminarias que delimitan la superficie transversalmente se contabilizará sólo al 50%. En el caso de áreas de estudio irregulares, se considerará el total de la potencia de los puntos de luz que dispongan dichas áreas (Rabaza, 2013).

También es posible determinar el índice de eficiencia energética de la instalación partiendo de los diferentes factores que intervienen en la instalación mediante la expresión:

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

Donde:

$\varepsilon_L$ : Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares que es la relación entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia total consumida por la lámpara más su equipo auxiliar en  $m^2 \cdot lux/W$

$f_m$ : Factor de mantenimiento que es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.

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

El factor de utilización de la instalación es función del tipo de fuente de luz, de la distribución de la intensidad luminosa y del rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar, esto es longitud y anchura, como a la disposición de las luminarias en la instalación de alumbrado exterior, tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz.

No obstante, el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior establece, en esta misma Instrucción ITC-EA-01 unos valores mínimos de eficiencia energética que deben cumplir todas las instalaciones de alumbrado exterior.

Dichos valores se muestran en la tabla 2.2 para un tipo de alumbrado clasificado como vial funcional.

Para el caso de alumbrado vial ambiental, los valores de referencia son los indicados en la tabla 2.3

Conviene aclarar que lo dispuesto en las tablas 2.2 y 2.3 no es de aplicación a instalaciones existentes anteriores a la entrada en vigor del Reglamento, es decir, para instalaciones anteriores al 1 de abril de 2009.

Esto significa que cuando se estén catalogando instalaciones existentes puestas en servicio anteriores a esta fecha, el índice de eficiencia energética a considerar será el obtenido directamente del cálculo. Para instalaciones posteriores, en caso de obtener un índice de eficiencia inferior al reglamentario, será necesario volver a estudiar la solución proyectada de forma que se alcancen los valores mínimos exigidos.

<b>ILUMINANCIA MEDIA EN SERVICIO</b> $E_m$ (lux)	<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA</b> $m^2 \cdot lux/W$
≥ 30	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
≤ 7,5	9,5

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

**Tabla 2. 2 Valores mínimos de eficiencia energética en una instalación de alumbrado funcional**

<b>ILUMINANCIA MEDIA EN SERVICIO</b> $E_m$ (lux)	<b>EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA</b> $m^2 \cdot lux/W$
≥20	9
15	7,5
10	6
7,5	5
≤5	3,5

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

**Tabla 2. 3 Valores mínimos de eficiencia energética en una instalación de alumbrado ambiental**

### **2.2.3.- EFICIENCIA ENERGÉTICA DE REFERENCIA**

Corresponde ahora ver los índices de referencia como denominador de la expresión que cuantifica la calificación energética de una instalación de alumbrado exterior.

Dicho índices de referencia se obtiene del Apartado 3, Calificación Energética de las Instalaciones de Alumbrado, de la IT-EA-01 del Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y que se muestran en la tabla 2.4.

ALUMBRADO FUNCIONAL		ALUMBRADO AMBIENTAL Y OTRAS INSTALACIONES	
Iluminancia media en servicio proyectada	Eficiencia energética de referencia	Iluminancia media en servicio proyectada	Eficiencia energética de referencia
$E_m$	$\varepsilon_R$	$E_m$	$\varepsilon_R$
<i>lux</i>	$m^2 \cdot lux/W$	<i>lux</i>	$m^2 \cdot lux/W$
≥ 30	32	-	-
25	29	-	-
20	26	≥ 20	13
15	23	15	11
10	18	10	9
≤ 7,5	14	7,5	7
-	-	≤ 5	5

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

Tabla 2. 4 Valores de referencia para la calificación energética

## 2.2.4.- ETIQUETA IDENTIFICATIVA DEL CONSUMO ENERGÉTICO

El Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior (R.E.E.I.A.E.) y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07, aprobado por REAL DECRETO 1890/2008, de 14 de noviembre, establece en su Artículo 5 relativo a Calificación energética de las instalaciones, que *“las instalaciones de alumbrado exterior se calificarán energéticamente en función de su índice de eficiencia energética, mediante una etiqueta de calificación energética según se especifica en la ITC-EA-01”*.

El modelo de etiqueta, que también se encuentra normalizado es el de la ilustración 2.1.

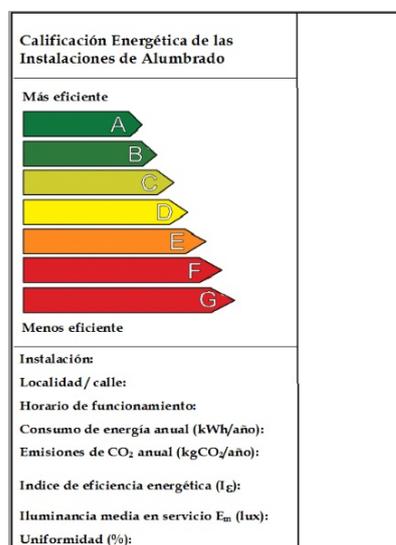


Ilustración 2. 1 Etiqueta de calificación energética

Además de esto, se establece también que *“dicha etiqueta se adjuntará en la documentación del proyecto y deberá figurar en las instrucciones que se entreguen a los titulares”*, con lo que se quiere hacer especial mención a que deber ser un elemento que sea visible e importante para una instalación.

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y

con más consumo de energía) y que se muestran en la ilustración 2.1. El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético,  $ICE$ , que es igual al inverso del índice de eficiencia energética:

$$ICE = \frac{1}{I_{\varepsilon}}$$

La tabla 2.5 determina los valores definidos por las respectivas letras de consumo energético, en función de los índices de eficiencia energética declarados.

Entre la información que se debe entregar a los usuarios figurará la eficiencia energética  $\varepsilon$ , su calificación mediante el índice de eficiencia energética  $I_{\varepsilon}$ , medido, y la etiqueta que mide el consumo energético de la instalación, de acuerdo al modelo que se indica en la ilustración 2.1.

Se completa la etiqueta con los datos correspondientes a la dirección y localidad donde se ubica la instalación, horario de funcionamiento, consumo anual de energía expresado en  $kWh/año$ , emisiones de  $CO_2$  que supone ese consumo expresado en  $kgCO_2/año$ , índice de eficiencia energética  $I_{\varepsilon}$ , iluminancia media en servicio  $E_m$  expresada en  $lux$  y uniformidad expresada en %.

Todos estos datos proceden del proyecto de diseño de la instalación para instalaciones nuevas o de mediciones del estado real de la instalación para caso de alumbrados existentes.

A modo de resumen, para obtener la calificación energética de una instalación de alumbrado exterior se procede con la siguiente secuencia:

- Se determina la eficiencia energética de la instalación  $\varepsilon$ .
- Se determina el índice de eficiencia energética de la instalación  $I_{\varepsilon}$ .

- Para instalaciones nuevas se comprueba que el índice de eficiencia energética  $I_{\varepsilon}$  cumple con los mínimos reglamentarios. En caso de no cumplir se modifica el diseño y se comienza de nuevo el proceso.
- Se selecciona la letra en función del valor de  $I_{\varepsilon}$  y se muestran en la etiqueta junto con el resto de valores de la instalación.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO $ICE$	ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA $I_{\varepsilon}$
A	$ICE < 0,91$	$I_{\varepsilon} > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_{\varepsilon} > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_{\varepsilon} > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_{\varepsilon} > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_{\varepsilon} > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_{\varepsilon} > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$I_{\varepsilon} \leq 0,20$

Tabla 2. 5 Índice de eficiencia energética y calificación



## **2.3.- CONTAMINACIÓN LUMÍNICA**

### **2.3.1.- RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO**

Según el Decreto 357/2010 de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía por el que se aprueba el Reglamento para la Protección del la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia de energética, la contaminación lumínica se define como “la emisión de flujo luminoso, por fuentes artificiales de luz constituyentes del alumbrado nocturno, con intensidades, direcciones o rangos espectrales inadecuados para la realización de las actividades previstas en la zona alumbrada”.

El resplandor luminoso nocturno en el cielo o contaminación luminosa, producido por la difusión y reflexión de la luz artificial en los gases y partículas en suspensión de la atmósfera, constituye un inconveniente para la observación astronómica, el propio disfrute del cielo nocturno y, en la medida correspondiente, a su afectación a la biodiversidad y su actividad nocturna (Iqbal, 1983;Mie, 1908).

Debe distinguirse el brillo natural, atribuible a la radiación de las fuentes u objetos celestes y a la luminiscencia de las capas altas de la atmósfera, del resplandor luminoso debido a las fuentes de luz artificial instaladas en las zonas exteriores. En este último caso, tienen que considerarse las emisiones directas hacia arriba de diversas fuentes de luz artificial, así como la radiación reflejada por las superficies iluminadas por dichas fuentes de luz.

El resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa, da lugar a que se incremente el brillo del fondo natural del cielo, dificultando las observaciones astronómicas de los objetos celestes (Strutt, 1899).

La limitación del resplandor luminoso nocturno significa la reducción de la emisión de luz hacia arriba, que no resulta útil en el alumbrado viario, de lo que resulta una mayor eficiencia energética en la instalación.

La visibilidad de un objeto situado sobre un fondo, depende de la diferencia de luminancias entre el objeto y el fondo. Un objeto claro sobre fondo oscuro, su contraste será positivo (valores entre 0 e infinito), en cambio un objeto más oscuro que su fondo se verá en silueta y su contraste será negativo, variando entre 0 y -1.

El resplandor luminoso nocturno en el cielo produce un velo en el campo de observación que tiene su propia luminancia  $L_v$ , que se añade a la luminancia del objeto y del fondo, de forma que el nuevo contraste  $C''$  es el siguiente:

$$C'' = \frac{(L_o + L_v) - (L_f + L_v)}{L_f + L_v}$$

Donde:

$L_o$ : Luminancia del objeto

$L_f$ : Luminancia del fondo

Cuando la luminancia de velo  $L_v$  aumenta, el objeto observado puede desaparecer del campo visual, particularmente en el caso de observaciones astronómicas cuando se trata de una estrella u objeto celeste con una luminancia  $L_o$  muy débil.

La regulación de las instalaciones de alumbrado público al respecto de la contaminación luminosa se dispone en las diferentes recomendaciones CIE así como en normativas estatales y regulaciones autonómicas y locales.

### 2.3.2.- CRITERIO DE ZONIFICACIÓN

Las supuestas contradicciones entre las exigencias fotométricas relativas a la actividad humana nocturna, seguridad en la circulación de vehículos y peatones, calidad de vida, integridad del entorno, propiedades, bienes, etc. y el resplandor

---

luminoso nocturno en el cielo, que dificulta las observaciones astronómicas de los objetos celestes, deben abordarse para adoptar las soluciones factibles.

En materia de medio ambiente, cuando una actividad potencialmente contaminante no puede ser totalmente controlada, la idea básica que se utiliza consiste en evitar que las consecuencias ambientales, debida a esta presunta contaminación perjudiquen igualmente en todas las localizaciones o situaciones. Por tanto, el sistema de zonificación debe servir de marco de referencia para regular y resolver los posibles conflictos, que pudieran derivarse de la hipotética dicotomía iluminación-observación astronómica y biodiversidad.

Para limitar las posibles interferencias producidas por el resplandor luminoso nocturno en el cielo a los observatorios astronómicos denominados “punto de referencia”, la introducción del sistema de zonificación responde a dos propósitos. Por una parte, permite establecer los requisitos de iluminación en una zona donde se encuentra el “punto de referencia”. Por otro lado, posibilita fijar las exigencias de iluminación en otras zonas, adyacentes o no, a la zona particular donde está ubicado el “punto de referencia”.

Los parques naturales y áreas de especial protección natural también son tenidos en cuenta para la zonificación del territorio en cuanto a su nivel de protección frente a la contaminación luminosa.

En la tabla 2.6 se clasifican las diferentes zonas en función de su protección contra la contaminación lumínica, según el tipo de actividad en cada una de las zonas.

Con objeto de poder establecer una escala de relación con la observación astronómica, se consideran las zonas E1 para observatorios de categoría profesional, las E2 para observatorios de estudios académicos y postgrado, los observatorios amateur se situarían en zonas E3 y finalmente, las observaciones esporádicas se puede realizar en zonas E4

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

Tabla 2. 6 Clasificación de zonas a efectos de protección contra la contaminación lumínica

### 2.3.3.- CRITERIOS DE REDUCCIÓN DEL RESPLANDOR LUMINOSO

#### 2.3.3.1.- LÁMPARAS Y FUENTES DE LUZ

Además de las consideraciones técnicas exigibles en cuanto a eficiencia energética que han de cumplir las lámparas y fuentes de luz, a efectos de la contención de la contaminación luminosa se recomienda la utilización de lámparas con un

---

---

espectro de radiación luminosa con la mínima radiación próxima a las tonalidades azules dentro del espectro de radiación visible.

Las lámparas de tecnología de descarga como son las lámparas de vapor sodio alta presión y las lámparas de vapor mercurio con halogenuros metálicos, así como las fuentes de luz led son apropiadas, dentro de sus características cromáticas concretas, para su utilización en zonas de prevención de la contaminación lumínica siempre y cuando cumplan las restricciones impuestas por la normativa en materia de longitud de onda como se verá más adelante. Esta idoneidad dependerá de las restricciones concretas de cada zona y lugar, su franja horaria de utilización y de las características propias de la tecnología empleada.

Las temperaturas de color cálidas ofrecen menores porcentajes de emisión dentro del espectro más nocivo situado en la franja azul.

En las Zona clasificadas como E1 se utilizan lámparas de vapor sodio o aquellas otras fuentes de luz que ofrezcan un espectro de emisión equivalente o mejor a esas lámparas en cuanto al bajo porcentaje de emisión por debajo de los 440nm. También pueden emplearse fuentes de luz con filtros que eviten la emisión de radiación de longitudes de onda inferiores a ese valor.

### **2.3.3.2.- FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR**

Se define el flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{inst}$  emitido por una luminaria como la proporción en % del flujo de una luminaria que se emite sobre el plano horizontal que pasa por el centro óptico de la luminaria respecto al flujo total saliente de la luminaria, cuando la misma está en su posición de instalación.

En la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-03 relativa al “*Resplandor Luminoso Nocturno y Luz Intrusa o Molesta*” del El Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior se indican valores límite de  $FHS_{inst}$  que no se pueden superar y que se muestran en la tabla 2.7.

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

Tabla 2. 7 Flujo máximo hacia el hemisferio superior admitido por zonas

### 2.3.3.3.- LUMINARIAS

Considerando que el rendimiento de una luminaria es la relación entre el flujo emitido por la luminaria y el flujo producido por la lámpara o fuente de luz, en el caso de instalaciones de alumbrado de vías de tráfico rodado, se deben implantar preferentemente luminarias con rendimientos iguales o superiores al 65% para el caso de alumbrados viales.

Para los alumbrados ambientales, se admiten valores más bajos, pudiendo ser de hasta el 55%. En el caso de proyectores, el rendimiento debe superar el 55% también.

Asimismo, las luminarias a emplear en alumbrados peatonales tales como los faroles artísticos, aparatos históricos, etc. deben estén provistos de bloque óptico, de forma que al tiempo que se controla la emisión de luz en el hemisferio superior, se aumente el factor de utilización en el hemisferio inferior.

En el caso de proyectores, además de cuidar con esmero su apuntamiento, se preverá la instalación de rejillas, paralúmenes y otros dispositivos que controlen la dirección del flujo luminoso emitido, reduciendo el deslumbramiento y la contaminación luminosa. Se emplearán preferentemente proyectores del tipo asimétrico, evitando que el ángulo correspondiente a la intensidad máxima sea superior a 70º respecto la vertical.

En cualquier caso, la distribución fotométrica de las luminarias y proyectores se diseñará de forma que se obtenga la máxima eficiencia energética de la instalación.

#### **2.3.3.4.- PAVIMENTOS**

El pavimento de la calzada constituye un elemento importante en el control y eliminación del resplandor luminoso. Siempre que las características constructivas, composición y sistema de ejecución resulten idóneas respecto a la textura, resistencia al deslizamiento, lisura, drenaje de la superficie, etc., en las calzadas de las vías de tráfico se recomienda utilizar pavimentos cuyas características y propiedades reflexivas resulten adecuadas para las instalaciones de alumbrado público, al objeto de lograr la máxima luminancia y uniformidad a igualdad de iluminancia consiguiéndose, por tanto, una mayor separación entre puntos de luz.

La luminosidad del pavimento de una calzada está estrechamente relacionada con las propiedades fotométricas del mismo y, en concreto, con el coeficiente de luminancia medio  $q_o$  del pavimento.

Este coeficiente  $q_o$  se define como:

$$q_o = \frac{\iint q \cdot d\omega}{\iint d\omega}$$

Donde:

$q$ : Coeficiente de luminancia en un punto determinado.

$\omega$ : Ángulo sólido correspondiente a la dirección considerada que contiene al punto para el coeficiente de luminancia.

A su vez, el coeficiente de luminancia en un punto  $q$  se define como la relación entre la luminancia en un punto y la iluminancia horizontal en ese mismo punto.

De esta forma, cuanto más elevado es el coeficiente  $q_o$ , a idéntica iluminancia, mayor es la luminancia de la calzada y menor resulta el deslumbramiento perturbador  $TI$ .

El factor especular  $S_1$  se define como:

$$S_1 = 10 \cdot \log \left( \frac{q_o}{q_p} \right)$$

Donde:

$q_o$ : Coeficiente de luminancia medio del pavimento.

$q_p$ : Coeficiente de luminancia para un ángulo de incidencia de  $\gamma=0$ .

El factor especular  $S_1$  determina en qué medida las características del pavimento, respecto a la reflexión de la luz incidente, se separan de las de una superficie que asegure una reflexión difusa perfecta de forma que, a igualdad de iluminancia, cuanto más bajo es el factor especular  $S_1$  mayores son las uniformidades de luminancia.

De todo lo anterior se deduce que, siempre que sea factible, en las calzadas de las vías de tráfico se aconseja utilizar pavimentos con un coeficiente de luminancia medio o grado de luminosidad  $q_o$  lo más elevado posible, y cuyo factor especular  $S_1$  sea bajo.

En definitiva, el diseño y explotación de instalaciones de alumbrado eficientes es un asunto de la mayor importancia debido al enorme impacto económico y medioambiental.

En este sentido, uno de los pilares básicos de la presente memoria será la búsqueda de relaciones entre parámetros psicológicos y sociales y otros relacionados precisamente con la eficiencia de las instalaciones consideradas.



## **2.4.- IMPACTO DEL ALUMBRADO URBANO SOBRE LA SEGURIDAD CIUDADANA**

Las instalaciones de alumbrado urbano se diseñan para proteger a personas y bienes no sólo contra accidentes fortuitos sino contra actos vandálicos o violentos. A primera vista podría parecer obvio que a mayores niveles de iluminancia, mayor seguridad y prevención contra los actos delictivos pero habría que preguntarse si esto es realmente así (Painter, 2009).

Los motivos de esta controversia no son ni mucho menos triviales ni se deben a que este campo no haya sido objeto del más vivo interés por parte de los investigadores.

En primer lugar, a la dificultad que conlleva cualquier experimento que involucre variables relacionadas con la conducta humana, hay que añadir otros factores de tipo climatológico, geográfico, económico e incluso variables que aún pudiesen permanecer ocultas a los diseñadores de dichos experimentos (Raynham, Saksvikronning, 2003). La consecuencia inmediata es que cualquier resultado que de ellos se extraiga ha de ser tratado con suma cautela y, de hecho, las conclusiones que sacan distintos investigadores de resultados similares pueden llegar a ser diametralmente opuestas (Peña-García, 2008).

En lo que parecen estar de acuerdo todos los investigadores es en el hecho de que niveles de iluminación más elevados aumentan la sensación de seguridad en los viandantes (Peña-García, Hurtado, Aguilar-Luzón, 2015). Sin embargo, los investigadores no se ponen de acuerdo en un hecho que pudiese pasar desapercibido: Posiblemente esa mayor iluminación pudiese aumentar la efectividad y seguridad de los posibles delincuentes incrementándose así la frecuencia y la gravedad de sus acciones en zonas con mayores niveles de iluminación (Painter, Farrington, 1999).

Otro punto no menos complicado reside en que ciertos investigadores opinan que una mayor iluminación no implica mayor seguridad. Argumentan que el número de actos delictivos que se producen durante el día es en muchos casos superior al de

los delitos que se producen durante la noche. No conviene olvidar que la actividad de las personas, víctimas y delincuentes, es mucho mayor durante el día lo cual pudiera interpretarse como una muestra de parcialidad en sus conclusiones.

Un excelente ejemplo de esta dificultad es el estudio llevado a cabo por las autoridades de la ciudad inglesa de Essex. Según este estudio, durante el periodo comprendido entre abril de 2006 y mayo de 2008, el alumbrado público fue completamente apagado entre las 12:00 y las 5:30 de la mañana. El objetivo de esta medida fue reducir el consumo energético cuyo impacto económico sobre las arcas municipales era realmente significativo. El resultado, a primera vista fue realmente sorprendente: lejos de aumentar, los índices de criminalidad disminuyeron drásticamente. Sin embargo, el estudio no hace mención alguna a las medidas adicionales que en materia de seguridad se tomaron con el fin de evitar catástrofes durante el desarrollo del estudio. El propio artículo reconoce la preocupación del cuerpo de policía antes de tomar la medida, por lo que sería inocente pensar que no se tomaron precauciones adicionales durante las horas críticas. Además, es posible que un gran número de personas alterasen sus hábitos de vida por temor a andar en la oscuridad. No podemos olvidar que si las víctimas no andan por la calle entonces no se producen atracos pero no porque los delincuentes no estén dispuestos a cometerlos sino porque, sencillamente, no hay a quien atracar. Parece por tanto evidente que coartar a las personas a no abandonar sus casas no se antoja como la medida definitiva para reducir la delincuencia.

En el citado estudio solo se hace referencia a estadísticas sobre delitos obviando mención alguna a un aumento o disminución de los accidentes tales como caídas, atropellos etc.

No se pretende con los anteriores comentarios adoptar una conclusión definitiva respecto de los niveles de delincuencia de una reducción de los niveles de iluminación. Al contrario, se pretende llamar la atención sobre la tremenda dificultad que conlleva extraer conclusiones imparciales sobre estos experimentos.

Otra prueba de la disparidad de los resultados obtenidos por distintos investigadores son los resultados contradictorios de los estudios llevados a cabo en Estados Unidos y Reino Unido (Tien, et al,1977; Sherman, et al, 1997). En efecto y pese a tratarse de países con raíces culturales comunes, los investigadores estadounidenses han concluido en sendos estudios separados por casi dos décadas, que los beneficios de los mayores niveles de iluminación sobre la incidencia de actos delictivos es prácticamente nula y que por tanto no puede afirmarse que exista un beneficio neto. Incluso llegó a concluirse en el segundo de ellos, lo que ya se apuntaba al principio de que en ciertos casos la iluminación, incluso cuando es la adecuada según los criterios internacionales de diseño, puede ser contraproducente. Esta última aseveración, ha sido puesta de manifiesto por otros investigadores.

Más allá de estos estudios, otros similares llevados a cabo en los Estados Unidos de América (Painter, Farrington, 1997) han venido a demostrar que la incidencia de actos delictivos no depende de manera significativa del momento del día ni de los niveles de iluminación en la zona aunque, estos estudios obvian por completo los distintos niveles de actividad que tienen lugar en cada franja horaria. No obstante, no hay que perder de vista que siempre que se trabaja en Estadística, las cifras obtenidas no pueden ser convenientemente comparadas si previamente no son “pesadas” mediante una función de distribución adecuada que tenga en cuenta la actividad de agresores y víctimas en cada momento del día.

Sin embargo, otros estudios llevados a cabo principalmente en el Reino Unido, parecen demostrar que mayores niveles de iluminación tienen como consecuencia una notable disminución en la incidencia de delitos contra la seguridad de las personas y los bienes.

A modo de conclusión, se puede decir que nos encontramos ante un problema de muy difícil solución: por una parte es necesario reducir los niveles de iluminación para evitar la contaminación lumínica y el despilfarro energético pero, por otra, es imprescindible asegurar la protección de las personas y los bienes. A lo largo de esta breve síntesis se ha pretendido dejar de manifiesto que las opiniones a favor y en contra cuentan con razones de peso pero, ninguna de ellas parece aportar datos

definitivos. Lejos de zanjar la discrepancia, este dilema se presenta como un reto para los investigadores y técnicos de la iluminación.

### **3.- OBJETIVOS**

Los objetivos de la presente tesis doctoral son los siguientes:

1. Cuantificar de las sensaciones subjetivas que produce el alumbrado urbano en los peatones mediante la elaboración de una encuesta específica y el posterior análisis de las respuestas de una muestra de gran tamaño de peatones.
2. Analizar las relaciones significativas entre los principales parámetros luminotécnicos de la instalación de alumbrado urbano (fundamentalmente iluminancia media y uniformidad media) y determinadas variables psicológicas y psicosociales relacionadas con el estrés, la percepción de seguridad o vulnerabilidad en los peatones que transitan las calles consideradas.
3. Determinar si existen diferencias significativas de variables psicológicas y psicosociales relacionadas con el estrés, la percepción de seguridad o vulnerabilidad en los peatones que transitan las calles consideradas en función del color de la luz usado para la iluminación de dichas calles.



## **4.- METODOLOGÍA**

Para cumplir los objetivos previstos en este trabajo se ha llevado a cabo una macroencuesta en una serie de calles de Granada (España) con el objeto de evaluar la percepción del alumbrado público por parte de los peatones y su potencial influencia sobre variables psicológicas (sensación de seguridad, sensación de vulnerabilidad, estrés etc.). Posteriormente se han comparado estos resultados con medidas cuantitativas de diferentes parámetros lumínicos que caracterizan estas calles. Las conclusiones de este estudio pionero se presentan en este trabajo que ahonda en la interfaz entre Iluminación y Psicología, que sin duda será una de las principales líneas de investigación en nuestro campo durante los próximos años.

El estudio se ha desarrollado en la ciudad de Granada. El periodo durante el que se han desarrollado estas fases se corresponde con los meses comprendidos desde septiembre de 2011 hasta marzo de 2012. A este respecto debe considerarse que se tratan de tres etapas claramente diferenciadas. De un lado está seleccionar los parámetros luminotécnicos sobre los que se iba a estudiar su relación con las variables psicosociales, de otro lado la selección de las calles que se iban a utilizar de muestra y objeto del estudio y su preparación, y finalmente la confección de la encuesta y toma de datos en campo.

Estas fases se han solapado en el tiempo en su fase de desarrollo.

Una vez determinados los parámetros luminotécnicos sobre los que se iban a establecer las relaciones, se inició una doble vía de trabajo de forma que mientras se seleccionaban y estudiaban las calles objeto de estudio, simultáneamente se realizaban los trabajos previos de elaboración de la encuesta.

A pesar de ser esta elaboración de la encuesta lo más laborioso y por tanto requerir mas tiempo para desarrollar todas las fases de elaboración sucesivas que se describen con detalle en siguientes apartados, se ha optado por esta doble vía de trabajo para evitar cambios en los parámetros y características de las instalaciones que en absoluto eran deseados y que podrían contribuir a incluir sesgos en las conclusiones finales obtenidas.



## **4.1.- PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS**

### **4.1.1.- CRITERIOS DE SELECCIÓN**

Se pretende seleccionar una serie de Bías que posean un alumbrado público con diferentes valores luminotécnicos y donde además se den diferentes niveles y tonos de luz.

Este planteamiento requiere formular una cuestión previa y de su respuesta obtener datos para seguir el proceso de selección. La cuestión es ¿Qué parámetros lumínicos queremos relacionar con los aspectos psicológicos de seguridad y vulnerabilidad? Evidentemente que aquellos que mejor representen a una instalación, pero esto no es fácil traducirlo de forma directa a parámetros lumínicos.

Convendría antes hacer algunas consideraciones sobre estos parámetros que nos proporcionen claves o criterios para su selección.

Los parámetros que utilicemos deben ser fácilmente medibles. En efecto, dichos parámetros tendrán que ser determinados y cuantificados para cada una de las instalaciones seleccionadas como objeto de estudio y por tanto se deberá proceder a realizar mediciones in situ de sus valores, tanto al inicio del periodo de realización de encuestas como al final de estas para comprobar que no se han producido cambios significativos durante el periodo de toma de datos en campo. Cuando se habla de facilidad de medición se entiende que esto se cumple cuando no es necesario un equipo sofisticado y costoso, fuera del alcance habitual de la comunidad profesional de este campo, o bien que para su medición se requieran circunstancias de preparación previa que no se den en una calle normal de una ciudad, abierta al tránsito peatonal y rodado con todo lo que esto significa. Así mismo, otro aspecto a tener en cuenta es la existencia de métodos universalmente utilizados y simplificados para la obtención de resultados con la suficiente exactitud para el alcance de este trabajo.

Los parámetros que utilicemos deben ser usados habitualmente como caracterizadores de tipos de iluminación. La normativa del sector de la iluminación

urbana, tanto la española como la del resto de países de nuestro entorno caracteriza las instalaciones de alumbrado exterior atendiendo básicamente a tres conceptos fundamentalmente: Luminancias, Iluminancias y Uniformidades. Esta no es la relación exhaustiva de características pero si puede considerarse como las principales. El hecho de usar estas características hace que los resultados sean extrapolables puesto que son datos que son conocidos de cualquier instalación.

Los datos que no dependan de la instalación sino de los elementos que la componen, deber ser facilitados de forma habitual por los fabricantes de la fuentes de luz empleadas. Existen una serie de características que no dependen de la instalación que se elija sino de los elementos con los que este realizada, es decir, que en cualquier caso y dondequiera que se sitúe, el parámetro con el que lo vamos a relacionar es producto de las características que facilita el fabricante. Esta circunstancia requiere que elijamos un parámetro sobre el que los fabricantes nos proporcionen la información en base a los ensayos normalizados que realizan a sus productos antes de lanzarlos al mercado y que suelen ir acompañados y refrendados de certificados emitidos por laboratorios oficiales y acreditados.

#### **4.1.2.- PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS CONSIDERADOS**

Según la discusión realizada en el párrafo anterior, las variables elegidas para relacionarlas con los factores psicosociales son:

- Iluminancia media horizontal ( $E_m$ ): Expresada en Lux, según la definición dada en el punto 6 del artículo 3 del RD 1890/2008 de 14 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, y medida “in situ” mediante el procedimiento definido en el punto 4.3. “Método simplificado de medida de la iluminancia media” de la ITC-EA-07 del citado reglamento. Esta variable

cumple con las condiciones anteriormente citadas de ser fácilmente medible y ser habitual conocerlas de las instalaciones.

- Uniformidad general de iluminancias ( $U_g$ ): valor sin unidad, según la definición dada en el punto 22 del artículo 3 del RD 1890/2008 de 14 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, y obtenida con los valores de iluminancia media horizontal. Igual que para el caso anterior, esta variable cumple con las condiciones anteriormente citadas de ser fácilmente medible y ser habitual conocerlas de las instalaciones.
- Sobreiluminación: Valor sin unidad que se define como:

$$S_i = \frac{E_{mM}}{E_{mR}}$$

Donde  $E_{mM}$  representa la iluminancia media horizontal medida en las condiciones indicadas en puntos anteriores y  $E_{mR}$  representa la iluminancia media horizontal mantenida de las indicadas en la ITC-EA-02 en función de la clasificación de la vía, estando ambas iluminancias expresadas en Lux. Esta variable se obtiene por simple cálculo por lo que le es aplicable lo dicho con más arriba relativo a las condiciones de medición y disponibilidad habitual.

- Temperatura de color ( $T_c$ ): Expresada en Kelvin, según la definición dada por la CIE (Commission Internationale de L'Éclairage) en su Vocabulario internacional de Iluminación ILV, y obtenido el dato del fabricante de las lámparas utilizadas. Este dato es facilitado por la práctica totalidad de los fabricantes de lámparas y en concreto es facilitado por los fabricantes de las lámparas colocadas en los puntos de luz de las calles de referencia del estudio. En apartados posteriores se amplía y precisa esta información.



## **4.2.- SELECCIÓN DE INSTALACIONES**

Para la selección concreta de las calles objeto del estudio se ha tenido en cuenta los parámetros luminotécnicos sobre los que se iban a correlacionar las variables sociológicas.

Se ha pretendido que pertenezcan a diferentes barrios de la ciudad pero manteniendo una uniformidad en la tipología social de los vecinos para no introducir sesgos en la población encuestada.

Asimismo, y con objeto de poder establecer comparaciones era necesario que tuvieran valores diferentes de las variables sobre las que posteriormente se realizaría el estudio. No obstante, las vías seleccionadas, pertenecen a clases de alumbrado similares aunque sus características y las instalaciones de que disponen no se correspondan con esa similitud.

Otra consideración inicial era buscar vías públicas con iluminación amarillo-sodio, correspondientes con lámparas de Vapor de Sodio de Alta Presión y vías con iluminación de color blanca, correspondientes con lámparas de Vapor de Mercurio con Halogenuros Metálicos o led. Era necesario hacer un reparto equitativo entre ambas fuentes de luz.

Se confeccionó una lista inicial de 20 calles pertenecientes a todos los distritos de la ciudad, en proporción a la población de cada uno de dichos distritos.

El reparto de la población total de la ciudad de Granada a fecha de 1 de enero de 2011 respecto de sus distritos se muestra en al tabla 4.1, así como el número de calles preseleccionadas en función de esas misma proporciones.

Con estos datos se realizó una selección inicial de las 20 calles. Se buscó un equilibrio entre luz amarillo-sodio y blanca, de forma que aquellos distritos en los que correspondía seleccionar un número par de calles, se preseleccionó tantas de luz amarillo-sodio como blanca. Con el resto de distritos se busco un equilibrio global de forma que al final resultaran preseleccionadas 10 de cada tonalidad de luz. También se

ha buscado que fueran con valores luminotécnicos diferentes y representativos de las diversas tipologías de alumbrado que coexisten en la ciudad.

<b>POBLACION EMPADRONADA EN LA CIUDAD DE GRANADA EN EL AÑO 2011</b>			<b>272.730</b>
<b>TOTAL CALLES PRESECCIONADAS</b>			<b>20</b>
<b>DISTRITO</b>	<b>POBLACIÓN</b>		<b>CALLES PRESELEC.</b>
	Habitantes	%	
ALBAICIN	11.383	4,17	1
BEIRO	29.859	10,95	2
CENTRO	31.361	11,50	3
CHANA	26.921	9,87	2
GENIL	34.873	12,79	3
NORTE	43.261	15,86	3
RONDA	49.661	18,21	3
ZAIDIN	45.411	16,65	3
TOTAL	272.730	100	20

**Tabla 4 1 Población de la ciudad de Granada por distritos. Fuente: Página Web Ayuntamiento de Granada**

En la tabla 4.2 se muestran las calles preseleccionadas, con el distrito al que pertenecen y su tono de luz, indicándose los valores de iluminancia media y uniformidad media (Grieneisen, et al, 2006). Para un conocimiento mas profundo de la tipología de alumbrado de las diferentes calles y los valores medidos para cada caso, consúltese el Anexo III, Mediciones luminotécnicas de calles objeto de estudio.

Para la medición de los niveles de iluminación se ha utilizado el método simplificado de medida de la iluminación media, denominado también método de los nueve puntos. Este método de medida es el que indica el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de alumbrado Exterior, en su Instrucción Técnica ITC-EA-07 como válido para la obtención, mediante medición de la iluminación media así como también las uniformidades media y general.

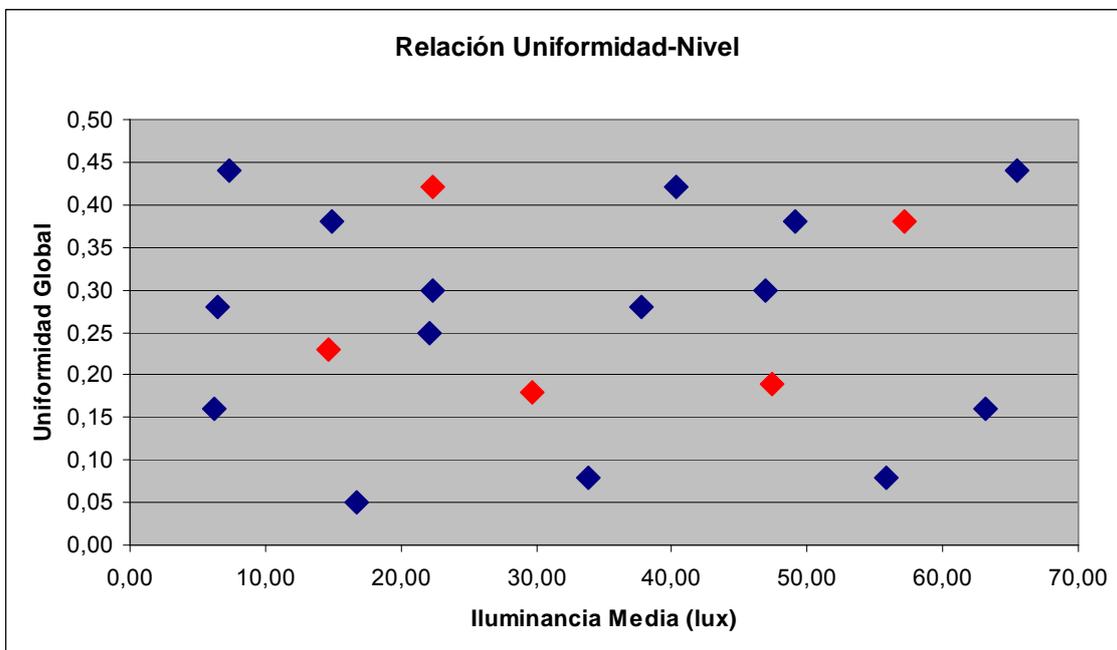
<b>CALLE</b>	<b>DISTRITO</b>	<b>TIPO DE LUZ</b>	<b>NIVEL</b>	<b>UNIFORMIDAD</b>
Tete Montoliu	NORTE	AMARILLO-SODIO	6,19	0,16
Mirlo	BEIRO	AMARILLO-SODIO	57,23	0,38
Alhóndiga	CENTRO	BLANCA	47,46	0,19
Mesones	CENTRO	AMARILLO-SODIO	29,72	0,18
Virgen del Rocío	GENIL	AMARILLO-SODIO	22,11	0,25
Cuesta del Chapiz	ALBAICIN	BLANCA	7,28	0,44
Agustina de Aragón	RONDA	BLANCA	22,38	0,42
Santa Bárbara	CENTRO	AMARILLO-SODIO	14,63	0,23
Mesón del toledano	GENIL	BLANCA	16,78	0,05
María Lejárraga	BEIRO	BLANCA	40,29	0,42
Almorávides	NORTE	AMARILLO-SODIO	65,53	0,44
Virgen de la Consolación	CHANA	AMARILLO-SODIO	46,94	0,30
Pío Baroja	RONDA	BLANCA	63,18	0,16
Séneca	RONDA	AMARILLO-SODIO	55,87	0,08
Navarra	ZAIDIN	AMARILLO-SODIO	6,50	0,28
Antonia Mercé	CHANA	BLANCA	14,88	0,38
Maitena	GENIL	BLANCA	22,35	0,30
Profesor Domínguez Ortiz	NORTE	BLANCA	49,05	0,38
Jamaica	ZAIDIN	BLANCA	33,86	0,08
Almazara	ZAIDIN	BLANCA	37,70	0,28

**Tabla 4. 1 Características luminotécnicas de las calles preseleccionadas**

En el Anexo IV se muestra una descripción del procedimiento de medida y cálculo según es descrito en el citado Reglamento.

De esta forma, se ha establecido una representación de los valores de nivel de iluminación y uniformidad con lo que se obtiene la gráfica de puntos de dispersión siguiente.

La selección final se realizó buscando puntos representativos de la nube y que se destacan del resto por su color .



**Gráfico 4. 1 Relación Uniformidad global frente a Iluminancia media en las calles preseleccionadas**

Con las consideraciones realizadas anteriormente, la selección definitiva de las cinco vías que fueron objeto de estudio son:

- Mirlo (MRL)
- Alhondiga (ALH)
- Mesones (MSN)

- Agustina de Aragón (AGA)
- Santa Bárbara (STB)

Se muestra en la tabla 4.3 los valores obtenidos para diferentes parámetros luminotécnicos de las calles seleccionadas objeto de esta investigación.

	<b>Em (Lux)</b>	<b>Ug</b>	<b>Sobreillum.</b>	<b>Tc (°K)</b>
MRL Mirlo	57,23	0,38	7,63	2100
ALH Alhondiga	47,46	0,19	3,16	2800
MSN Mesones	29,72	0,18	1,98	2100
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,98	4000
STB Santa Bárbara	14,63	0,23	1,95	2100

**Tabla 4. 2 Valores luminotécnicos de las calles seleccionadas**

En las ilustraciones de la 4.1 a la 4.5 se muestran las calles en su aspecto nocturno que han sido objeto de las encuestas.



**Ilustración 4.1 Calle Mesones**



**Ilustración 4.2 Calle Agustina de Aragón**



**Ilustración 4.3 Calle Mirlo**



**Ilustración 4. 4 Calle Santa Bárbara**



Ilustración 4.5 Calle Alhóndiga

### **4.3.- ELABORACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA**

#### **4.3.1.- ASPECTOS GENERALES**

El presente trabajo se enmarca dentro de un diseño transversal-correlacional en cuanto a que hemos recogido datos en un momento temporal concreto, y además, hemos examinado las relaciones que se establecen entre las variables medidas. Así, en la presente investigación se ha utilizado una metodología de encuesta a fin de ser comparados los datos subjetivos con los datos objetivos. Para ello, se han llevado a cabo dos estudios, un primer estudio que denominaremos “estudio piloto” y cuyo objetivo ha sido la construcción del instrumento de medida utilizado a posteriori en el segundo estudio realizado, el denominado “estudio principal”.

El procedimiento seguido ha sido en primer lugar plantear el objeto de análisis, esto es, se han planteado los interrogantes que han llevado a la puesta en marcha de esta investigación. Además, se ha definido el universo de la población objeto de estudio así como la muestra seleccionada para el mismo.

Para la elaboración del instrumento de medida utilizado a través de encuesta, se ha seguido el procedimiento descrito desde la teoría clásica de los test (ver Prieto y Delgado, 1996), en especial para los cuestionarios o encuestas contruidos desde la aproximación al escalamiento centrado en la persona. Concretamente, el método de escalamiento seguido ha sido el método de Likert.

#### **4.3.1.1.- MODELO DE ESCALAMIENTO**

Las razones por las que se ha decidido utilizar una escala Likert y no otra, obedecen a que se trata de uno de los métodos de recogida de información más intuitivo y fácil para la persona que debe contestar la encuesta. El modelo de escalamiento utilizado, puede describirse brevemente de la forma siguiente. Se presenta a un grupo de personas un conjunto de ítems formado por aproximadamente el mismo número de ítems favorables y desfavorables al objeto de la medida. A

continuación, se pide a las personas que respondan a cada una de las frases en función de su grado de acuerdo o desacuerdo con ellas. La forma de responder consiste típicamente en seleccionar una de las respuestas posibles y que recogen desde “nada” para indicar que la persona está “fuertemente en desacuerdo”, hasta “mucho” para indicar que está “fuertemente de acuerdo” al ítem por el que se ha preguntado. El último paso es combinar las respuestas de las personas de manera que aquellos que tienen una actitud o preferencia más favorable al objeto de la medida, obtengan las puntuaciones más altas, y los que tienen una actitud más desfavorable las puntuaciones más bajas. El modelo de escalamiento implica un único tipo de estímulos y un único tipo de respuestas. El modelo asume unos supuestos sobre la naturaleza de los ítems y de la escala final que pueden resumirse en:

- Las variaciones sistemáticas en las respuestas de las personas a los ítems se deben únicamente a las diferencias entre las personas. Es decir, los ítems no aportan nada a la variabilidad sistemática de las respuestas, cada ítem es considerado una replicación de los otros.
- Los ítems están relacionados monótonicamente con la variable que se supone miden. Cuanto más favorable (o desfavorable) sea la actitud de la persona, mayor (o más baja) será su puntuación en el ítem.
- La suma de las respuestas a cada ítem también tiene una relación monótonica (y aproximadamente lineal) con la variable actitudinal.
- Los ítems miden una única variable, es decir, forman una escala unidimensional.

#### **4.3.1.2.- DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA**

Una vez que hemos seleccionado el método de escalamiento a utilizar, se ha procedido a la elaboración de la encuesta. Los pasos para la construcción de la misma, han sido los habituales en la elaboración de instrumentos de medida de actitudes o preferencias individuales.

(Osterlind,1989) compara el proceso de elaborar un cuestionario con la fabricación de un instrumento musical: seguir el procedimiento correcto para fabricar un instrumento no garantiza que quien lo utilice haga interpretaciones “maravillosas”, pero, sin duda, si el instrumento está mal hecho ni el mejor intérprete producirá música de calidad. Además, la elaboración de cuestionarios no sigue un procedimiento totalmente seguro. Las aportaciones del autor del cuestionario pueden jugar un papel fundamental para obtener un cuestionario de calidad. No obstante, en la elaboración de cuestionario como en las disciplinas artísticas, la “genialidad” suele asentarse sobre un perfecto dominio de los “fundamentos técnicos”.

Dejemos a un lado las comparaciones y presentemos los pasos habituales para la elaboración de un cuestionario o encuesta de actitudes:

- Identificar el objetivo para el que van a utilizarse las puntuaciones.
- Definir el constructo que se pretende medir con el cuestionario.
- Descripción general de los componentes del constructo.
- Diseñar el cuestionario.
- Redactar los ítems.

Los pasos deben completarse en el orden anterior. No obstante, la elaboración de cuestionarios es un proceso abierto, es decir, habitualmente los resultados obtenidos en uno de los pasos aportan información relevante para pasos anteriores, y es común el salto de unas actividades a otras. Por ejemplo, el resultado de analizar la calidad de los ítems puede llevar a cambiar su redacción.

A continuación detallamos en qué consiste cada uno de los pasos anteriores.

#### **Identificar el objetivo para el que va a utilizarse las puntuaciones.**

Podría parece superfluo declarar que cuando se decide elaborar un cuestionario se hace con un objetivo en mente, con una finalidad. Medimos una

variable psicológica “para algo...”. La utilización de un cuestionario sólo está justificada si la información que proporciona es relevante para un objetivo.

La formulación precisa del objetivo para el que van a utilizarse las puntuaciones aportadas por el cuestionario es el primer requisito para elaborar un cuestionario de calidad. Difícilmente podremos elaborar un buen cuestionario si no tenemos claro qué haremos después con la información proporcionada por el cuestionario; entre otras razones, sin tener claro el objetivo difícilmente podremos luego evaluar la utilidad del cuestionario.

Las mediciones en las Ciencias Sociales pueden responder a una gran variedad de objetivos y contextos: evaluar el rendimiento académico, realizar diagnósticos clínicos, seleccionar aspirantes a puestos de trabajo, orientar la trayectoria educativa, evaluar la efectividad de programas, etc. Es necesario ser conscientes de que cada uno de estos tipos generales de objetivos plantea unas demandas específicas al proceso de elaboración de instrumentos. Por ejemplo, no es lo mismo medir la variable “patrón de conducta...” para hacer un diagnóstico clínico que medirla porque sea una variable predictora de la ejecución en un puesto de directivo. Es la misma variable pero el objetivo para el que se mide en los dos contextos puede incluso determinar qué componentes de la variable deberemos medir con el cuestionario.

Además, la declaración precisa del objetivo para el que van a utilizarse las puntuaciones tiene consecuencias positivas para otros pasos del proceso de elaboración del cuestionario, por ejemplo, para la definición del constructo. Las declaraciones sobre el objetivo frecuentemente ponen en relación el constructo que se desea medir con otros constructos y/o variable empíricas.

En nuestro caso, hemos considerado como objetivo “Medir la actitud hacia determinados factores lumínicos” para explicar la percepción del alumbrado público por parte de los peatones y analizar su potencial influencia sobre variables psicológicas (sensación de seguridad, sensación de vulnerabilidad, estrés etc.). Cabe mencionar que una actitud, se trata de un constructo inobservable, por lo que sus características

deben ser inferidas de las respuestas de los participantes. Un constructo es un atributo psicológico que caracteriza los comportamientos de los individuos y nos permite explicar patrones de comportamiento (Batanero, 2005). Podemos concluir que declarar explícitamente el objetivo para el que va a utilizarse las puntuaciones ayuda a la definición del constructo. La contribución puede realizarse a dos niveles:

- El objetivo implica relacionar el constructo con otros constructos y/o variables empíricas.
- Declarar el objetivo orienta la identificación de los comportamientos que pueden considerarse indicadores del constructo.

### **Demandas situacionales a tener en cuenta**

El contexto en el que se utilizará la encuesta plantea una serie de aspectos relacionados con el objetivo que pueden condicionar el proceso de elaboración. La mayoría de los manuales incluyen las consideraciones contextuales en el apartado dedicado a la planificación del cuestionario. Nosotros consideramos que se les debe prestar atención desde la determinación del objetivo por plantear una serie de cuestiones que afectan a la interpretación de las mediciones:

Características de la población. Bajo esta denominación se incluye un amplio conjunto de variables como: la edad, el nivel educativo, la clase social, el medio de procedencia (rural o urbano), la lengua materna, el nivel de comprensión lector, la pertenencia a minorías o grupos culturales, etc. Estas denominaciones hacen referencia a variables que pueden contaminar la interpretación de los resultados de la medición y que habrá que tener en cuenta durante el proceso de elaboración. Baste un sencillo ejemplo: un cuestionario sobre actitudes racista en niños deberá considerar su nivel de comprensión lector a la hora de elegir el formato más adecuado para los ítems.

Nosotros, para esta investigación hemos optado por utilizar un lenguaje directo, sencillo y claro, afín de adaptar los ítems a la variabilidad de participantes en la encuesta.

Restricciones temporales. El tiempo disponible para la aplicación del cuestionario es otro aspecto importante que puede condicionar su elaboración. Hay ocasiones en las que el tiempo es parte del constructo (e.g., tests de velocidad), pero en la mayoría de las ocasiones las restricciones temporales vendrán impuestas por las características de la población de personas que responderá al cuestionario (e.g., los niños no mantienen la atención durante mucho tiempo), o por el contexto de aplicación (e.g., las clases suelen durar una hora). El constructor del cuestionario deberá encontrar un compromiso entre la elaboración de un instrumento con un número suficiente de ítems para que las mediciones sean fiables y las restricciones de tiempo. Es decir, no podemos excedernos en utilizar un gran número de ítems, pues las mediciones no serían fiables.

Administración individual o colectiva. La mayoría de los cuestionarios psicológicos se aplican de forma colectiva. Las instrucciones generales juegan un papel importante al tener que homogeneizar las condiciones de respuestas para que todas las personas comprendan la tarea y respondan de forma estandarizada a la misma (Aguilar-Luzón, 2011). No obstante, en esta investigación se ha llevado a cabo una administración individual, utilizando para ello encuestadores.

### **Definición de las Variables: constructo de medida**

Sin duda es uno de los pasos más importantes en la elaboración de un cuestionario. También puede parecer una simpleza decir que es imposible elaborar un cuestionario para medir un constructo al menos que la naturaleza del constructo no esté bien delimitada. Pero la simpleza deja de ser tal al comprobar que la mayoría de los errores que aparecen en los cuestionarios se deben a que no se ha dado la importancia y dedicación necesaria a la definición del constructo.

La definición del constructo se debe realizar de la manera más sistemática posible.

Hay dos grandes aproximaciones para hacer la definición de los constructos:

- Aproximación inductiva o exploratoria. El autor del cuestionario escribe un gran número de ítems que supuestamente miden el constructo. A continuación, administra los ítems a un grupo numeroso de personas. Las respuestas de las personas a los ítems son analizadas mediante técnicas estadísticas para buscar patrones de relación entre los ítems. El autor del cuestionario “pone nombre...” a esos patrones de relación y de esta forma “define” el constructo. La aproximación trabaja desde las respuestas de las personas hacia la definición del constructo.
- Aproximación deductiva o confirmatoria. El constructo no se mide en el vacío. Está insertado en una teoría que dirige la propia definición del constructo indicando los comportamientos que pueden considerarse indicadores del constructo, es decir, los comportamientos que desarrollan las personas que manifiestan el constructo. El examen de las hipótesis que genera la teoría determina la corrección de la definición. La aproximación trabaja desde la teoría hacia los datos. Esta segunda opción ofrece mayores garantías para elaborar un buen cuestionario: la teoría debe guiar todo el proceso de medición.

La teoría sobre el objeto de medida que se adopte debe proporcionar tanto la definición sintáctica como la semántica. No obstante, dada la variedad de constructos, objetivos y contextos en los que se puede necesitar la medición de actitudes, resultará frecuente la ausencia de teorías. Hay diferentes estrategias para intentar paliar esta carencia, sobre todo, para la elaboración de la definición semántica. El autor del cuestionario puede recurrir a alguno de los siguientes procedimientos:

- Revisión de la literatura. Probablemente antes o al mismo tiempo que nosotros otros investigadores se hayan enfrentado al problema de definir el constructo que pretendemos medir. Revisar sus aportaciones, por todos los medios disponibles, debe ser el primer paso que realice el autor del cuestionario.

- **Análisis de contenido.** De forma resumida, consiste en hacer preguntas abiertas relativas al constructo que nos interesa a personas conocedoras del constructo o que después puedan responder al cuestionario. La categorización de esas respuestas y su posterior análisis (e. g., para conocer las categorías de respuestas más frecuentes) determinarán la definición del constructo.
- **Juicio de expertos.** Se trata de pedir a personas “expertas” que nos indiquen que comportamientos muestran las personas que manifiestan el constructo.
- **Incidentes críticos.** La particularidad de este procedimiento está en que le pedimos a los expertos que no indiquen que comportamientos muestran las personas situadas en los extremos del continuo que puede representar al constructo.
- **Observación directa.** El autor del cuestionario recoge mediante la observación de personas que manifiestan el constructo los comportamientos que considera relevantes.

Nosotros, hemos optado por utilizar una combinación de ambas aproximaciones, así hemos elaborado un primer listado de rasgos relacionados con diferentes factores subjetivos acerca de la percepción del nivel de iluminación de diferentes vías urbanas, tras la revisión de la literatura científica. Esos rasgos, fueron redactados a modo de ítems, siguiendo el escalamiento Likert. Una vez elaborados, se administró a un total de 169 peatones, en lo que hemos denominado Estudio Piloto (ver Anexo I). Al finalizar se les pedía que contestaran a seis cuestiones o preguntas abiertas relativas al grado de comprensión respecto a los ítems utilizados en la encuesta. Esa información abierta, ha sido analizada de forma cualitativa a fin de establecer las mejoras pertinentes a la encuesta final. Es decir, se ha realizado un análisis de contenido.

Además, con el objetivo de diseñar una encuesta fiable y con cierta garantía de que medía lo que pretendemos medir, esto es: la actitud hacia determinados factores lumínicos para explicar la percepción del alumbrado público por parte de los peatones y su potencial influencia sobre variables psicológicas (sensación de seguridad, sensación de vulnerabilidad, estrés etc.), también hemos utilizado el “Juicio de expertos”.

### **Descripción general de los componentes del constructo**

Los constructos pueden variar desde los muy específicos y estrechamente definidos a los muy generales y casi, por definición, multidimensionales. No hay una solución predeterminada a este problema. El investigador deberá decidir para cada situación concreta de medida el nivel de especificidad adecuado, atendiendo a criterios de parsimonia (Este concepto no lo entiendo desde una definición coloquial de la palabra. Quizás necesitaría algún comentario adicional más técnico) y utilidad empírica. Relacionado con el tema de la mayor o menor especificidad en la definición del constructo está la cuestión de la posible agrupación de los componentes del constructo en categorías generales. Esta cuestión no es estrictamente metodológica. La agrupación de los componentes de los constructos en categorías más generales tiene que ver con la posible estructura de las actitudes. Autores como (Eagly, Chaiken, 2007; Rydell, McConnell, 2010), afirman que hay dos aproximaciones generales a este tema:

Escuela del componente único. Los autores situados en esta línea piensan que la actitud es simplemente la tendencia a evaluar un objeto en términos positivos o negativos. Por tanto, no tiene sentido hablar de componentes de la actitud.

Escuela de los componentes múltiples. Desde esta perspectiva se plantea la existencia de al menos tres componentes en las actitudes:

Cognoscitivo. El conjunto de percepciones y creencias hacia un objeto. Argumentan que los objetos que no conocemos no pueden generar ninguna actitud hacia ellos.

Afectivo. Los sentimientos a favor o en contra del objeto actitudinal.

Conductual. Las tendencias a reaccionar hacia los objetos de una forma determinada (e. g., evitando el contacto con algo hacia lo que tenemos sentimientos negativos).

Desde un punto de vista metodológico lo más prudente es mantener una postura flexible sobre esta cuestión. En el presente trabajo, hemos optado por una visión múltiple. Preferir la aproximación de los componentes múltiples puede estar justificado porque obliga a una mayor estructuración del proceso de definición del constructo, y más adelante, a que el proceso de redacción de los ítems sea más ordenado.

### **Diseñar la encuesta**

El diseño de la encuesta o cuestionario consiste en el conjunto de decisiones que el investigador debe tomar relacionadas con la “estructura” o “forma” de la misma (Prieto, 1996). Una vez analiza la información obtenida desde el Juicio de Expertos, así como la obtenida desde el estudio piloto, se procede a elaborar la encuesta utilizada en el estudio principal (Ver ANEXO II). En este momento del proceso de elaboración debe considerar, el número de ítems, tipo y número de alternativas de respuesta y cómo cuantificar las alternativas de respuesta.

Diseñar la encuesta implica preparar la información necesaria para elaborar la población inicial de ítems. El autor del cuestionario en este paso como en los anteriores debe asegurar que el cuestionario final aportará la información necesaria para alcanzar el objetivo para el que van a utilizarse las puntuaciones. Todas las

decisiones que tome debe someterlas al criterio “de fuego...” siguiente: ¿contribuye a lograr el objetivo para el que van a utilizarse las puntuaciones?

En relación al número de ítems, cabe mencionar que es imposible fijar a priori el número de ítems que debemos hacer para la población inicial (estudio piloto). También es evidente que como después someteremos los ítems de esa población inicial a un proceso formal de revisión para conocer su calidad, habrá que elaborar más ítems de los que en última instancia formarán el cuestionario o encuesta final (estudio principal).

El número de ítems que compone la encuesta utilizada en el estudio principal ha sido finalmente de 11 (ver Anexo II). La alternativa de respuesta que hemos utilizado en el estudio principal, esto es la forma en que se va a pedir a las personas que respondan a la encuesta, han sido alternativas de acuerdo, de evaluación y de frecuencia. Así, para la primera categoría de alternativas se pide a la persona que indique el grado de acuerdo con la información presentada en el enunciado del ítem. Habitualmente, son bipolares (registran el acuerdo y el desacuerdo) y simétricas respecto a un punto neutro. Las alternativas de respuesta suelen ser si la persona está “fuertemente”, “moderadamente” o “ligeramente” de acuerdo o en desacuerdo con el enunciado del ítem. Los modificadores (e. g., muy, bastante, etc.) deben ser los mismos para el acuerdo y el desacuerdo, haciendo que las elecciones de respuesta sean simétricas. Para alcanzar esta simetría, no es imprescindible incluir un punto neutro. Las alternativas de acuerdo son las más populares y versátiles, utilizándose para una gran variedad de variables psicosociales (American Educational Research Association, 2014).

El siguiente ítem de ejemplo muestra la utilización de alternativas de acuerdo:

<b>9.- ¿Influye la iluminación de esta calle en su estado de ánimo?</b>				
1 (Nada)	2	3	4	5 (Mucho)

Las alternativas de evaluación piden a la persona que haga un juicio en una dimensión de “bueno-malo” (o “adecuado-inadecuado”, “correcto-incorrecto”, etc.). Las alternativas suelen ir desde lo positivo (excelente) a lo negativo (terrible...). Pueden utilizarse para medir actitudes o hacer juicios sobre la calidad de la ejecución en diferentes dominios.

Un ejemplo de ítem utilizado en la encuesta (estudio principal) que utiliza alternativas de evaluación es el siguiente:

<b>6.- ¿Cuánto de intenso cree Usted que es el alumbrado público en esta calle?</b>				
1 (Adecuado)	2	3	4	5 (Inadecuado)

Las alternativas de frecuencia suelen preguntar a las personas cuantas veces ocurre algo o debería ocurrir. Pueden utilizarse alternativas numéricas o verbales (una vez por día, una vez a la semana...). Suelen extenderse desde “rara vez...” a la “mayoría de las veces”. Pueden utilizarse para medir variables de personalidad cuando se necesita que la persona indique con qué frecuencia realiza determinados comportamientos (o para describir el ambiente, indicando cuantas veces ocurre algo).

<b>8.- ¿Le produce el alumbrado público de esta calle algún tipo de molestia (deslumbramiento, dolor de cabeza...?)</b>				
1  (Nunca)	2	3	4	5  (Siempre)

Otra decisión importante que el investigador debe plantearse en el diseño de la encuesta es el número de alternativas de respuesta. A priori puede pensarse que cuanto mayor sea el número de alternativas obtendremos una mayor precisión en las respuestas. En principio, esto es cierto y por ello hay cuestionarios que utilizan hasta 100 puntos. El criterio es considerar la capacidad de las personas que van a responder al cuestionario para discriminar entre diferentes alternativas, es decir, para discriminar su nivel de acuerdo, juicio o evaluación sobre el contenido del enunciado del ítem. Por lo mismo, de 5 a 9 alternativas pueden ser adecuadas para la mayoría de los constructos y situaciones. Nosotros, atendiendo a criterios de parsimonia (otra vez este palabro) hemos utilizado escalas de 5 alternativas en la encuesta final.

Las alternativas de respuesta deben elegirse de forma que puedan ordenarse a lo largo del continuo que representa a la variable. Por ejemplo, las alternativas de frecuencia varían desde la "no-ocurrencia" (nada o nunca) a la "ocurrencia-constante" (siempre o continuamente). La ordenación a lo largo del continuo permite la cuantificación de las alternativas de respuesta.

Dependiendo del constructo es posible que los números varíen desde el 0 a valores positivos (escalas unipolares /frecuencia), o tener el 0 como centro de la escala y disponer de valores positivos y negativos (escalas bipolares / acuerdos).

En las escalas unipolares las alternativas de respuesta se numeran de forma consecutiva desde la más baja (habitualmente 1) a la más alta (habitualmente 5). Las escalas bipolares pueden numerarse de la misma forma con valores negativos y positivos, y el 0 como punto neutro. Nosotros hemos utilizado una escala unipolar, de

manera que la puntuación total será la suma de las respuestas a cada uno de los ítems. Si se utilizan ítems redactados de forma positiva y negativa habrá que tener cuidado para revertir las puntuaciones de los ítems negativos, o viceversa.

### **Redacción de los Ítems**

La redacción de los ítems tal y como hemos planteado en el procedimiento consiste en escribir tanto el enunciado de los ítems como las alternativas de respuesta. “Enunciado” y “alternativas de respuesta” son los dos elementos constitutivos de los ítems. Ambos plantean la “tarea” a la que deben responder las personas. Como se ha mencionado anteriormente, en primer lugar, se construye el “conjunto inicial de ítems” (probados en el estudio piloto) de donde se extraerán los que conforman la versión final del cuestionario (utilizados en el estudio principal). Aunque la investigación ha avanzado de forma considerable tanto en los aspectos básicos como en la modelización matemática, no hay indicaciones que garanticen de forma absoluta la calidad de los ítems. Si hay disponibles un conjunto de normas, criterios o recomendaciones a seguir durante la escritura de ítems para contribuir a que los ítems logren su objetivo: permitir la cuantificación precisa y útil de las respuestas con las que inferir la “posición” de las personas en el constructo objeto de la medición.

La escritura de ítems se aborda tras el diseño del cuestionario. Las decisiones tomadas respecto del número de ítems, el tipo y número de las alternativas de respuesta y del sistema de cuantificación, establecen el marco general dentro del que debe actuar el escritor de ítems.

Sin embargo, el referente principal del escritor de ítems es la definición semántica del constructo. De forma concreta, los indicadores con los que se

concretaron los comportamientos generales son el elemento básico durante la escritura de los ítems. El escritor de ítems debe procurar que el ítem refleje de la forma más exacta posible la conducta prevista en el indicador. No se debe olvidar que el “ítem” es la tarea a través de la que se obtiene la respuesta con la que inferir si la persona manifiesta la conducta prevista en el indicador. Por tanto, debemos “escribir ítems que provoquen la conducta prevista en el indicador”. Del grado en el que se consiga el objetivo anterior dependerá gran parte de la validez de las mediciones. La perspectiva desde la que abordar la escritura de ítems no es ajena a los dos pilares del proceso de elaboración que se enunciaron en el primer tema: el modelo de escalamiento y el modelo de medida.

Al escribir los ítems se deben recordar los supuestos del modelo sumativo: monoticidad de la relación entre el constructo y el valor de las respuestas a los ítems; unidimensionalidad y las personas como única fuente de variación en las respuestas. Este último supuesto suele ignorarse durante la escritura dando lugar a posteriores inconsistencias en la interpretación de las respuestas a los ítems. El escritor de ítems debe procurar que todos los ítems expresen la misma cantidad de la variable, es decir, no haya ítems más “positivos” o “negativos” que otros.

Además, hay otras dos ideas generales cuya importancia deriva de la elección de la Teoría Clásica de Test como modelo de medida:

- Cada ítem debe reflejar el objetivo del cuestionario. Los ítems deben escribirse con un objetivo de medida específico “in mente”. No olvidemos que consideramos cada ítem del cuestionario como un cuestionario en sí mismo de la variable. Por tanto, al redactar el enunciado de cada ítem debemos intentar que refleje con la mayor exactitud posible el constructo que se pretende medir.
- La redundancia no es un defecto. El modelo de medida que hemos adoptado hace que la redundancia no sea un defecto en los ítems que vayamos a redactar. Claro está que nos referimos a la redundancia que tiene que ver con el constructo (todos los ítems “parecen” medir lo mismo), y no con la estructura gramatical o con el vocabularios de los

ítems, que al ser aspectos superficiales del enunciado si deben variar. Por otra parte, la información del análisis de ítems puede ayudar a disminuir la redundancia de los ítems en la versión final del cuestionario.

Lograr que cada uno de los ítems satisfaga estas normas no es fácil de lograr. No obstante, resulta más fácil si se siguen un conjunto de criterios y recomendaciones presenten con ligeras variaciones en la bibliografía sobre elaboración de tests y cuestionarios.

La redacción del enunciado del ítem depende en gran parte del tipo de respuesta que vaya a pedirse a las personas. Así:

- Los ítems de acuerdo suelen tener enunciados declarativos (ideas, opiniones, creencias, etc.), con los que la clave de la tarea es conocer el grado en el que la persona está de acuerdo.
- Los ítems de frecuencia suelen ser hechos, circunstancias o comportamientos para los que tenga sentido preguntas cuantas veces ocurren en un periodo de tiempo.
- Los ítems de evaluación suelen ser frases cortas relativas a personas, lugares, cosas, hechos o comportamientos de los que las personas puedan juzgar la “importancia”, el “valor” o la “significación” que tienen para ellos.

El mayor o menor cumplimiento de estas recomendaciones tiene que depender del criterio expuesto en el apartado anterior: ¿en qué medida contribuyen a que el ítem refleje la conducta planteada en el indicador con el que se ha operacionalizado el constructo objeto de la medición?.

Todas las recomendaciones tienen un denominador común: un buen ítem es aquel que es claro, conciso, no ambiguo, y tan concreto como sea posible.

Podemos enumerar seis recomendaciones que ayudarán a escribir buenos ítems:

1. Cada ítem debe expresar una y solamente una idea. Si el ítem expresa más de una idea lo más probable es que consigamos confundir a las personas. Será muy fácil que la persona no sepa con cuál de las dos ideas expresadas por el enunciado queremos conocer su grado de acuerdo, que juzgue o cuantas veces ocurren.
2. Utilizar ítems redactados de forma positiva y negativa. Es una recomendación generalizada. El escritor de ítems debe redactar enunciados que representen posiciones favorables y otros desfavorables al constructo. Cuanto mayor es el valor de la respuesta a los ítems con enunciados positivos “mayor” es la posición de la persona en el continuo que representa al constructo; mientras que en los ítems con enunciado negativo, se invierte el sentido de la interpretación de las respuestas. El objetivo de esta recomendación es evitar las denominadas “tendencias de respuesta” (e. g., aquiescencia, deseabilidad social, etc.). De forma general, por “tendencias de respuesta” nos referimos a que las personas respondan al ítem sin considerar su contenido.
3. Evitar coloquialismos, expresiones y jergas. Debe utilizarse un lenguaje estándar y no sujeto a modas temporales que hagan que con el paso del tiempo los ítems pierdan sentido.
4. Adecuar la estructura gramatical a las características de las personas que responderán al cuestionario. Es necesario buscar un equilibrio entre una redacción del ítem que garantice la medida del constructo (e. g., utilizando frases subordinadas) y el nivel lector de las personas. Es obvio que si las personas dudan sobre el significado del ítem no estaremos midiendo de forma adecuada el constructo.
5. Evitar redacciones negativas. Es una recomendación muy particular. Pero la evidencia acumulada constata que es más difícil para las

personas entender las frases negativas que las que expresan la misma idea pero de forma positiva.

6. Utilizar un lenguaje sencillo y directo. También se recomienda utilizar formas verbales en presente de indicativo, evitando el uso de formas verbales en futuro o “condicional” que introducen más incertidumbre en el proceso de respuesta.

#### **4.3.2.- ESTUDIO PILOTO**

Para la elaboración del cuestionario utilizado en el estudio principal, se realizó un estudio piloto en el que se administró una primera encuesta preliminar con objeto de contar con información adicional para la redacción de la encuesta definitiva que sirviera de base para la recogida de datos en el estudio principal. Esta encuesta incluía preguntas sobre el objeto de la investigación así como otra serie de cuestiones sobre la propia encuesta. En el Anexo I se muestra dicha encuesta.

Este estudio piloto se realizó con una muestra formada por 169 estudiantes universitarios, concretamente estudiantes matriculados en los estudios conducentes al título de licenciatura en Ciencias Ambientales de la Universidad de Granada. Conviene destacar que estas encuestas se realizaron durante las horas lectivas por lo que las respuestas obtenidas tan solo tenían un valor sobre la confección definitiva de los ítems del cuestionario principal y en ningún caso se han utilizado los resultados de estas encuestas en la valoración final de resultados y la obtención de conclusiones. Se utilizaron estudiantes de Ciencias Ambientales en tanto hemos utilizado la técnica de “panel de expertos” para la redacción de los ítems finales. Así, el objetivo final de este estudio piloto era que en base a sus conocimientos en la temática, actuaran como expertos que debían analizar la conveniencia y la utilidad percibida del cuestionario principal.

De esta encuesta preliminar se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- *Existe un pobre recuerdo de la luz:* Cuando se le pedía al panel de expertos que indicaran el color de la luz de la calle en la que vivían, amarillo-sodio o blanco, se observó que en muchos casos la respuesta que daban los encuestados no se correspondía con la iluminación que en realidad había instalada en su calle. No es objeto de este trabajo investigar ni ahondar en el tema del recuerdo de la iluminación que permanece en los peatones, pero no cabe duda que para evitar anomalías en las respuestas que se trasladan a los resultados, era necesario realizar las encuestas centradas en la iluminación de las propias calles sobre las que se preguntaba.
- *Escala de respuesta de los ítems que componen la encuesta:* Inicialmente se diseñó la encuesta utilizando un formato de respuesta tipo Likert con 7 anclajes desde (1), para indicar “totalmente en desacuerdo” hasta (7) “totalmente de acuerdo”. Según opinión mayoritaria de los estudiantes, era preferible utilizar un formato de respuesta más breve, ya que intuitivamente era más fácil de utilizar a la hora de asignar puntuación a las sensaciones. Por ello, se decidió utilizar posteriormente una escala de Likert de 5 puntos.
- La pregunta 10 “*Ante cuestiones que le surjan en relación a las condiciones de iluminación y eficiencia del alumbrado, valore el grado de información de que dispone*” resultó que estaba mal planteada y que no aportaba nada a lo que se pretendía medir. A raíz de estas reflexiones se incluyó la pregunta “*¿Cree usted que el número de farolas es suficiente?*” que es mucho más concreta y directa y se presta menos a confusión para el entrevistado.
- En opinión de los encuestados, las preguntas 7, 8 y 9 resultaban muy parecidas. En realidad no lo eran, puesto que tratan de matices y aspectos diferentes, pero lo que se trata de conocer es la percepción de la población en general y si en una valoración inicial se perciben como

iguales es necesario modificar el cuestionario. Se decidió refundir las tres preguntas en una sola que se enunció como “¿Cómo de seguro se siente usted cuando camina por esta calle en horario nocturno?” .

- Se planteó que el orden de las preguntas es otro elemento importante a considerar. Parece lógico que el orden vaya de lo general a lo particular. Hay que considerar que si se aborda a una persona por la calle por la que transita para hacerle reflexionar sobre la iluminación que está viendo y la sensaciones que le producen, es necesario captar inicialmente una impresión general y fijar su atención, para posteriormente profundizar en las diferentes sensaciones y estados de ánimo concretos que experimenta y que le llevan a pronunciarse por una valoración genérica sobre la iluminación.

#### **4.3.3.- ENCUESTA DEFINITIVA**

El cuestionario utilizado en la presente investigación, se diseñó teniendo en cuenta las consideraciones del panel de expertos consultados. Este cuestionario se muestra en el Anexo II.

Se han realizado 266 cuestionarios en las 5 calles objeto de estudio, con un reparto sensiblemente equilibrado entre las 5 calles seleccionadas para el estudio.

En la tabla 4.4 se indica el número de participantes por cada una de las calles.

<b>CALLE</b>	<b>PARTICIPANTES</b>
(MRL) Mirlo	63
(ALH) Alhóndiga	60
(MSN) Mesones	53
(AGA) Agustina de Aragón	36
(STB) Santa Bárbara	54
<b>TOTAL</b>	<b>266</b>

**Tabla 4. 3 Número de participantes por calle**



#### **4.4.- DESARROLLO**

Para la recogida de datos del estudio principal, se ha contado con un equipo de encuestadores que han administrado las encuestas a pie de calle. La administración de los cuestionarios tuvo lugar a primeras horas de la tarde noche, en pleno funcionamiento del alumbrado público en régimen estacionario, es decir, una vez estabilizado tras el periodo transitorio del encendido y alcanzado su nivel estable de servicio. Esta metodología de realización de las encuestas respondía al interés por que las personas expresaran las sensaciones y el estado de ánimo que realmente sentían sin tener que recurrir al recuerdo o a estados y sensaciones memorizados de situaciones previas. Se ha tratado, por tanto, de cuantificar el efecto real y el subjetivo del alumbrado público sobre los peatones.

También se ha prestado especial atención a los sistemas de ahorro de energía que se implementan en las diferentes calles que han servido para la recogida de datos. Se han realizado las encuestas en horas de funcionamiento pleno, evitando o suspendiendo la realización de encuestas en aquellos periodo en los que entraba en funcionamiento el sistema de ahorro, bien de forma programada, como respuesta a algún fenómeno transitorio de red o de forma manual por operaciones de mantenimiento.

Durante el periodo de realización de las encuestas, además se han bloqueado las reposiciones de lámparas. Esto afecta tanto a reposiciones programadas y masivas que se realizan en toda la calle como a reposiciones puntuales. Este hecho está basado en la propia operativa del estudio. En este sentido se realizaron mediciones de niveles de iluminación antes del inicio de las encuestas partiendo de la situación real, sin ningún tipo de adaptación o intervención en la vía y con unas horas de vida de las lámparas totalmente aleatoria. Resulta evidente que una reposición de lámparas durante el desarrollo de las encuestas hubiera supuesto un aumento del nivel de iluminación de la calle, tanto más cuanto mayor depreciación de flujo debido al uso tuviera la lámpara sustituida.

Como ya se ha comentado con anterioridad, esta circunstancia se ha controlado y no se ha realizado ninguna reposición en las vías objeto del estudio, a fin de no introducir sesgos en la recogida de los datos. En el transcurso del periodo de estudio tampoco se hecho necesario el sustituir ninguna lámpara, lo que hubiera supuesto la anulación de los datos obtenidos de esa vía. Cabe suponer por tanto que la diferencia de nivel de iluminación entre el inicio y el final de la realización de las encuestas se debe tan solo a la depreciación del flujo luminoso de las lámparas durante los días en los que se administraron las encuestas y que se sitúa en los tres meses.

Una vez administradas las encuestas, a cada una de ellas se le asignó un código identificativo para facilitar la codificación de los datos. En primer lugar se procedió a la codificación de las respuestas recogidas. Para ello, se utilizó una metodología cualitativa estableciendo categorías en las que se incluían las respuestas en formato abierto recogidas en la encuesta.

Con estas premisas se han introducido los datos ordenadamente en una hoja de cálculo de forma que todos los datos que contiene cada encuesta están codificados con un número lo que permite las ordenaciones y operaciones de tratamiento posteriores de forma automatizada con los programas y aplicaciones utilizadas usualmente. La tabla final de resultados se incorpora como Anexo VI.

En este caso, los datos recopilados y presentados en formato hoja de cálculo han sido tratados con la aplicación SPSS 20.0 Statistics Package, usualmente empleada en el de tratamiento de datos y que garantiza la ausencia de errores en esta fase de la investigación (George, Mallery, 2003).

Además de la caracterización sociológica de la muestra, que se describe con detalle en el epígrafe 4.5 relativo a “participantes”, se han obtenido valores estadísticos de las respuestas calculados como se menciona antes a partir de los datos mecanizados. En concreto se han evaluado las medias de las respuestas para cada

pregunta. Esta obtención de las medias se ha realizado de forma independiente para las calles con luz blanca y con luz amarillo-sodio.

De esta forma se pueden obtener representaciones de las respuestas en función de los valores luminotécnicos desagregados por color de la luz, de forma que se pueden estudiar si existen variaciones en función de esta componente.

También se ha evaluado las medias de forma global, sin distinción del tipo de luz del vial, de forma que se utiliza este dato para obtener información general sobre las respuestas.



#### 4.5.- PARTICIPANTES

La muestra utilizada en el presente estudio se compone de 266 viandantes seleccionados aleatoriamente entre los que circulaban por las calles seleccionadas y en los periodos referidos.

La distribución de los encuestados por edad se asemeja bastante a la pirámide poblacional española. En el gráfico 4.2 se muestra.

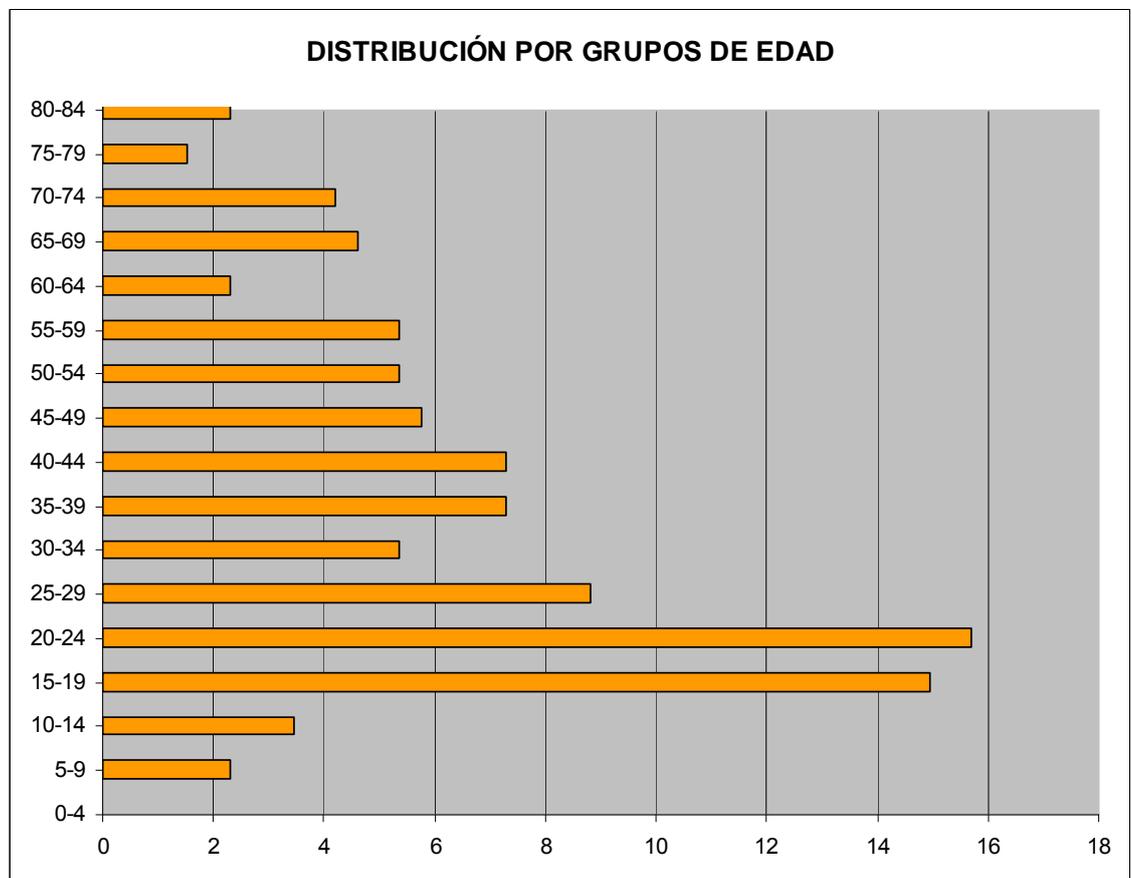
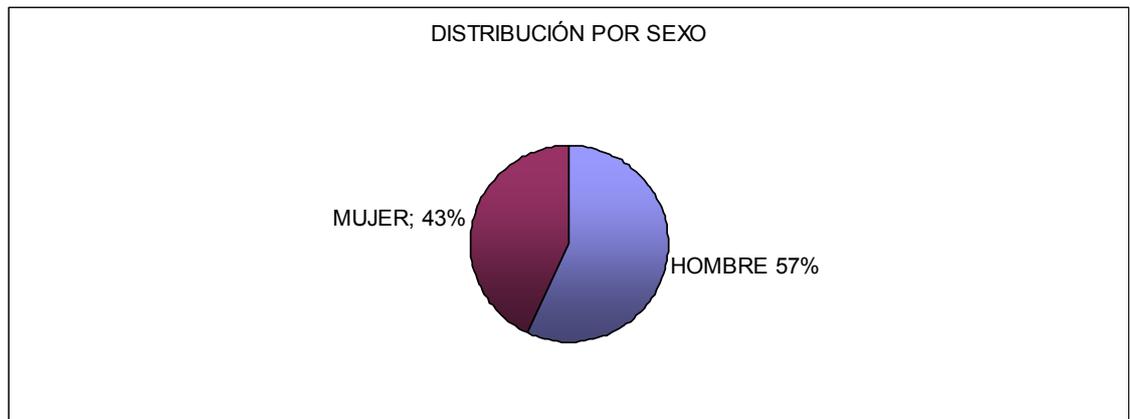


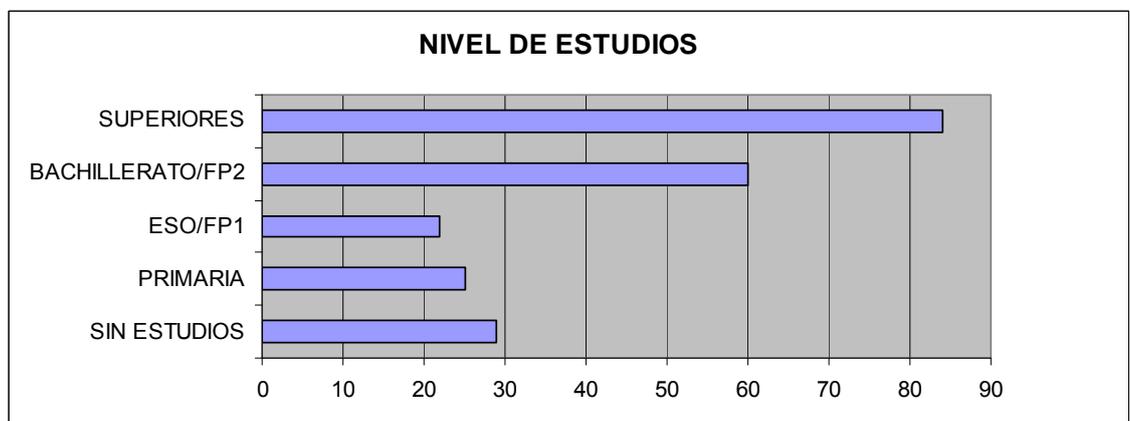
Gráfico 4. 2 Distribución de los encuestados por grupos de edad

La distribución por sexo de la muestra utilizada es la representada en el gráfico 4.3.



**Gráfico 4. 3 Distribución de los encuestados por sexo**

En relación al nivel de estudios de la muestra utilizada, se representa en el gráfico 4.4



**Gráfico 4. 4 Nivel de estudios de los encuestados**





## 5.- RESULTADOS

### 5.1.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Una vez que se realizaron todas las encuestas en las diferentes calles seleccionadas para este trabajo se ha procedido a la mecanización de los resultados y su posterior tratamiento estadístico como ya se comentó en el apartado anterior.

De esta forma, se puede realizar aquí la presentación de los resultados obtenidos de forma general y que se muestran en la tabla 5.1 donde se muestran, para cada cuestión, las medias y desviaciones típicas para cada una de las calles y la media para cada cuestión.

En la tabla 5.2 se muestran las medias para cada cuestión pero desagregadas por color de la luz, de forma que obtenemos puntuaciones separadas para luz blanca y luz amarillo sodio. Se complementa además con su diferencia relativa

Calle	MRL		ALH		MSN		AGA		STB		
$E_m$ (lux)	57,23		47,46		29,72		22,38		14,63		Media
$U_g$	0,57		0,34		0,38		0,58		0,44		
Punt.	Med.	Desv.									
Q1	3,55	1,02	2,56	1,20	2,79	0,88	2,22	0,97	2,83	1,31	2,79
Q2	3,49	0,75	3,13	0,87	2,84	0,66	2,11	1,20	2,64	1,08	2,84
Q3	3,73	0,80	2,98	1,05	3,17	0,78	2,22	0,85	2,72	1,02	2,96

Q4	3,50	0,87	3,38	0,97	3,05	0,77	2,36	1,25	2,80	1,19	3,02
Q5	3,42	0,89	2,91	1,19	2,88	0,88	2,83	1,54	3,35	1,18	3,08
Q6	3,49	1,07	3,25	1,03	2,86	0,93	3,00	1,43	2,66	1,24	3,05
Q7	3,44	1,15	3,27	1,12	2,58	1,09	2,28	1,54	2,49	1,40	2,81
Q8	3,67	1,02	3,13	1,07	2,68	1,06	1,72	1,04	2,28	1,25	2,70
Q9	3,54	1,08	3,44	1,06	2,79	0,85	2,11	1,43	2,66	1,29	2,91
Q10	3,68	0,87	3,33	0,91	3,02	1,00	2,42	0,98	2,79	0,92	3,05
Q11	3,89	0,94	3,60	1,10	3,02	0,76	2,22	1,44	3,41	1,00	3,23

Tabla 5. 1 Resumen de resultados obtenidos de todas las cuestiones

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
<i>AvA</i>	3,06	2,99	3,20	3,12	3,22	3,00	2,84	2,88	3,00	3,16	3,44
<i>AvW</i>	2,39	2,62	2,60	2,87	2,87	3,13	2,78	2,43	2,78	2,88	2,91
<i>RD</i>	22	12	19	8	11	- 4	2	16	7	9	15

Tabla 5. 2 Promedios de las puntuaciones a cada pregunta según el color de la luz ( para luz amarilla sodio y para luz blanca) y su diferencia relativa,  $RD(\%) = \frac{AvA - AvW}{AvA} \cdot 100$ .

En cuanto a las correlaciones, se muestra en la tabla 5.3 los valores obtenidos para las diferentes cuestiones.

TABLA DE COEFICIENTES DE CORRELACIÓN	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
Q1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q2	0,493**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q3	0,345**	0,382**	-	-	-	-	-	-	-	-
Q4	0,279**	0,447**	0,350**	-	-	-	-	-	-	-
Q5	0,030	-0,042	0,109	-0,031	-	-	-	-	-	-
Q6	0,213**	0,315**	0,240**	0,323**	0,017	-	-	-	-	-
Q7	0,030	0,061	0,136*	0,010	0,343**	-0,070	-	-	-	-
Q8	0,176**	0,348**	0,328**	0,251**	0,213**	0,238**	0,474**	-	-	-
Q9	0,087	0,116	0,268**	0,125*	0,372**	-0,031	0,487**	0,493**	-	-
Q10	0,245**	0,394**	0,403**	0,409**	-0,029	0,330**	0,117	0,391**	0,196**	-
Q11	0,191**	0,201**	0,367**	0,235**	0,148*	0,178**	0,181**	0,284**	0,338**	0,440**

**Tabla 5. 3 Coeficientes de correlación de Pearson. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$**

Para una más fácil interpretación se muestran las calles objeto de la investigación ordenadas por su nivel decreciente de iluminancia media  $E_m$ , expresada en *lux* y medida conforme se establece en el capítulo 4 correspondiente a la determinación de los parámetros luminotécnicos de las instalaciones.

En columna adjunta también se representa la uniformidad global  $U_g$ , parámetro adimensional y que igual que en el caso anterior, se ha determinado siguiendo las indicaciones del capítulo 4.

En las columnas siguientes se muestran las medias de los resultados obtenidos para cada calle y separados en sendas columnas, una para las calles con luz blanca y otra para las calles de luz amarillo-sodio. De esta forma se puede establecer una doble relación aun a simple vista sobre el posible diferente comportamiento de las respuestas. Hay que resaltar que esta diferencia se realiza a los únicos efectos de intuir o vislumbrar tendencias y líneas de respuesta, sin que conlleve sesgo o errores en el tratamiento posterior de los datos. Como se verá más adelante, esta forma de tratar los datos incorpora mucha más claridad a la interpretación de resultados.

Finalmente, en la última fila de las tablas 5.4 a 5.14 se representan las medias de puntuación obtenidas considerando el tipo de luz de la vía, de formas que se puede obtener una cifra general para viales de luz blanca y otra cifra como media de los viales con luz amarillo-sodio.

1.- ¿Le gusta la iluminación de esta calle?				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,55
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	2,56	
MSN Mesones	29,72	0,18		2,79
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,22	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,83
		Medias	2,39	3,06

Tabla 5. 4 Valores medios para la cuestión 1

2.- ¿Le gusta el color de luz de esta calle?				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,49
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	3,13	
MSN Mesones	29,72	0,18		2,84
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,11	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,64
		Medias	2,62	2,99

Tabla 5. 5 Valores medios para la cuestión 2

3.- ¿cómo de intenso cree usted que es el alumbrado público de esta calle?				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,73
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	2,98	
MSN Mesones	29,72	0,18		3,17
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,22	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,71
		Medias	2,60	3,20

Tabla 5. 6 Valores medios para la cuestión 3

4.- ¿Cree usted que el número de farolas en esta calle es suficiente?				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,50
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	3,38	
MSN Mesones	29,72	0,18		3,05
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,36	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,80
		Medias	2,87	3,12

Tabla 5. 7 Valores medios para la cuestión 4

5.- ¿cree usted que la iluminación de esta calle podría influir sobre posibles accidentes (Tráfico, caídas de peatones,...)?				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,42
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	2,91	
MSN Mesones	29,72	0,18		2,88
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,83	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		3,35
		Medias	2,87	3,22

Tabla 5. 8 Valores medios para la cuestión 5

6.- ¿cómo de seguro se siente usted cuando camina por esta calle en horario nocturno?				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,49
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	3,25	
MSN Mesones	29,72	0,18		2,86
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	3,00	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,66
		Medias	3,13	3,00

Tabla 5 9 Valores medios para la cuestión 6

7.- Valore el nivel de estrés que sufre al pasear por esta calle en horario nocturno.				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,44
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	3,27	
MSN Mesones	29,72	0,18		2,58
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,28	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,49
		Medias	2,78	2,84

Tabla 5. 10 Valores medios para la cuestión 7

8.- ¿Le produce el alumbrado público de esta calle algún tipo de molestia?				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,67
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	3,13	
MSN Mesones	29,72	0,18		2,68
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	1,72	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,28
		Medias	2,43	2,88

Tabla 5. 11 Valores medios para la cuestión 8

9.- ¿Influye la iluminación de esta calle sobre su estado de ánimo?				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,54
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	3,44	
MSN Mesones	29,72	0,18		2,79
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,11	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,66
		Medias	2,78	3,00

Tabla 5. 12 Valores medios para la cuestión 9

10.- Valore en términos generales la calidad de la iluminación de esta calle				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	Ug	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,68
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	3,33	
MSN Mesones	29,72	0,18		3,02
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,42	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		2,79
		Medias	2,88	3,16

Tabla 5. 13 Valores medios para la cuestión 10

11.- ¿Cómo de conforme estaría usted con la reducción de la intensidad del alumbrado público para ahorrar energía				
NIVEL DE ILUMINACIÓN			COLOR DE LA LUZ	
	Em (Lux)	U <sub>g</sub>	Blanco	Amarillo Sodio
MRL Mirlo	57,23	0,38		3,89
ALH Alhóndiga	47,46	0,19	3,60	
MSN Mesones	29,72	0,18		3,02
AGA Agustina de Aragón	22,38	0,42	2,22	
STB Santa Bárbara	14,63	0,23		3,41
		Medias	2,91	3,44

Tabla 5. 14 Valores medios para la cuestión 11

Con estos datos y con los demás parámetros considerados y que se muestran en la tabla 4.3 se realizan las gráficas que aparecen a continuación designadas de la 5.1 a la 5.66 para cada una de las cuestiones realizadas.

Para el caso de las iluminancias medias  $E_m$  y las uniformidades globales  $U_g$ , se han representado por un lado las líneas de unión de los puntos considerando todas las respuestas en una sola serie y por otro lado considerando las respuestas como dos series, una de luz blanca y otra de luz amarillo-sodio.

Para la pregunta número 1, “¿Le gusta la iluminación de esta calle?”, se representan en los gráficos 5.1 al 5.5 las medias de respuestas obtenidas en función del nivel de iluminación obtenido y de los demás parámetros luminotécnicos.

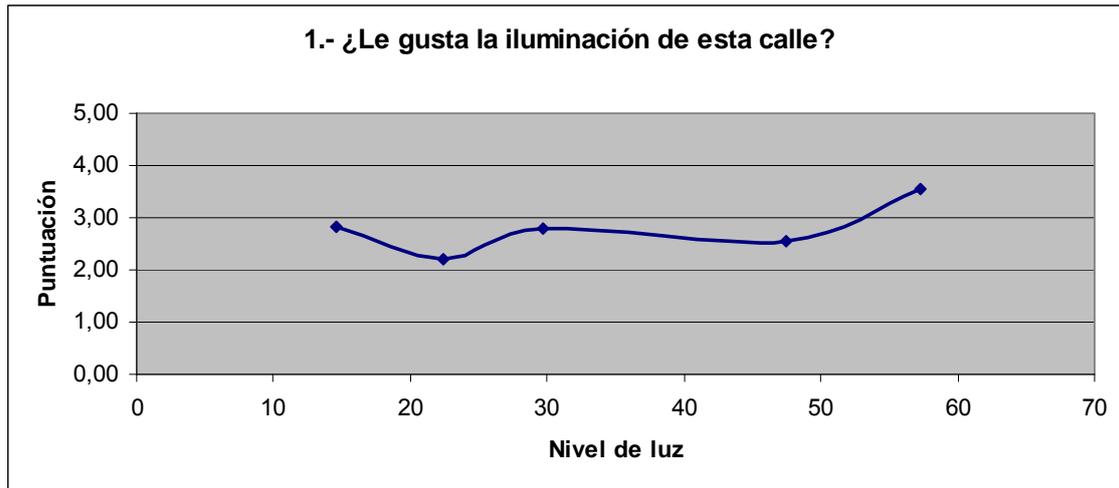


Gráfico 5. 1 Representación de las puntuaciones en función de la iluminancia media para la cuestión 1

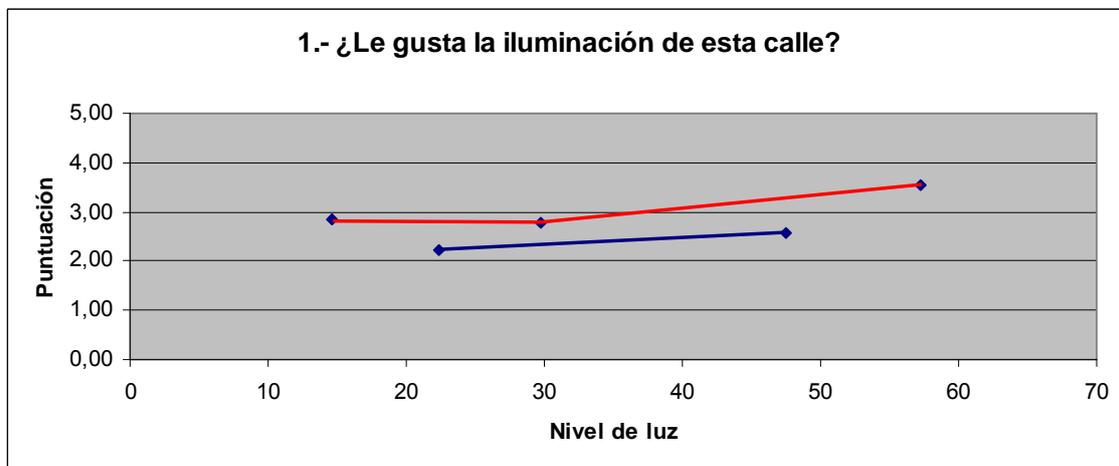


Gráfico 5. 2 Representación de las puntuaciones en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 1. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

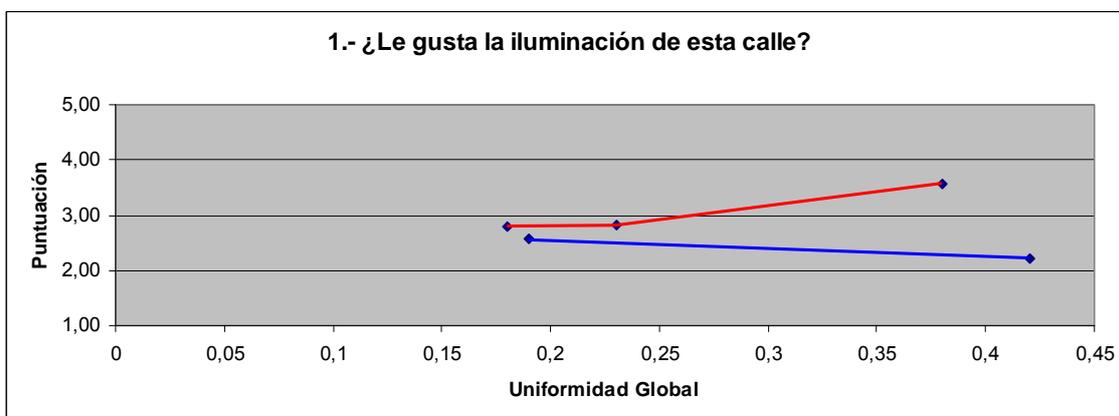


Gráfico 5. 3 Representación de las puntuaciones en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 1. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

Cuando se relaciona con otros parámetros de la instalación como sobreiluminación y Temperatura de Color Correlacionada se obtienen los gráficos 5.4 y 5.5 con los resultados.

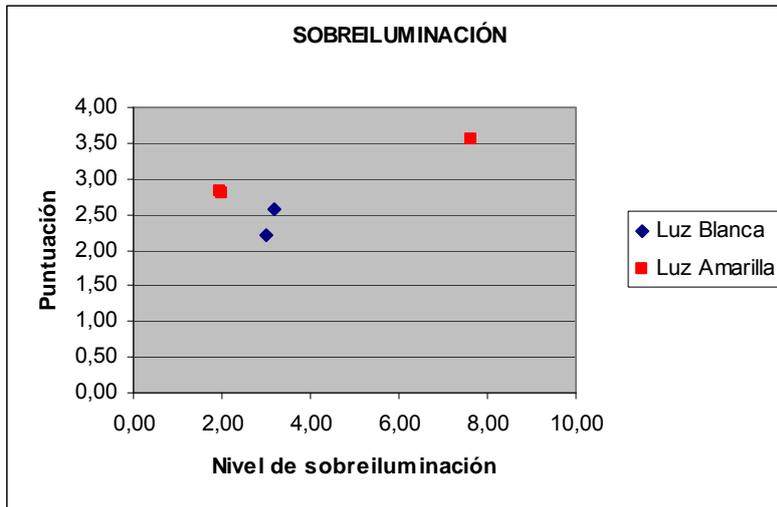


Gráfico 5. 4 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 1

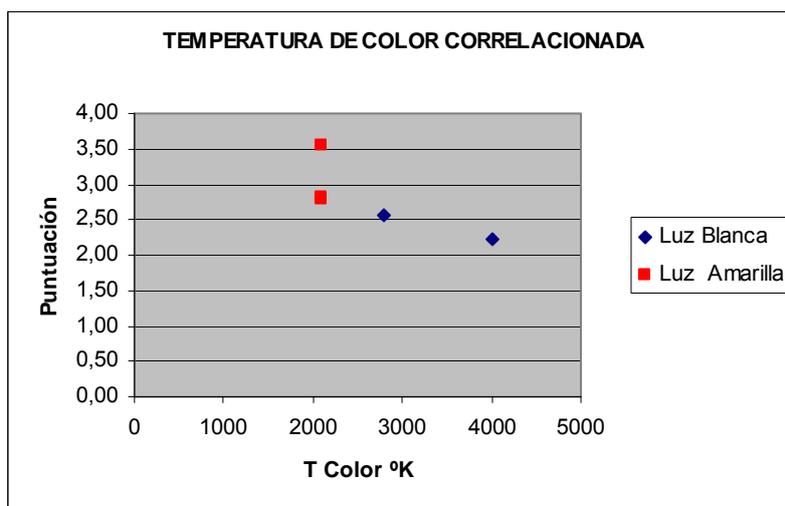


Gráfico 5. 5 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 1

Para la cuestión 2, “¿Le gusta el color de luz de esta calle?”, los resultados obtenidos son los reflejados en los gráficos 5.6 a 5.10.

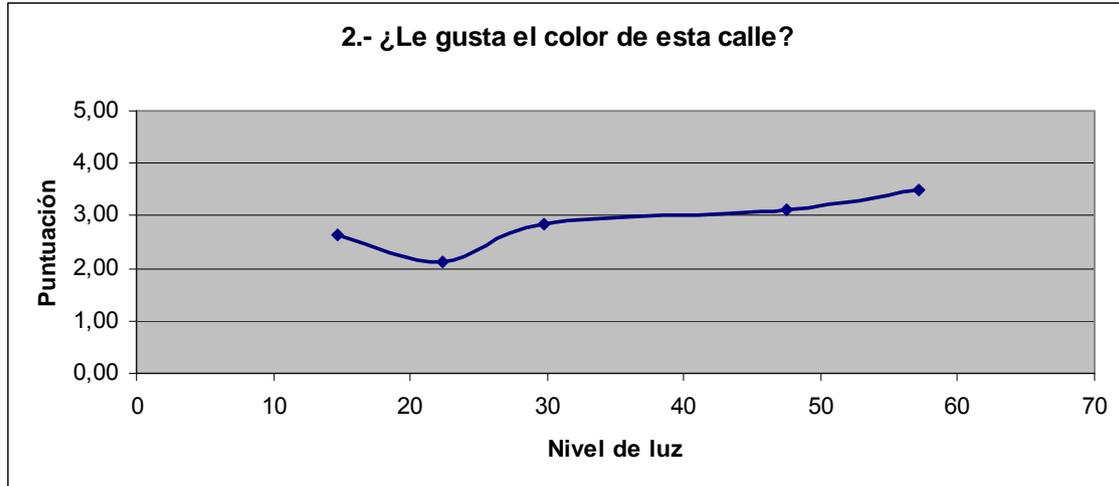


Gráfico 5. 6 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 2

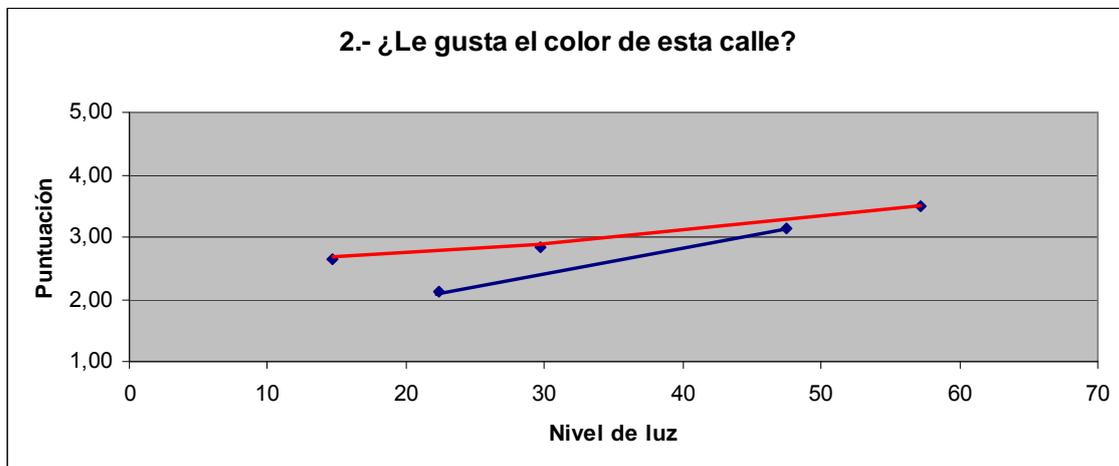


Gráfico 5. 7 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 2. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

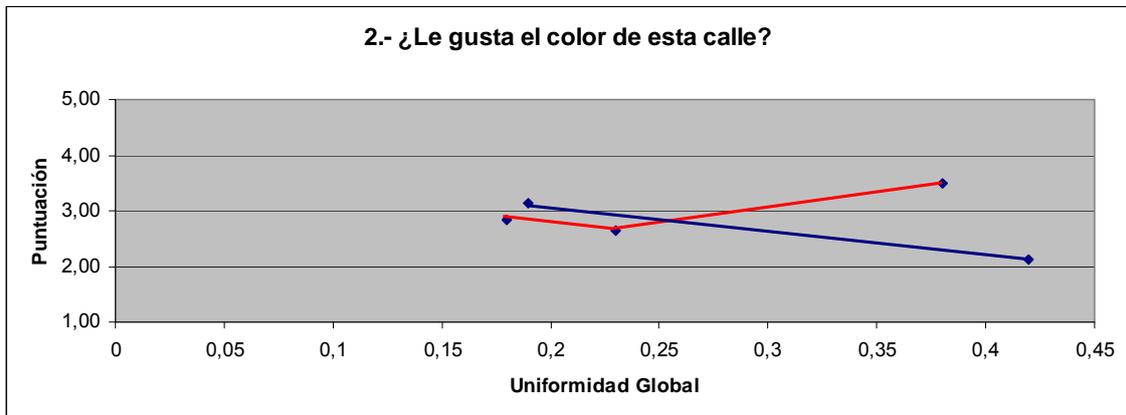


Gráfico 5. 8 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 2. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

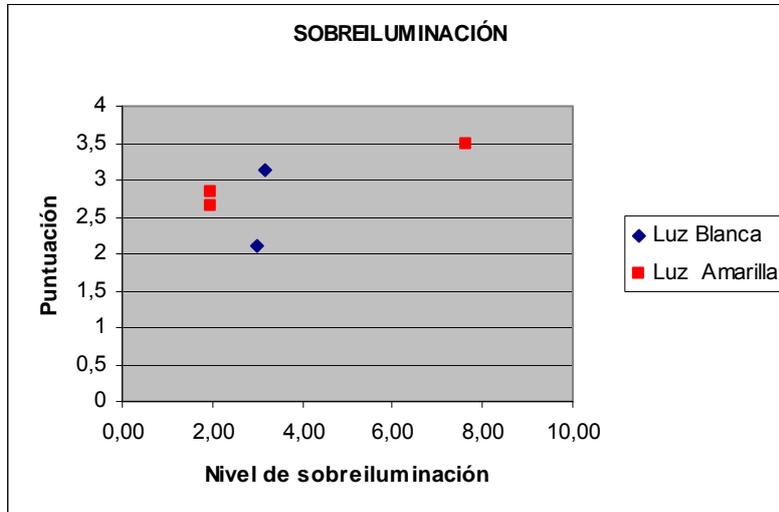


Gráfico 5. 9 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 2

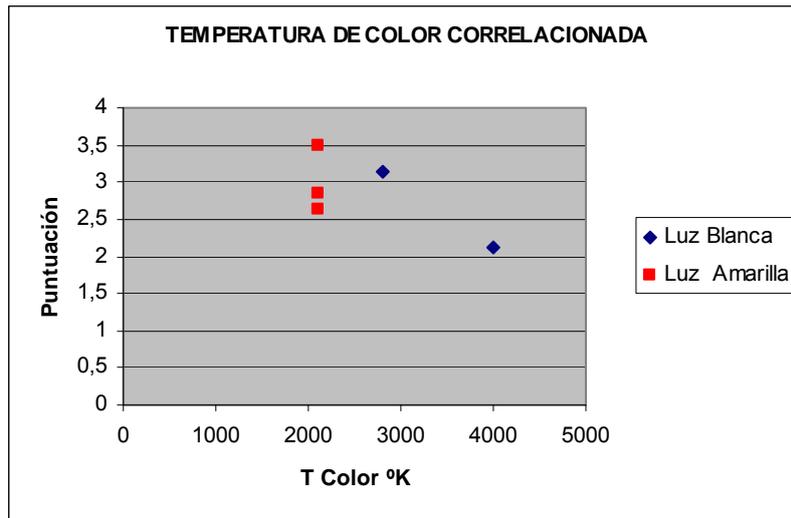


Gráfico 5. 10 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 2

Quando se trata de la cuestión 3, “¿cómo de intenso cree usted que es el alumbrado público de esta calle?”, los resultados obtenidos para todos los parámetros estudiados son los reflejados en los gráficos 5.11 a 5.15.

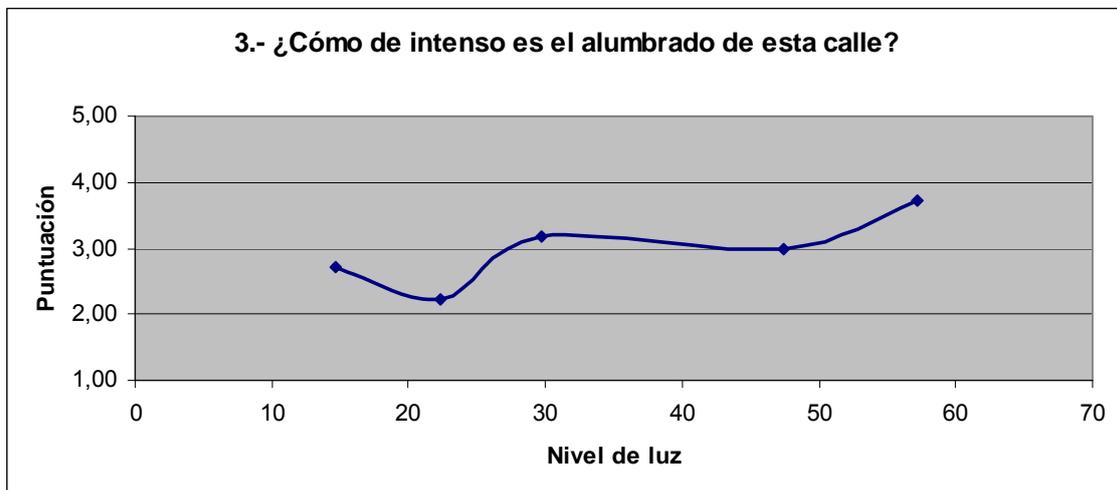


Gráfico 5. 11 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 3

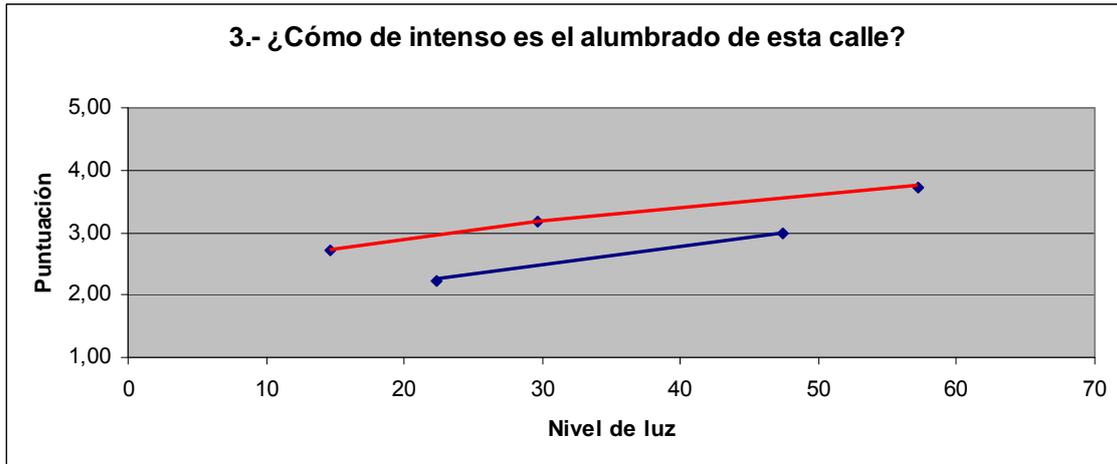


Gráfico 5. 12 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 3. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

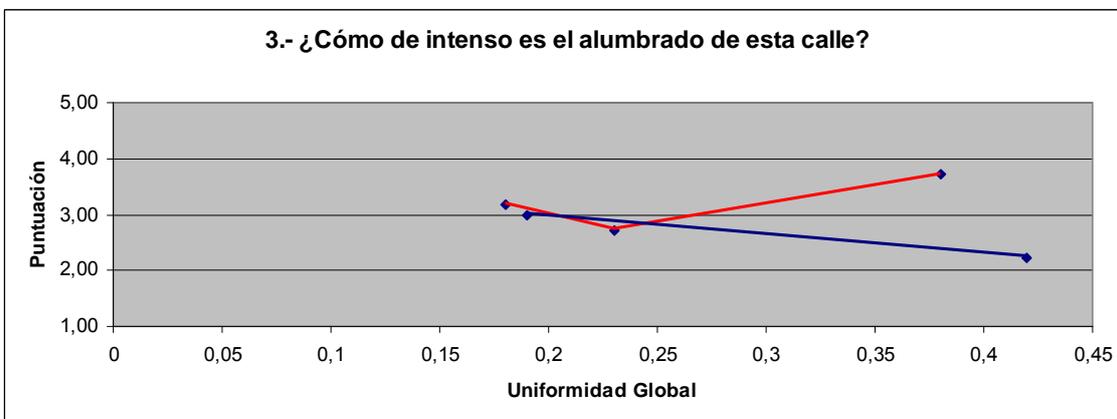


Gráfico 5. 13 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 3. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

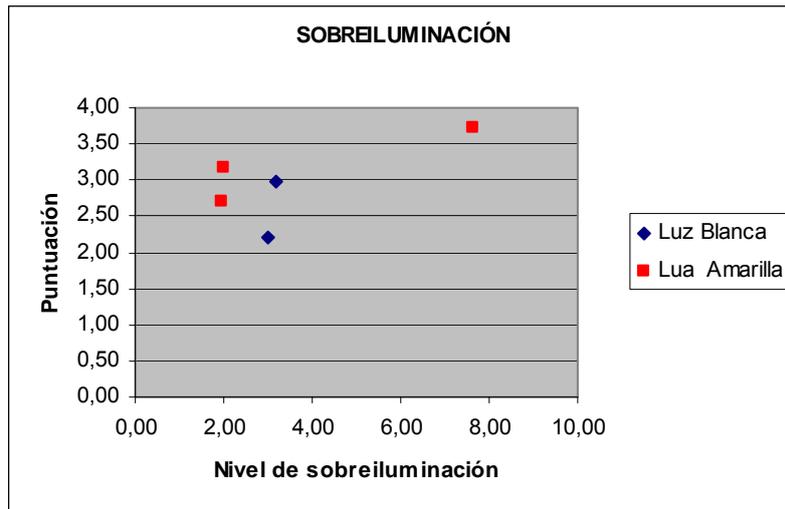


Gráfico 5. 14 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 3

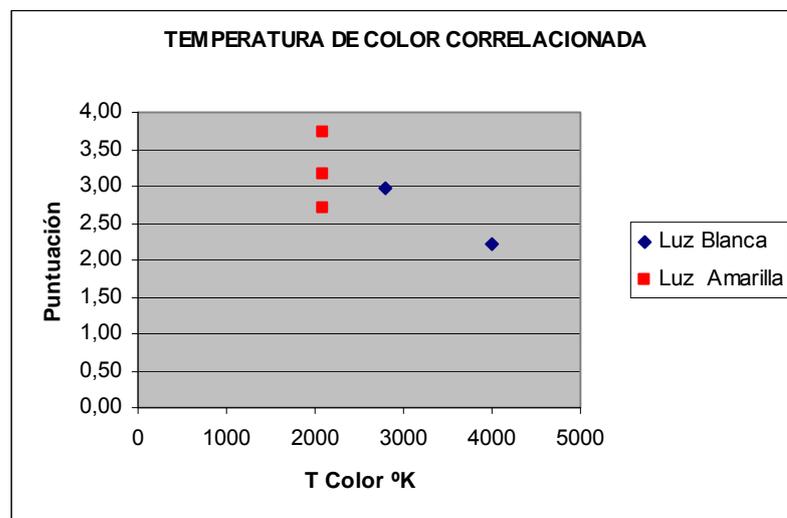


Gráfico 5. 15 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 3

Para la cuestión 4 “¿Cree usted que el número de farolas en esta calle es suficiente?”, los resultados obtenidos en función del color de luz y del resto de parámetros se muestran en los gráficos 5.16 a 5.20.

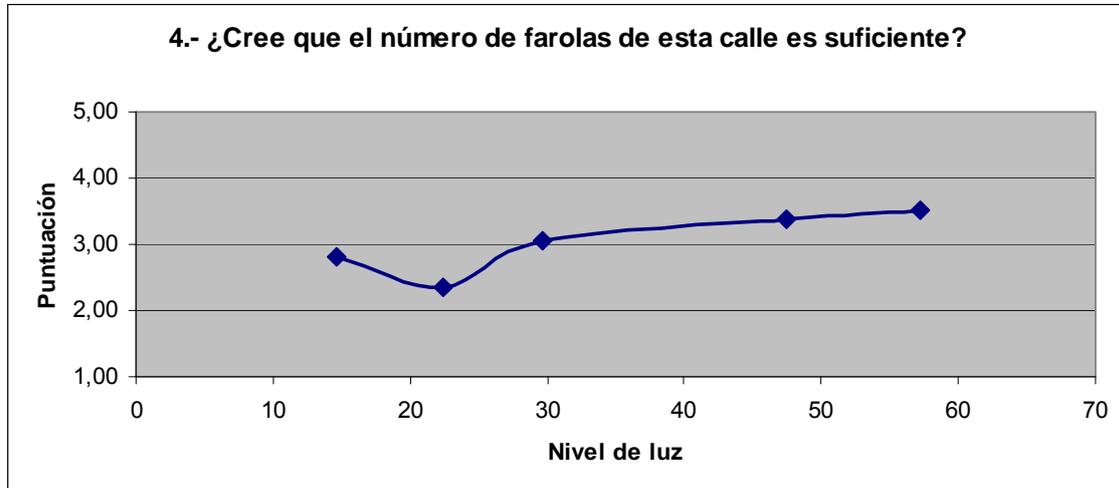


Gráfico 5. 16 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 4

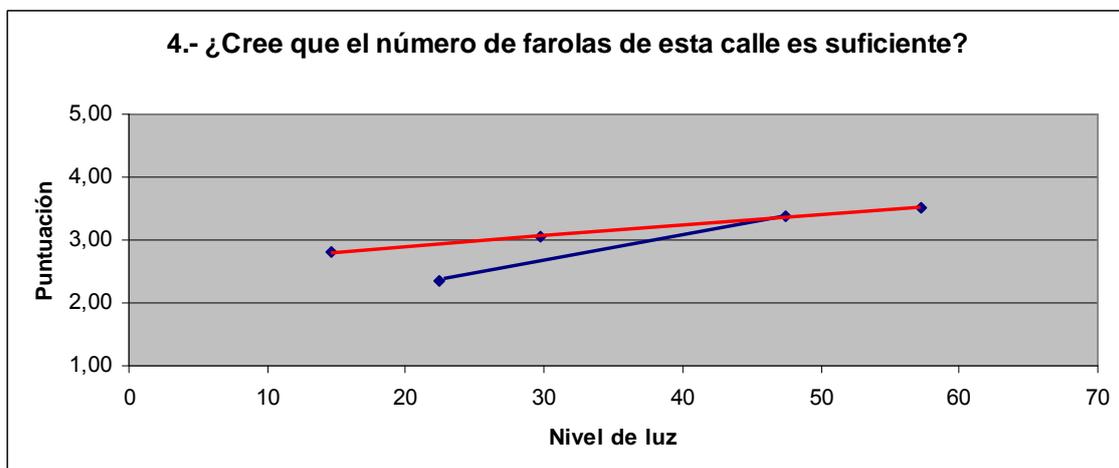


Gráfico 5. 17 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 4. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

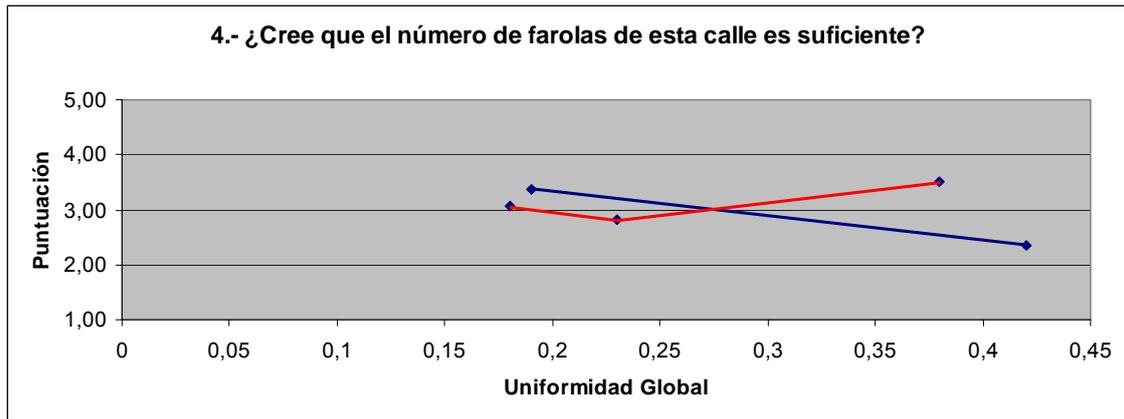


Gráfico 5. 18 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 4. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

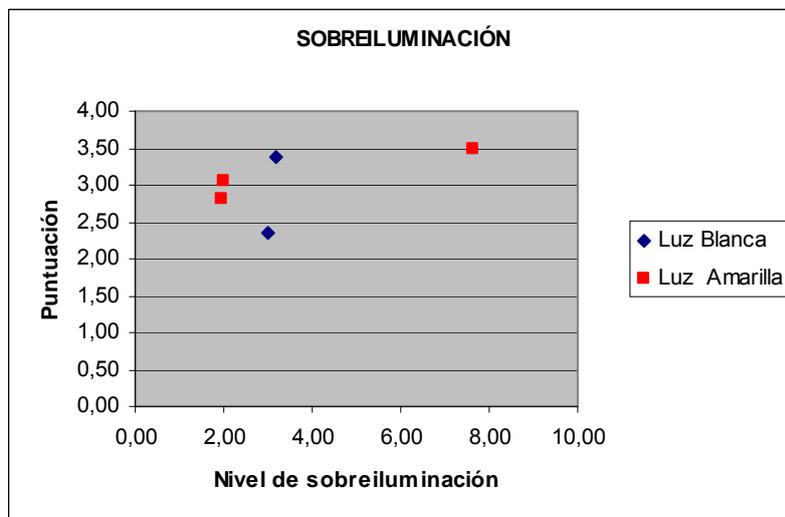
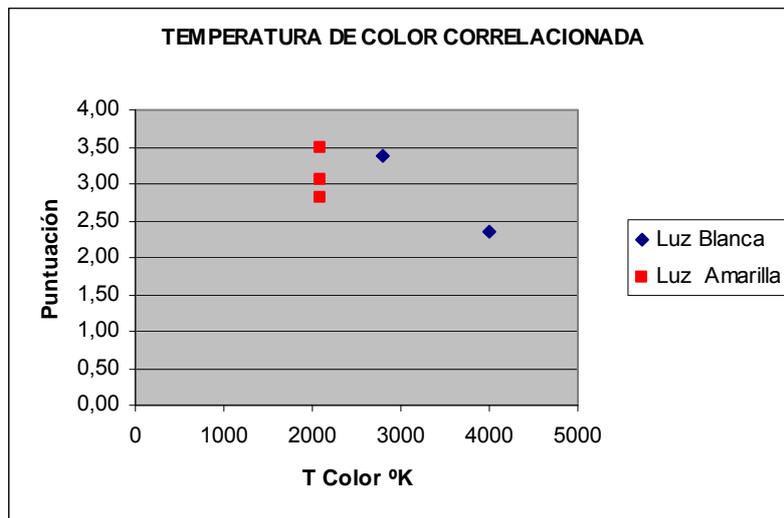


Gráfico 5. 19 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 4



**Gráfico 5. 20** Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la **cuestión 4**

Ante la pregunta 5, “¿cree usted que la iluminación de esta calle podría influir sobre posibles accidentes (Tráfico, caídas de peatones,...)?”, las respuestas recibidas se muestran en los gráficos 5.21 a 5.25.

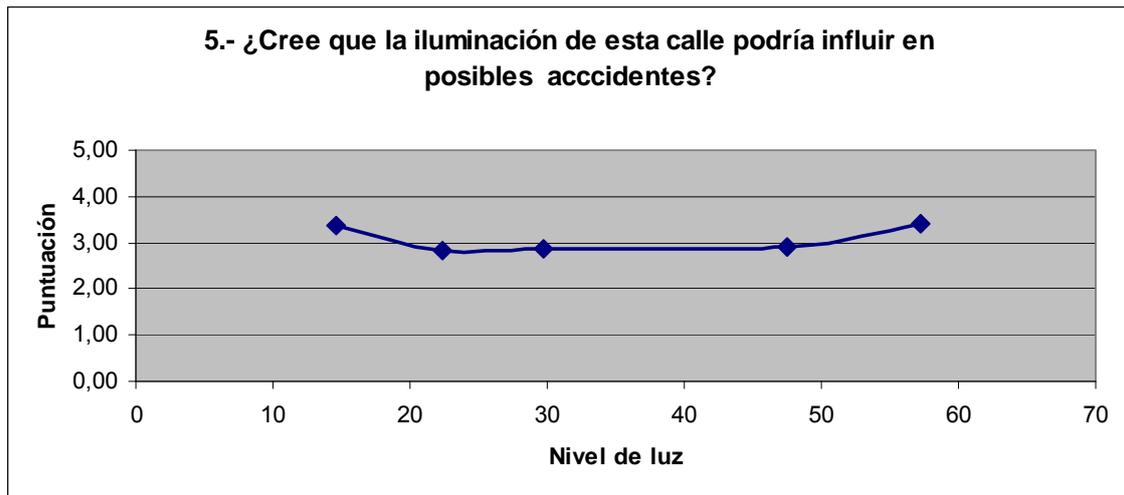


Gráfico 5. 21 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 5

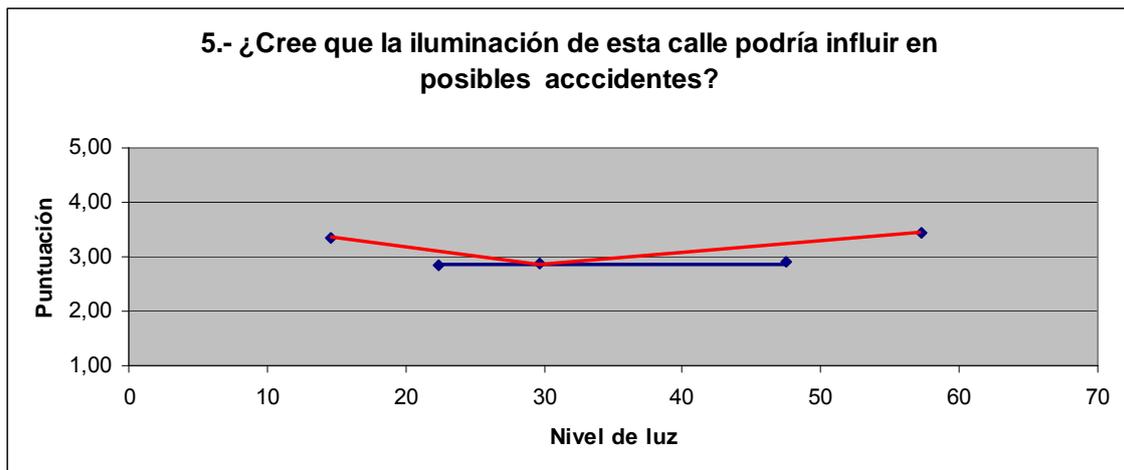


Gráfico 5. 22 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 5. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

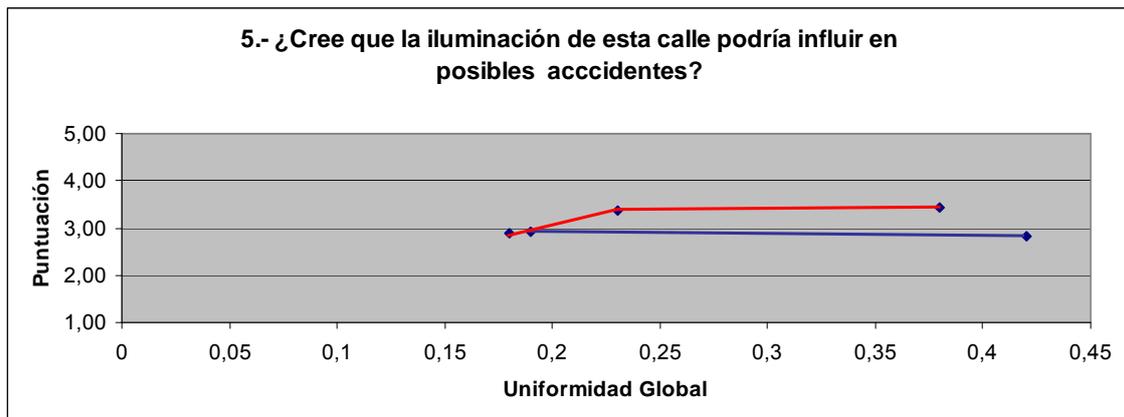


Gráfico 5. 23 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 5. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

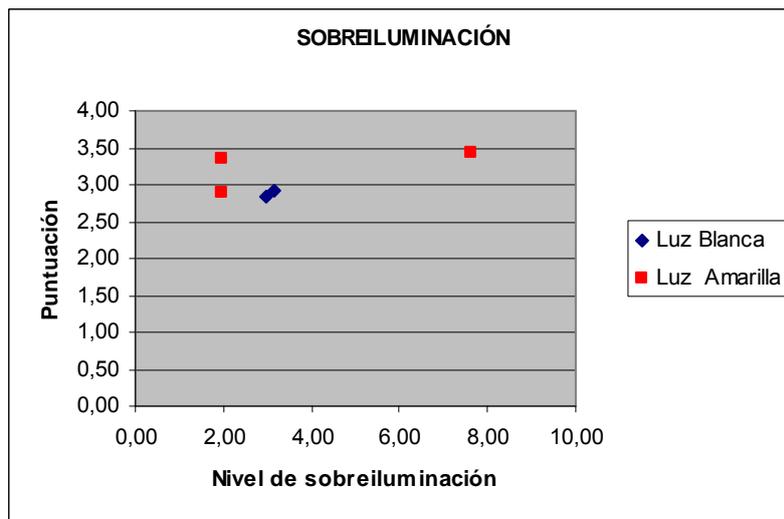


Gráfico 5. 24 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 5

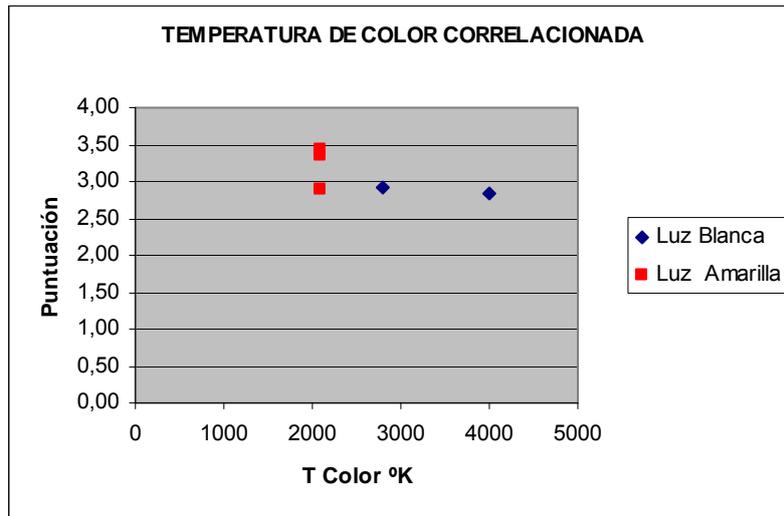


Gráfico 5. 25 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 5

La cuestión 6 de la investigación, que esta formulada como “¿cómo de seguro se siente usted cuando camina por esta calle en horario nocturno?”, Ha recibido las respuestas que originan los gráficos 5.26 a 5.30 que se adjuntan.

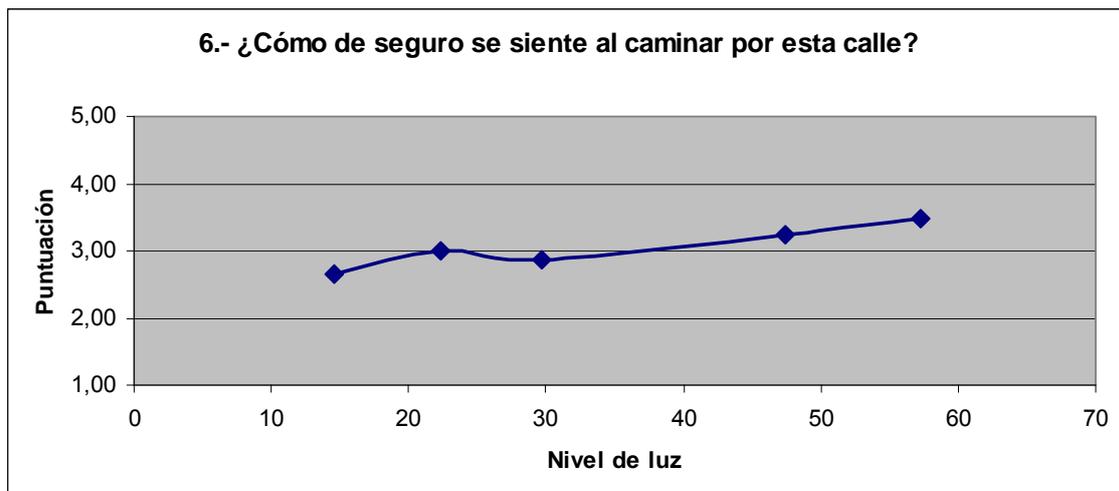


Gráfico 5. 26 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 6

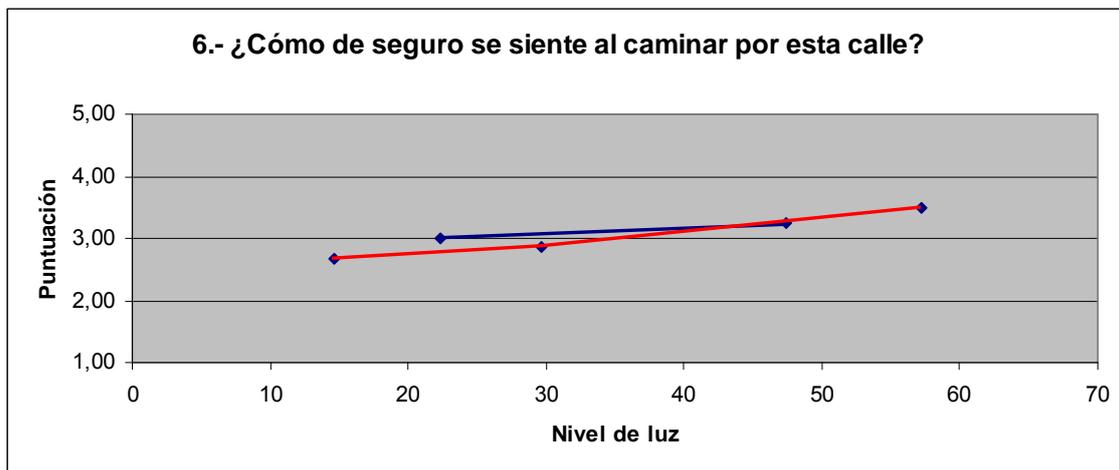


Gráfico 5. 27 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 6. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

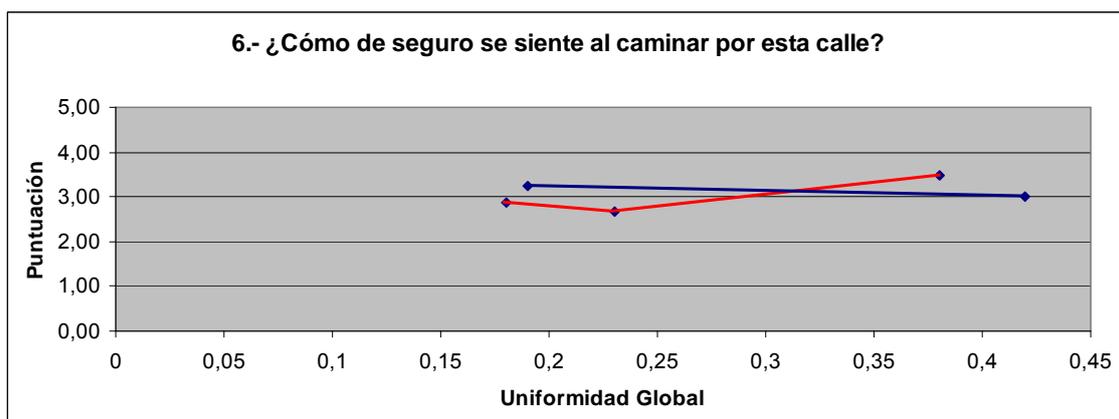


Gráfico 5. 28 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 6. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

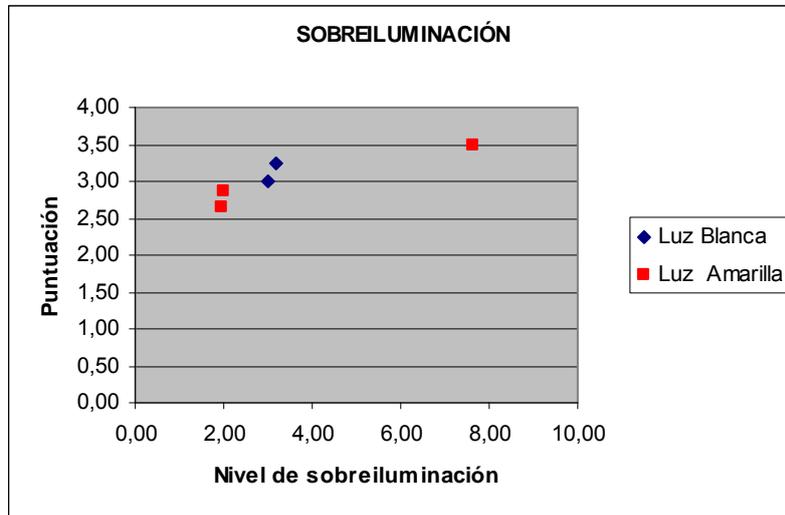


Gráfico 5. 29 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 6

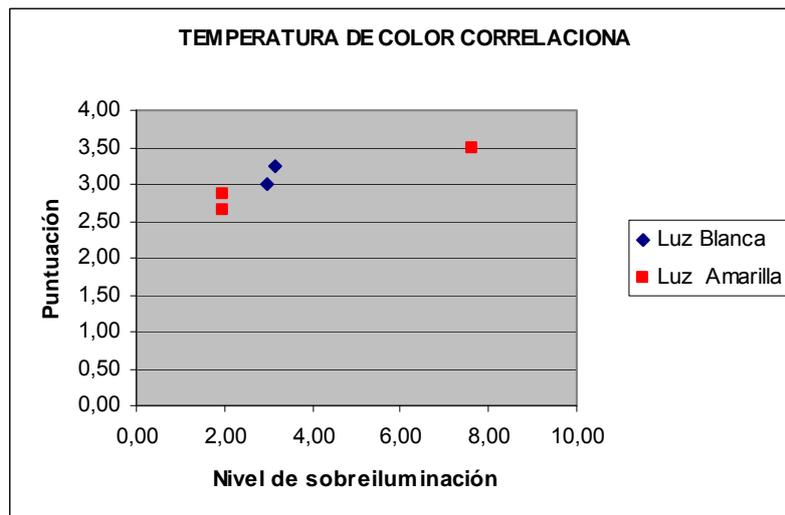


Gráfico 5. 30 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 6

De la cuestión 7, “Valore el nivel de estrés que sufre al pasear por esta calle en horario nocturno.”, han resultado los gráficos 5.31 a 5.35.

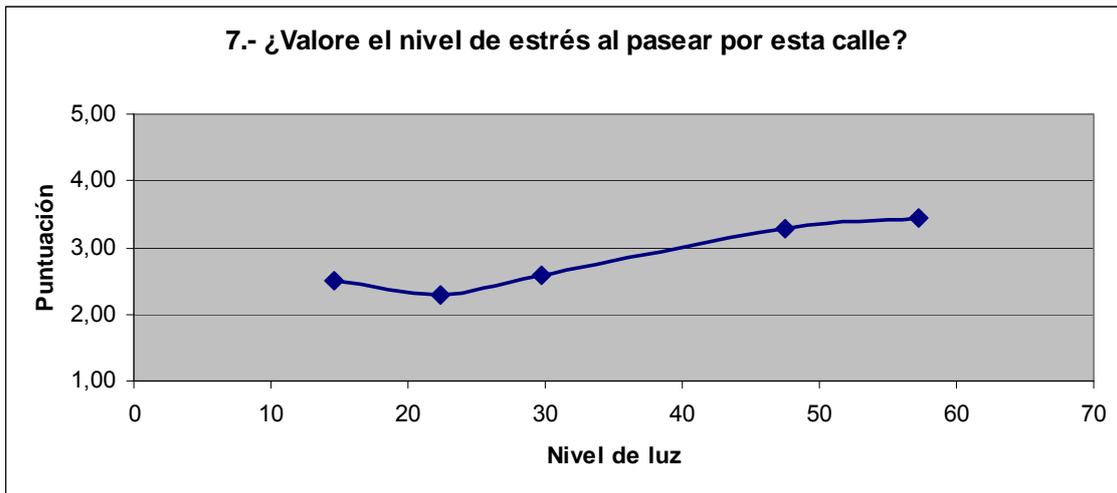


Gráfico 5. 31 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 7

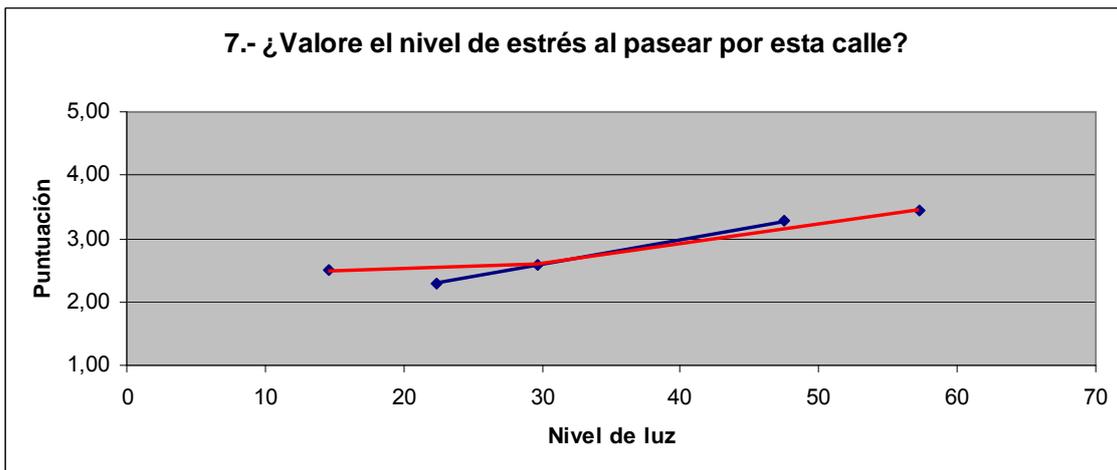


Gráfico 5. 32 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 7. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

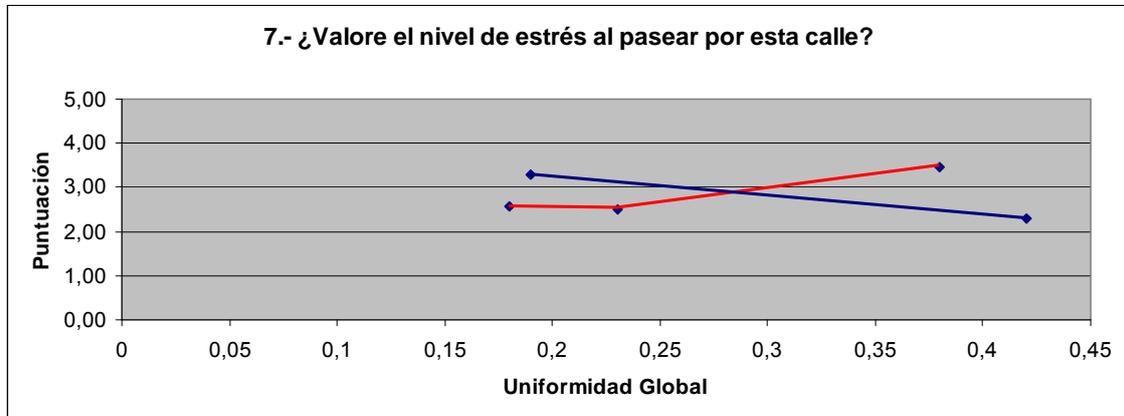


Gráfico 5. 33 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 7. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

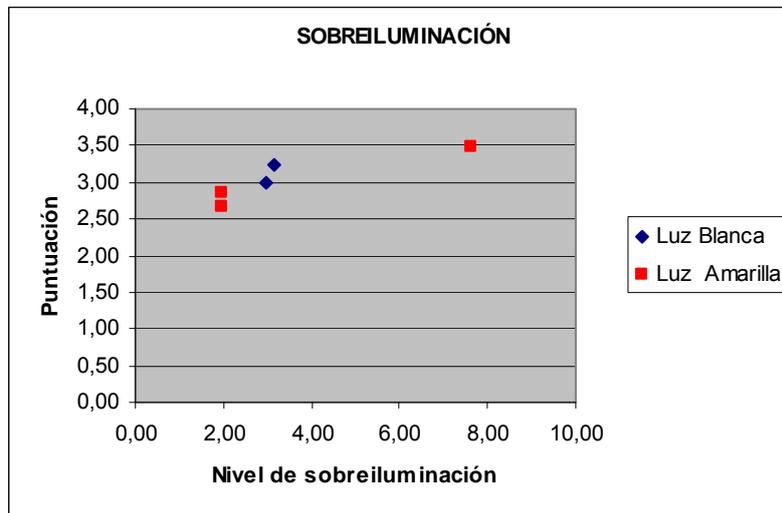


Gráfico 5. 34 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 7

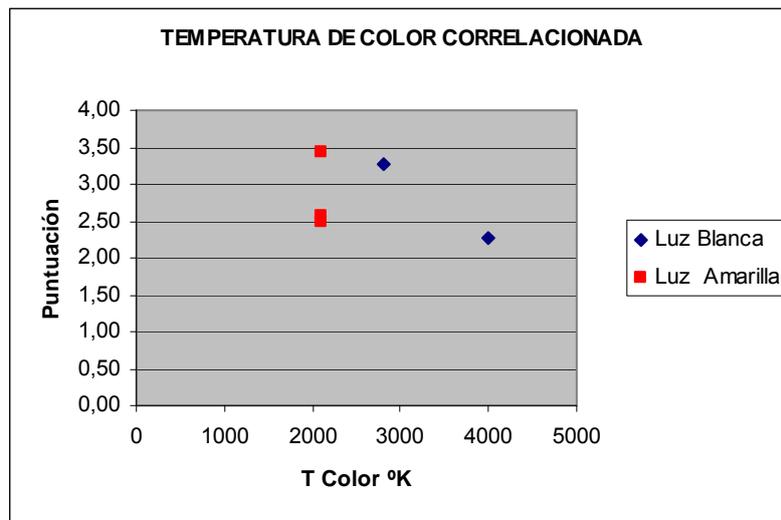


Gráfico 5. 35 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 7

La cuestión 8 se enuncia como “¿Le produce el alumbrado público de esta calle algún tipo de molestia?”, con los resultados mostrados en los gráficos 5.36 a 5.40.

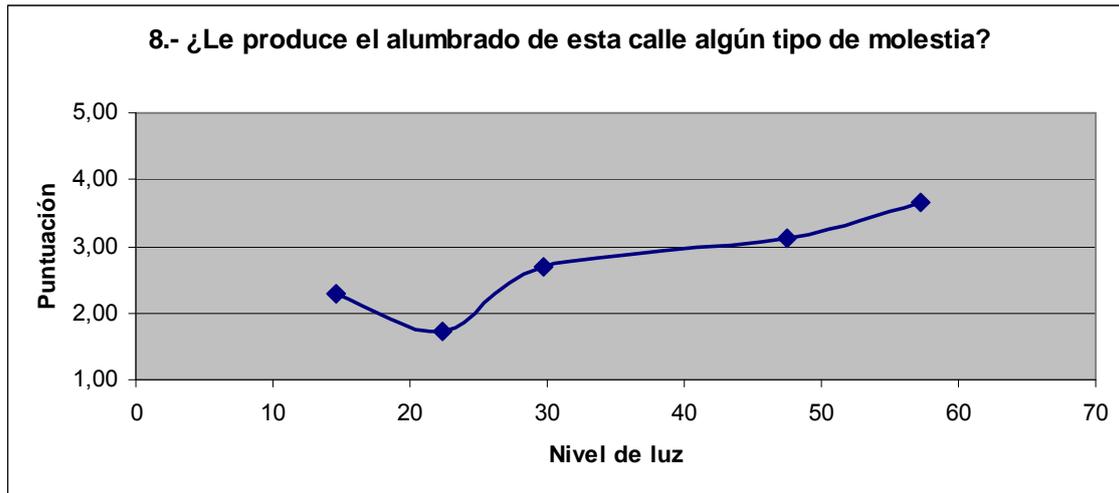


Gráfico 5. 36 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 8

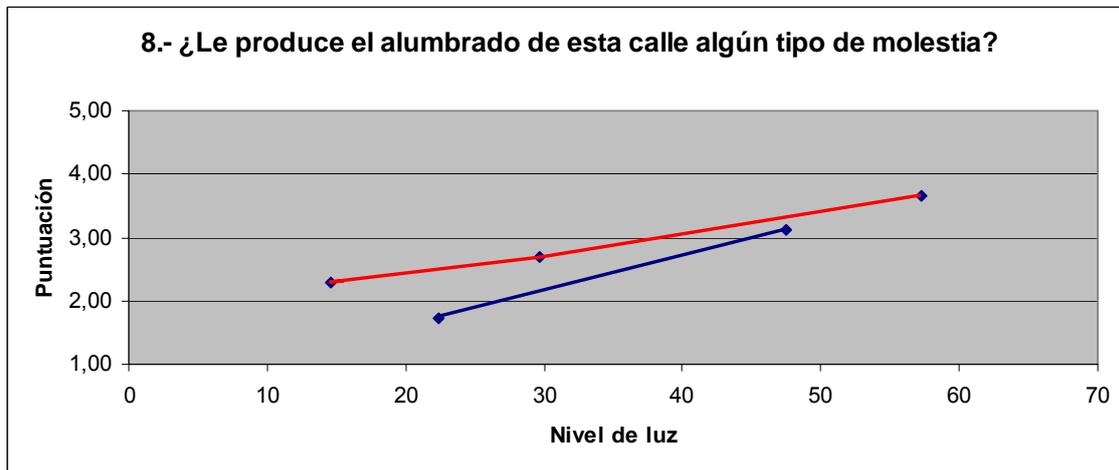


Gráfico 5. 37 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 8. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

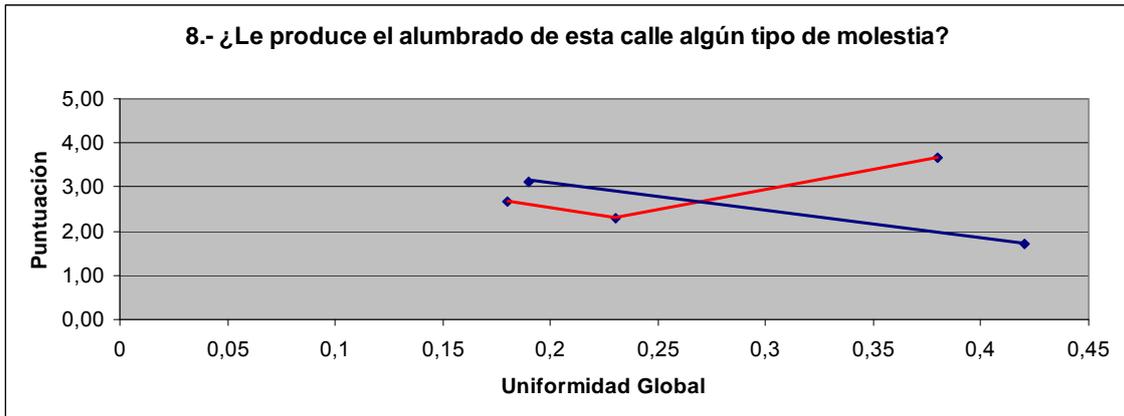


Gráfico 5. 38 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 8. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

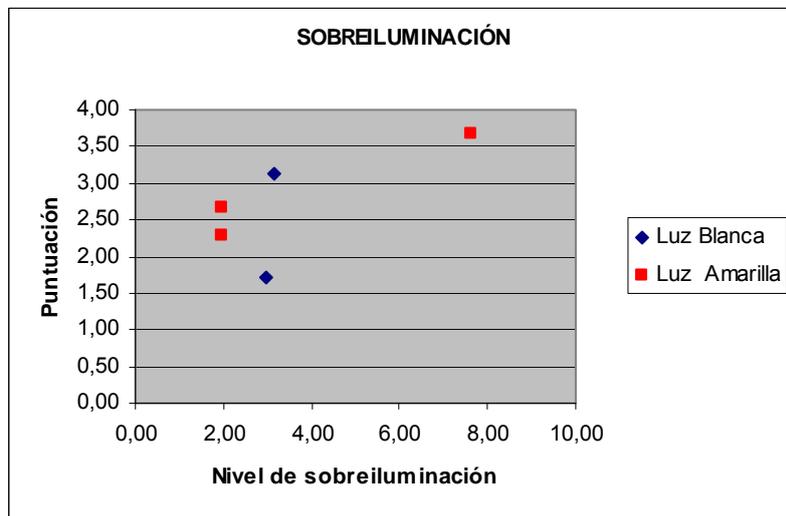


Gráfico 5. 39 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 8

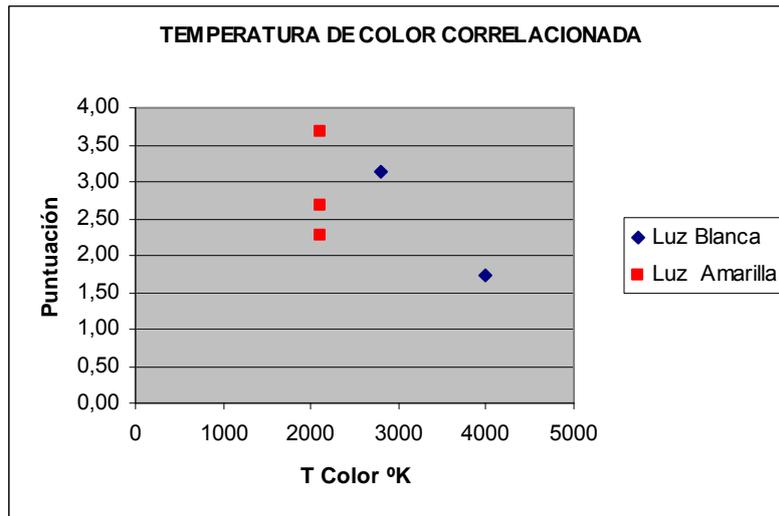


Gráfico 5. 40 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 8

La cuestión 9 es “¿Influye la iluminación de esta calle sobre su estado de ánimo?” y están representados sus datos en los gráficos 5.41 a 5.45.

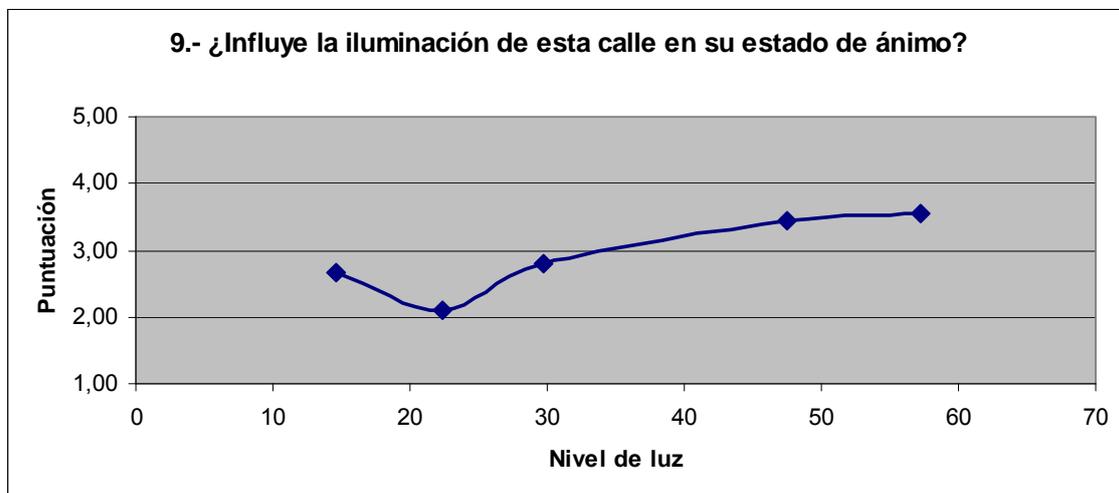


Gráfico 5. 41 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 9

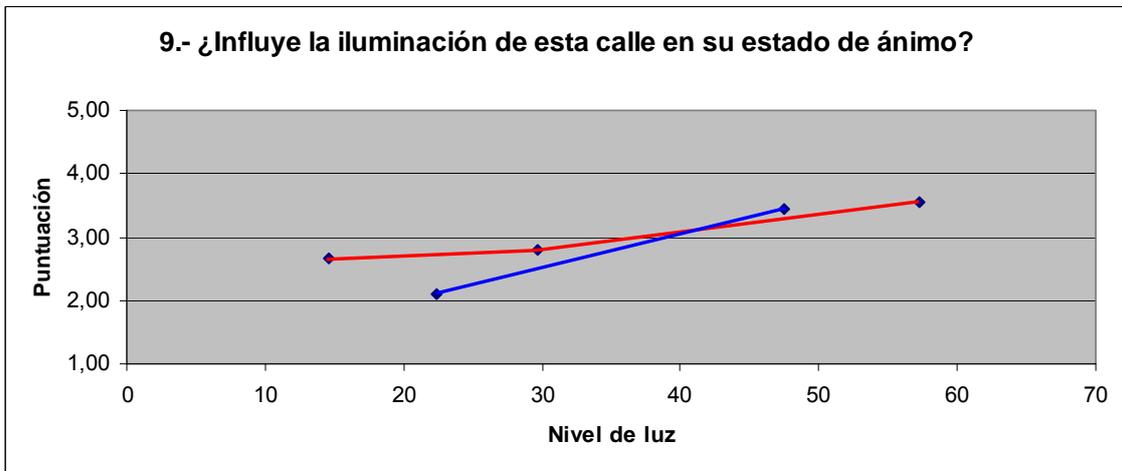


Gráfico 5. 42 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 9. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

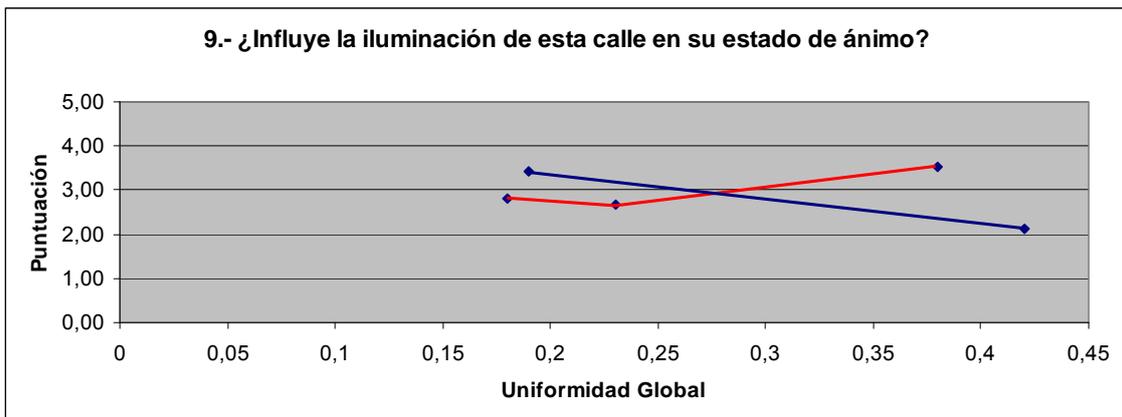


Gráfico 5. 43 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 9. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

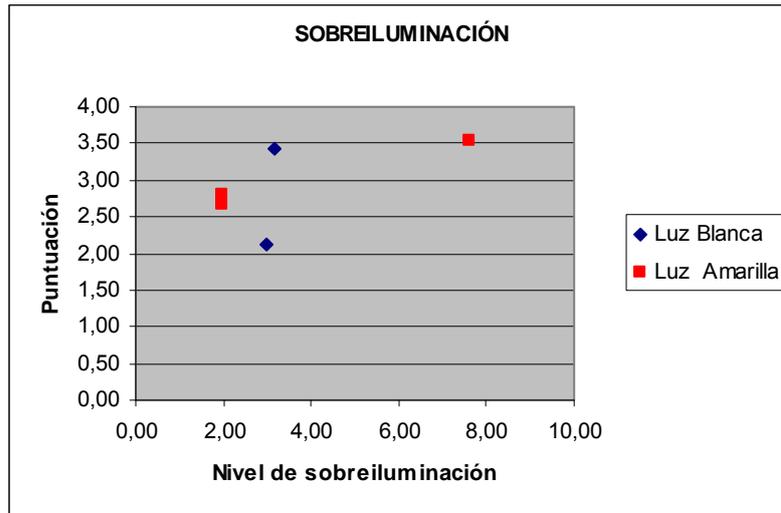


Gráfico 5. 44 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 9

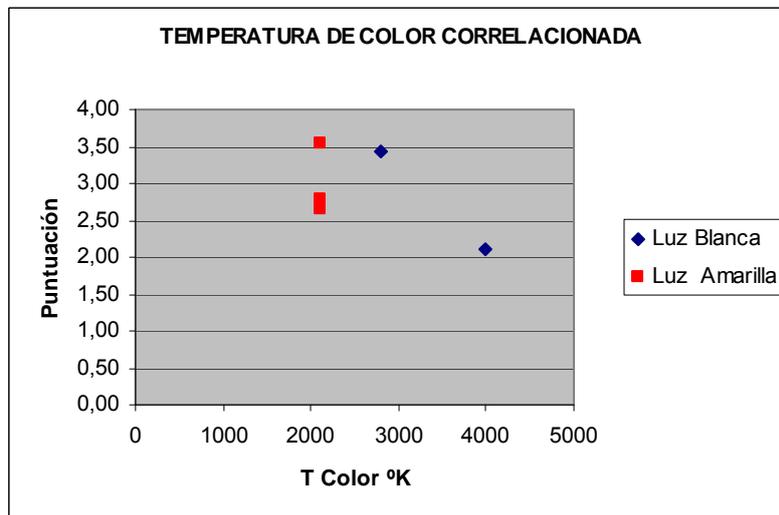


Gráfico 5. 45 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 9

En la cuestión 10 se le pedía a los entrevistados que “Valore en términos generales la calidad de la iluminación de esta calle” obteniéndose lo siguiente mostrado en los gráficos 5.46 a 5.50.

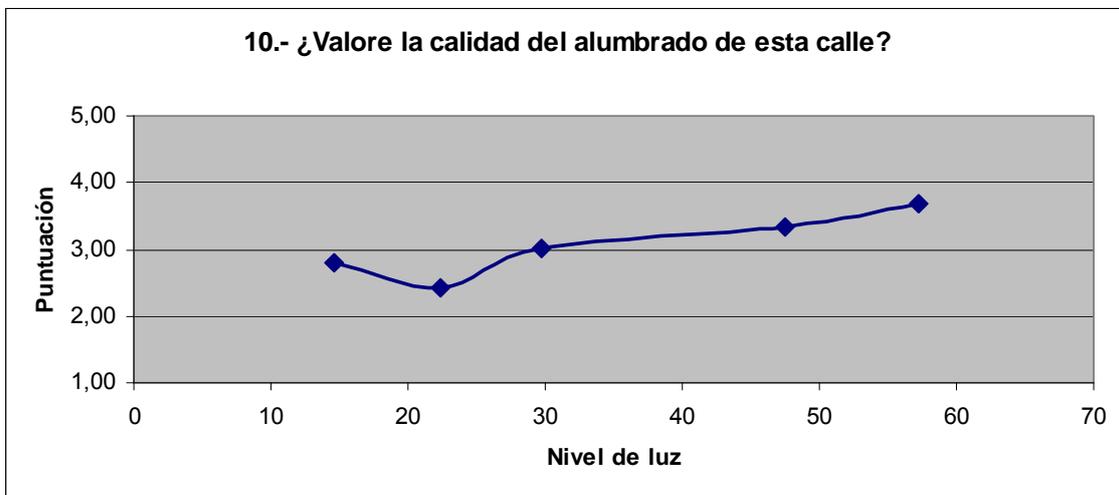


Gráfico 5. 46 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 10

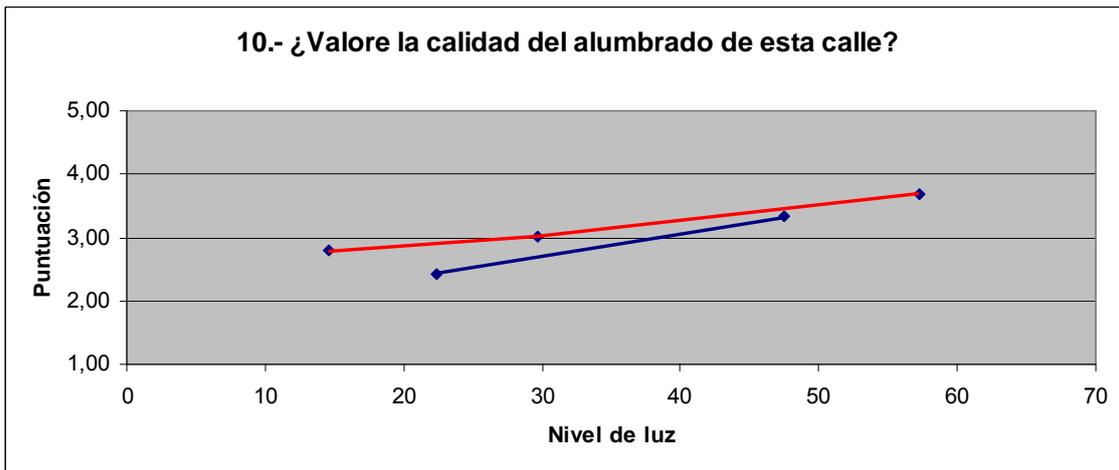


Gráfico 5. 47 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 10. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

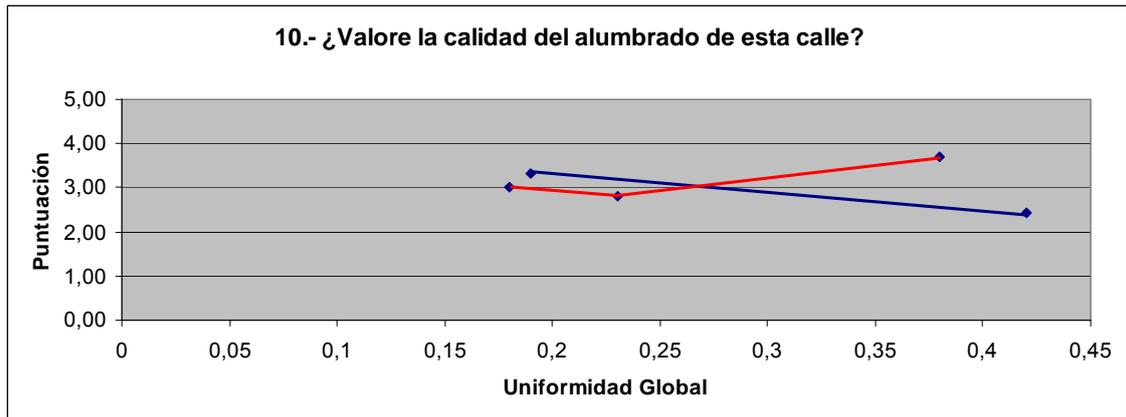


Gráfico 5. 48 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 10. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

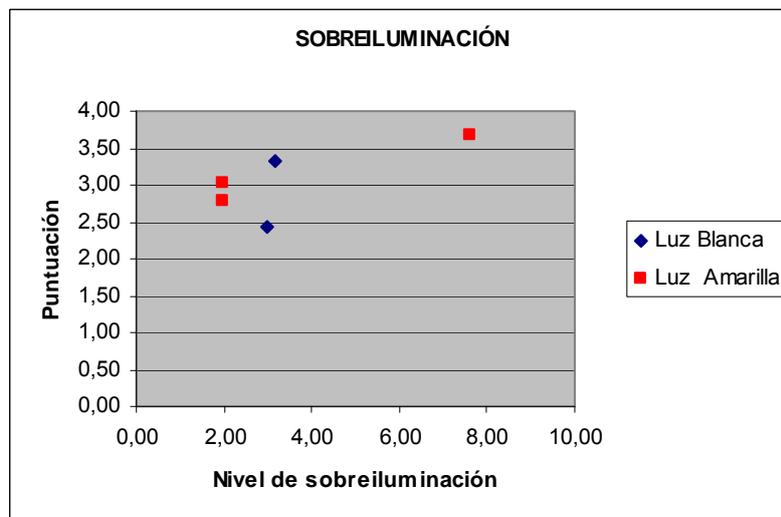


Gráfico 5. 49 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 10

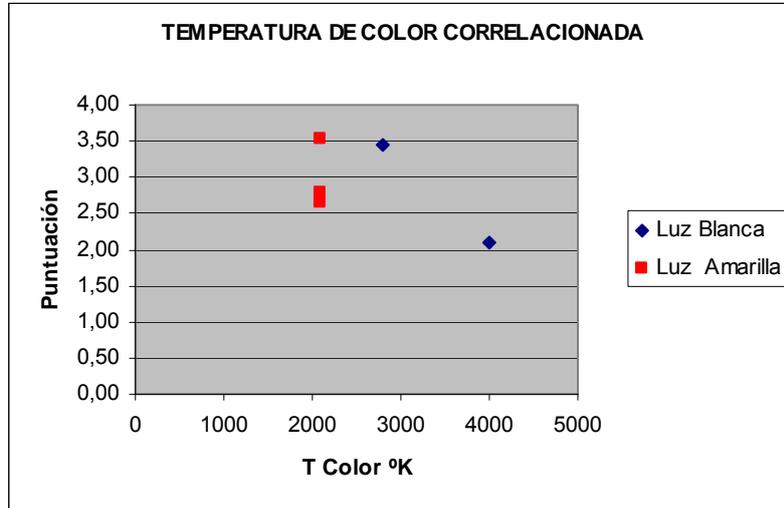


Gráfico 5. 50 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 10

Finalmente, en la última cuestión, la que hace el número 11 y que se planteó como “¿Cómo de conforme estaría usted con la reducción de la intensidad del alumbrado público para ahorrar energía?” se obtuvieron las respuestas que generan los gráficos 5.51 a 5.55.

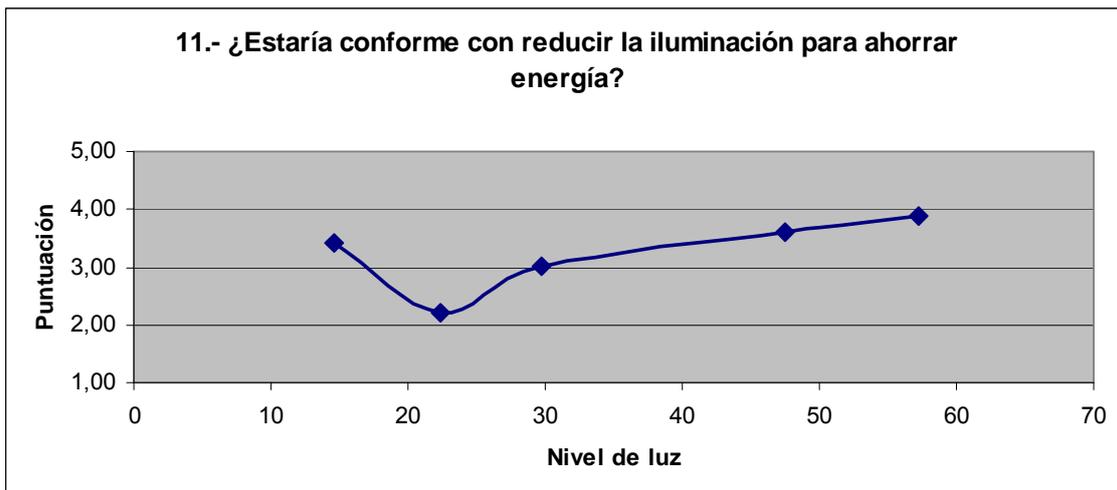


Gráfico 5. 51 Representación de las respuestas en función de la iluminancia media para la cuestión 11

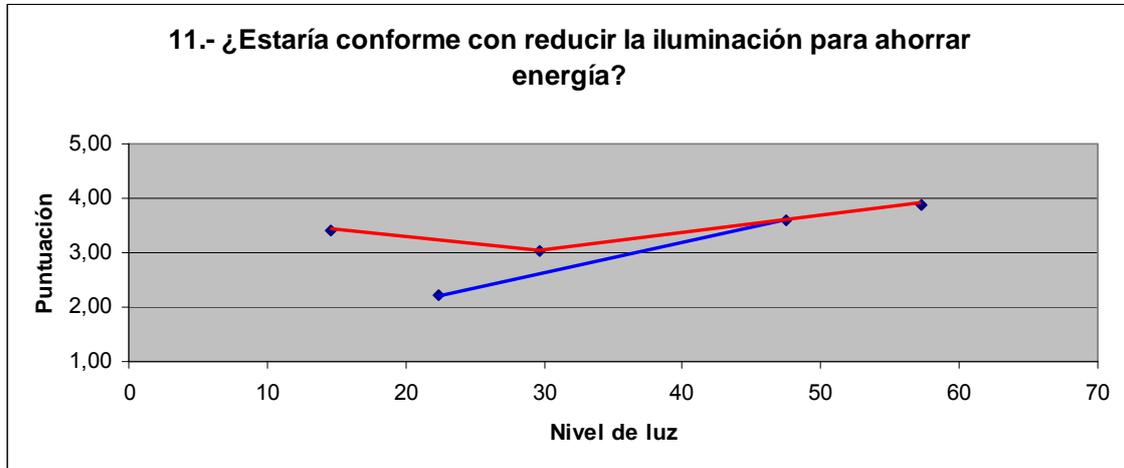


Gráfico 5. 52 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de luz para la cuestión 11. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

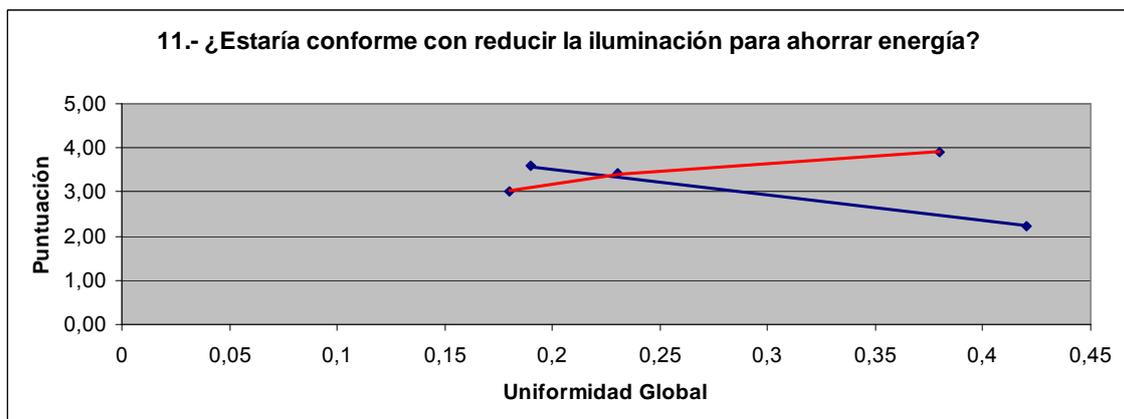


Gráfico 5. 53 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 11. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

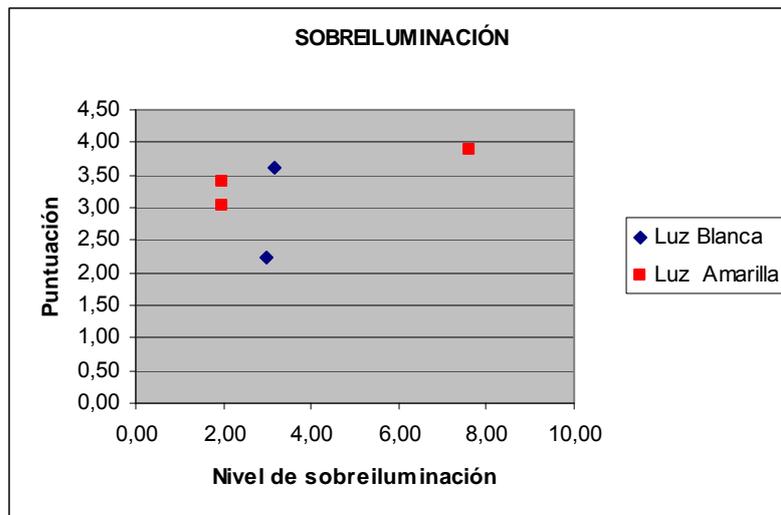


Gráfico 5. 54 Representación de las respuestas en función de la sobreiluminación para la cuestión 11

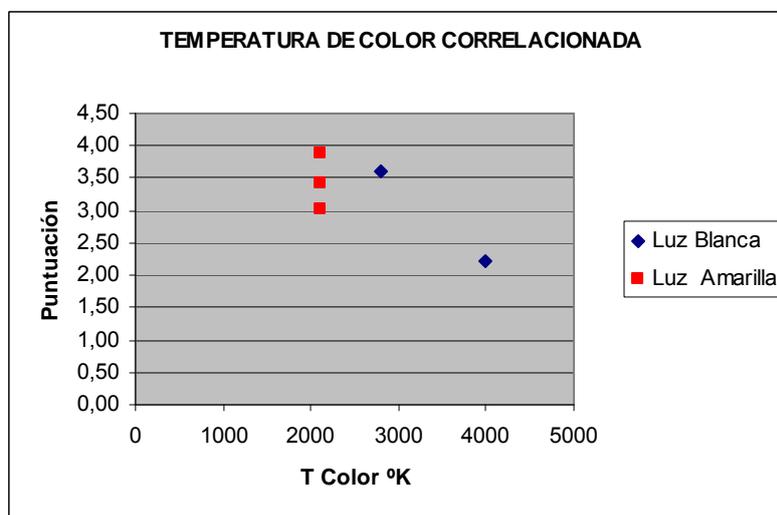


Gráfico 5. 55 Representación de las respuestas en función de la temperatura de color para la cuestión 11

## **5.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez presentados todos los resultados y su relación con las variables luminotécnicas se realiza una discusión y análisis pormenorizado que permita obtener conclusiones.

La primera cuestión que se plantea es si el grado de satisfacción de los peatones presenta una clara dependencia y tendencia respecto de todos los parámetros luminotécnicos considerados.

Con la simple observación de las gráficas de resultados se deduce claramente que esto no es así para todos los parámetros. De la misma forma que se puede ver una clara relación entre incremento de puntuación e incremento de nivel de iluminancia, no se puede afirmar esto para el resto de parámetros. No significa esto que no se puede establecer dicha dependencia, tan sólo aquí se afirma que esta dependencia no es evidente.

Esto no conduce a que el objeto de esta investigación se centrará en analizar las relaciones y las implicaciones del nivel de iluminancia media en servicio medido y el grado de satisfacción obtenido a las diferentes cuestiones planteadas.

No obstante lo anterior, los datos obtenidos se encuentran a disposición de los investigadores que sientan curiosidad por estos aspectos y puedan completar y perfeccionar este trabajo con el fin último que perseguimos los que investigamos y trabajamos en este campo que no es otro que poder hacer instalaciones de alumbrado exterior que, siendo eficientes, resulten eficaces al máximo para producir la máxima satisfacción en los peatones.

Concluimos que el objeto del estudio se va a centrar en evaluar la respuesta global de los peatones a las diferentes cuestiones planteadas y relacionándolas con el nivel de iluminancia media y el color de la luz.

### 5.2.1.- ANALISIS DETALLADO

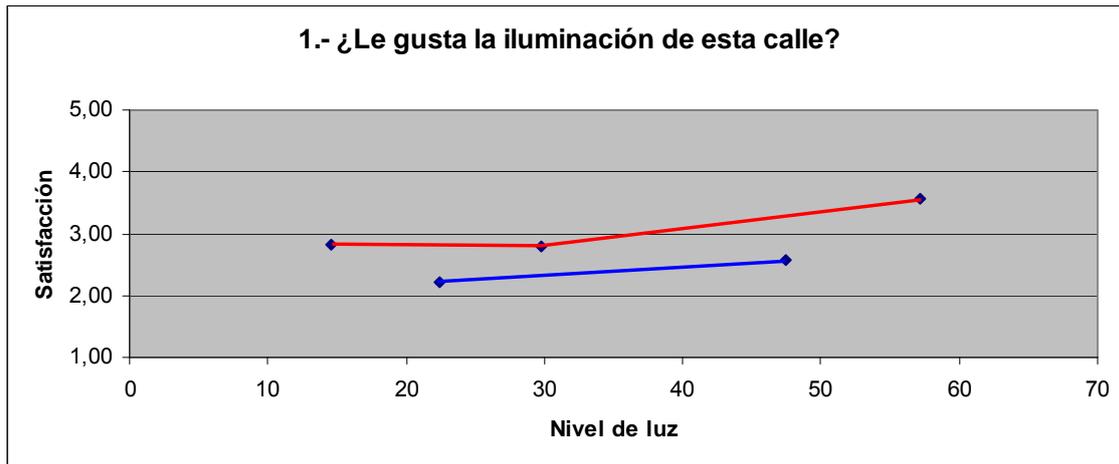
Se realiza a continuación un análisis más pormenorizado de los datos obtenidos para cada una de las cuestiones sobre las que se les pidió a los peatones que expresaran su nivel de satisfacción.

#### CUESTIÓN 1: ¿LE GUSTA LA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE?

Para esta cuestión se ha obtenido una media de grado de satisfacción global de 2,79 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 2,39 y 3,06 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca.

De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver claramente, que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación pero que este incremento se realiza en mayor medida para luz amarillo-sodio que para la luz blanca.

En el gráfico 5.3 que se repite aquí se muestra de un solo golpe de vista este aspecto.



**Gráfico 5. 3 Representación de las puntuaciones en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 1. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca**

Se puede comprobar que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 35 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca sería prácticamente inviable obtenerlo, puesto que se tendría que llegar a niveles de 75 lux.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 22%, siendo la diferencia mayor de todas las cuestiones planteadas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media muy baja, 2,79 respecto del resto de cuestiones que se sitúa en el puesto 10, es decir, el penúltimo grado de satisfacción obtenido tan solo mejor que la cuestión 8 relativa a si le produce molestias el alumbrado.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 1,076 lo que la sitúa en un nivel intermedio, posición 6, respecto del resto de cuestiones.

En la tabla 5.15 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la

pregunta 2 relativa al color de la luz y la mínima se da para el caso de las cuestiones 5 y 7 que hacen referencia a la posibilidad de sufrir accidentes y de nivel de estrés.

<b>1. Gusta iluminación de esta calle</b>	
1. Gusta iluminación de esta calle	-
2. Gusta color luz	<b>0,493**</b>
3. Intensidad alumbrado publico	0,345**
4. Numero farolas suficiente	0,279**
5. Influencia iluminación accidentes	<b>0,030</b>
6. Seguridad en horario nocturno	0,213**
7. Nivel estrés horario nocturno	<b>0,030</b>
8. Molestias alumbrado	0,176**
9. Influencia estado de animo	0,087
10. Valoración calidad iluminación	0,245**
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,191**

**Tabla 5. 15 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 1 con el resto de cuestiones.**

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

## CUESTIÓN 2: ¿LE GUSTA EL COLOR DE LUZ DE ESTA CALLE?

Los encuestados mostraron un grado de satisfacción con una media global de 2,84 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 2,62 y 2,99 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca.

De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver claramente, que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación pero que este incremento se realiza en mayor medida para luz amarillo-sodio que para la luz blanca.

En el gráfico 5.8 que se reproduce aquí, se muestra nuevamente de un solo golpe de vista este aspecto.

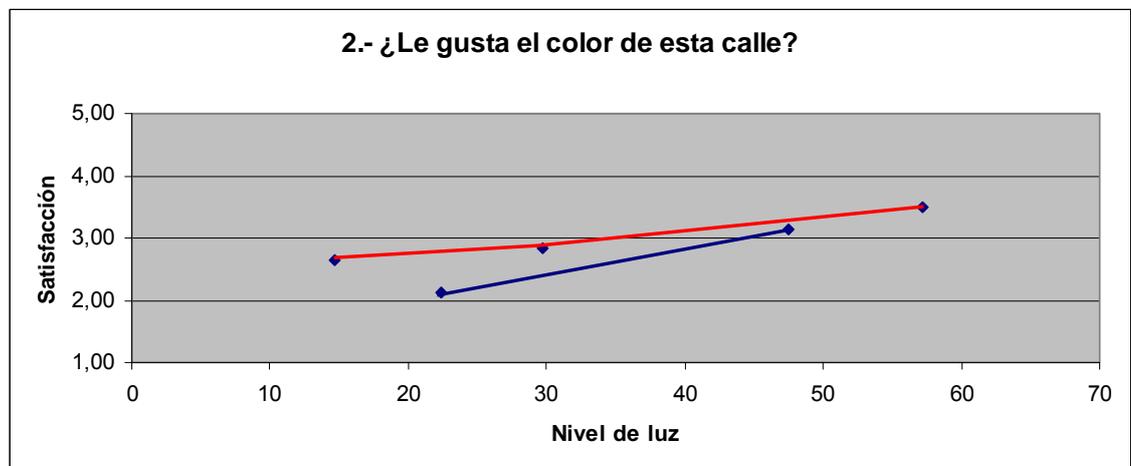


Gráfico 5. 8 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 2. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

Realizando una extrapolación, se comprueba que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en

torno a los 35 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca sería necesario alcanzar en torno a los 45 lux.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 12%, siendo la diferencia intermedia de las obtenidas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media relativamente baja, 2,84 respecto del resto de cuestiones que se sitúa en el puesto 8, es decir, es de las cuestiones que obtienen un grado de intermedio con tendencia a la baja.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 0,912 lo que la sitúa en uno de los niveles más bajos, posición segunda, respecto del resto de cuestiones.

En la tabla 5.16 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 1 relativa al gusto por la iluminación de la calle y la mínima, que es negativa, se da para el caso de la cuestión 5 que hacen referencia a la posibilidad de sufrir accidentes.

<b>2. Gusta color luz</b>	
1. Gusta iluminación de esta calle	<b>0,493**</b>
2. Gusta color luz	-
3. Intensidad alumbrado publico	0,382**
4. Numero farolas suficiente	0,447**
5. Influencia iluminación accidentes	<b>-0,042</b>
6. Seguridad en horario nocturno	0,315**
7. Nivel estrés horario nocturno	0,061
8. Molestias alumbrado	0,348**
9. Influencia estado de animo	0,116
10. Valoración calidad iluminación	0,394**
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,201**

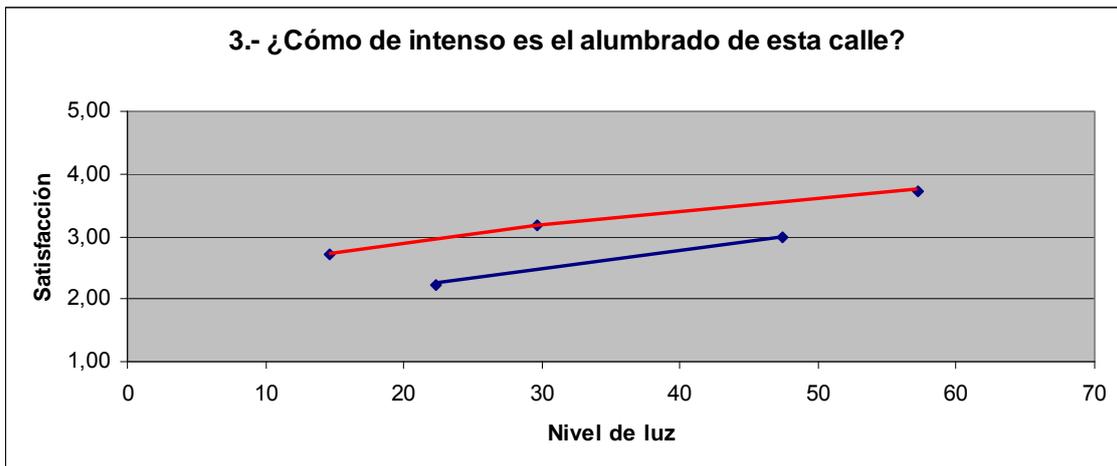
Tabla 5. 16 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 2 con el resto de cuestiones.

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

### **CUESTIÓN 3: ¿CÓMO DE INTENSO CREE USTED QUE ES EL ALUMBRADO PÚBLICO DE ESTA CALLE?**

Para esta cuestión se ha obtenido una media de grado de satisfacción global de 2,96 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio

separadamente resultan medias de 2,60 y 3,20 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca. En este es de destacar que sólo para luz amarillo-sodio se obtiene el aprobado. De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver claramente, que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación pero que este incremento se realiza en mayor medida para luz amarillo-sodio que para la luz blanca. En el gráfico 5.13 se muestra de nuevo esta circunstancia.



**Gráfico 5. 13 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 3. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca**

Se puede comprobar que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el aprobado, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 23 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca se obtendría rondando los 48 lux. Es de destacar en este caso el perfecto paralelismo que forman ambas líneas de tendencia de la gráfica, en consonancia con las representaciones de los resultados de las cuestiones anteriores.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 19%, siendo la diferencia una de las mayores de todas las cuestiones planteadas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media 2,96, intermedia respecto del resto de cuestiones que se sitúa en el puesto 6.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 0,900 lo que la sitúa como la más baja de todas respecto del resto de cuestiones.

En la tabla 5.17 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 10 relativa a la valoración de la calidad de la iluminación y la mínima se da para el caso de la cuestión 5 que hacen referencia a la posibilidad de sufrir accidentes.

<b>3. Intensidad alumbrado publico</b>	
1. Gusta iluminación de esta calle	0,345**
2. Gusta color luz	0,382**
3. Intensidad alumbrado publico	-
4. Numero farolas suficiente	0,350**
5. Influencia iluminación accidentes	<b>0,109</b>
6. Seguridad en horario nocturno	0,240**
7. Nivel estrés horario nocturno	0,136*
8. Molestias alumbrado	0,328**
9. Influencia estado de animo	0,268**
10. Valoración calidad iluminación	<b>0,403**</b>
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,367**

Tabla 5. 17 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 3 con el resto de cuestiones.

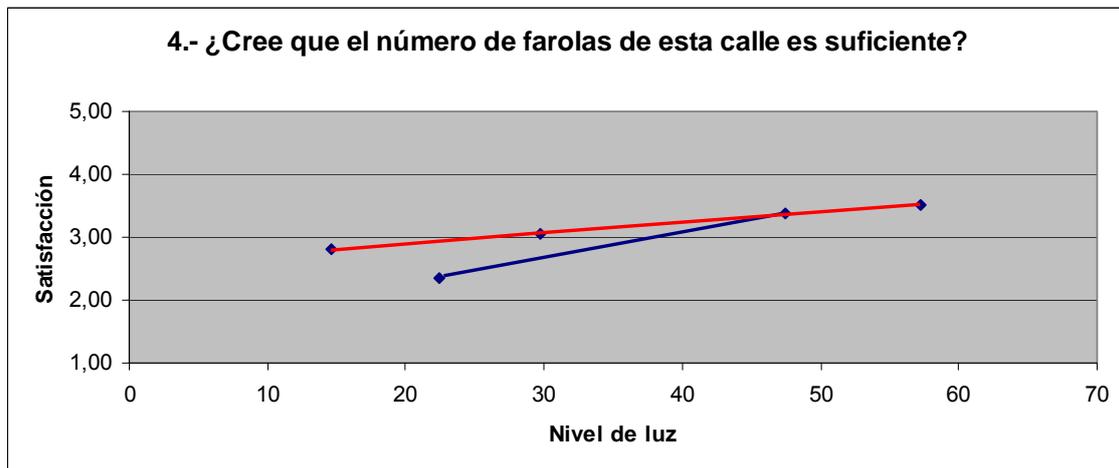
\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

**CUESTIÓN 4: ¿CREE USTED QUE EL NÚMERO DE FAROLAS EN ESTA CALLE ES SUFICIENTE?**

Los encuestados mostraron un grado de satisfacción con una media global de 3,02 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 2,87 y 3,12 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca. En este caso es de destacar que sólo para luz amarillo-sodio se obtiene el aprobado, si bien es verdad que para luz blanca los resultados, sin llegar al 3 son también muy buenos.

De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver claramente, que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación pero que este incremento se realiza en mayor medida para luz amarillo-sodio que para la luz blanca.

En el gráfico 5.18 se muestra nuevamente de un solo golpe de vista este aspecto.



**Gráfico 5. 18 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 4. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca**

Realizando una extrapolación, se comprueba que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 28 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca sería necesario alcanzar en torno a los 40 lux.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 8%, siendo la diferencia intermedia de las obtenidas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media intermedia entre todas las obtenidas con la demás cuestiones, 3,02 respecto del resto de cuestiones que se sitúa en el puesto 5.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 1,010 lo que la sitúa con un nivel intermedio con tendencia a la baja, en la posición cuarta respecto del resto de cuestiones.

En la tabla 5.18 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 2 relativa al color de la luz y la mínima se da para el caso de la cuestión 5 que hacen referencia a la posibilidad de sufrir accidentes.

4. Numero farolas suficiente	
1. Gusta iluminación de esta calle	0,279**
2. Gusta color luz	0,447**
3. Intensidad alumbrado publico	0,350**
4. Numero farolas suficiente	-
5. Influencia iluminación accidentes	-0,031
6. Seguridad en horario nocturno	0,323**
7. Nivel estrés horario nocturno	0,010
8. Molestias alumbrado	0,251**
9. Influencia estado de animo	0,125*
10. Valoración calidad iluminación	0,409**
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,235**

Tabla 5. 18 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 4 con el resto de cuestiones.

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

Con esta pregunta termina un primer bloque del cuestionario que trata de cuestiones relacionadas con el aspecto del alumbrado.

Consideradas estas cuestiones en su conjunto, la media de satisfacción asciende a 2,94 y si consideramos por separado la luz amarillo-sodio y blanca se

obtiene medias de 3,09 y 2,62 respectivamente que representa una diferencia relativa del 15%.

Del análisis detallado de las cuestiones de la 1 a la 4 de los apartados anteriores podemos obtener unas conclusiones generales bastante claras.

En primer lugar, existe una tendencia muy clara que se repite de obtener mejores puntuaciones conforme aumenta el nivel de iluminación. Esta tendencia se observa para todas las preguntas con pendientes de crecimiento relativamente parecidas. Dentro de esta tendencia general, la luz amarillo-sodio siempre es mejor valorada por los peatones frente a la luz blanca, aunque se mantiene sensiblemente los ritmos de crecimiento de satisfacción frente a nivel de iluminación. Cuantificando lo descrito anterior, se puede decir que en estas primeras cuestiones, todas relativas al aspecto de la iluminación, para obtener un aprobado es necesario un nivel de iluminación en el entorno 30 lux si se trata de luz amarillo-sodio o de 50 lux si se trata de luz blanca. Esto nos muestra claramente que podemos conseguir el mismo grado de satisfacción en los peatones con niveles más bajos de iluminación si empleamos luz amarillo-sodio frente a luz blanca.

Otra conclusión de tipo genérica que afecta a este grupo de preguntas, y relacionada con lo expuesto más arriba, es que en todos los casos se están tratando calles sobreiluminadas. No se puede dejar de comentar aquí que para obtener un aprobado en el grado de satisfacción de los peatones es necesario dotar a las vías de una sobreiluminación media de 3, con lo que esto supone de incremento en el gasto del consumo eléctrico. No se debe olvidar que la eficiencia, si no va unida a la eficacia carece de sentido.

Un aspecto importante también lo constituye la evolución de las respuestas conforme se avanza en la resolución del cuestionario. En la primera cuestión, sobre si "le gusta la iluminación alumbrado de esta calle", se trata de una pregunta genérica y como si cogiera por sorpresa al interesado. Conforme avanza la entrevista y se le pide al peatón su opinión por aspectos más concretos de la iluminación, color de la luz

(cuestión 2), intensidad (cuestión 3) o número de farolas (cuestión 4), se obtienen grados de satisfacción más altos, puesto que la evolución de medias conforma avanza la entrevista presenta la serie de 2,79-2,84-2,96-3,02. Todo parece apuntar a que al pasar de lo general a lo particular y al hacer centrar la atención del entrevistado en la luz, se crea un estado de atención sobre la iluminación en los peatones consultados que los predispone a contestar de forma fiable en el resto de la entrevista.

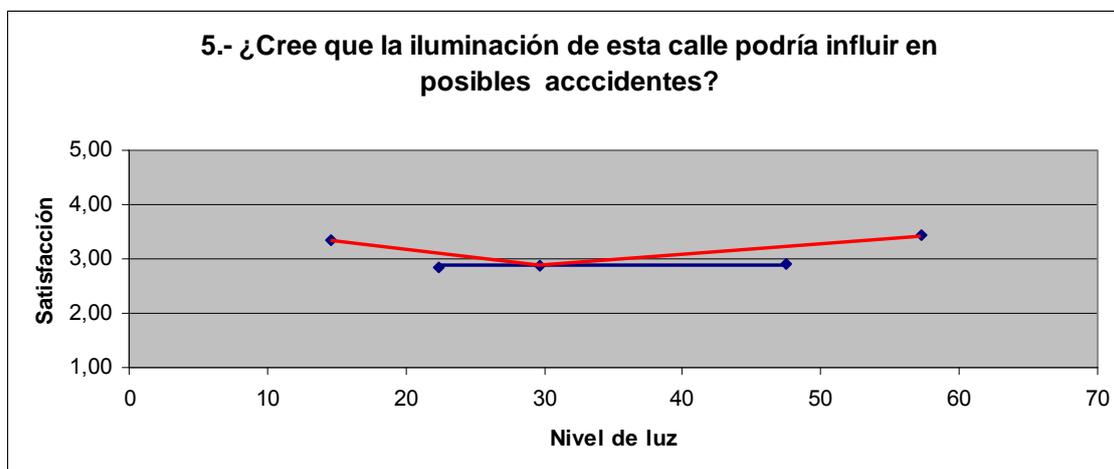
Otro aspecto a destacar de esta serie de cuestiones es los valores bajos de desviación que mayoritariamente se obtienen en estas preguntas. Esto se puede interpretar como que existe una gran unidad de opinión respecto de la observación de la iluminación. Es decir, que si conforme se le hacía reflexionar a los peatones sobre el alumbrado se conseguían media más altas, esto se conseguía además de una forma muy uniforme con toda la muestra.

Finalmente, viendo los coeficientes de regresión se puede concluir que en la mayor parte de los casos, dichos coeficientes respecto de la cuestión 5 son muy bajos y en algunos casos negativos. Esto responde a lo esperado puesto que cuanto mejor se valora el alumbrado menos percepción se tiene de sufrir un siniestro.

#### **CUESTIÓN 5: ¿CREE USTED QUE LA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE PODRÍA INFLUIR SOBRE POSIBLES ACCIDENTES (TRÁFICO, CAÍDAS DE PEATONES,...)?**

Para esta cuestión se ha obtenido una media de grado de satisfacción global de 3,08 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 2,87 y 3,22 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca. En este es de destacar que sólo para luz amarillo-sodio se obtiene el aprobado. De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver que existe un aumento muy ligero, apenas imperceptible de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación y que además este incremento se realiza de forma solapada para luz amarillo-sodio y para la luz blanca.

En el gráfico 5.23 se muestra de nuevo esta circunstancia.



**Gráfico 5. 23** Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 5. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

Se puede comprobar que en todos los casos prácticamente se alcanza el grado de satisfacción 3, lo que sería el aprobado, sin que se pueda establecer una relación definida con el nivel de iluminación, puesto que para todos los casos, se obtienen puntuaciones muy similares y rondando el 3.

Es de destacar en este caso el perfecto paralelismo que forman ambas líneas de tendencia de la gráfica, en consonancia con las representaciones de los resultados de las cuestiones anteriores.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 11%, siendo una diferencia intermedia de entre todas las cuestiones planteadas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media 3,08, una de las más altas de todo el cuestionario que se sitúa en el puesto 2.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 1,136 lo que la sitúa con un nivel intermedio alto, en la posición octava respecto del resto de cuestiones.

En la tabla 6.19 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 9 relativa a la influencia en el estado de ánimo y la mínima, que es negativa, se da para el caso de la cuestión 2 que hacen referencia al color de la luz. Esto significa que la el no tener un color adecuado la luz aumenta la posibilidad de sufrir un daño y viceversa, un color adecuado reduce la percepción de padecer un accidente.

<b>5. Influencia iluminación accidentes</b>	
1. Gusta iluminación de esta calle	0,030
2. Gusta color luz	<b>-0,042</b>
3. Intensidad alumbrado publico	0,109
4. Numero farolas suficiente	-0,031
5. Influencia iluminación accidentes	-
6. Seguridad en horario nocturno	0,017
7. Nivel estrés horario nocturno	0,343**
8. Molestias alumbrado	0,213**
9. Influencia estado de animo	<b>0,372**</b>
10. Valoración calidad iluminación	-0,029
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,148*

Tabla 5. 19 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 5 con el resto de cuestiones.

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

## CUESTIÓN 6: ¿CÓMO DE SEGURO SE SIENTE USTED CUANDO CAMINA POR ESTA CALLE EN HORARIO NOCTURNO?

Los encuestados mostraron un grado de satisfacción con una media global de 3,05 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 3,13 y 3,00 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz blanca frente a la luz amarillo-sodio, presentando la peculiaridad que es la única cuestión donde esto ocurre de todo el cuestionario. Se destaca que tanto para luz amarillo-sodio como para luz blanca obtiene el aprobado.

De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver que existe un aumento muy ligero de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación y que además este incremento se realiza de forma solapada para luz amarillo-sodio y para la luz blanca, coincidiendo prácticamente ambas líneas.

En el gráfico 5.28 se muestra nuevamente de un solo golpe de vista este aspecto.

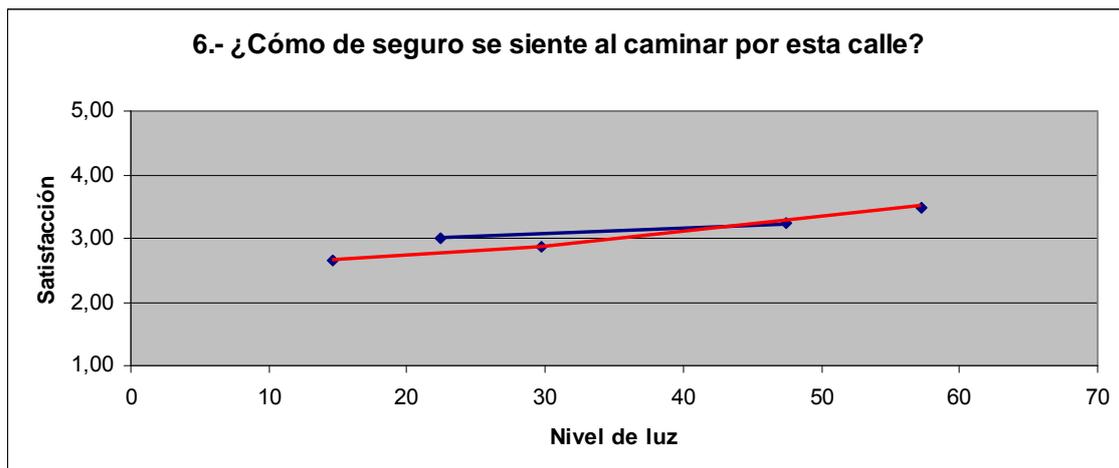


Gráfico 5. 28 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 6. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

Realizando una extrapolación, se comprueba que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 35 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca sería necesario alcanzar en torno a los 25 lux, siendo el primer caso que se presenta que los niveles del aprobado se sitúan para luz blanca por debajo de la luz amarillo-sodio.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del -4%, siendo la diferencia inversa a las obtenidas para el resto de cuestiones y el único caso en que ocurre esto.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media relativamente alta entre todas las obtenidas con la demás cuestiones, 3,05 respecto del resto de cuestiones que se sitúa en el puesto 3.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 1,140 lo que la sitúa con un nivel intermedio alto, en la posición novena respecto del resto de cuestiones.

En la tabla 5.20 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 10 relativa a la calidad de la iluminación y la mínima, que es negativa, se da para el caso de la cuestión 7 que hacen referencia al nivel de estrés producido.

<b>6. Seguridad en horario nocturno</b>	
1. Gusta iluminación de esta calle	0,213**
2. Gusta color luz	0,315**
3. Intensidad alumbrado publico	0,240**
4. Numero farolas suficiente	0,323**
5. Influencia iluminación accidentes	0,017
6. Seguridad en horario nocturno	-
7. Nivel estrés horario nocturno	<b>-0,070</b>
8. Molestias alumbrado	0,238**
9. Influencia estado de animo	-0,031
10. Valoración calidad iluminación	<b>0,330**</b>
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,178**

Tabla 5. 20 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 6 con el resto de cuestiones.

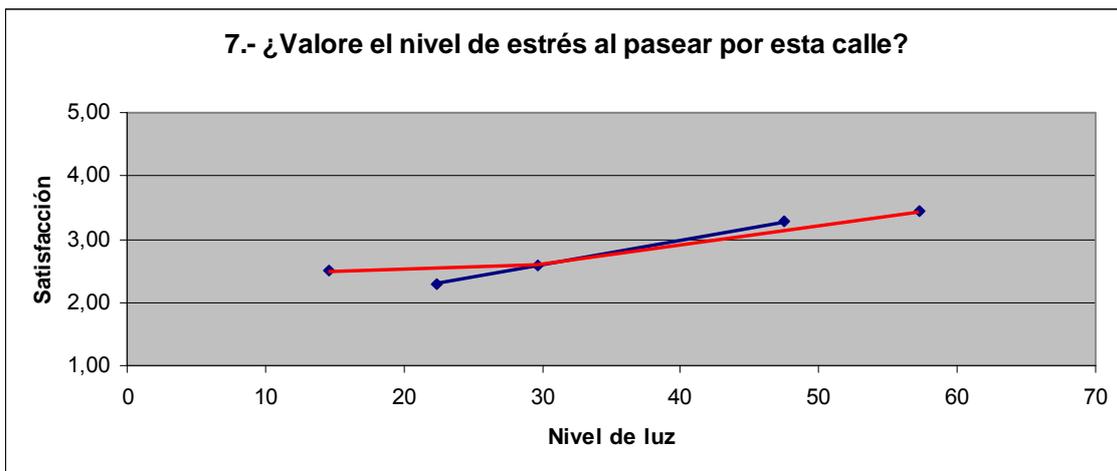
\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

### **CUESTIÓN 7: VALORE EL NIVEL DE ESTRÉS QUE SUFRE AL PASEAR POR ESTA CALLE EN HORARIO NOCTURNO.**

Para esta cuestión se ha obtenido una media de grado de satisfacción global de 2,81 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio

separadamente resultan medias de 2,84 y 2,78 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca. En este es de destacar que para ningún color de luz se obtiene el aprobado. De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación y que además este incremento se realiza de forma solapada para luz amarillo-sodio y para la luz blanca. De hecho, las líneas de tendencia se cruzan en la zona central de la gráfica.

En el gráfico 5.33 se muestra de nuevo esta circunstancia.



**Gráfico 5. 33 Representación de las respuestas en función de la uniformidad global, por tipo de luz, para la cuestión 7. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca**

Realizando una extrapolación, se comprueba que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 42 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca sería necesario

alcanzar en torno a los 38 lux, representando esto una diferencia muy pequeña por lo que se podrían asimilar al mismo nivel de luz en ambos casos.

Es de destacar en este caso el perfecto paralelismo que forman ambas líneas de tendencia de la gráfica, en consonancia con las representaciones de los resultados de las cuestiones anteriores.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 2%, siendo una de las diferencias más pequeñas de entre todas las cuestiones planteadas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media 2,81 una de las más bajas de todo el cuestionario que se sitúa en el puesto 9, tan solo por delante de las cuestiones 1 y 8 relativas al gusto por la iluminación y la molestia causada respectivamente.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 1,260 lo que la sitúa con el nivel más alto, en la primera posición sobre el resto de cuestiones.

En la tabla 5.21 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 9 relativa a la influencia en el estado de ánimo y la mínima, que es negativa, se da para el caso de la cuestión 6 que hacen referencia a la seguridad.

7. Nivel estrés horario nocturno	
1. Gusta iluminación de esta calle	0,030
2. Gusta color luz	0,061
3. Intensidad alumbrado publico	0,136*
4. Numero farolas suficiente	0,010
5. Influencia iluminación accidentes	0,343**
6. Seguridad en horario nocturno	<b>-0,070</b>
7. Nivel estrés horario nocturno	-
8. Molestias alumbrado	0,474**
9. Influencia estado de animo	<b>0,487**</b>
10. Valoración calidad iluminación	0,117
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,181**

Tabla 5. 21 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 7 con el resto de cuestiones.

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

### CUESTIÓN 8: ¿LE PRODUCE EL ALUMBRADO PÚBLICO DE ESTA CALLE ALGÚN TIPO DE MOLESTIA?

Para esta cuestión se ha obtenido una media de grado de satisfacción global de 2,70 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 2,43 y 2,88 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca. En este es de destacar que para ningún color de luz se obtiene el aprobado.

De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver claramente, que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación pero que este incremento se realiza en mayor medida para luz amarillo-sodio que para la luz blanca.

En el gráfico 5.38 se muestra de un solo golpe de vista este aspecto.

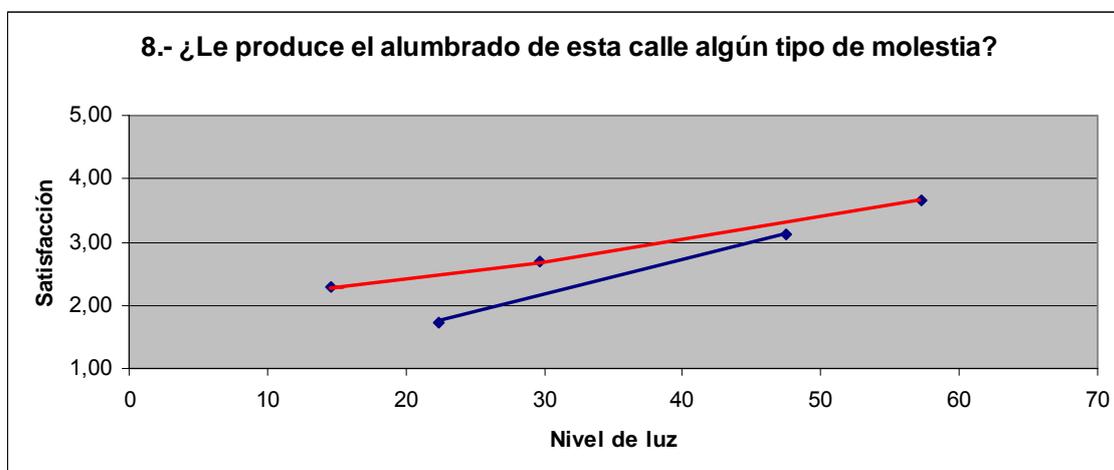


Gráfico 5. 38 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 8. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

Se puede comprobar que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 40 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca sería necesario llegar a niveles de 45 lux.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 16%, siendo una de las diferencias mayores de todas las cuestiones planteadas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media muy baja, 2,70 respecto del resto de cuestiones que se sitúa en el puesto 11, es decir, la media más baja de grado de satisfacción de todo el cuestionario.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 1,088 lo que la sitúa con un nivel intermedio alto, en la séptima posición sobre el resto de cuestiones.

En la tabla 5.22 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 9 relativa a la influencia en el estado de ánimo producido por la iluminación de la calle y la mínima se da para el caso de la cuestión 1 que hacen referencia al gusto por la iluminación de la calle.

<b>8. Molestias alumbrado</b>	
1. Gusta iluminación de esta calle	<b>0,176**</b>
2. Gusta color luz	0,348**
3. Intensidad alumbrado publico	0,328**
4. Numero farolas suficiente	0,251**
5. Influencia iluminación accidentes	0,213**
6. Seguridad en horario nocturno	0,238**
7. Nivel estrés horario nocturno	0,474**
8. Molestias alumbrado	-
9. Influencia estado de animo	<b>0,493**</b>
10. Valoración calidad iluminación	0,391**
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,284**

Tabla 5. 22 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 8 con el resto de cuestiones.

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

### CUESTIÓN 9: ¿INFLUYE LA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE SOBRE SU ESTADO DE ÁNIMO?

Para esta cuestión se ha obtenido una media de grado de satisfacción global de 2,91 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 2,78 y 3,00 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca. En este es de destacar que tan sólo para el color de luz amarillo-sodio se obtiene justo el aprobado. De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación y que además este incremento se realiza de forma solapada para luz amarillo-sodio y para la luz blanca. De hecho, las líneas de tendencia de cruzan en la zona central de la gráfica.

En el gráfico 5.43 se muestra de nuevo esta circunstancia.

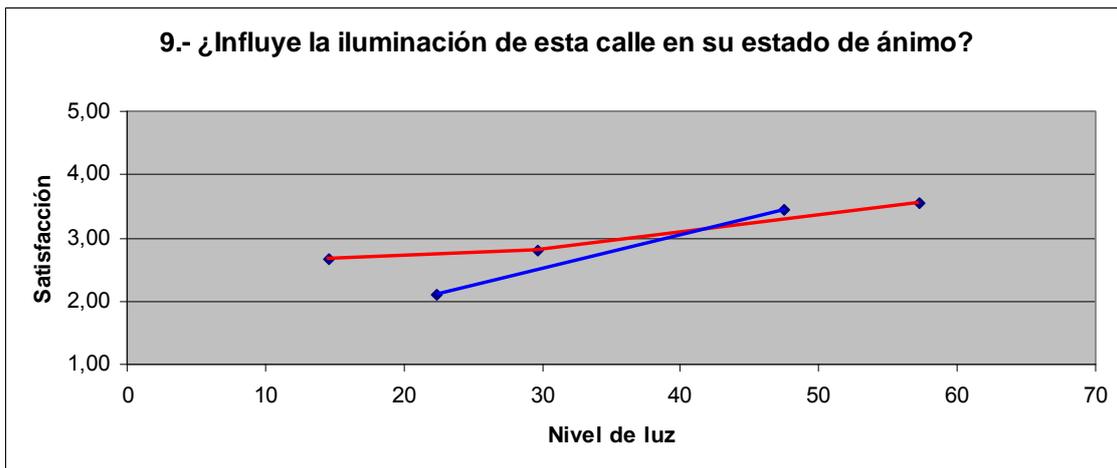


Gráfico 5. 43 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 9. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

Realizando una extrapolación, se comprueba que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 38 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca sería necesario alcanzar en torno a los 40 lux, representando esto una diferencia muy pequeña por lo que se podrían asimilar al mismo nivel de luz en ambos casos.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 7 %, siendo una diferencia moderadamente pequeña de entre todas las cuestiones planteadas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media 2,91 unas medias moderadamente bajas de todo el cuestionario que se sitúa en el puesto 7.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 1,142 lo que la sitúa con un nivel alto, en la décima posición sobre el resto de cuestiones.

En la tabla 5.23 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 8 relativa a la molestia producida por la iluminación de la calle y la mínima, que es negativa, se da para el caso de la cuestión 6 que hacen referencia a la percepción de seguridad.

9. Influencia estado de animo	
1. Gusta iluminación de esta calle	0,087
2. Gusta color luz	0,116
3. Intensidad alumbrado publico	0,268**
4. Numero farolas suficiente	0,125*
5. Influencia iluminación accidentes	0,372**
6. Seguridad en horario nocturno	-0,031
7. Nivel estrés horario nocturno	0,487**
8. Molestias alumbrado	0,493**
9. Influencia estado de animo	-
10. Valoración calidad iluminación	0,196**
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	0,338**

**Tabla 5. 23 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 9 con el resto de cuestiones.**

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

Con la cuestión 9 finaliza este segundo bloque donde se le pide al peatón que reflexione y valore aspectos relacionados con la seguridad y las sensaciones que le

---

produce el alumbrado. En concreto se le ha interrogado sobre la vulnerabilidad, seguridad, estrés, molestia y estado de ánimo.

Consideradas estas cuestiones en su conjunto, la media de satisfacción asciende a 2,91 si consideramos por separado la luz amarillo-sodio y blanca se obtiene medias de 2,98 y 2,79 respectivamente que representa una diferencia relativa del 6%.

Se puede observar que aunque las medias sean muy similares, las diferencias entre luz blanca y amarillo-sodio que existían en el primer bloque se diluyen en este segundo, por lo que apunta a que cuando se trata de evaluar la percepción de las sensaciones sociológicas que produce el alumbrado, las respuestas tienden a confundirse sin que el color de la luz tenga el peso que en el bloque anterior.

A mayor abundamiento, las gráficas 6.26, 6.32, 6.38, 6.44 y 6.50 que representan las respuestas cambian de patrón respecto de las cuatro primeras para pasar a un modelo en el que se confunden las tendencias. Tan solo la cuestión 8, relativa a la molestia producida por el alumbrado parece alejarse de esta pauta. No obstante esto no es óbice para constatar una tendencia diferente sobre este bloque de preguntas. Además, se da la coincidencia que la pregunta 8 es la que presenta el grado de satisfacción medio más bajo de todo el cuestionario. Esto es achacable a la gravedad de la influencia sobre la que se pide opinión. Resulta evidente que cuanto más grave es la sensación negativa que produce el alumbrado, menores puntuaciones se obtengan. Esto se debe a que la iluminación no es algo intrínsecamente nocivo y lo que se trata de investigar son los efectos que de forma colateral originan en los peatones la iluminación.

Se puede observar también que para estas cuestiones no existe una dependencia tan clara de las respuestas con el nivel de iluminación medio en servicio. Parece ser que cuando se le interroga a las personas directamente sobre aspectos relacionados con la luz son más exigentes que cuando se las pregunta por sus sensaciones. Debe de haber otros elementos subyacentes de más peso puesto que diferentes niveles de iluminancia no consiguen arrancar sensaciones tan diversas en los peatones.

Las bajas medias obtenidas en la cuestión 7, sobre nivel de estrés corroboran esta tesis.

Las altas medias obtenidas en las cuestiones tales como seguridad y vulnerabilidad coinciden con lo esperado toda vez que en horario nocturno y en los periodos de funcionamiento del alumbrado, es a la iluminación a la que se le confía en gran medida el mantenimiento de la seguridad en las calles.

Todo esto refuerza y da coherencia al trabajo de investigación y valida mediante otros aspecto de la realidad el conjunto del experimento.

Se observa unos valores de desviaciones medias más altos en este segundo grupo de cuestiones que en el primero. Promediando, se comprueba que para las cuestiones primeras, de la una a la cuatro, la desviación típica asignada es de 0,974 frente a 1,153 que se obtiene de las cuestiones de la cinco a la nueve. Esto demuestra que no existe tanta unidad de criterio en la población sobre las sensaciones asociadas a las características de la iluminación como sobre la propia iluminación.

#### **CUESTIÓN 10: VALORE EN TÉRMINOS GENERALES LA CALIDAD DE LA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE**

Para esta cuestión se ha obtenido una media de grado de satisfacción global de 3,05 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 3,16 y 2,88 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca.

De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver claramente, que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación

pero que este incremento se realiza en mayor medida para luz amarillo-sodio que para la luz blanca.

En el gráfico 5.48 se muestra de un solo golpe de vista este aspecto.

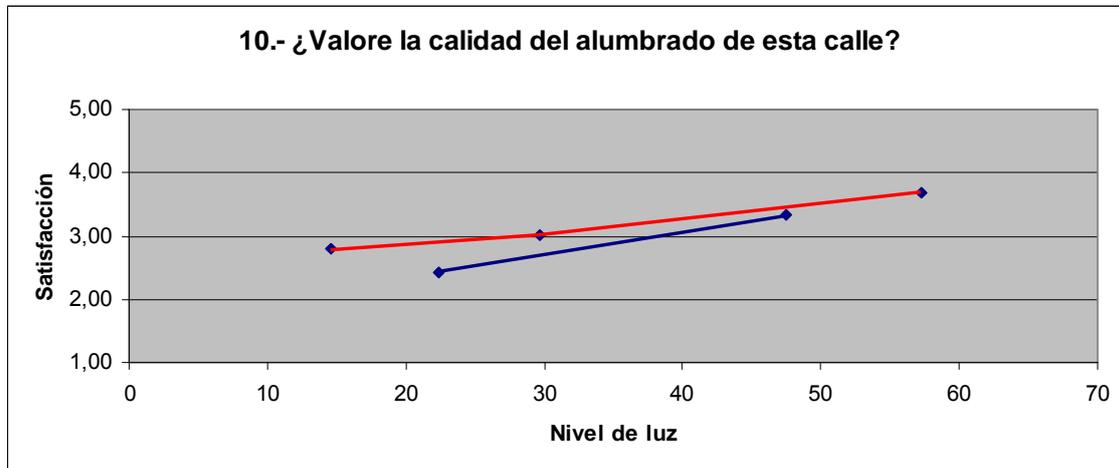


Gráfico 5. 48 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 10. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca

Se puede comprobar que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 30 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca se tendría que llegar a niveles de 38 lux.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 9%, siendo la diferencia intermedia de todas las cuestiones planteadas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media muy baja, 3,05 respecto del resto de cuestiones que se sitúa en el puesto 3, es decir, tan solo peor que la cuestión 5 y 11 relativas a si la vulnerabilidad y el ahorro de energía respectivamente.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 0,936 lo que la sitúa con un nivel bajo, en la tercera posición sobre el resto de cuestiones.

En la tabla 5.24 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 10 relativa a la reducción de la intensidad luminosa con objeto de ahorrar energía y la mínima, que es negativa, se da para el caso de la cuestión 5 que hacen referencia a la influencia de la iluminación en la producción de accidentes.

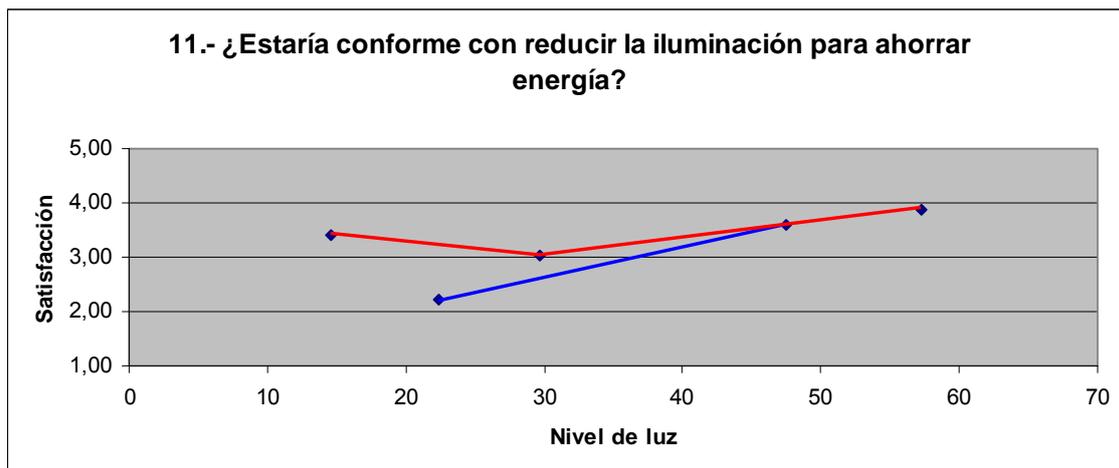
<b>10. Valoración calidad iluminación</b>	
1. Gusta iluminación de esta calle	0,245**
2. Gusta color luz	0,394**
3. Intensidad alumbrado publico	0,403**
4. Numero farolas suficiente	0,409**
5. Influencia iluminación accidentes	<b>-0,029</b>
6. Seguridad en horario nocturno	0,330**
7. Nivel estrés horario nocturno	0,117
8. Molestias alumbrado	0,391**
9. Influencia estado de animo	0,196**
10. Valoración calidad iluminación	-
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	<b>0,440**</b>

**Tabla 5. 24 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 10 con el resto de cuestiones. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$**

**CUESTIÓN 11: ¿CÓMO DE CONFORME ESTARÍA USTED CON LA REDUCCIÓN DE LA INTENSIDAD DEL ALUMBRADO PÚBLICO PARA AHORRAR ENERGÍA?**

Para esta cuestión se ha obtenido una media de grado de satisfacción global de 3,23 y considerando las respuestas para calles con luz blanca y amarillo-sodio separadamente resultan medias de 3,44 y 2,91 respectivamente, destacando la media mayor registrada para la luz amarillo-sodio frente a la luz blanca. Sólo para el color de luz amarillo-sodio se obtiene el aprobado, si bien la luz blanca queda muy próxima. De la representación de las respuestas frente al parámetro del nivel de iluminancia media en servicio, expresado en *lux*, y aplicando series para las calles con luz blanca y amarillo-sodio por separado se puede ver que existe un aumento de las respuestas de los peatones conforme aumenta el nivel de iluminación y que además este incremento se realiza de forma solapada para luz amarillo-sodio y para la luz blanca. De hecho, las líneas de tendencia están próximas a cruzarse en la zona central de la gráfica.

En el gráfico 5.53 se muestra de nuevo esta circunstancia.



**Gráfico 5. 53 Representación de las respuestas en función de la iluminancia, por tipo de color de luz para la cuestión 11. En color rojo los resultados correspondientes a luz amarillo-sodio y en azul los correspondientes a luz blanca**

Realizando una extrapolación, se comprueba que para alcanzar el grado de satisfacción 3, lo que sería el nivel intermedio, se obtendría con un nivel de luz en torno a los 30 lux para luz amarillo-sodio mientras que para luz blanca sería necesario alcanzar en torno a los 38 lux.

La diferencia relativa de respuestas en función del tipo de luz de la calle es del 15 %, siendo una diferencia moderadamente grande de entre todas las cuestiones planteadas.

Visto desde un punto de vista general, esta cuestión presenta una media 3,23 la más alta de todo el cuestionario.

Respecto de la desviación típica, esta cuestión presenta un valor de 1,048 lo que la sitúa con un nivel intermedio, en la posición quinta sobre el resto de cuestiones.

En la tabla 5.25 se muestran los coeficientes de correlación con el resto de cuestiones. De su observación se deduce que la correlación máxima se produce con la pregunta 10 relativa a la reducción de la intensidad luminosa con objeto de ahorrar energía y la mínima se da para el caso de la cuestión 5 que hacen referencia a la influencia de la iluminación en la producción de accidentes.

<b>11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético</b>	
1. Gusta iluminación de esta calle	0,191**
2. Gusta color luz	0,201**
3. Intensidad alumbrado publico	0,367**
4. Numero farolas suficiente	0,235**
5. Influencia iluminación accidentes	<b>0,148**</b>
6. Seguridad en horario nocturno	0,178**
7. Nivel estrés horario nocturno	0,181**
8. Molestias alumbrado	0,284**
9. Influencia estado de animo	0,338**
10. Valoración calidad iluminación	<b>0,440**</b>
11. Reducción intensidad alumbrado ahorro energético	-

Tabla 5. 25 Coeficientes de correlación de Pearson de la cuestión 11 con el resto de cuestiones. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$



## **6.- CONCLUSIONES**

A lo largo de esta tesis doctoral, se han presentado los resultados de la investigación llevada a cabo al tiempo que se han discutido los aspectos técnicos de dichos resultados y sus posibles implicaciones.

A continuación se presentan las conclusiones que se desprende de dichos resultados:

- Si ordenamos las calles de acuerdo con sus niveles de iluminación, las puntuaciones medias para cada cuestión son más altas para iluminancias medias más altas. Esto puede deberse a un mayor nivel de alerta conseguido con alumbrado público más intenso.
- Las puntuaciones promedio son más altas cuando la luz es de color amarillo-sodio procedente de lámparas de vapor de sodio de alta presión frente a la luz blanca generada por lámparas de vapor de mercurio con halogenuros metálicos o fuentes de luz led. La luz amarillo-sodio es mejor recibida en términos generales por la población con una media de 3,06 frente al 2,39 de la luz blanca. Se puede afirmar que existen diferencias significativas en grado de satisfacción superior de la luz amarillo-sodio sobre la blanca para casi todas las cuestiones, en concreto para las cuestiones 1, 3, 5, 8, 9 y 11.
- Los valores son más altos para la luz blanca únicamente en la pregunta 6 (*¿Cómo de seguro se siente usted cuando camina por esta calle en horario nocturno?*) lo cual subraya la importancia de la mejor reproducción cromática de la luz blanca para el reconocimiento facial y del entorno.
- En relación con el estrés, la diferencia entre las puntuaciones con luz blanca y luz ámbar es más baja que en las restantes preguntas (excepto la nº 6 considerada anteriormente). Esto corrobora que la mayor inhibición de melatonina (Revell, 2007) y secreción de cortisol (Figueiro, 2012) causados por la luz blanca, no es un fenómeno exclusivo de la iluminación interior en la que la interacción sujeto-luz puede ser más importante y mejor controlado.

- La media más alta se presenta en la cuestión 11 (*¿Cómo de conforme estaría usted con la reducción de intensidad del alumbrado público para ahorrar energía?*) lo que indica que existe una conciencia general sobre la necesidad de ahorrar energía en la iluminación incluso a costa de una menor satisfacción.
- La sobreiluminación aumenta los niveles de seguridad percibida por la población y su reactividad.





## **7.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Como ya se ha ido apuntando, existen líneas de investigación que este trabajo deja abiertas y que se deberán continuar para poder avanzar en el campo de la iluminación urbana y su relación con la percepción de los peatones.

Se han recabado datos de tipo sociológico sobre los encuestados pero no se ha discriminado en función de ellos al no ser objeto de este estudio. Una posterior investigación utilizando esta información aportaría conocimiento sobre la evolución de la percepción de la iluminación con la edad o de si el nivel de estudios diferente comporta reacciones también diferentes a la realidad del alumbrado público.

De todos es conocido que con la edad se produce una progresiva disminución de la capacidad visual y se requieren niveles superiores de iluminación para realizar las mismas tareas visuales. Sin embargo, las relaciones entre tipo y niveles de alumbrado, con la edad y su impacto sobre las variables psicológicas o psicosociales consideradas en esta memoria es aún un tema abierto dentro de la comunidad científica y, sin duda, será uno de los grandes temas a abordar en futuras líneas de investigación.

En los datos de las encuestas realizadas hay material suficiente para poder abordar este estudio.

Análogamente, se podría ver como afecta el nivel de estudios a las respuestas de grado de satisfacción. Puesto que la cuestión 11, relativa a cómo se estaría dispuesto a renunciar a niveles de iluminación en aras a un ahorro energético, obtiene un alto grado de consenso y de puntuación, la media más alta de todo el cuestionario con una desviación moderada, habría que ver si esta respuesta tiene alguna tendencia privilegiada según los niveles de formación. Se podría entender a priori que las personas con más altos niveles de formación tienen un mayor conocimiento y por ende una mayor concienciación de las cuestiones medioambientales, pero este extremo tendría que estar refrendado por un análisis de los datos relativos a esta cuestión que se propone como futura línea de estudio. Un caso similar se puede presentar con las personas de menor edad, entendiéndose que es este sector de la población el más concienciado con los problemas medioambientales.

El tratamiento de los datos por género aportaría también datos reveladores dignos de tener en consideración.

En esta tesis se ha trabajado con un parámetro luminotécnico diseñado expresamente para este estudio y que se ha denominado Sobreiluminación. En los resultados se demuestra que la sobreiluminación no consigue aumentar los niveles de puntuación de los peatones, es decir, que una instalación que está funcionando con un consumo mayor del necesario no está consiguiendo sin embargo mayores sensaciones de confort entre los ciudadanos. Es necesario continuar y profundizar en esta relación y en último caso plasmar las conclusiones en el plano legislativo. De esta forma se evitarán soluciones ineficientes que no reportan beneficio al peatón. No obstante, un estudio riguroso de los datos puede ayudar al afianzamiento de los niveles legales de iluminación o a recomendar su modificación.





## **8.- BIBLIOGRAFÍA**

Aguilar-Luzón. M.C., Peña-García, A., Papel de la inteligencia emocional en la predicción de la conducta proambiental. XI Congreso de Psicología Ambiental, Almería, 9-11 de febrero de 2011.

American Educational Research Association, American Psychological Association & National Council on Measurement in Education, Standards for Educational and Psychological Testing. 2014.

Batanero, M.C., Díaz, C., (2005) Análisis del proceso de construcción de un cuestionario sobre probabilidad condicional: reflexiones desde el marco de la TFS. En Ordóñez Cañada, L., Batanero Bernabeu, M.C., Contreras de la Fuente, A., Investigación en Didáctica de la Matemática. Jaén, Servicio de publicaciones de la Universidad de Jaén.

De Boer, J.B., Public lighting Cleaver-Hume, London, 1967.

Eagly, A., Chaiken, S., The advantages of an inclusive definition of attitude. Social Cognition, 25, 582-602, 2007.

Figueiro, M.G., Rea, M.S., Short-Wavelength Light Enhances Cortisol Awakening Response in Sleep-Restricted Adolescents. International Journal of Endocrinology 2012, 7 pp.2012.

Gandolfo de Luque, M., Historia del alumbrado público. Eficiencia y Bienestar. XXXIV Simposium Nacional de alumbrado. Gran Canaria 2008.

George. D., Mallery, M., Using SPSS for windows step by step: a simple guide and reference. Boston, MA, Allyn & Bacon, 2003.

Gómez Lorente, D., Rabaza, O., Espín Estrella, A., Peña-García, A., A new methodology for calculating roadway lighting design based on a multi-objective evolutionary algorithm. Expert Systems with Applications 2013, 40: 2156-2164.

Grieneisen, H.P., Timmins, A., Sardinha, A.S., Couceiro, I.B., Illuminance measurements of roadways. Proceedings of the XVIII IMEKO World Congress. Río de Janeiro (Brazil), 2006.

Hurtado, A., Delgado Ramos, J.A., Calidad de los servicios públicos. Gestión integral de mantenimiento de alumbrado público. XXX Simposium Nacional de alumbrado, Almería 2004.

Hurtado, A., Cruz Moya, J.J., Andrés García, J.J., Linares Gabaldón, R., Plan de optimización energética en las instalaciones de alumbrado público de la ciudad de Granada. Granada 2006, ISBN 84-87713-66-1.

Hurtado, A., Cruz Moya, J.J., Sistema guiado de inspección de alumbrado público. XXXV Simposium Nacional de alumbrado, Pontevedra 2009, ISBN: 978-84-692-2399-4.

Hurtado, A., Peña-García, A., Espín Estrella, A., Descripción y metodología de evaluación de un índice de calidad en la conservación del Alumbrado urbano. XXXVII Simposium Nacional de Alumbrado, Santander, 4-7 de mayo de 2011.

IDAE, CEI. Guía Técnica de Eficiencia Energética en iluminación. Alumbrado público. Madrid, 2001.

International Commission on Illumination, CIE. Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic. CIE Public 115, Vienna, Austria; 2010.

Iqbal, M., An Introduction to Solar Radiation. Academic Press, 1983.

Mie, G., Beiträge zur Optic trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. Ann, Phys 1908, 25: 377-455.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de España. Real Decreto 1890/2008, Madrid, 2008.

Osterlind, S. J., Constructing test items. Boston, Kluwer,1989.

Painter, K.A., Farrington, D. P., 'The Crime Reducing Effect of Improved Street Lighting: The Dudley Project', in R. V. Clarke, ed., *Situational Crime Prevention: Successful Case Studies*, 2nd ed. (pp. 209-226). Guildersland, N. Y., Harrow and Heston, 1997.

Painter, K.A., Farrington, D. P., *Improved Street Lighting: Crime Reducing Effects and Cost-Benefit Analyses*. *Security Journal*, 12, 17-32, 1999.

Painter, K.A., *The Cornwall Project. A New Approach to Evaluate the Impact of Public Lighting on Carbon Reduction, Crime, Community Safety, Quality of Life, Environment and Policing*. University of Cambridge, Institute of Criminology, 2009.

Peña-García, A., *Iluminación y seguridad: Proceedings of the Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA)*. Madrid, 2008.

Peña-García, A., Hurtado, A., Fuentes Chamorro, F., Espín Estrella, A., Aguilar-Luzón, M.C., *Actuación para la optimización energética del alumbrado en un paso subterráneo en el casco urbano de Granada*. XXXVII Simposium Nacional de Alumbrado, Santander, 4-7 de mayo de 2011.

Peña-García, A., Hurtado, A., Aguilar-Luzón, M.C. *Impact of public lighting on pedestrians perception of safety and well-being*. *Safety Science*, 78, 142-148, 2015.

Peña-García, A., Gómez-Lorente, D., Espín, A., Rabaza, O., "New rules of thumb maximizing energy efficiency in street lighting with discharge lamps: the General Equations for Lighting Design," Engineering Optimization. DOI:10.1080/0305215X.2015.1085715. En prensa.

Prieto, G., Delgado, A.R., Construcción de ítems. En J. Muñiz Psicometría, Madrid, Universitas, 1996.

Rabaza, O., Peña-García, A., Pérez Ocón, F., Gómez Lorente, D., A simple method for designing efficient public lighting, based on new parameter relationships, Expert Systems with Applications.40, 7305–7315, 2013.

Raynham, P., Saksvikrønning, T., White Light and Facial Recognition. The Lighting Journal 68, 29-33, 2003.

Revell, V.L., Skene, D.J., Light-Induced Melatonin Suppression in Humans with Polychromatic and Monochromatic Light. Chronobiology International 2007, 24: 1125-1137.

Rydell, R.L., McConnell, A.R., Consistency and inconsistency in implicit social cognition: The case of implicit and explicit measures of attitudes. En B. Gawronski & B. K. Payne (Eds.), Handbook of implicit social cognition: Measurement, theory, and applications, 295-310, New York, Guilford, 2010.

San Martín Páramo, R., El libro blanco de la iluminación, tomo 6. Madrid, 2011

Sherman, Gottfredson, MacKenzie, Eck, Reuter, Bushway, Preventig crime: What works, what doesn't, what's promise. A report to the United States Congress. Prepared for the National Institute of Justice Maryland. University of Maryland al College Park, Department of Criminology and Criminal Justice. 1997

Strutt, J., On the transmission of light through an atmosphere containing small particles in suspension, and on the origin of the blue of the sky. *Philos, Mag* 1899, 47: 375-394.

Tien, J.M., O'Donnell, V.F., Barnet, A., Mirchandani, A., Pitu. B.. Street lighting projects. National Evaluation Program, Phase 1 Summary Report. Washington DC: National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice, USA, 1977.





## **ANEXOS**

- I. Estudio Piloto
- II. Encuesta utilizada
- III. Mediciones de preselección de calles
- IV. Método de medida de los 9 puntos
- V. Clases de alumbrado
- VI. Resultados completos de las encuestas
- VII. Fichas técnicas de los aparatos de medida: Luxómetro ht-instrument HT307
- VIII. Magnitudes básicas en Luminotecnia.



**ANEXO I**

**ESTUDIO PILOTO**





encendido)							
6.- Valore las molestias que le produce el alumbrado público de esta calle (deslumbramiento, dolor de cabeza...)	<input type="checkbox"/>						
7.- ¿En qué grado piensa usted que esta calle es segura?	<input type="checkbox"/>						
8.- ¿Cómo de seguro/a se siente usted cuando camina por esta calle en horario nocturno?	<input type="checkbox"/>						
9.- En el caso de que ocurriera un ataque o un acto vandálico en esta calle por la noche, ¿cómo de vulnerable se sentiría Usted?	<input type="checkbox"/>						
10.- Ante cuestiones que le surjan en relación a las condiciones de iluminación y la eficiencia del alumbrado, valore el grado de información disponible	<input type="checkbox"/>						

**MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**

**Ahora nos gustaría que nos Indicará su OPINIÓN GENERAL SOBRE ESTE CUESTIONARIO:**

**1.- Indique qué opinión le merecen las cuestiones planteadas, ¿le parecen fáciles de entender?, ¿están bien redactadas? etc.,:**

---



---



---



---



---

**2.- El objetivo de este cuestionario, es MEDIR EL NIVEL DE PERCEPCIÓN LUMÍNICA Y SU RELACIÓN CON LA PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD EN LOS CIUDADANOS, ¿piensa Usted qué este cuestionario, mide correctamente este aspecto?.**

---

---

---

---

**3.-Piensa Usted, ¿que debería de incluir más preguntas?, en caso afirmativo, indique cuáles o cuáles:**

---

---

---

---

**4.- Cambiaría Usted, la redacción de alguna de las cuestiones planteadas en el presente cuestionario? En caso afirmativo, indique qué número de cuestión cambiaría y qué le cambiaría.**

---

---

---

---

**5.- Respecto a la escala de respuesta utilizada y al formato dado al cuestionario,**

**5.1.- ¿Piensa Usted que la escala de respuesta, (del 1 al 7) es adecuada?, en caso de que considere que NO lo es, indique qué escala utilizaría Usted.**

---

---

---

---

**5.2.- ¿Piensa Usted que el formato dado al cuestionario, es adecuado? En caso de que considere que NO lo es, indique el por qué.**

---

---

---

---



## **ANEXO II**

### **ENCUESTA UTILIZADA**



## I.V.L

*Esta es una investigación llevada a cabo por investigadores de la Universidad de Granada en colaboración con la Agenda 21 Local del Ayuntamiento de Granada. Se trata de un cuestionario ANÓNIMO, y los datos recogidos serán tratados en conjunto y no de forma individual. Le pedimos que conteste de forma sincera a cada una de las cuestiones. El objetivo de este estudio es mejorar la calidad de vida de los ciudadanos residentes en Granada mediante el análisis de la influencia del alumbrado público en su grado de bienestar.*

### DATOS PERSONALES

**EDAD:** \_\_\_\_\_ **SEXO:**  Hombre  Mujer

**NIVEL DE ESTUDIOS**  
 Sin estudios  
 Primaria  
 ESO / FP-1  
 Bachillerato / FP-2  
 Estudios superiores

Hora: \_\_\_\_\_

COLOR ALUMBRADO DE LA CALLE:  BLANCO  NARANJA

CALLE: \_\_\_\_\_

**Nos gustaría que reflexionase sobre la iluminación de esta calle (intensidad y color de la luz, etc). Observe la luz que emiten las farolas de su calle e indíquenos su opinión con respecto a las siguientes cuestiones:**

	1 (Nada)	2	3	4	5 (Mucho)
1.- ¿Le gusta la iluminación de esta calle?	<input type="checkbox"/>				
2.- ¿Le gusta el color de la luz de esta calle?	<input type="checkbox"/>				
3.- ¿Cómo de intenso, cree usted que es el alumbrado público en esta calle?	<input type="checkbox"/>				
4.- ¿Cree usted que el número de farolas en esta calle es suficiente?	<input type="checkbox"/>				
5.- ¿Cree usted que la iluminación de esta calle podría influir sobre posibles accidentes (tráfico, caídas de peatones....)?	<input type="checkbox"/>				
6.- ¿Cómo de seguro/a se siente usted cuando camina por esta calle en horario nocturno?	<input type="checkbox"/>				
7.- Valore el nivel de estrés que sufre al pasear por esta calle en horario nocturno (cuando el alumbrado público está encendido)	<input type="checkbox"/>				
8.- ¿Le produce el alumbrado público de esta calle algún tipo de molestia? (deslumbramiento, dolor de cabeza...)	<input type="checkbox"/>				
9.- ¿Influye la iluminación de esta calle sobre su estado de ánimo?	<input type="checkbox"/>				
10.- Valore en términos generales la calidad de la iluminación de esta calle	<input type="checkbox"/>				

<b>11.- ¿Cómo de conforme estaría usted con la reducción de la intensidad del alumbrado público para ahorrar energía?</b>	<input type="checkbox"/>				
---	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

**MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**

## **ANEXO III**

### **MEDICIONES DE CALLES PRESELECCIONADAS**



DATOS	
Calle	Tete Montoliu
Disposición	Unilateral
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	250
Interdistancia (m)	35
Anchura (m)	10
Clasificación	B1: ME4b/ME5/ME6

REJILLA						
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0
B	7,7	3,5	2,2	3,5	7,7	7,7
C	13,8	5,1	2,8	5,1	13,8	13,8
D	9,5	7,6	3,9	7,6	9,5	9,5

LUMINANCIAS	
E1	7,7
E2	13,8
E3	9,5
E4	3,5
E5	5,1
E6	7,6
E7	2,2
E8	2,8
E9	3,9

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Emed	6,19	10,00	61,94%
Uniformidad media UI	0,36	0,40	88,80%
Uniformidad global Ug	0,16		

DATOS	
Calle	Mirio
Disposición	Tresbolillo
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	250
Interdistancia (m)	25
Anchura (m)	12
Clasificación	D3-D4:CE2/S1/S2

REJILLA						
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0
B	79,3	65,4	39,6	41,6	81,0	81,0
C	85,5	55,5	32,8	55,5	85,5	85,5
D	81,0	41,6	43,1	65,4	79,3	79,3

LUMINANCIAS	
E1	80,15
E2	85,5
E3	80,15
E4	53,5
E5	55,5
E6	53,5
E7	39,6
E8	32,8
E9	43,1

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Em	57,23	20,00	286,13%
Uniformidad media UI	0,57	0,40	143,29%
Uniformidad global Ug	0,38		

DATOS	
Calle	Alhondiga
Disposición	unilateral
Lámpara	HM
Pot.(W)	140
Interdistancia (m)	???
Anchura (m)	9
Clasificación	E2:CE1A/CE2/S1

REJILLA						
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0
B	23,2	19,8	16,1	19,8	23,2	23,2
C	72,1	52,1	42,6	52,1	72,1	72,1
D	84,5	56,2	45,8	56,2	84,5	84,5

LUMINANCIAS	
E1	23,2
E2	72,1
E3	84,5
E4	19,8
E5	52,1
E6	56,2
E7	16,1
E8	42,6
E9	45,8

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Em	47,46	25,00	189,85%
Uniformidad media UI	0,34	0,40	84,80%
Uniformidad global Ug	0,19		

DATOS	
Calle	Mesones
Disposición	Unilateral
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	150
Interdistancia (m)	16
Anchura (m)	8
Clasificación	E2:CE1A/CE2/S1

Lux	REJILLA				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	28,7	30,1	29,8	30,1	28,7
C	52,8	23,5	22,7	23,5	52,8
D	62,2	19,2	11,2	19,2	62,2

LUMINANCIAS	
E1	28,7
E2	52,8
E3	62,2
E4	30,1
E5	23,5
E6	19,2
E7	29,8
E8	22,7
E9	11,2

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	29,72	25,00	118,88%
Uniformidad media UI	0,38	0,40	94,22%
Uniformidad global Ug	0,18		

DATOS	
Calle	Virgen del Rocio
Disposición	Unilateral
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	150
Interdistancia (m)	16
Anchura (m)	8,3
Clasificación	D3-D4:CE2/S1/S2

Lux	REJILLA				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	16,2	16,4	10,2	16,4	16,2
C	41,6	23,4	12,5	23,4	41,6
D	41,2	20,3	10,9	20,3	41,2

LUMINANCIAS	
E1	16,2
E2	41,6
E3	41,2
E4	16,4
E5	23,4
E6	20,3
E7	10,2
E8	12,5
E9	10,9

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	22,11	20,00	110,53%
Uniformidad media UI	0,46	0,40	115,35%
Uniformidad global Ug	0,25		

DATOS	
Calle	Cuesta del Chapiz
Disposición	Unilateral
Lámpara	HM
Pot.(W)	150
Interdistancia (m)	16,8
Anchura (m)	8,2
Clasificación	D3-D4:CE2/S1/S2

Lux	REJILLA				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	5,8	6,5	7,3	6,5	5,8
C	10,8	6,9	8,6	6,9	10,8
D	4,8	5,8	7,6	5,8	4,8

LUMINANCIAS	
E1	5,8
E2	10,8
E3	4,8
E4	6,5
E5	6,9
E6	5,8
E7	7,3
E8	8,6
E9	7,6

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	7,28	20,00	36,41%
Uniformidad media UI	0,66	0,40	164,81%
Uniformidad global Ug	0,44		

DATOS	
Calle	Agustina de Aragón
Disposición	Tresbolillo
Lámpara	LED
Pot.(W)	100
Interdistancia (m)	15
Anchura (m)	15
Clasificación	D3-D4: S3/S4

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	9,9	7,4	13,0	26,2	29,2
C	24,0	30,9	25,2	30,9	24,0
D	29,2	26,2	16,8	7,4	9,9

LUMINANCIAS	
E1	19,55
E2	24
E3	19,55
E4	16,8
E5	30,9
E6	16,8
E7	13
E8	25,2
E9	16,8

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	22,38	7,50	298,42%
Uniformidad media U1	0,58	0,40	145,21%
Uniformidad global Ug	0,42		

DATOS	
Calle	Santa Bárbara
Disposición	Tresbolillo
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	250???
Interdistancia (m)	25
Anchura (m)	12,2
Clasificación	D3-D4: S3/S4

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	9,2	8,9	13,4	14,1	31,0
C	27,9	14,3	6,5	14,3	27,9
D	31,0	14,1	8,4	8,9	9,2

LUMINANCIAS	
E1	20,1
E2	27,9
E3	20,1
E4	11,5
E5	14,3
E6	11,5
E7	13,4
E8	6,5
E9	8,4

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	14,63	7,50	195,00%
Uniformidad media U1	0,44	0,40	111,11%
Uniformidad global Ug	0,23		

DATOS	
Calle	Meson del toledano
Disposición	Unilateral
Lámpara	LED
Pot.(W)	120 W
Interdistancia (m)	25
Anchura (m)	12,2
Clasificación	D3-D4: S3/S4

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	14,1	10,2	4,3	10,2	14,1
C	39,5	14,4	4,8	14,4	39,5
D	51,8	14,4	2,8	14,4	51,8

LUMINANCIAS	
E1	14,1
E2	39,5
E3	51,8
E4	10,2
E5	14,4
E6	14,4
E7	4,3
E8	4,8
E9	2,8

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	16,78	7,50	223,67%
Uniformidad media U1	0,17	0,40	41,73%
Uniformidad global Ug	0,05		

DATOS	
Calle	María Lejárraga
Disposición	Unilateral
Lámpara	HM
Pot.(W)	2x100
Interdistancia (m)	20
Anchura (m)	10
Clasificación	E1:S2/S3/S4

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	17,8	13,3	23,4	47,2	52,6
C	43,2	55,6	45,4	55,6	43,2
D	52,6	47,2	30,2	13,3	17,8

LUMINANCIAS	
E1	35,19
E2	43,2
E3	35,19
E4	30,24
E5	55,62
E6	30,24
E7	23,4
E8	45,36
E9	30,24

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Em	40,29	7,50	537,15%
Uniformidad media UI	0,58	0,40	145,21%
Uniformidad global Ug	0,42		

DATOS	
Calle	Almoravides
Disposición	Unilateral
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	150
Interdistancia (m)	30
Anchura (m)	9
Clasificación	D3-D4: S3/S4

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	52,2	58,5	65,7	58,5	52,2
C	97,2	62,1	77,4	62,1	97,2
D	43,2	52,2	68,4	52,2	43,2

LUMINANCIAS	
E1	52,2
E2	97,2
E3	43,2
E4	58,5
E5	62,1
E6	52,2
E7	65,7
E8	77,4
E9	68,4

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Em	65,53	7,50	873,75%
Uniformidad media UI	0,66	0,40	164,81%
Uniformidad global Ug	0,44		

DATOS	
Calle	Virgen de la Consolación
Disposición	Bilateral
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	150
Interdistancia (m)	25
Anchura (m)	28
Clasificación	D3-D4: CE2/S1/S2

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	53,3	34,6	26,5	34,6	53,3
C	89,1	32,9	29,1	32,9	89,1
D	69,6	66,8	30,6	66,8	69,6

LUMINANCIAS	
E1	53,3358
E2	89,0652
E3	69,573
E4	34,629
E5	32,9154
E6	66,8304
E7	26,5188
E8	29,1312
E9	30,6306

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Em	46,94	7,50	625,86%
Uniformidad media UI	0,56	0,40	141,24%
Uniformidad global Ug	0,30		

DATOS	
Calle	Pto Baroja
Disposición	Unilateral
Lámpara	HM
Pot.(W)	210
Interdistancia (m)	25
Anchura (m)	8
Clasificación	E1:S2/S3/S4

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	78,5	35,7	22,4	35,7	78,5
C	140,8	52,0	28,6	52,0	140,8
D	96,9	77,5	39,8	77,5	96,9

LUMINANCIAS	
E1	78,54
E2	140,76
E3	96,9
E4	35,7
E5	52,02
E6	77,52
E7	22,44
E8	28,56
E9	39,78

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Em	63,18	7,50	842,35%
Uniformidad media UI	0,36	0,40	88,80%
Uniformidad global Ug	0,16		

DATOS	
Calle	Séneca
Disposición	Unilateral
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	250
Interdistancia (m)	35
Anchura (m)	12
Clasificación	D3-D4: S3/S4

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	46,5	33,7	17,5	33,7	46,5
C	130,4	47,5	15,8	47,5	130,4
D	170,9	47,5	14,2	47,5	170,9

LUMINANCIAS	
E1	46,53
E2	130,35
E3	170,94
E4	33,66
E5	47,52
E6	47,52
E7	17,49
E8	15,84
E9	14,19

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Em	55,87	7,50	744,98%
Uniformidad media UI	0,25	0,40	63,49%
Uniformidad global Ug	0,08		

DATOS	
Calle	Navarra
Disposición	Unilateral
Lámpara	VSAP
Pot.(W)	150
Interdistancia (m)	35
Anchura (m)	10
Clasificación	D3-D4: CE2/S1/S2

REJILLA					
Lux	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	7,5	4,9	3,4	4,9	7,5
C	12,2	4,6	4,1	4,6	12,2
D	9,5	9,4	4,3	9,4	9,5

LUMINANCIAS	
E1	7,47
E2	12,18
E3	9,45
E4	4,85
E5	4,61
E6	9,36
E7	3,42
E8	4,08
E9	4,29

RESULTADOS			
	Med.	Regl.	Var.
Iluminancia media Em	6,50	20,00	32,50%
Uniformidad media UI	0,53	0,40	131,53%
Uniformidad global Ug	0,28		

DATOS	
Calle	Antonia Mercé
Disposición	Tresbolillo
Lámpara	HM
Pot.(W)	100
Interdistancia (m)	20
Anchura (m)	18
Clasificación	D3-D4: S3/S4

Lux	REJILLA				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	20,6	17,0	10,3	10,8	21,1
C	22,2	14,4	8,5	14,4	22,2
D	21,1	10,8	11,2	17,0	20,6

LUMINANCIAS	
E1	20,839
E2	22,23
E3	20,839
E4	13,91
E5	14,43
E6	13,91
E7	10,296
E8	8,528
E9	11,206

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	14,88	7,50	198,38%
Uniformidad media UI	0,57	0,40	143,29%
Uniformidad global Ug	0,38		

DATOS	
Calle	Maitena
Disposición	Tresbolillo
Lámpara	HM
Pot.(W)	100
Interdistancia (m)	20
Anchura (m)	16
Clasificación	D3-D4: S3/S4

Lux	REJILLA				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	25,4	16,5	12,6	16,5	25,4
C	42,4	15,7	13,9	15,7	42,4
D	33,1	31,8	14,6	31,8	33,1

LUMINANCIAS	
E1	25,398
E2	42,412
E3	33,13
E4	16,49
E5	15,674
E6	31,824
E7	12,628
E8	13,872
E9	14,586

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	22,35	7,50	298,03%
Uniformidad media UI	0,56	0,40	141,24%
Uniformidad global Ug	0,30		

DATOS	
Calle	Profesor Domínguez Ortiz
Disposición	Tresbolillo
Lámpara	HM
Pot.(W)	100
Interdistancia (m)	25
Anchura (m)	15
Clasificación	B1:ME4b/ME5/ME6

Lux	REJILLA				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	21,8	16,3	25,6	57,6	64,2
C	52,8	68,0	55,4	68,0	52,8
D	64,2	57,6	37,0	16,3	21,8

LUMINANCIAS	
E1	43,01
E2	52,8
E3	43,01
E4	36,96
E5	67,98
E6	36,96
E7	25,6
E8	55,44
E9	36,96

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	49,05	7,50	654,02%
Uniformidad media UI	0,52	0,40	130,48%
Uniformidad global Ug	0,38		

DATOS	
Calle	Jamaica
Disposición	Unilateral
Lámpara	HM
Pot.(W)	90
Interdistancia (m)	18
Anchura (m)	6
Clasificación	D3-D4: S3/S4

Lux	REJILLA				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	28,2	20,4	10,6	20,4	28,2
C	79,0	28,8	9,6	28,8	79,0
D	103,6	28,8	8,6	28,8	103,6

LUMINANCIAS	
E1	28,2
E2	79
E3	103,6
E4	20,4
E5	28,8
E6	28,8
E7	10,6
E8	9,6
E9	8,6

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	33,86	7,50	451,50%
Uniformidad media U1	0,25	0,40	63,49%
Uniformidad global Ug	0,08		

DATOS	
Calle	Almazara
Disposición	Unilateral
Lámpara	HM
Pot.(W)	100
Interdistancia (m)	18
Anchura (m)	7
Clasificación	D3-D4: S3/S4

Lux	REJILLA				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
B	43,3	28,1	19,8	28,1	43,3
C	70,6	26,7	23,7	26,7	70,6
D	54,8	54,3	24,9	54,3	54,8

LUMINANCIAS	
E1	43,326
E2	70,644
E3	54,81
E4	28,13
E5	26,738
E6	54,288
E7	19,836
E8	23,664
E9	24,882

RESULTADOS			
Iluminancia media Em	37,70	7,50	502,72%
Uniformidad media U1	0,53	0,40	131,53%
Uniformidad global Ug	0,28		



## **ANEXO IV**

### **MÉTODO DE MEDIDA DE LOS 9 PUNTOS**



MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	<b>MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO</b>	ITC – EA – 07
<b><u>4.3 Método simplificado de medida de la iluminancia media</u></b>		
El método denominado de los "nueve puntos" permite determinar de forma simplificada, la iluminancia media ( $E_m$ ), así como también las uniformidades media ( $U_m$ ) y general ( $U_g$ ).		

MINISTERIO DE  
INDUSTRIA TURISMO  
Y COMERCIO

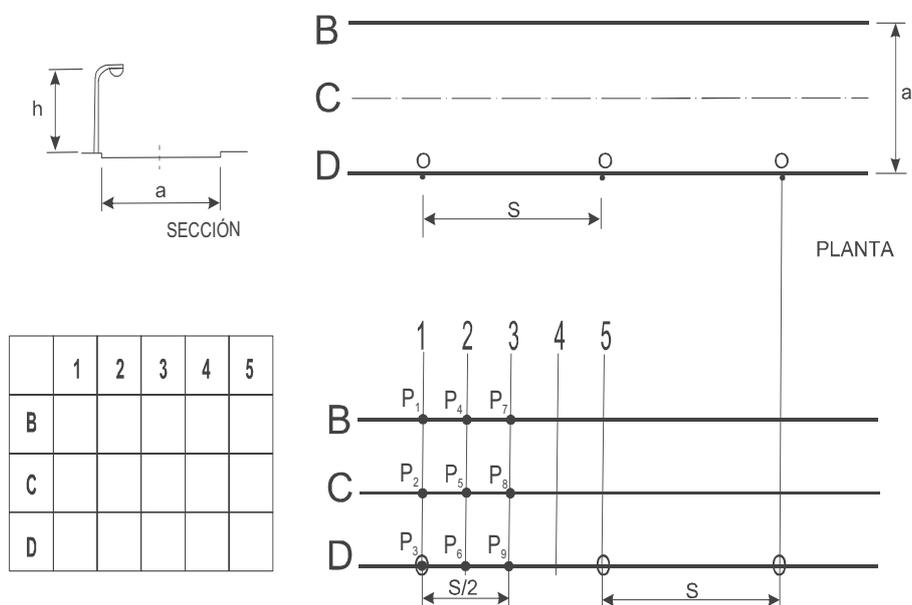
MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 07

A partir de la medición de la iluminancia en quince puntos de la calzada (véase fig. 6), se determinará la iluminancia media horizontal ( $E_m$ ) mediante una media ponderada, de acuerdo con el denominado método de los “nueve puntos”.

Mediante el luxómetro se mide la iluminancia en los quince puntos resultantes de la intersección de las abscisas B, C, D, con las ordenadas 1, 2, 3, 4 y 5, de la figura 6.

Fig. 6 - Determinación de la iluminancia media y uniformidades mediante el método de los nueve puntos.



Teniendo en cuenta una eventual inclinación de las luminarias hacia un lado u otro, se debe adoptar como medida real de la iluminancia en el punto teórico  $P_1$  la media aritmética de las medidas obtenidas en los puntos B1 y B5 y así sucesivamente, tal y como consta en la tabla que se adjunta más adelante.

La iluminancia media es la siguiente:

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO	<b>MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO</b>	ITC – EA – 07
--	--	---------------

Donde:

$$E_1 = (B_1 + B_5) / 2$$

$$E_2 = (C_1 + C_5) / 2$$

$$E_3 = (D_1 + D_5) / 2$$

$$E_4 = (B_2 + B_4) / 2$$

$$E_5 = (C_2 + C_4) / 2$$

$$E_6 = (D_2 + D_4) / 2$$

$$E_7 = B_3$$

$$E_8 = C_3$$

$$E_9 = D_3$$

La uniformidad media ( $U_m$ ) de iluminancia es el cociente entre el valor mínimo de las iluminancias  $E_i$  calculadas anteriormente y la iluminancia media ( $E_m$ ).

La uniformidad general o extrema ( $U_g$ ) se calcula dividiendo el valor mínimo de de las iluminancias  $E_i$  entre el valor máximo de dichas iluminancias.



## **ANEXO V**

### **CLASES DE ALUMBRADO**



MINISTERIO DE  
INDUSTRIA TURISMO  
Y COMERCIO

**MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO**

ITC – EA – 02

**2.1 Clasificación de las vías y selección de las clases de alumbrado**

2.1.1 El criterio principal de clasificación de las vías es la velocidad de circulación, según se establece en la Tabla 1.

**Tabla 1 – Clasificación de las vías**

<b>Clasificación</b>	<b>Tipo de vía</b>	<b>Velocidad del tráfico rodado (km/h)</b>
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	$v \leq 5$

MINISTERIO DE  
INDUSTRIA TURISMO  
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 02

2.1.2. 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.

En las tablas 2, 3, 4 y 5 se definen las clases de alumbrado para las diferentes situaciones de proyecto correspondientes a la clasificación de vías anteriores.

Tabla 2 – Clases de alumbrado para vías tipo A

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

<sup>(\*)</sup> 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.

MINISTERIO DE  
INDUSTRIA TURISMO  
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 02

Tabla 3 – Clases de alumbrado para vías tipo B

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

<sup>(\*)</sup> 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 4 – Clases de alumbrado para vías tipos C y D

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

<sup>(\*)</sup> 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.

MINISTERIO DE  
INDUSTRIA TURISMO  
Y COMERCIO

MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

ITC – EA – 02

Tabla 5 – Clases de alumbrado para vías tipo E

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

<sup>(\*)</sup> 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.

2.1.3 Cuando para una determinada situación de proyecto e intensidad de tráfico puedan seleccionarse distintas clases de alumbrado, se elegirá la clase teniendo en cuenta la complejidad del trazado, el control de tráfico, la separación de los distintos tipos de usuarios y otros parámetros específicos.

## **ANEXO VI**

# **RESULTADOS COMPLETOS DE LAS ENCUESTAS**



NUMERO ENCUESTA	EDAD	SEXO (SI HOMBRE=1;SI MUJER=2)	NIVEL ESTUDIOS (SIN ESTUDIOS=1;	HORA	COLOR ALUMBRADO (SI BLANCO=1;SI	CALLE
1	59	2	1	21:07	2	STB
2		1	5	19:00	2	STB
3	58	1	2	20:15	2	STB
4	80	1	1	20:02	2	STB
5	32	1	3	19:56	2	STB
6	41	1	2	20:07	2	STB
7	31	2	4	20:30	2	STB
8	49	2	4	19:47	2	STB
9	72	1	1	20:30	2	STB
10	51	1	1	20:59	2	STB
11	34	1	5	20:55	2	STB
12	25	2	5	20:50	2	STB
13	15	1	3	20:40	2	STB
14	35	2	5	20:32	2	STB
15	48	1	3	20:22	2	STB
16	18	1	4	19:44	2	STB
17	15	1	3	19:47	2	STB
18	18	2	4	19:30	2	STB
19	57	1	4	19:38	2	STB
20	35	1	5	19:49	2	STB
21		2	5	19:52	2	STB
22		1	4	19:45	2	STB
23		2	4	19:24	2	STB
24		1	3	19:20	2	STB
25		2	5	18:12	2	STB
26		1		19:07	2	STB
27		2	4	19:02	2	STB
28		1	3	19:50	2	STB
29		1	3	19:32	2	STB
30		1	3	17:50	2	STB
31		1	4	19:00	2	STB
32		2	3	19:30	2	STB
33	69	1	5	20:15		STB
34	15	2	3	19:48	2	STB
35	32	1	5	19:52	2	STB
36	40	2	4	19:03	2	STB
37	24	1	4	19:20	2	STB
38	20	1	5	19:06	2	STB
39	20	1	5	19:07	2	STB
40	59	2	2	19:50	2	STB
41	27	1	5	20:11	2	STB
42	35	2	3	19:40	2	STB
43	52	1	1	19:59	2	STB
44	69	2	1	20:20	2	STB
45	78	2	1	20:12	2	STB
46	38	2	4	20:19	2	STB
47	49	2	3	20:30	2	STB
48	42	1	4	20:35	2	STB

NUMERO ENCUESTA	EDAD	SEXO (SI HOMBRE=1;SI MUJER=2)	NIVEL ESTUDIOS (SIN ESTUDIOS=1;	HORA	COLOR ALUMBRADO (SI BLANCO=1;SI	CALLE
49	16	1	3	20:45	2	STB
50	26	2	5	20:52	2	STB
51	42	2	4	20:58	2	STB
52	75	2	1	19:32	2	MSN
53	8	1	2	19:38	2	MSN
54	52	2	4	19:40	2	MSN
55	14	1	3	19:43	2	MSN
56	28	2	5	19:55	2	MSN
57	35	2	4	20:05	2	MSN
58	6	2	2	20:15	2	MSN
59	81	2		20:56	2	MSN
60	34	1		20:35	2	MSN
61	45	2	5	20:54	2	MSN
62	27	2	5	19:08	2	MSN
63	22	1	4	19:11	2	MSN
64	45	2	3	19:21	2	MSN
65	16	2	3	19:22	2	MSN
66	21	1	4	19:28	2	MSN
67	57	2	2	19:14	2	MSN
68	16	2	3	19:22	2	MSN
69	50	2	4	19:28	2	MSN
70	36	2	4	19:48	2	MSN
71	50	1	4	19:53	2	MSN
72	45	2	2	20:05	2	MSN
73	18	1	4	20:14	2	MSN
74	75	2	1	20:28	2	MSN
75	65	2	1	20:35	2	MSN
76	40	2	5	20:45	2	MSN
77	18	1	4	19:05	2	MSN
78	42	1	4	19:15	2	MSN
79	16	1	3	19:21	2	MSN
80	22	1	4	19:26	2	MSN
81	53	1	5	19:38	2	MSN
82	16	1	3	19:40	2	MSN
83	25	1	5	19:51	2	MSN
84	32	1	4	20:03	2	MSN
85	8	1	2	20:10	2	MSN
86	80	1	1	20:21	2	MSN
87	10	1	2	19:55	2	MSN
88	35	2	4	19:45	2	MSN
89	48	1	4	19:51	2	MSN
90	42	1	3	20:01	2	MSN
91	18	2	4	20:18	2	MSN
92	74	1	2	20:25	2	MSN
93	64	1	2	20:32	2	MSN
94	38	1	5	20:40	2	MSN
95	31	1		20:32	2	MSN
96	42	1	5	20:45	2	MSN

NUMERO ENCUESTA	EDAD	SEXO (SI HOMBRE=1;SI MUJER=2)	NIVEL ESTUDIOS (SIN ESTUDIOS=1;	HORA	COLOR ALUMBRADO (SI BLANCO=1;SI	CALLE
97	21	1	4	19:05	2	MSN
98	59	1	3	19:12	2	MSN
99	12	1	2	19:20	2	MSN
100	48	1	5	19:25	2	MSN
101	72	1	2	19:30	2	MSN
102	25	1	4	21:00	2	MRL
103	18	1	4	21:11	2	MRL
104	21	1	5	21:42	2	MRL
105	71	1	2	21:50	2	MRL
106	33	2	4	21:58	2	MRL
107	15	2	3	22:07	2	MRL
108	55	1	2	22:15	2	MRL
109	20	1	5	22:28	2	MRL
110	60	2	2	22:39	2	MRL
111	19	1	5	21:28	2	MRL
112	22	2	5	21:33	2	MRL
113	21	2	5	21:50	2	MRL
114	72	1	1	21:58	2	MRL
115	72	1	1	21:01	2	MRL
116	68	1	2	21:11	2	MRL
117	6	2	2	21:17	2	MRL
118	20	2	5	21:19	2	MRL
119	18	2	5	21:20	2	MRL
120	15	1	3	21:00	2	MRL
121	19	2	5	21:08	2	MRL
122	23	1	5	21:12	2	MRL
123	72	1	2	21:18	2	MRL
124	27	1	4	21:25	2	MRL
125	19	2	5	21:35	2	MRL
126	20	2	5	21:40	2	MRL
127	23	1	5	21:50	2	MRL
128	21	1	5	21:57	2	MRL
129	41	1	3	22:10	2	MRL
130	10	1	2	22:16	2	MRL
131	16	1	3	22:09	2	MRL
132	50	2	3	22:21	2	MRL
133	19	1	4	22:35	2	MRL
134	58	1	3	22:42	2	MRL
135	8	2	2	21:18	2	MRL
136	21	2	5	21:19	2	MRL
137	19	2	5	21:22	2	MRL
138	21	1	5	21:30	2	MRL
139	25	1	5	21:35	2	MRL
140	27	2	5	21:53	2	MRL
141	65	2	1	22:03	2	MRL
142	23	1	4	21:08	2	MRL
143	19	2	5	21:12	2	MRL
144			5	21:23	2	MRL

NUMERO ENCUESTA	EDAD	SEXO (SI HOMBRE=1;SI MUJER=2)	NIVEL ESTUDIOS (SIN ESTUDIOS=1;	HORA	COLOR ALUMBRADO (SI BLANCO=1;SI	CALLE
145	22	2	5	21:38	2	MRL
146	23	2		21:45	2	MRL
147	66	2	1	21:55	2	MRL
148	30	2		22:03	2	MRL
149	68	2	1	21:05	2	MRL
150	65	2	2	21:15	2	MRL
151	16	2	4	21:04	2	MRL
152	22	2	5	21:10	2	MRL
153	25	1	5	21:15	2	MRL
154	70	2	1	21:22	2	MRL
155	22	1	4	21:28	2	MRL
156	21	2	5	21:58	2	MRL
157	19	2	5	21:45	2	MRL
158	22	1	5	21:52	2	MRL
159	23	1	5	22:00	2	MRL
160	40	2	2	22:12	2	MRL
161	12	1	2	22:20	2	MRL
162	45	1	2	22:53	1	ALH
163	25	1	5	22:42	1	ALH
164	22	1	5	22:35	1	ALH
165	41	2	2	22:22	1	ALH
166	54	1		22:06	1	ALH
167	39	2	4	21:53	1	ALH
168	10	2	2	21:45	1	ALH
169	16	1	3	21:32	1	ALH
170	42	1	4	21:21	1	ALH
171	56	2	2	21:05	1	ALH
172	21	1	5	21:08	1	ALH
173	10	2	2	21:08	1	ALH
174	47	2	1	22:15	1	ALH
175	16	1	4	22:27	1	ALH
176	17	2	4	22:08	1	ALH
177	28	1	5	22:00	1	ALH
178	38	2	5	21:21	1	ALH
179	25	1	5	21:15	1	ALH
180	73	2	2	23:45	1	ALH
181	16	2		23:38	1	ALH
182	65	1	5	23:25	1	ALH
183	61	1	2	23:09	1	ALH
184	21	1		23:03	1	ALH
185	23	2	3	22:31	1	ALH
186	51	2	3	22:14	1	ALH
187	42	1	4	22:09	1	ALH
188	33	2	4	22:01	1	ALH
189	82	2	1	21:51	1	ALH
190	75	2	1	21:25	1	ALH
191	28	2	5	21:20	1	ALH
192	24	1		21:15	1	ALH

NUMERO ENCUESTA	EDAD	SEXO (SI HOMBRE=1;SI MUJER=2)	NIVEL ESTUDIOS (SIN ESTUDIOS=1;	HORA	COLOR ALUMBRADO (SI BLANCO=1;SI	CALLE
193	14	1	3	21:03	1	ALH
194	41	2	3	22:50	1	ALH
195	25	2	5	22:40	1	ALH
196	38	1	4	21:50	1	ALH
197	51	1	2	22:01	1	ALH
198	48	1		22:15	1	ALH
199	21	1	5	22:30	1	ALH
200	8	1	2	21:40	1	ALH
201	15	1	3	21:30	1	ALH
202	35	2	3	21:15	1	ALH
203	53	1	2	21:03	1	ALH
204	11	1	2	22:58	1	ALH
205	46	1	1	22:50	1	ALH
206	16	1	3	22:16	1	ALH
207	18	2	4	22:03	1	ALH
208	25	2	5	21:48	1	ALH
209	35	1	5	21:20	1	ALH
210	71	2	1	23:40	1	ALH
211	17	1	4	23:30	1	ALH
212	62	2	4	23:20	1	ALH
213	53	1	2	23:08	1	ALH
214	21	1	4	23:00	1	ALH
215	22	2	5	22:25	1	ALH
216	53	2	3	22:12	1	ALH
217	42	1	4	22:06	1	ALH
218	31	1	3	21:57	1	ALH
219	84	1	2	21:45	1	ALH
220	80	1	1	21:23	1	ALH
221	18	1	3	21:00	1	ALH
222	39	1	4	19:30	1	AGA
223	21	1	4	19:30	1	AGA
224	30	2	4	19:30	1	AGA
225	37	1	5	19:30	1	AGA
226	23	1	3	19:30	1	AGA
227	28	1	3	19:30	1	AGA
228	67	2	5	19:30	1	AGA
229	17		4	19:30	1	AGA
230	27	1	3	19:35	1	AGA
231	38	1	5	19:35	1	AGA
232	25	1	5	19:37	1	AGA
233	55	1	5	19:40	1	AGA
234	62	1	5	19:40	1	AGA
235	48	2	5	19:45	1	AGA
236	37	2	4	19:45	1	AGA
237	29	1	4	19:50	1	AGA
238	32	1	5	19:50	1	AGA
239	23	2	5	19:50	1	AGA
240	17	1	3	19:55	1	AGA

NUMERO ENCUESTA	EDAD	SEXO (SI HOMBRE=1;SI MUJER=2)	NIVEL ESTUDIOS (SIN ESTUDIOS=1;	HORA	COLOR ALUMBRADO (SI BLANCO=1;SI	CALLE
241	47	1	5	19:55	1	AGA
242	20	1	4	19:55	1	AGA
243	53	1	5	20:00	1	AGA
244	35	2	5	20:00	1	AGA
245	26	2	5	20:10	1	AGA
246	59	1	3	20:10	1	AGA
247	17	2	4	20:15	1	AGA
248	22	2	5	20:15	1	AGA
249	44	1	5	20:30	1	AGA
250	30	1	5	20:30	1	AGA
251	26	2	5	20:35	1	AGA
252	64	1	4	20:30	1	AGA
253	58	2	4	20:45	1	AGA
254	40	1	4	20:45	1	AGA
255	65	1	1	18:30	2	MRL
256	22	2	5	18:30	2	MRL
257	55	1	5	18:30	2	MRL
258	40	2	5	18:00	2	MSN
259	19	1	4	18:00	1	MSN
260	58	2	1	18:00	1	MSN
264	45	2	2	17:30	1	AGA
265	67	1	1	18:20	1	AGA
266	20	2	4	18:00	1	AGA
267	42	2	4	19:00	2	STB
268	35	1	4	18:30	2	STB
269	72	2	1	18:00	2	STB

NUMERO ENCUESTA	1. GUSTA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE	2. GUSTA COLOR LUZ (PONER	3. INTENSIDAD ALUMBRADO PUBLICO	4. NUMERO FAROLAS SUFICIENTE	5. INFLUENCIA ILUMINACIÓN ACCIDENTES(P	6. SEGURIDAD EN HORARIO NOCTURNO(P
1	4	3	4	5	2	1
2	3	3	2	2	2	4
3	2	3	2	3	3	2
4	5	3	3	3	4	4
5	5	4	3	2	1	1
6	4	4	4	3	3	4
7	3	4	3	4	3	4
8	4	3	4	3	5	3
9	4	3	4	5	3	4
10	4	3	4	3	4	5
11	3	4	3	4	3	4
12	2	3	4	3	4	3
13	2	3	4	5	2	2
14	4	3	4	3	5	3
15	5	3	2	3	4	3
16	2	1	2	3	3	2
17	4	4	2	1	4	2
18	1	1	2	2	3	2
19	2	2	2	5	5	1
20	3	3	2	1	5	3
21	1	1	1	2	4	1
22	3	4	2	4	2	5
23	2	2	1	4	2	1
24	4	4	3	4	4	5
25	2	1	2	2	5	4
26	4	4	3	4	2	4
27	2	2	1	4	5	2
28	1	2	2	2	3	3
29	1	1	2	1	5	1
30	2	1	2	2	2	2
31	1	2	1	1	5	1
32	1	1	1	1	1	2
33	1	2	1	1	1	2
34	2	3	2	4	4	5
35	3	1	2	2	2	1
36	3	3	3	3	2	3
37	3	2	3	1	5	2
38	5	5	1		5	3
39	1	1	2	3	1	2
40	3	4	4	4	4	5
41	1	3	4	3	3	2
42	4	4	4	3	3	3
43	4	3	3	2	2	1
44	3	2	3	2	4	2
45	4	3	3	4	3	4
46	1	2	3	1	2	1
47	4	2	4	2	4	2
48	5	3	4	3	5	3

NUMERO ENCUESTA	1. GUSTA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE	2. GUSTA COLOR LUZ (PONER	3. INTENSIDAD ALUMBRADO PUBLICO	4. NUMERO FAROLAS SUFICIENTE	5. INFLUENCIA ILUMINACIÓN ACCIDENTES(P	6. SEGURIDAD EN HORARIO NOCTURNO(P
49	3	4	4	4	3	3
50	4	3	4	4	3	3
51	4	3	4	3	3	3
52	3	3	3	4	2	2
53	4	3	3	2	3	2
54	2	4	4	3	3	2
55	2	3	2	3	2	3
56	3	3	4	3	4	3
57	2	3	2	3	2	3
58	2	3	2	3	2	3
59	3	3	4	2	2	3
60	2	3		3	2	3
61	4	4	4	3	3	3
62	3	3	4	2	3	2
63	1	2	3	4	3	4
64	3	2	3	2	3	2
65	3	2	3	2	3	2
66	3	3	4	3	4	3
67	4	3	3	4	3	4
68	4	3	3	4	3	3
69	4	3	4	3	4	3
70	3	2	3	4	2	2
71	2	3	4		3	2
72	4	3	3	2	3	2
73	4	4	2	2	4	2
74	3	2	3	2	3	2
75	3	2	3	2	3	2
76	2	2	4	2	2	4
77	2	3	1	4	2	3
78	2	3	3	3	2	3
79	2	3	2	3	2	3
80	2	3	4	5	5	4
81	2	3	4	3	4	3
82	2	3	4	2	3	4
83	2	3	4	3	4	4
84	2	3	2	3	4	3
85	2	2	3	3	4	2
86	2	2	3	4	3	4
87	3	2	3	4	4	1
88	4	5	4	4	4	3
89	4	3	4	3	4	3
90	2	3	4	3	3	4
91	2	3	4	3	3	4
92	2	2	3	2	2	3
93	2	3	3	2	3	2
94	2	3	4	3	4	3
95	3	3	2	4	2	3
96	4	3	4	3	3	2

NUMERO ENCUESTA	1. GUSTA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE	2. GUSTA COLOR LUZ (PONER	3. INTENSIDAD ALUMBRADO PUBLICO	4. NUMERO FAROLAS SUFICIENTE	5. INFLUENCIA ILUMINACIÓN ACCIDENTES(P	6. SEGURIDAD EN HORARIO NOCTURNO(P
97	4	3	3	4	3	4
98	3	2	4	3	4	2
99	4	3	3	3	2	1
100	2	3	3	3	2	1
101	2	1	2	3	2	3
102	5	4	4	3	4	3
103	3	4	3	4	2	3
104	4	3	4	3	3	4
105	4	3	4	3	4	4
106	4	3	2	3	4	3
107	5	4	3	4	3	3
108	5	4	3	4	3	4
109	4	4	3	4	3	4
110	5	4	3	4	3	4
111	3	3	4	4	4	4
112	4	3	4	3	4	3
113	4	3	4	2	3	4
114	5	4	3	2	1	2
115	2	3	4	4	5	5
116	2	3	4	3	4	3
117	4	3	3	4	3	5
118	5	5	5	4	3	4
119	5	4	5	3	4	5
120	2	3	4	5	3	4
121	4	3	4	3	4	3
122	3	4	4	5	4	3
123	4	4	3	4	3	4
124	3	5	4	3	5	3
125	2	3	4	5	3	4
126	2	3	4	5	4	5
127	2	3	4	2	3	4
128	2	3	4	3	4	3
129	3	4	3	5	4	5
130	3	4	5	4	3	2
131	3	3	3	4	4	4
132	5	4	5	4	5	4
133	4	3	4	4	4	4
134	5	5	5	4	4	4
135	4	4	5	3	5	3
136	5	4	3	4	2	2
137	4	4	5	3	3	5
138	3	2	2	3	3	4
139	4	3	3	2	2	3
140	3	4	5	4	3	2
141	5	4	3	2	1	2
142	5	4	3	4	3	1
143	3	3	4	3	5	4
144	3	4	3	4	3	4

NUMERO ENCUESTA	1. GUSTA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE	2. GUSTA COLOR LUZ (PONER	3. INTENSIDAD ALUMBRADO PUBLICO	4. NUMERO FAROLAS SUFICIENTE	5. INFLUENCIA ILUMINACIÓN ACCIDENTES(P	6. SEGURIDAD EN HORARIO NOCTURNO(P
145	3	5	3	5	3	4
146	4	3	3	4	3	4
147	4	5	5	4	3	4
148	4	3	4	3	4	3
149	5	5	4	5	5	5
150	2	3	4	4	3	4
151	2	3	4	2	3	5
152	4	3	5	2	3	1
153	4	3	4	3	4	5
154	2	3	4	3	4	3
155	3	4	5	4	5	4
156	2	3	4	3	4	3
157	4	3	3	4	2	1
158	4	2	4	3	4	3
159	3	4	3	4	3	4
160	3	3	3	4	4	1
161	4	4	4	4	3	5
162	2	3	2	2	4	1
163	4	3	2	4	3	2
164	2	3	3	4	1	3
165	1	2	1	4	2	3
166	2	3	2	1	5	3
167	1	2	3	4	5	4
168	3	4	3	4	3	4
169	2	3	3	3	2	3
170	2	1	3	5	3	1
171	3	3	4	4	4	3
172	2	4	2	3	4	3
173	3	3	3	4	4	4
174	4	3	2	4	3	3
175	4	3	1	4	2	4
176	2	3	2	4	4	4
177	1	5	1	1	3	3
178	3	2	3	2	4	2
179	4	1	4	5	4	4
180	1	3	4	3	1	3
181	3	4	3	4	3	4
182	2	5	3	3	3	4
183	1	3	5	3	1	3
184	4	3	4	3	4	5
185	5	4	3	4	5	4
186	3	4	4	3	4	4
187	1	5	1	4	1	3
188	5	4	3	2	1	2
189	2	3	4	5	2	3
190	2	3	4	3	4	3
191	3	3	3	4	2	3
192	4	3	3	3	3	4

NUMERO ENCUESTA	1. GUSTA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE	2. GUSTA COLOR LUZ (PONER	3. INTENSIDAD ALUMBRADO PUBLICO	4. NUMERO FAROLAS SUFICIENTE	5. INFLUENCIA ILUMINACIÓN ACCIDENTES(P	6. SEGURIDAD EN HORARIO NOCTURNO(P
193	4	3	4	3	4	3
194	2	3	2	4	2	1
195	2	3	2	3	2	4
196	4	3	4	3	5	2
197	3	2	1	2	3	4
198	2	3	3	4	3	4
199	2	3		2	3	4
200	3	1	3	2	2	3
201	1	4	3	4	3	1
202	4	3	5	4	1	3
203	4	3	4	2	3	3
204	3	4	2	4	1	2
205	3	4	2	3	4	3
206	2	3	4	3	2	3
207	5	4	3	5	4	5
208	2	3	4	3	2	3
209	4	3	2	4	3	4
210	3	4	3	4	3	5
211	2	2	2	2	3	4
212	2	4	2	4	2	4
213	2	3	5	2	1	5
214	2	3	4	5	4	3
215	2	3	4	3	2	3
216	2	3	2	3	2	4
217	2	5	3	5	4	5
218	1	2	3	4	5	1
219	2	3	3	3	3	2
220	1	3	5	4	1	4
221	2	3	4	3	4	4
222	2	1	3	2	4	3
223	3	2	3	3	1	3
224	1	1	2	1	1	1
225	3	3	2	1	4	2
226	3	1	1	1	5	5
227	3	5	3	4	5	4
228	3	4	4	3	1	5
229	2	1	3	2	5	4
230	1	1	1	2	2	4
231	4	4	3	3	1	4
232	3	3	2	3	1	1
233	1	2	2	1	4	5
234	4	4	3	3	1	4
235	3	1	1	2	5	2
236	1	1	2	1	3	1
237	1	1	1	1	3	4
238	1	2	2	2	4	5
239	3	2	2	2	2	3
240	1	1	1	1	5	1

NUMERO ENCUESTA	1. GUSTA ILUMINACIÓN DE ESTA CALLE	2. GUSTA COLOR LUZ (PONER	3. INTENSIDAD ALUMBRADO PUBLICO	4. NUMERO FAROLAS SUFICIENTE	5. INFLUENCIA ILUMINACIÓN ACCIDENTES(P	6. SEGURIDAD EN HORARIO NOCTURNO(P
241	1	1	1	1	3	4
242	1	1	1	1	5	1
243	1	1	1	1	5	1
244	3	2	2	2	3	3
245	3	1	3	5	1	5
246	2	2	1	1	2	4
247	2	3	3	5	5	2
248	2	2	3	5	4	3
249	2	2	3	3	3	2
250	3	2	2	2	2	1
251	4	4	3	3	1	5
252	2	2	3	2	1	3
253	3	5	2	4	1	1
254	3	2	3	4	1	5
255	3	2	2	2	3	3
256	3	2	3	3	3	3
257	2	3	3	2	3	2
258	4	3	3	4	1	5
259	4	3	3	4	2	4
260	4	4	2	4	1	5
264	2	2	3	2	3	2
265	2	3	3	4	3	3
266	1	1	2	2	2	2
267	1	2	2	1	4	2
268	1	1	2	2	4	2
269	1	1	2	1	4	1

NUMERO ENCUESTA	7. NIVEL ESTRÉS HORARIO	8. MOLESTIAS ALUMBRADO (PONER	9. INFLUENCIA ESTADO DE ANIMO(PONER	10. VALORACIÓN CALIDAD	11. REDUCCIÓN INTENSIDAD
1	1	1	2	3	4
2	1	1	1	2	4
3	3	3	2	3	2
4	1	4	3	3	3
5	2	3	3	3	3
6	5	2	4	3	2
7	3	4	3	4	4
8	1	2	4	3	3
9	1	4	3	3	3
10	1	1	4	3	3
11	3	4	3	4	3
12	4	3	4	3	4
13	3	4	3	3	3
14	3	1	3	3	3
15	5	3	5	3	5
16	3	1	4	2	4
17	1	1	1	3	4
18	1	1	2	2	5
19	1	1	1	4	4
20	3	4	3	2	5
21	5	1	3	1	1
22	2	1	1	3	1
23	4	1	1	3	3
24	1	1	1	3	5
25	1	1	1	3	4
26	1	1	1	4	3
27	3	1	1	1	3
28	4	4	5	2	2
29	5	5	5	5	4
30	3	3	4	3	4
31	3	1	3	1	3
32	2	2	1	3	4
33	1	1	1	3	2
34	1	1	1	3	4
35	2	1	1	2	4
36	1	1	1	4	3
37	5	3	3	2	5
38	5	5	5	5	5
39	2	2	1	2	3
40	1	4	3	4	4
41	1	3	3	4	4
42	1	3	3	3	4
43	2	2	1	1	2
44	4	2	4	2	4
45	3	3	3	3	3
46	2	1	2	3	2
47	4	2	4	2	4
48	5	3	5	3	5

NUMERO ENCUESTA	7. NIVEL ESTRÉS HORARIO	8. MOLESTIAS ALUMBRADO (PONER	9. INFLUENCIA ESTADO DE ANIMO(PONER	10. VALORACIÓN CALIDAD	11. REDUCCIÓN INTENSIDAD
49	1	4	3	3	3
50	1	3	3	3	4
51	2	2	3	3	3
52	1	3	3	4	4
53	2	3	2	2	2
54	3	2	3	3	3
55	2	3	3	3	3
56	4	3	3	4	3
57	2	3	4	2	3
58	2	3	3	3	3
59	2	3	2	3	2
60	4	2	4	2	3
61	2	1	1	1	1
62	4	2	3	4	4
63	3	4	3	4	3
64	3	2	3	2	3
65	3	3	3	2	3
66	4	3	4	3	4
67	3	4	2	1	1
68	1	3	3	3	4
69	4	3	4	3	4
70	1	1	3	3	4
71	3	4	3	3	3
72	3	2	1	1	2
73	3	3	2	3	3
74	3	2	3	2	3
75	3	2	3	2	3
76	1	3	3	4	3
77	3	3	1	3	3
78	2	2	3	3	3
79	2	3	2	3	2
80	5	4	4	4	4
81	4	3	4	3	4
82	3	4	3	4	3
83	3	4	3	4	3
84	2	4	3	2	3
85	1	1	4	3	3
86	3	4	3	4	3
87	1	1	3	3	3
88	3	5	4	4	4
89	4	3	2	1	2
90	3	4	3	4	3
91	3	4	3	4	3
92	1	1	3	3	3
93	3	3	3	2	3
94	4	3	4	3	4
95	4	3	2	3	3
96	1	1	3	3	3

NUMERO ENCUESTA	7. NIVEL ESTRÉS HORARIO	8. MOLESTIAS ALUMBRADO (PONER	9. INFLUENCIA ESTADO DE ANIMO(PONER	10. VALORACIÓN CALIDAD	11. REDUCCIÓN INTENSIDAD
97	3	4	3	5	5
98	4	3	3	4	3
99	3	2	3	2	2
100	1	1	2	3	2
101	2	1	3	2	2
102	4	3	4	3	4
103	4	2	3	4	3
104	2	4	4	4	4
105	5	4	5	4	3
106	4	3	4	3	4
107	4	3	4	3	4
108	3	4	3	4	4
109	5	4	3	4	5
110	3	4	3	4	4
111	4	4	3	3	3
112	4	4	5	5	4
113	2	4	2	4	3
114	3	4	5	4	3
115	5	5	5	5	5
116	5	3	3	4	4
117	2	3	3	1	3
118	4	4	4	4	4
119	4	5	3	4	5
120	1	4	3	4	4
121	4	3	4	3	5
122	4	5	4	5	2
123	5	4	3	2	5
124	5	3	4	5	3
125	3	4	5	3	4
126	4	5	4	5	4
127	3	5	3	4	5
128	4	4	4	4	4
129	4	5	3	4	5
130	3	4	3	4	4
131	3	4	4	4	4
132	5	4	4	3	4
133	4	4	4	3	3
134	4	4	3	4	3
135	4	5	4	4	5
136	2	3	3	4	4
137	4	5	4	5	5
138	4	4	3	3	3
139	4	5	4	4	5
140	1	3	4	5	4
141	3	3	2	3	3
142	3	3	4	4	3
143	3	2	1	3	4
144	3	4	3	3	5

NUMERO ENCUESTA	7. NIVEL ESTRÉS HORARIO	8. MOLESTIAS ALUMBRADO (PONER	9. INFLUENCIA ESTADO DE ANIMO(PONER	10. VALORACIÓN CALIDAD	11. REDUCCIÓN INTENSIDAD
145	3	4	3	3	4
146	5	5	5	5	5
147	4	4	4	3	3
148	4	3	4	3	4
149	4	5	5	4	5
150	4	5	5	5	5
151	3	4	1	4	3
152	4	3	4	3	4
153	1	4	3	5	5
154	4	3	4	4	5
155	5	3	5	3	5
156	4	3	4	3	4
157	1	1	5	3	3
158	4	3	4	3	5
159	3	4	5	5	5
160	1	1	4	4	3
161	4	5	2	2	2
162	5	5	1	4	3
163	4	3	2	3	2
164	3	3	4	2	3
165	3	1	3	4	2
166	4	3	4	3	4
167	3	2	3	4	2
168	3	4	3	4	1
169	3	2	3	3	3
170	5	2	4	3	4
171	3	3	4	4	4
172	4	2	3	4	3
173	5	5	5	5	5
174	4	3	4	3	4
175	3	4	3	4	3
176	2	4	5	2	5
177	2	4	3	3	4
178	3	4	3	2	4
179	4	4	5	4	5
180	4	3	3	4	4
181	2	4	5	3	1
182	3	3	4	5	5
183	5	3	1	3	5
184	3	1		4	2
185	3	3	4	3	4
186	3	2	4	3	4
187	1	2	1	1	2
188	3	4	5	3	4
189	4	2	2	3	5
190	4	3	4	5	5
191	3	3	3	4	3
192	3	4	3	4	3

NUMERO ENCUESTA	7. NIVEL ESTRÉS HORARIO	8. MOLESTIAS ALUMBRADO (PONER	9. INFLUENCIA ESTADO DE ANIMO(PONER	10. VALORACIÓN CALIDAD	11. REDUCCIÓN INTENSIDAD
193	4	3	4	3	4
194	2	4	3	4	2
195	4	2	4	2	4
196		1	4	3	5
197	5	4	3	2	1
198	4	5	5	5	5
199	5	1	3	4	4
200	3	4	3	4	4
201	4	4	5	3	2
202	1	3	2	3	4
203	3	3	4	4	4
204	4	2	4	3	3
205	4	3	4	3	4
206	5	4	3	2	4
207	4	4	4	4	3
208	3	3	2	4	5
209	2	4	3	3	3
210	1	2	4	3	4
211	4	3	4	3	4
212	2	4	2	4	2
213	1	3	4	3	3
214	2	1	2	3	4
215	4	3	2	3	4
216	4	2	4	2	4
217	1	5	2	3	4
218	3	4	5	1	5
219	3	3	4	4	4
220	2	4	4	4	4
221	5	5	5	5	5
222	1	1	2	3	3
223	2	1	1	2	1
224	4	1	3	3	5
225	3	4	4	2	2
226	1	3	1	2	1
227	1	1	2	3	2
228	1	1	1	4	5
229	5	3	2	2	1
230	1	1	1	1	1
231	1	1	1	3	1
232	1	1	1	3	5
233	1	1	1	2	4
234	1	1	1	3	1
235	3	2	1	3	2
236	1	1	4	1	3
237	1	1	5	1	2
238	1	1	1	1	1
239	1	2	1	3	2
240	5	1	5	1	1

NUMERO ENCUESTA	7. NIVEL ESTRÉS HORARIO	8. MOLESTIAS ALUMBRADO (PONER	9. INFLUENCIA ESTADO DE ANIMO(PONER	10. VALORACIÓN CALIDAD	11. REDUCCIÓN INTENSIDAD
241	1	1	5	1	2
242	5	5	5	1	1
243	5	1	5	1	1
244	3	1	1	2	1
245	1	1	1	4	5
246	5	2	1	3	2
247	4	2	3	3	3
248	3	2	3	3	2
249	2	3	2	3	1
250	2	1	2	3	2
251	1	1	1	4	5
252	4	3	1	3	1
253	5	4	2	3	1
254	1	1	1	4	5
255	3	2	1	3	2
256	1	1	1	3	3
257	1	2	1	2	1
258	1	1	1	4	3
259	1	1	1	5	4
260	1	2	1	5	3
264	2	2	2	2	2
265	2	2	2	3	2
266	1	2	1	1	1
267	3	1	2	2	2
268	3	3	3	2	3
269	3	2	2	1	2

## **ANEXO VII**

### **FICHAS TÉCNICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA LUXÓMETRO HT-INSTRUMENT HT307**





HT<sup>®</sup>

HT307  
Lux/fc light meter

421

20 → 200 → 2000 → 20000 → 200000 LUX

M-H

D-H

⏻

Lx/Fc

R

**HT307 - HT204 - HT2234N**  
**LUXÓMETRO, SOLARÍMETRO Y TACÓMETRO DIGITALES PORTÁTILES**

Los modelos **HT307** y **HT204**, con sensor por fotodiodo de silicio, representan respectivamente un luxómetro digital para la medida de la iluminancia hasta 200kLux y un solarímetro digital para la medida de la irradiación solar hasta 2000W/m<sup>2</sup> utilizado en particular en las aplicaciones industriales fotovoltaicas para la valoración de la “potencia” de los rayos solares incidentes sobre tales paneles. El **HT2234N** es un contador de vueltas digital para la medida de la velocidad de partes mecánicas rotativas (discos, motores, etc...) tanto por contacto como sin contacto a través de la emisión de un rayo luminoso transmitido y reflejado al objeto en prueba.

FUNCIONES	HT307
Campo de medida	0.01 ÷ 200kLux 0.01 ÷ 20fc
Resolución	0.01Lux ÷ 100Lux 0.01 ÷ 10fc
Precisión	±3%lectura
Estándar luxómetro	Clase A, JIS C 1609:1993
Selección unidad de medida	Lux/Fc
Puesta a cero	Manual con ajuste
Cambio escala manual	•
Corrección respuesta espectral	•
Data HOLD, MAX/MIN	•
Salida analógica CC	0.001mV ÷ 10mV

FUNCIONES	HT204
Campo de medida	1 ÷ 1999W/m <sup>2</sup> 1 ÷ 634 BTU/(ft <sup>2</sup> *h)
Resolución	1W/m <sup>2</sup> 1BTU/(ft <sup>2</sup> *h)
Precisión	> entre ±10 W/m <sup>2</sup> y ±5%lec >entre ±1BTU/(ft <sup>2</sup> *h) y ±5%lec
Selección unidad de medida	W/m <sup>2</sup> y BTU/(ft <sup>2</sup> *h)
Puesta a cero	Manual con ajuste
Cambio escala manual	•
Data HOLD / MAX/MIN	•

FUNCIONES	HT2234N
Campo de medida velocidad sin contacto:	10.00 ÷ 99999 RPM (vueltas/min)
Campo velocidad contacto:	20.00 ÷ 29999 RPM (vueltas/min)
Resolución:	0.01 ÷ 1 RPM
Precisión:	±(0.04% lectura + 2 dig)
Visualizador:	LCD, 5 dig., 99999 puntos
Autoapagado:	Después 30 min sin uso
Data HOLD / MAX / MIN	•
Alimentación:	4 x 1.5V pilas AA LR06
Dimensiones (LxAnxH) mm:	172 x 63 x 36
Peso (pilas incluidas):	aprox 190gr

**ACCESORIOS EN DOTACIÓN HT307**

- Jack para conexión salida CC analógica
- Destornillador para regulación ajuste
- Estuche para transporte
- Declaración de conformidad CE
- Pila
- Manual de instrucciones

**ACCESORIOS EN DOTACIÓN HT204**

- Estuche para transporte
- Declaración de conformidad CE
- Pila
- Manual de instrucciones

**ACCESORIOS EN DOTACIÓN HT2234N**

- Adaptadores mecánicos + tornillo de fijación
- Terminales de goma de varias formas y cinta reflectante
- Estuche para transporte
- Pila y manual de instrucciones





## 1. TECHNICAL SPECIFICATIONS

Accuracy is indicated as [% rdg]. It is referred to the following reference conditions: 23°C ± 5°C with RH < 70%. The luxmeter is calibrated with standard incandescent lamp at color temperature 2856 K.

### Measuring range and accuracy

Range (Lux)	20	200	2k	20k	200k
Resolution (Lux)	0.01	0.1	1	10	100
Accuracy	± (3% rdg)				

Range (fc)	20	200	2k	20k
Resolution (fc)	0.01	0.1	1	10
Accuracy	± (3% rdg)			

- 1fc=10.76Lux, 1Klux=1000Lux, 1Kfc=1000fc.
- For temperature/color different form reference, accuracy its 6%rdg

### Specifications

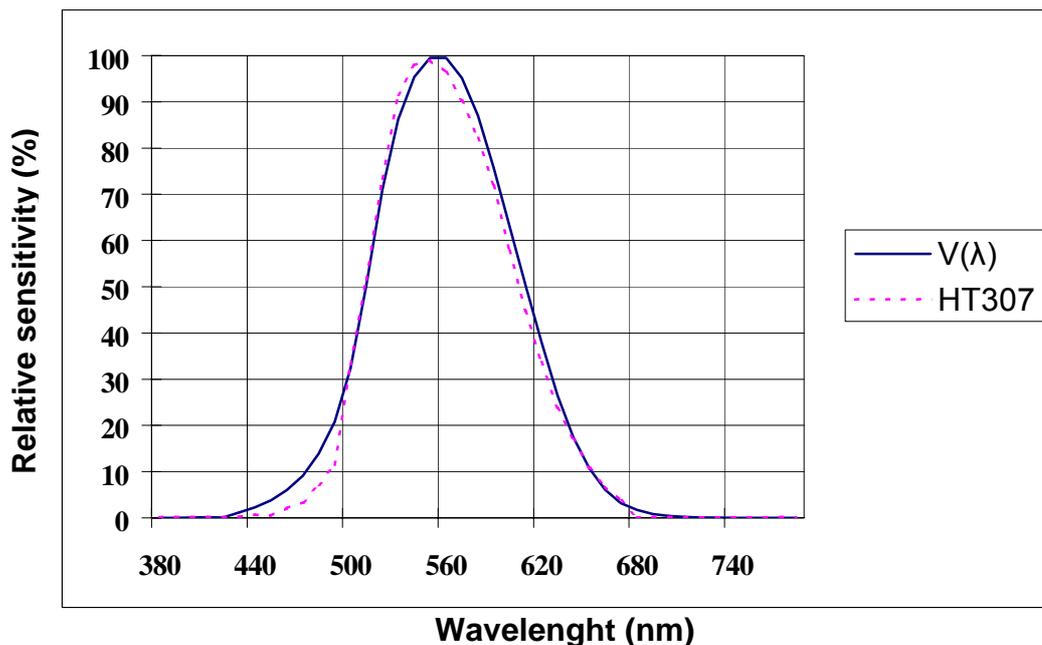
Spectral response: CIE Photopic. (CIE human eye response curve).  
Accuracy on angular deviation from cosine curve: 30° (± 2%)  
60° (± 6%)  
80° (± 25%)

### DC Analogical output specifications

Range lux/fc	20	200	2k	20k	200k
DC Output (mV)	10	1	0.1	0.01	0.001

### Spectral sensitivity

The photodiode with filters makes the spectral sensitivity almost meet the CIE photo-optic curve  $V(\lambda)$  as shown below.



### Photo detector

The photo detector is a silicon photodiode with spectral response filter.



## 2. GENERAL SPECIFICATIONS

### Mechanical characteristics

Size: 172(L) x 55(W) x 38(H)mm  
Weight (including battery): about 250g

### Supply

Battery type: 1 battery 9V type 6LR61  
Low battery indication: "⊖" is displayed when the battery level is too low.  
Battery life: About 200 hours (carbon zinc.).

### Display

Characteristics: 5 digit LCD with "OL" indication.  
Sample rate: 2.5 times/sec

### Standards considered

Refer standard: measure according to JIS C 1609:1993 and CNS 5119  
general Class A specification

## ENVIRONMENTAL CONDITIONS

### Climatic conditions

Reference temperature:  $23^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$   
Operating temperature:  $-10 \div 40^{\circ}\text{C}$   
Operating humidity: <80% RH  
Storage temperature:  $-10 \div 50^{\circ}\text{C}$   
Storage humidity: <70% RH  
Internal use: max. 2000m  
Pollution degree: 2



**DICHIARAZIONE DI CONFORMITA'**  
Secondo la guida 22 ISO/IEC e la norma EN45014  
**DECLARATION OF CONFORMITY**  
according to ISO/IEC guide 22 and EN45014



Marcatura CE  
CE Mark

Nome del fabbricante: **HT ITALIA srl**  
*Manufacturer's name:*

Indirizzo del fabbricante: **Via Righi 126**  
*Manufacturer's address:* **48018 Faenza (RA)**

Dichiara che il prodotto **Nome del prodotto: Digital Illuminance Meter**  
*Declares, that the product* **Product name:**

Modello: **HT307**  
Model number:

Numero di serie:  
Serial number:

Data:  
Date:

E' stato fabbricato conformemente alle specifiche tecniche del prodotto ed è in tutto e per tutto conforme alle norme e specifiche vigenti, in particolare:  
*Has been manufactured to the technical specifications of the product and conforms in all respects to the relevant standards regulations in force and especially to:*

Sicurezza: **EN61010-1: 1993 + A2: 1995**  
*Safety:*

Compatibilità elettromagnetica: **EN 61326: 1997 + A1: 1998**  
*Electromagnetic compatibility:*

Il prodotto summenzionato è conforme ai requisiti della direttiva europea bassa tensione (LVD) 73/23/CEE ed alla direttiva compatibilità elettromagnetica (EMC) 89/336/CEE modificata dalla 93/68/CEE.

*The product herewith complies with the requirements of the low voltage directive (LVD) 73/23/EEC and the electromagnetic compatibility directive (EMC) 89/336/EEC amended by 93/68/EEC.*



Il direttore tecnico  
*Technical Manager*

N.Scuro



### *Certificate of Test*

Modello HT-307  
Model

Matricola 13A 00130  
Serial/Number

 certifica che questo strumento, durante il processo di produzione, è stato calibrato in conformità alle procedure di calibrazione  applicabili. Tali procedure sono state espressamente sviluppate per la prova degli strumenti in produzione.

 , a seguito dei controlli effettuati, certifica che i risultati ottenuti sono conformi alle precisioni dichiarate sul manuale d'uso dello strumento e che lo strumento è stato calibrato utilizzando strumenti di riferimento assunti come campione.

 certifies this instrument was calibrated in accordance with applicable  calibration procedures during the manufacturing process. These processes are special design for test instrument manufacturing .

 further certifies this instrument meets or exceeds published measurement specifications and has been calibrated using defined standards.



Technical Director

DEC.1998

**ENGLISH**

# User manual



**CONTENTS:**

1. SAFETY PRECAUTIONS AND PROCEDURES .....	2
1.1. Preliminary .....	2
1.2. During use .....	2
1.3. After use .....	2
2. GENERAL DESCRIPTION .....	3
2.1. Features .....	3
2.2. Instrument description .....	4
3. PREPARATION FOR USE .....	5
3.1. Initial .....	5
3.2. Power supply .....	5
3.3. Calibration .....	5
3.4. Storage .....	5
4. OPERATING INSTRUCTIONS.....	6
4.1. Measurement description .....	6
5. PREVENTIVE MAINTENANCE .....	6
5.1. General information .....	6
5.2. Battery replacement .....	6
5.3. Cleaning .....	6
5.4. End of life .....	6
6. TECHNICAL SPECIFICATIONS .....	7
6.1. Characteristics .....	7
6.1.1. Spectral sensitivity .....	7
6.1.2. Photo detector .....	7
6.1.3. General data .....	8
6.2. Environment .....	8
6.2.1. Environmental conditions .....	8
6.3. Accessories .....	8
6.3.1. Standard accessories .....	8
7. SERVICE .....	9
7.1. Warranty conditions .....	9
7.2. Service .....	9
8. APPENDIX A: RECOMMENDED ILLUMINATION .....	10

## 1. SAFETY PRECAUTIONS AND PROCEDURES

For your own safety and to avoid damaging the instrument follow the procedures described in this instruction manual and read carefully all notes preceded by this symbol .

Do not use the meter in presence of explosive gas (material), combustible gas (material), steam or dust.

The followings symbols are used:



Caution: refer to the instruction manual. An incorrect use may damage the luxmeter or its components.

### 1.1. PRELIMINARY

- Before turning on the instrument make sure that the battery is correctly installed. Replace the battery as soon as the low battery indication (“”) is displayed.
- Don't touch the photodiode sensor during measurements to prevent any damage due to contamination or static electricity.

### 1.2. DURING USE

Always keep to the instructions contained in this manual.



#### CAUTION

An improper use may damage the instrument and/or its components or injure the operator.

- If the reading value or the sign indication remains unchanged during the measurement, check if the DATA HOLD function is active.

### 1.3. AFTER USE

- After using the instrument turn it off.
- If you expect not to use the instrument for a long period remove the battery to avoid leakages of battery liquids which may damage its inner components.

## 2. GENERAL DESCRIPTION

HT307 is a precision digital illuminance meter for light measurements (lux, ft), complying with the CIE (International Commission on Illumination) spectral response.

It's fully cosine corrected for the angular incidence of light. Compact, tough and easy to handle.

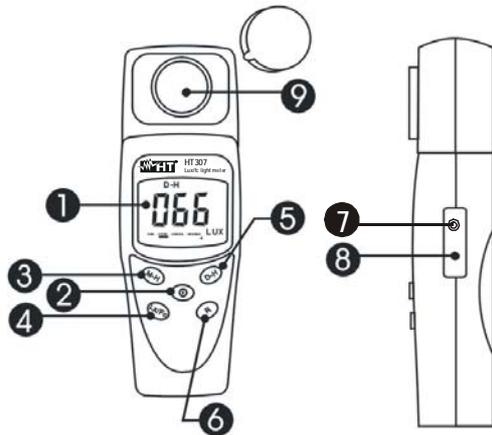
The photo detector is a very stable long-life silicon photodiode with spectral response filter.

### 2.1. FEATURES

- Light measuring levels up to 200.000 lux / 20.000 fc.
- High accuracy and rapid response.
- DATA HOLD function to hold measuring values.
- Unit and sign display for easy reading.
- Manual zeroing with trimmer.
- Corrected for spectral relative efficiency.
- Possibility to select the measuring mode in lux or fc scale, alternatively.
- Maximum and minimum values.
- DC analogic output for connection to external datalogger.
- Low battery indication.

## 2.2. INSTRUMENT DESCRIPTION

### LEGEND:



1. LCD display with a maximum reading of 2000 points. Signs of measured values, unit function symbols and decimal points are displayed.
2. Power key: press it to turn ON or OFF the meter.
3. M/H key: press it to select the maximum, minimum or current reading. Press for more than 1 second to resume normal measurement.
4. Lx/Fc key: press it to express values in fc scale instead of lux (1 fc=10.76 lux).
5. D-H key: press it to hold displayed data. Press again to resume normal measurement.
6. R selection key: press it to select 20 lux, 200 lux, 2000 lux, 20 Klux, 200 klux, / 20 fc, 200 fc, 2000 fc, 20 Kfc. Overall, 5 ranges for lux and 4 ranges for fc. Upon pressure, a mobile cursor selects the desired full scale.
7. Output for analogic DC. Refer to Table 1 below to get the equivalence Lux/fc and mV values.
8. ADJ Trimmer for manual zeroing regulation.
9. Photo detector.

Fig. 1: Instrument description.

Range	DC output	 <p>Plug for DC analogic output</p>
20 Lux/fc	1 Lux/fc = 10 mV	
200 Lux/fc	1 Lux/fc = 1 mV	
2000 Lux/fc	1 Lux/fc = 0.1 mV	
20 kLux/fc	1 Lux/fc = 0.01 mV	
200 kLux	1 Lux = 0.001 mV	

Table 1: signal equivalence values between Lux/fc and mV.

### **3. PREPARATION FOR USE**

#### **3.1. INITIAL**

This instrument was checked both mechanically and electrically prior to shipment. All possible cares and precautions were taken to let you receive the instrument in perfect conditions. Notwithstanding we suggest you to check it rapidly (eventual damages may have occurred during transport – if so please contact the local distributor from whom you bought the item).

Make sure that all standard accessories mentioned in paragraph 6.3.1 are included. Should you have to return back the instrument for any reason please follow the instructions mentioned in paragraph 7.

#### **3.2. POWER SUPPLY**

The instrument is powered by 1 battery 9V 6LR61, included in the package. Battery life: about 200 hours (carbon zinc.).

When the battery is low, the symbol "" appears on the display. Replace it immediately, following the instructions given in paragraph 5.2.

#### **3.3. CALIBRATION**

The instrument complies with the technical specifications contained in this manual and such compliance is guaranteed for 1 year.

The calibration interval for the photo detector varies according to the operating conditions, but generally the sensitivity decreases in direct proportion to the product of luminous intensity and operating time. In order to maintain the basic accuracy of the instrument, a periodic recalibration is recommended.

#### **3.4. STORAGE**

After a period of storage in extreme environmental conditions exceeding the limits mentioned in paragraph 6.2.1 let the instrument resume normal measuring conditions before using it.

## 4. OPERATING INSTRUCTIONS

### 4.1. MEASUREMENT DESCRIPTION

1. Press the power key “” to turn on the meter.
2. Press the “Lx/fc” key to select lux or fc measurement.
3. Remove the protection cap of the photo detector and expose it to the light source in horizontal position. Read the illuminance nominal value on the LCD display.
4. Wait for values to be stable on the display. Press “D-H” key to activate the DATA HOLD function blocking the result on the display.



#### CAUTION

If the instrument displays "OL", the input signal is too strong. A higher range must be selected.

5. When the measurement is completed, fit the photo detector cap and check that the indication value should be “000” regardless of the range. If no, adjust the “ADJ” trimmer on “000” before pressing the power key to turn off the meter.

## 5. PREVENTIVE MAINTENANCE

### 5.1. GENERAL INFORMATION

This is a precision instrument. To guarantee its performances be sure to use it according to these instructions and keep it stored on suitable environmental conditions Do not expose it to high temperatures or humidity. Be sure to turn it off after use. If you expect not to use the instrument for a long period remove batteries to avoid leakages of battery liquid which could damage the its inner components.

### 5.2. BATTERY REPLACEMENT

When the low battery indication “” is displayed, replace the battery.

1. Switch off the instrument
2. Press the battery cover and push in the direction of the arrow to open
3. Replace the battery with a new one of the same type (9V 6LR61)
4. Replace the battery cover
5. Use an environmentally safe disposal unit at a municipal waste disposal centre to dispose of a damaged or worn out batteries

### 5.3. CLEANING

To clean the instrument use a soft dry cloth. Never use a wet cloth, solvents or water, etc. The white plastic lens of the detector should be cleaned with a damp cloth when necessary.

### 5.4. END OF LIFE



Caution: this symbol indicates that equipment, the battery and its accessories shall be subject to a separate collection and correct disposal.

## 6. TECHNICAL SPECIFICATIONS

### 6.1. CHARACTERISTICS

Accuracy is referred to the following reference conditions:  $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  with  $\text{RH} < 70\%$ .

The luxmeter is calibrated with a standard incandescent lamp at color temperature  $2856^{\circ}\text{K}$ .

#### Measuring range and accuracy

<b>Range in lux</b>	20	200	2000	20k	200k
<b>Resolution</b>	0.01	0.1	1	10	100
<b>Accuracy</b>	$\pm (3\% \text{ rdg})$				

<b>Range in fc</b>	20	200	2000	20k
<b>Resolution</b>	0.01	0.1	1	10
<b>Accuracy</b>	$\pm (3\% \text{ rdg})$			

NOTE:  $1\text{fc}=10.76\text{Lux}$ ,  $1\text{Klux}=1000\text{Lux}$ ,  $1\text{Kfc}=1000\text{fc}$

for temperature/color different from the reference, accuracy is  $6\% \text{ rdg}$

Accuracy on angular deviation from cosine characteristic	
$30^{\circ}$	$\pm 2\%$
$60^{\circ}$	$\pm 6\%$
$80^{\circ}$	$\pm 25\%$

#### 6.1.1. Spectral sensitivity

The photodiode with filters makes the spectral sensitivity meet the CIE photo-optic curve  $V(\lambda)$  as shown below.

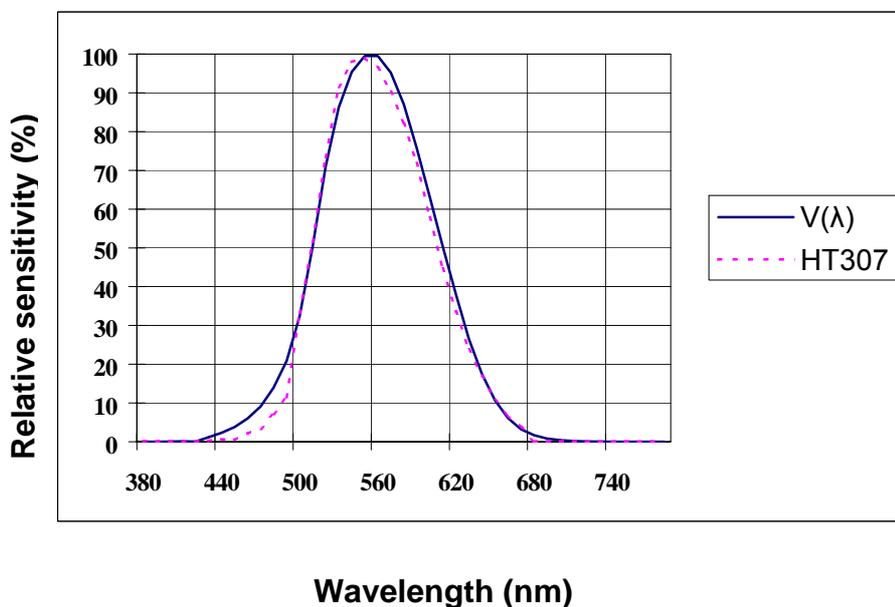


Fig. 2: CIE photo-optic curve  $V(\lambda)$ .

#### 6.1.2. Photo detector

The photo detector is a silicon photodiode with spectral response filter.

### 6.1.3. General data

#### Mechanical characteristics

Size: 172(L) x 55(W) x 38(H)mm  
7(L) x 2(W) x 1(H) inches  
Weight (including battery): about 250g (9 ounces)

#### Supply

Battery type: 1 battery 9V type 6LR61  
Low battery indication: "E" is displayed when the battery is low  
Battery life: about 200 hours (carbon zinc.)

#### Display

Characteristics: LCD, 2000 counts with "OL" indication  
Sample rate: 2.5 times/sec

#### Reference standards

Standards: According to JIS C 1609:1993 and CNS 5119 general A  
class Specifications  
ISO3059 DIN 5032

## 6.2. ENVIRONMENT

### 6.2.1. Environmental conditions

Reference temperature:  $23^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $73^{\circ} \pm 41^{\circ}\text{F}$ )  
Operating temperature:  $-10^{\circ} \div 50^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ} \div 122^{\circ}\text{F}$ )  
Operating humidity: <80%RH  
Storage temperature:  $-10^{\circ} \div 50^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ} \div 122^{\circ}\text{F}$ )  
Storage humidity: <70%RH  
Max height of use: 2000m (6562 ft)

<b>This instrument complies with the requirements of the EMC Directive 2004/108/CE</b>
--

## 6.3. ACCESSORIES

### 6.3.1. Standard accessories

The packaging contains:

- Instrument HT307
- Carrying case
- Connection plug for DC analogic output
- Screwdriver for zero adjustment
- Certificate of test
- Battery
- User manual

## 7. SERVICE

### 7.1. WARRANTY CONDITIONS

This instrument is guaranteed against material or production defects, in accordance with our general sales conditions. During the warranty period the manufacturer reserves the right to decide either to repair or replace the product.

Should you need for any reason to return back the instrument for repair or replacement take prior agreements with the local distributor from whom you bought it. Do not forget to enclose a report describing the reasons for returning (detected fault). Use only original packaging. Any damage occurred in transit due to non original packaging will be charged anyhow to the customer.

The manufacturer will not be responsible for any damage to persons or things.

The warranty doesn't apply to:

- Accessories and batteries (not covered by warranty).
- Repairs made necessary by improper use (including adaptation to particular applications not foreseen in the instructions manual) or improper combination with incompatible accessories or equipment.
- Repairs made necessary by improper shipping material causing damages in transit.
- Repairs made necessary by previous attempts for repair carried out by non skilled or unauthorized personnel.
- Instruments for whatever reason modified by the customer himself without explicit authorization of our Technical Dept.

The contents of this manual may not be reproduced in any form whatsoever without the manufacturer's authorization.

**Our products are patented and our logotypes registered. We reserve the right to modify specifications and prices in view of technological improvements or developments which might be necessary.**

### 7.2. SERVICE

Shouldn't the instrument work properly, before contacting your distributor make sure that the battery is correctly installed and working, check the test leads and replace them if necessary. Make sure that your operating procedure corresponds to the one described in this manual.

Should you need for any reason to return back the instrument for repair or replacement take prior agreements with the local distributor from whom you bought it. Do not forget to enclose a report describing the reasons for returning (detected fault). Use only original packaging. Any damage occurred in transit due to non original packaging will be charged anyhow to the customer.

The manufacturer will not be responsible for any damage to persons or things.

## 8. APPENDIX A: RECOMMENDED ILLUMINATION

Table 2 below shows the recommended illumination for different types of locations expressed in lux (to get values in footcandles divide by 10,76).

LOCATIONS	LUX		LOCATIONS	LUX	
<ul style="list-style-type: none"> <li>OFFICE</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>STORE</li> </ul>		
Conference, reception room	200	~ 750	Indoor stairs corridor	150	~ 200
Clerical work	700	~ 1500	Show window, packing table	750	~ 1500
Typing, drafting	1000	~ 2000	Forefront of show window	1500	~ 3000
<ul style="list-style-type: none"> <li>FACTORY</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>HOSPITAL</li> </ul>		
Visual work at production line	300	~ 750	Sickroom, warehouse	100	~ 200
Inspection work	750	~ 1500	Medical examination room	300	~ 750
Electronic parts assembly line	1500	~ 3000	Operating room	750	~ 1500
Packing work, entrance passage	150	~ 300	Emergency treatment	750	~ 1500
<ul style="list-style-type: none"> <li>HOTEL</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>SCHOOL</li> </ul>		
Public room, cloakroom	100	~ 200	Auditorium, indoor gymnasium	100	~ 300
Reception	200	~ 500	Class room	200	~ 750
Cashier	750	~ 1000	Laboratory, library, drafting room	500	~ 1500

Table 2: Recommended illumination values.



## **ANEXO VIII**

### **MAGNITUDES BÁSICAS EN LUMINOTÉCNIA**



## MAGNITUDES BÁSICAS EN LUMINOTÉCNIA

Las definiciones que se presentan en este apartado proceden de la publicación del Comité Internacional de Iluminación CIE S 017/E2011 denominada ILV: Vocabulario Internacional de Iluminación. Complementariamente se han incluido definiciones que aparecen en el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior, en su Artículo 3. Definiciones.

Se han incluido tan sólo las definiciones de los conceptos utilizados en esta investigación y de uso habitual en Luminotecnia.

### *Acomodación Visual*

Ajuste de la potencia del cristalino para que la imagen de un objeto, a una distancia dada, se focalice en la retina.

### *Adaptación Visual*

Proceso por el cual el estado del sistema visual es modificado por la presente y previa exposición a un estímulo que puede presentar varios valores de luminancia, distribución espectral y angular.

Nota: La adaptación a específicas frecuencias espaciales, orientaciones, tamaños, etc. se reconoce incluida en esta definición.

### *Agudeza Visual*

Capacidad del ojo para percibir distintamente detalles finos que tienen una separación angular muy pequeña. También se define esta capacidad del ojo como una entre varias medidas de discriminación espacial como la de la recíproca del valor de la separación angular en minutos de arco de dos objetos adyacentes (puntos, líneas u otros estímulos específicos) que el observador puede percibir por separado.

### *Alcance óptico*

La mayor distancia a la cual puede verse un objeto o una fuente luminosa bajo condiciones de perfecta visibilidad, únicamente limitada por la curvatura terrestre, por

la refracción de la atmósfera, o por las alturas entre el observador y el objeto o fuente luminosa.

#### *Alcance Visual*

En condiciones de observación determinadas, la mayor distancia a la cual se puede reconocer un objeto en circunstancias particulares cualesquiera, únicamente limitadas por la transitividad atmosférica y por el umbral de contraste visual.

#### *Altura de montaje*

En iluminación exterior es la distancia entre el centro de la luminaria y el suelo.

#### *Alumbrado público*

Alumbrado empleado para propósitos de seguridad nocturna y seguridad en calles públicas, carriles bici, aceras y áreas peatonales dentro de parques públicos y jardines.

#### *Angulo sólido*

Área interceptada sobre una esfera unitaria, centrada en un punto, por un cono con un área dada como base y el punto como su vértice.

Unidad: sr (estereorradián).

#### *Apariencia de color*

Aspecto de la percepción visual por el cual las cosas se reconocen por su color.

#### *Arrancador*

Dispositivo destinado, por si mismo o en combinación con otros componentes, a generar pulsos de tensión para cebar una lámpara de descarga sin asegurar el precebado de los electrodos. También es conocido como ignitor.

#### *Balasto*

Dispositivo conectado entre el suministro y una o más lámparas de descarga el cual limita la corriente de la lámpara al valor requerido.

Nota: como balasto también puede denominarse un transformador del voltaje suministrado, corrector del factor de potencia, ya sea sólo o en combinación con un dispositivo de arranque, proporcionando las condiciones necesarias para encender la fuente de luz.

### *Bin*

Características de rendimiento de una gama restringida de led utilizadas para delimitar un subconjunto de led a un rendimiento de led cercano, identificados por características de cromaticidad, fotométricas, radiométricas y eléctricas.

Nota: como resultado de pequeñas variaciones, pero significativas, durante el proceso de fabricación de led, sus características eléctricas y fotométricas pueden variar de led a led, aún cuando cada chip sea de la misma oblea. Los led son ordenados o desechados de acuerdo con estas características, pero no existe ninguna norma para regularizar el bin.

### *Candela*

Unidad básica del SI de Intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia  $540 \times 10^{12}$  Hz y presenta una intensidad radiante en esa dirección de  $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$ .

Unidad:  $cd = lm \cdot sr^{-1}$

### *Candela por metro cuadrado*

Unidad del SI característica de la luminancia.

Unidad:  $cd \cdot m^2$

### *Casquillo*

Parte de una lámpara que sirve para conectarla al circuito eléctrico de alimentación mediante un portalámparas o un conector de lámpara y, en la mayoría de los casos, sirve también para retenerla mecánicamente en el portalámparas.

### *Celosía*

Pantalla formada de elementos translúcidos u opacos dispuestos geoméricamente para impedir que las fuentes de luz se vean directamente bajo un ángulo determinado.

### *Centro Fotométrico de una Luminaria*

Punto tomado como origen para las medidas y cálculos fotométricos.

### *CIE*

Acrónimo de Comisión Internacional de Iluminación, derivado del nombre francés, Commission Internationale de l'Eclairage.

Nota: En España está representado por el Comité Español de Iluminación (CEI)

### *Claridad*

Luminosidad de una superficie evaluada en relación con la luminosidad de un área iluminada similarmente que parece ser blanca o posee una gran transmisión.

Nota: Únicamente los colores no aislados poseen claridad.

### *Coefficiente de iluminación de los alrededores*

Iluminancia media sobre las franjas, que están adyacentes a los bordes de ambos lados de la calzada, y la iluminancia media en las bandas adyacentes en la calzada.

Abreviatura: "SR". También llamada relación entorno.

Nota: los requerimientos específicos en relación con la anchura de las bandas están definidos en CIE 140.

### *Coefficiente de Luminancia*

En un elemento de superficie de un medio, en una dirección dada, bajo unas condiciones de iluminación dadas, es el cociente entre la luminancia del elemento de superficie en la dirección dada y la iluminancia en el medio.

Su expresión es:  $q = \frac{L}{E}$

Donde:

$L$ , es la luminancia en  $\text{cd}\cdot\text{m}^2$

$E$ , es la iluminancia en lux.

#### *Coefficiente de Luminancia Medio*

Es el valor medio del coeficiente de luminancia  $q$  en un cierto ángulo sólido  $\vartheta$ , y manifiesta el grado de luminosidad del pavimento de la calzada. Su símbolo es  $Q_0$ , se especifica en  $cd/m^2 \cdot lux$  y su expresión es la siguiente:

$$Q_0 = \frac{\int_{\Omega_0} q(\beta, \gamma) \cdot d\Omega}{\Omega_0}$$

Cuanto más elevado es el coeficiente de luminancia medio  $Q_0$ , mayor es la luminancia obtenida a igualdad de iluminancia.

Los pavimentos asfálticos con un porcentaje de gravas blancas o claras superior al 30% tienen un coeficiente de luminancia medio  $Q_0 > 0,11$ .

#### *Coefficiente de reflexión*

Es la relación entre el flujo luminoso reflejado por la superficie de un edificio, objeto u obstáculo y el flujo incidente sobre la misma. Su símbolo es  $\rho$  y carece de unidades. La luminancia de un objeto en función de su coeficiente de reflexión, es la siguiente:

$$L = \rho \frac{E_v}{\pi}$$

Donde:

$L$  = Luminancia del objeto

$E_v$  = Iluminancia vertical del objeto

$\rho$  = Coeficiente de reflexión del objeto

Un objeto con un pequeño factor de reflexión  $\rho = 0,15$  se define como "oscuro", con un factor de reflexión medio  $\rho = 0,35$  se considera "gris" y con un factor de reflexión

elevado  $\rho = 0,75$  se estima "blanco". Aproximadamente en un 90 % de los peatones el coeficiente de reflexión de sus ropas es inferior a 0,2.

#### *Coefficiente de utilización*

De una instalación, para una superficie de referencia, es la relación entre el flujo luminoso recibido por la superficie de referencia y la suma de la tasa individual de flujos de las fuentes de luz de la instalación. Ver también "*factor de utilización*".

#### *Colorímetro*

Instrumento para medir magnitudes colorimétricas, tales como los valores triestímulos de un estímulo de color.

#### *Confort Visual*

Condición subjetiva que pone de manifiesto la ausencia de incomodidad procedente del entorno visual.

#### *Conjunto matricial de led (array de led)*

Disposición física de más de un paquete de led o circuitos integrados en una placa o sustrato en una estructura geométrica.

Nota: No existe un nivel específico de la integración de otros componentes mecánicos, eléctricos y ópticos implícito en este término.

#### *Contraste*

En el sentido perceptivo: Evaluación de la diferencia en apariencia de dos o más partes de un campo observado de manera simultánea o sucesiva (de ahí: contraste luminoso, contraste de brillo, contraste de color, contraste simultáneo, contraste sucesivo, etc.).

En el sentido físico: Magnitud destinada a relacionar la diferencia de brillo percibido, normalmente definida por una de la serie de fórmulas que implican la luminancia de los estímulos considerados: Por ejemplo mediante la variación proporcional de contraste cerca del umbral de luminancia, o por la relación de luminancias para luminancias mucho mayores.

El contraste de un objeto de luminancia  $L_o$  visto sobre un fondo de luminancia  $L_f$ , viene dado por la siguiente expresión:

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$

Si  $L_o > L_f$  el contraste es positivo ( $C > 0$ ), y el objeto se ve claro sobre fondo oscuro, y adquiere los siguientes valores:  $1 < C < \infty$

Si  $L_o < L_f$  el contraste es negativo ( $C < 0$ ), y el objeto se ve oscuro sobre fondo claro (en silueta), y adquiere los siguientes valores:  $-1 < C < 0$

#### *Contraste Umbral*

El contraste umbral  $C_u$  es la más pequeña diferencia relativa de luminancias entre el objeto  $L_{ou}$  y el fondo  $L_f$ , discernible por el ojo, siendo su expresión la siguiente:

$$C_u = \frac{L_{ou} - L_f}{L_f}$$

#### *Curva de distribución de intensidad luminosa*

Curva que expresa valores de intensidad luminosa de una fuente en función de la dirección en el espacio y expresada normalmente en coordenadas polares, es decir, con origen en el centro fotométrico.

#### *Curva de Distribución Espectral*

Una curva de distribución de energía espectral es aquella que muestra la relación existente entre la energía emitida (eje de ordenadas) y la longitud de onda de la luz (eje de abscisas).

#### *Curva Iso - Iluminancia*

Lugar geométrico de los puntos de una superficie en los que la iluminancia tiene el mismo valor. También se denomina curva isolux.

### *Curva Iso - Luminancia*

Lugar geométrico de los puntos de una superficie en los que, para posiciones determinadas del observador y de la o las luminarias con relación a esa superficie, la luminancia tiene el mismo valor.

### *Deflector*

Sistema instalado en un proyector para la limitación del flujo saliente hacia el hemisferio superior.

### *Deslumbramiento*

Condición de la visión en donde existe una molestia o una reducción de la capacidad de ver detalles u objetos causada por una distribución inadecuada del rango de luminancia o a contrastes extremos.

### *Deslumbramiento molesto*

Deslumbramiento que provoca molestias sin reducir necesariamente la visión de objetos.

### *Deslumbramiento perturbador*

Deslumbramiento que reduce la visión de objetos sin causar necesariamente molestias.

### *Diagrama Polar de Intensidad Luminosa*

Representación mediante curvas polares de los valores de las intensidades luminosas en candelas, correspondientes a un flujo nominal de 1000 *lm*, medidas generalmente sobre los planos verticales *C* siguientes: 0°÷180°; 90°÷270° y plano de máxima intensidad.

### *Difusor*

Dispositivo utilizado para alterar la distribución espacial de la radiación, depende esencialmente del fenómeno de la difusión.

### *Diodo emisor de luz*

Dispositivo de estado sólido que contiene una unión pn, que emite radiación óptica incoherente cuando es excitado por una corriente eléctrica.

Abreviatura: "LED" ("light emitting diode")

Nota: La emisión óptica puede ser en las regiones de longitud de onda ultravioleta, visible o infrarroja.

### *Eficacia Luminosa*

De una fuente, es el cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia consumida por la fuente. Unidad:  $lm \cdot W^{-1}$

### *Eficiencia energética de una instalación*

Es la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.

Su expresión es:

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} \left( \frac{m^2 \cdot lux}{W} \right)$$

Donde:

$\varepsilon$  : Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior, en  $\frac{m^2 \cdot lux}{W}$

$P$ : Potencia activa total instalada en fuentes de luz y equipos auxiliares, en W

$S$ : Superficie iluminada, en  $m^2$

$E_m$  : Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto, en lux.

### *Espectro*

Se utiliza este término para determinar todas las longitudes de onda que caracterizan una radiación electromagnética. Por tanto, el espectro es la representación o especificación de los componentes monocromáticos de la radiación considerada.

### *Factor de Mantenimiento*

Es la relación entre los valores lumínicos (iluminancia y luminancia) a mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores lumínicos iniciales. Es el cociente de la iluminancia producida por la instalación de iluminación tras un cierto periodo y la iluminancia producida por la instalación cuando está nueva. Su símbolo es  $F_m$  y carece de unidades.

El factor de mantenimiento, o de depreciación como su recíproco, se utiliza para calcular instalaciones de alumbrado como factor corrector, en lo que se refiere a valores de iluminancia y luminancia, para que se mantengan los valores mínimos en servicio a lo largo del tiempo.

Nota: El factor de mantenimiento considera las pérdidas de luz causadas por la acumulación de suciedad en luminarias y la disminución del flujo luminoso de las fuentes de luz.

### *Factor de Flujo hemisférico inferior de luminarias*

Cociente entre el flujo inferior y el flujo total de la luminaria.

### *Factor de Flujo hemisférico superior instalado*

También denominado  $ULOR_{inst}$ , se define como la proporción en % del flujo de una luminaria que se emite sobre el plano horizontal que pasa por el centro óptico de la misma respecto al flujo total saliente de la luminaria, cuando está montada en su posición de instalación. Se identifica como  $FHS_{inst}$

### *Factor de Utilización*

Es la relación entre el flujo útil  $U$  procedente de la luminaria que llega a la calzada o superficie de referencia y el flujo emitido por las fuentes de luz  $I$  instaladas en la luminaria. Su símbolo es  $F_u$  y carece de unidades.

$$F_u = \frac{\phi_u}{\phi_t} = \eta \cdot U$$

Donde:

$\eta$ : Rendimiento de la luminaria

*U: Utilancia*

*Flujo Hemisférico inferior de la luminaria*

Flujo acumulado de una fuente o luminaria para un ángulo sólido de  $2\pi$  estereorradianes hacia debajo de un plano horizontal que pasa por la fuente.

*Flujo Hemisférico superior de la luminaria*

Flujo acumulado de una fuente o luminaria para un ángulo sólido de  $2\pi$  estereorradianes hacia arriba de un plano horizontal que pasa por la fuente.

*Flujo Luminoso*

Potencia emitida por una fuente luminosa en forma de radiación visible y evaluada según su capacidad de producir sensación luminosa, teniendo en cuenta la variación de la sensibilidad del ojo con la longitud de onda. Su símbolo es  $\Phi_v$  y su unidad el lumen (lm).

Magnitud que se deriva del flujo radiante mediante la evaluación de la radiación de acuerdo a su acción sobre el observador fotométrico de referencia CIE.

*Fotometría*

Medida de las magnitudes referidas a la radiación evaluada de acuerdo a una función de eficiencia luminosa espectral dada.

*Fotómetro*

Instrumento para medir magnitudes fotométricas.

*Goniofotómetro*

Fotómetro para medir las características de distribución direccional de la luz de fuentes, luminarias, de un medio o de una superficie.

*Iluminación exterior*

Cualquier forma de sistemas de iluminación instalados de modo permanente al aire libre, los cuales emiten luz que alumbrá ambientes exteriores.

### *Iluminancia en un punto de una superficie*

Cociente entre el flujo luminoso  $d\phi$  incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto y el área  $dA$  de ese elemento ( $E=d\phi/dA$ ). Su símbolo es E y la unidad el lx ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ).

### *Iluminancia horizontal*

Iluminancia sobre un plano horizontal.

La expresión de la iluminancia horizontal en un punto P, en función de la intensidad luminosa que recibe dicho punto, definida por las coordenadas  $(c,\gamma)$  en la dirección del mismo, y de la altura  $h$  de la luminaria, es la siguiente:

$$E = \frac{I(c,\gamma) \cdot \cos^3 \gamma}{h^2}$$

### *Iluminancia Media Horizontal*

Valor de la iluminancia media horizontal de la superficie de la calzada. Su símbolo es  $E_m$  y se expresa en lux.

### *Iluminancia Mínima Horizontal*

Valor de la iluminancia mínima horizontal de la superficie de la calzada. Su símbolo es  $E_{min}$  y se expresa en lux.

### *Iluminancia Vertical en un punto de una superficie*

Es la iluminancia sobre un plano vertical en un punto  $p$  en función de la intensidad luminosa que recibe dicho punto y la altura  $h$  de la luminaria. Su expresión es la siguiente:

$$E_v = \frac{I(c,\gamma) \cdot \text{sen}\gamma \cdot \cos^2 \gamma}{h^2}$$

### *Impedancia*

Cociente entre la tensión en los bornes de un circuito eléctrico y la intensidad de corriente que fluye por ellos.

### *Índice de reproducción de color*

Medida del grado en el que el color psicofísico de un objeto iluminado por el iluminante de prueba se ajusta al color del mismo objeto iluminado con el iluminante de referencia, asignado adecuadamente para realizar la adaptación cromática. *IRC*. Ver también “*Rendimiento de color*”.

### *Intensidad Luminosa*

Relación entre el flujo luminoso que sale de la fuente y se propaga en el elemento de ángulo sólido  $d\Omega$  que contiene la dirección dada, por el elemento de ángulo sólido. Esta magnitud tiene característica direccional, su símbolo representativo es  $I$  y su unidad es la candela  $cd$ .  $cd = lm / sr$  (lumen / estereorradián).

### *Intensidad Media Diaria (IMD)*

Es la media diaria de vehículos que pasan sobre una sección determinada de una calzada o carril.

### *Lámpara*

Fuente de luz fabricada para producir radiación óptica, normalmente visible.

### *Lámpara de descarga*

Lámpara en la que la luz se produce, directa o indirectamente, por una descarga eléctrica a través de un gas, un vapor metálico o una mezcla de diversos gases y vapores.

### *Lámpara de descarga de alta intensidad*

Lámpara de descarga eléctrica en la cual el arco que produce la luz se estabiliza por el efecto térmico de su recinto cuya potencia de superficie es mayor que  $3 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

#### *Lámpara fluorescente*

Lámpara de descarga en la cual la luz es producida, en su mayor parte, por una capa de sustancia fluorescente excitada por la radiación ultravioleta de la descarga.

#### *Lámpara de halogenuros metálicos*

Lámpara de descarga de alta intensidad en la cual la mayor parte de la luz está producida por una mezcla de vapor metálico y los productos de la disociación de los halogenuros.

#### *Lámpara de vapor mercurio de alta presión*

Lámpara de descarga de alta intensidad en la que la mayor parte de la luz se produce, directa o indirectamente, por la emisión desde el vapor de mercurio operando a una presión parcial superior a  $10 \text{ kPa}$ .

#### *Lámpara de vapor mercurio de baja presión*

Lámpara de descarga de vapor de mercurio, con o sin revestimiento de fósforo, en la cual la presión parcial del vapor no supera  $100 \text{ Pa}$ .

#### *Lámpara de vapor de sodio de alta presión*

Lámpara de descarga de alta intensidad en la que la luz se produce principalmente por la emisión desde el vapor de sodio operando a una presión parcial superior a  $10 \text{ kPa}$ .

#### *Lámpara de vapor de sodio de baja presión*

Lámpara de descarga en la cual la luz se produce por radiación del vapor de sodio que opera a una presión parcial de  $0.1 \div 0.5 \text{ Pa}$ .

#### *Lámpara de Referencia*

Lámpara de descarga seleccionada para el ensayo de balastos y cuyas características eléctricas, cuando está asociada a un balasto de referencia en las condiciones especificadas, tiene valores eléctricos próximos a los valores buscados dados en una especificación apropiada.

*Led*

Ver "Diodo emisor de luz"

*Longitud de onda*

Distancia en la dirección de propagación de una onda periódica entre dos puntos sucesivos en los cuales la fase es la misma. Unidad:  $m^{-1}$ .

Nota: La longitud de onda en un medio es igual a la longitud de onda en el vacío entre el índice de refracción del medio. A menos que se establezca lo contrario, los valores de la longitud de onda son generalmente los del aire. El índice de refracción del aire normal (para la espectroscopia:  $T=15^{\circ}C$ ,  $p = 101.328 Pa$ ) varía entre 1000 27 y 1000 29 para radiaciones visibles.

*Lumen*

Unidad del flujo luminoso en el SI. Unidad: *lm*

Nota 1: Flujo luminoso emitido en un ángulo sólido unidad (estereorradián) por una fuente puntual uniforme que tiene una intensidad luminosa de *1 cd*.

Nota 2: Definición equivalente: flujo luminoso de un haz de radiación monocromática cuya frecuencia es de  $540 \times 10^{12} Hz$  y cuyo flujo radiante es  $1/683W$

*Luminancia en un Punto de una Superficie*

Es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada por dicha superficie en la dirección del ojo del observador. Su símbolo es *L* y su unidad la candela por metro cuadrado ( $cd/m^2$ ).

La expresión de la luminancia en un punto *P*, en función de la intensidad luminosa que recibe dicho punto, de la altura *h* de la luminaria y de las características fotométricas del pavimento *r* ( $\beta$ ,  $tg\gamma$ ), expresadas mediante una matriz o tabla de doble entrada ( $\beta$ ,  $tg\gamma$ ), es la siguiente:

$$L = \frac{I(c, \gamma) \cdot r(\beta, tg\gamma)}{h^2}$$

### *Luminancia Media de la Superficie de la Calzada*

Valor de la luminancia media de la superficie de la calzada. Su símbolo es  $L_m$  y se expresa en  $cd/m^2$ .

### *Luminancímetro*

Instrumento para medir luminancias.

### *Luminaria*

Aparato que distribuye, filtra o transforma la luz transmitida de una o más lámparas o fuentes de luz que incluye, excepto las lámparas en sí mismas, todas las partes necesarias para fijar y proteger las lámparas y, donde sea necesario, circuitos auxiliares junto con los medios para conectarlos al suministro eléctrico.

### *Lux*

Unidad de iluminancia en el SI. Iluminancia producida en una superficie con un área de  $1 m^2$  por un flujo luminoso de  $1 lm$  distribuido uniformemente sobre dicha superficie.  
Unidad:  $1 lx = 1lm \cdot m^2$ .

### *Luxómetro o Iluminancímetro*

Instrumento para medir iluminancias.

### *Matriz de Intensidades*

Es una tabla de doble entrada ( $c, \gamma$ ) en la que, para un flujo nominal de  $1000 lm$ , se especifican las intensidades luminosas en candelas para cada punto espacial definido por las coordenadas ( $c, \gamma$ ).

### *Niveles Mantenidos*

Son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, referidos a la luminancia media de la calzada e iluminancias media y mínima horizontal.

### *Parpadeo*

Sensación de inestabilidad de la percepción visual inducida por un estímulo luminoso cuya luminancia o distribución espectral fluctúa con el tiempo.

### *Portalámpara*

Dispositivo que fija la lámpara en una posición, normalmente mediante la inserción del casquillo en él, y también permite la conexión de la lámpara a la alimentación eléctrica.

### *Portalámparas*

Dispositivo que mantiene la lámpara en posición, generalmente al tener el casquillo insertado en ésta, en cuyo caso también provee los medios para conectar la lámpara al suministro eléctrico.

### *Proyector*

Luminaria en la que la luz es concentrada por reflexión o refracción para obtener una intensidad luminosa elevada dentro de un limitado ángulo sólido.

### *Reflectómetro*

Instrumento para medir magnitudes relacionadas con la reflexión.

### *Reflector*

Dispositivo utilizado para modificar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente, empleando el fenómeno de reflexión.

### *Reflexión*

Proceso de devolución de una radiación por una superficie o un medio, sin modificar la frecuencia de sus componentes monocromáticos.

### *Refracción*

Proceso por el cual se modifica la dirección de una radiación debido a cambios en su velocidad de propagación al atravesar un medio ópticamente no homogéneo, o al atravesar una superficie que separa medios diferentes.

### *Refractor*

Dispositivo utilizado para modificar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente empleando el fenómeno de refracción.

### *Relación Entorno*

Relación entre la luminancia o la iluminancia media de las dos franjas adyacentes a la calzada de una vía de tráfico rodado y la luminancia o la iluminancia media de dicha calzada. La anchura de cada una de las dos franjas será como mínimo la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m. de anchura. Su símbolo es *SR* y carece de unidades.

### *Rendimiento de Color*

Efecto de un iluminante sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina por comparación con su aspecto bajo un iluminante de referencia.

Los colores de los objetos que nos rodean se determinan, en parte, por la luz bajo la cual se miran. La forma en que la luz reproduce estos colores se denomina índice de rendimiento de color.

El índice de rendimiento de color es la medida del grado en que el color psicofísico de un objeto iluminado por el iluminante de ensayo coincide con el del mismo objeto iluminado con el iluminante de referencia, habiéndose tenido correctamente en cuenta el estado de adaptación cromática.

### *Rendimiento luminoso de una Luminaria*

Es el cociente entre el flujo luminoso total de una luminaria  $\phi_t$ , medido bajo unas condiciones experimentales determinadas con su lámpara y equipo, y la suma de los flujos luminosos individuales de la lámpara  $\phi_l$  cuando éstas se encuentran fuera de la

luminaria, con el mismo equipo y en las mismas condiciones. Su símbolo es  $\eta$  y carece de unidades.

$$\eta = \frac{\phi_e}{\phi_i}$$

### *Sistema Óptico*

En una luminaria es el encargado de controlar, dirigir y distribuir la luz de forma establecida y adecuada.

### *Resplandor luminoso nocturno*

Luminosidad del cielo nocturno que resulta de la reflexión de la radiación (visible y no visible), dispersada por los constituyentes de la atmósfera (moléculas de gas, aerosoles y partículas en suspensión), en la dirección de observación.

Nota: El resplandor del cielo se constituye de dos componentes:

- Resplandor natural: Parte del resplandor del cielo que es atribuible a la radiación de objetos celestes y los procesos de luminiscencia en la atmósfera superior de la Tierra.
- Resplandor artificial: Parte del resplandor del cielo, que es atribuible a fuentes de radiación generadas por el hombre (por ejemplo, iluminación eléctrica al aire libre), incluyendo la radiación que es emitida directamente hacia arriba y la radiación que se refleja desde la superficie de la tierra.

### *Tabla de Reflexión de Pavimentos*

Es una tabla de doble entrada ( $\beta$ , tgy) en la que se especifican los valores de reflexión del pavimento para cada punto del mismo.

### *Temperatura de Color*

La temperatura de color de una lámpara es la temperatura medida en grados Kelvin que tiene que alcanzar un radiador de Plank (cuerpo negro), para que la tonalidad o color (cromaticidad) de la luz emitida sea igual a la de la lámpara considerada.

### *Tensión Nominal*

Valor convencional de la tensión con la que se denomina un sistema o instalación y para el que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento.

### *Tiempo de Encendido*

Tiempo necesario para que una lámpara de descarga desarrolle un arco eléctricamente estable.

### *Transmisión*

Paso de una radiación a través de un medio sin cambio de frecuencia de las radiaciones monocromáticas que la componen.

### *Uniformidad Global de Luminancias*

Relación entre la luminancia mínima y la media de la superficie de la calzada. Su símbolo es  $U_o$  y carece de unidades. Refleja en general la variación de luminancias en la calzada y señala bien la visibilidad de la superficie de la calzada que sirve de fondo para las marcas viales, obstáculos y otros usuarios de las vías de tráfico rodado.

### *Uniformidad Longitudinal de Luminancias*

Relación entre la luminancia mínima y la máxima en el mismo eje longitudinal de los carriles de circulación de la calzada, adoptando el valor más desfavorable. Su símbolo es  $U_l$  y carece de unidades. Proporciona una medición de la secuencia continuamente repetida de bandas transversales en la calzada, alternativamente brillantes y oscuras. Tiene que ver con las condiciones visuales cuando se conduce a lo largo de secciones ininterrumpidas en la calzada, y con la comodidad visual del conductor.

### *Uniformidad Media de Iluminancias*

Relación entre la iluminancia mínima y la media de una superficie. Su símbolo es  $U_m$  en el caso de iluminancia horizontal. Carece de unidades.

### *Uniformidad General de Iluminancias*

Relación entre la iluminancia mínima y la máxima de una superficie. Su símbolo es  $U_g$  en el caso de iluminancia horizontal. Carece de unidades.

### *Utilancia*

Es la relación entre el flujo útil  $\phi_u$  procedente de la luminaria que llega a la calzada o superficie de referencia y el flujo total emitido por la luminaria  $\phi_t$ . Su símbolo es  $U$  y carece de unidades.

### *Velocidad de Diseño*

Velocidad adoptada para el planeamiento de la vía de tráfico rodado.

### *Vida de una Lámpara*

Tiempo total durante el cual ha estado funcionando una lámpara antes de quedar inservible o ser considerada como tal según criterios especificados.

### *Vida media de una lámpara*

Para lámparas trabajando bajo condiciones especificadas y juzgando el fin de su vida según criterios definidos, valor medio de la vida de cada lámpara de las sometidas a un ensayo de vida.

### *Visibilidad*

Rango de percepción visual, normalmente medido en términos de la distancia de umbral a la cual la señalización permanece visible.

### *Visión escotópica*

Visión del ojo normal cuando los bastones son los principales fotorreceptores activos.

Nota 1: La visión escotópica se produce normalmente cuando el ojo se adapta a niveles de luminancia de menores de  $10^{-3} \text{ cd/m}^2$ .

Nota 2: En comparación con la visión fotópica, la visión escotópica está caracterizada por la ausencia de la percepción del color y por el cambio de sensibilidad visual alrededor de longitudes de onda cortas.

### *Visión fotópica*

Visión del ojo normal en la cual los conos son los principales fotorreceptores activos.

Nota 1: La visión fotópica normalmente ocurre cuando el ojo está adaptado a los niveles de luminancia de al menos  $10 \text{ cd/m}^2$ .

Nota 2: La percepción del color es típica de la visión fotópica.

### *Visión mesópica*

Visión intermedia entre la visión fotópica y escotópica de un ojo normal.

Nota: En visión mesópica, tanto los conos como los bastones están activos.