

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es la concepción de un sistema de valoración de los proyectos luminotécnicos de iluminación exterior para alumbrado público.

Se trata de un primer sistema de valoración que incluye aspectos no considerados en los distintos reglamentos luminotécnicos.

El presente documento se estructura en diferentes bloques, empezando por los temas de introducción, donde se explica la teoría y se definen las fuentes para la elaboración de los proyectos de iluminación. A continuación se profundizará en los requerimientos luminotécnicos, después se describirá el diseño del procedimiento a seguir para realizar las valoraciones. Finalmente, a modo de ejemplo se expone un estudio de diferentes casos.

Este material pretende ser una herramienta útil para facilitar un nuevo enfoque para el diseño de la instalación en su conjunto, así como una ayuda para realización de nuevos proyectos.





Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. GLOSARIO	7
2. PREFACIO	9
2.1. Origen del proyecto	9
2.2. Motivación	9
3. INTRODUCCIÓN	13
3.1. Objetivos del proyecto	13
3.2. Alcance del proyecto	14
4. ALUMBRADO PÚBLICO	17
4.1. Paseando por la historia	17
4.2. Objetivos del alumbrado público	18
4.3. Plan director del alumbrado público	19
4.4. Proyectos de alumbrado público	20
4.5. Instalaciones del alumbrado público	20
4.5.1. Lámparas	20
4.5.2. Luminarias	28
4.5.3. Geometría de implantación	35
4.5.4. Equipos auxiliares	37
4.6. Condiciones lumínicas y energéticas	40
4.6.1. Eficiencia energética	40
4.6.2. Niveles de iluminación	41
4.7. Otros parámetros	46
4.7.1. Factor de mantenimiento	46
4.7.2. Contaminación lumínica	48
5. ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS	51
5.1. Calidad del alumbrado	51
5.2. Entradas que afectan al proyecto luminotécnico	52
5.2.1. Geometría y disposición de la vía	52
5.2.2. Características de uso	53
5.2.3. Características de los sistemas de alumbrado	54
5.3. Entradas que afectan al sistema de valoración	54



5.3.1.	Resultados luminotécnicos	55
5.3.2.	Aspectos formales	56
5.4.	Salidas del sistema de valoración	56
5.4.1.	Árbol sobre la cantidad lumínica	57
5.4.2.	Árbol sobre la calidad lumínica	57
5.4.3.	Árbol sobre la eficiencia energética	57
5.4.4.	Árbol sobre la contaminación lumínica	58
5.4.5.	Árbol sobre el mantenimiento	58
5.4.6.	Árbol sobre la integración en entorno urbano	58
6.	CRITERIOS DE VALORACIÓN	61
6.1.	Cantidad lumínica	61
6.1.1.	Cálculo de la iluminancia media horizontal	62
6.1.2.	Cálculo de la iluminancia vertical mínima	63
6.1.3.	Cálculo final del vector	63
6.2.	Calidad lumínica	64
6.2.1.	Cálculo de la uniformidad media	64
6.2.2.	Cálculo del deslumbramiento molesto	65
6.2.3.	Cálculo del deslumbramiento perturbador	65
6.2.4.	Cálculo del color	66
6.2.5.	Cálculo final del vector	66
6.3.	Eficiencia energética	67
6.3.1.	Cálculo de la eficiencia energética	67
6.3.2.	Cálculo del rendimiento de la luminaria	67
6.3.3.	Cálculo de la eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares	67
6.3.4.	Cálculo del factor de utilización	68
6.3.5.	Cálculo de la iluminancia media horizontal	68
6.3.6.	Cálculo final del vector	69
6.4.	Contaminación lumínica	69
6.4.1.	Cálculo del factor hemisférico superior instalado	69
6.4.2.	Cálculo del factor reductor	70
6.4.3.	Cálculo de la iluminación media horizontal	70
6.4.4.	Cálculo del incremento de umbral	71
6.4.5.	Cálculo de la iluminación vertical máxima	71
6.4.6.	Cálculo final del vector	71
6.5.	Mantenimiento	72
6.5.1.	Cálculo del factor de mantenimiento	72
6.5.2.	Cálculo del Índice de protección	72
6.5.3.	Cálculo de la altura de montaje	73



6.5.4. Cálculo final del vector	73
6.6. Integración en entorno urbano.....	73
6.6.1. Valoración primera pregunta	73
6.6.2. Valoración segunda pregunta.....	74
6.6.3. Valoración tercera pregunta	74
6.6.4. Cálculo final del vector.....	74
7. CASOS DE ESTUDIO	75
7.1. Caso 1	76
7.2. Caso 2.....	77
7.3. Caso 3.....	78
7.4. Caso 4.....	79
7.5. Caso 5.....	80
7.6. Caso 6.....	81
8. RESULTADOS OBTENIDOS	83
8.1. Análisis de los resultados.....	89
9. ESTUDIO ECONÓMICO	91
10. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	93
CONCLUSIONES	95
PROPUESTAS DE FUTURO	97
BIBLIOGRAFÍA	99
Referencias bibliográficas	99
ÍNDICE DE REFERENCIA DE LOS ARCHIVOS ANEXOS	101



1. Glosario

Altura de montaje Altura de montaje de las luminarias respecto el suelo.

AIE Agencia Internacional de la Energía.

Arrancador Equipo auxiliar que hace posible el encendido de lámparas de descarga generando puntas de tensión.

Balastos Elemento que controla la intensidad que circula por las lámparas.

Candela (cd) Unidad de la intensidad luminosa; magnitud fundamental de la técnica de alumbrado. 1 cd se define como la intensidad luminosa, que se emite de una fuente de luz monocromática con una potencia de radiación de 1/683 W con 555 nm.

CIE Comisión Internacional de Iluminación.

Depreciación luminosa Es el descenso del flujo luminoso emitido por una lámpara a lo largo de su vida. Se expresa en % de flujo inicial o en horas/flujo.

Deslumbramiento Es un fenómeno de la visión que produce molestia y/o disminución de la capacidad para distinguir objetos. El deslumbramiento puede ser directo procedente de una superficie con una alta luminancia o de una luminaria mal orientada ó indirecto debido a reflejos en superficies brillantes o reflectantes.

Eficacia luminosa Es el cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia absorbida, expresándose por tanto en lm/W.

Equipo auxiliar Equipos eléctricos o electrónicos asociados a la lámpara, diferentes para cada tipo de lámpara. Su función es el encendido y control de las condiciones de funcionamiento de una lámpara. Estos equipos auxiliares, salvo cuando son electrónicos, están formados por combinación de arrancador/cebador, balasto y condensador).

Factor de utilización (F_u) Relación entre el flujo que llega a la superficie y el emitido por la lámpara.

Factor de mantenimiento (F_m) Cociente entre la iluminancia media sobre el plano de trabajo después de un cierto periodo de uso de una instalación de alumbrado y la iluminancia media obtenida bajo la misma condición para la instalación considerada como nueva.



Flujo hemisférico superior instalado (FHS_{INST}) Es el flujo dirigido por encima del plano horizontal. El flujo hemisférico se expresa en tanto por ciento del flujo total emitido por la luminaria.

Flujo luminoso Es el flujo radiante emitido dentro del espectro visible, y además, ponderado por la curva de sensibilidad relativa. Expresado en lm.

IAC Instituto Astrofísico de Canarias.

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Iluminancia (E) Magnitud característica del objeto iluminado, e indica la cantidad de luz que incide sobre la superficie del objeto cuando esté iluminado. Se mide en lux.

IP Indicador del tipo de protección que requieren las luminarias para las diferentes condiciones ambientales.

Índice de reproducción cromática (IRC) Valoración de la capacidad de una fuente de luz para reproducir fielmente los colores con respecto a un iluminante de referencia.

Intensidad Luminosa Es el cociente del flujo luminoso que abandona una superficie y que se propaga en un elemento de ángulo sólido contenido en la dirección, por este elemento de ángulo sólido. Se expresa en cd.

Lumen (lm) Unidad que define el flujo luminoso.

Luminancia Es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la superficie aparente de la misma, expresado en cd/m^2 .

Luminaria Aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que, además de los accesorios necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito eléctrico de alimentación contiene, en su caso, los equipos auxiliares necesarios para su funcionamiento.

Lux (lux) Unidad del S.I. para la iluminancia o nivel de iluminación. Es igual a un lm/m^2 .

MITYC Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Rendimiento de la luminaria Relación entre el flujo emitido por la luminaria y el emitido por la lámpara.



2. Prefacio

2.1. Origen del proyecto

El objeto de este proyecto surge a partir de la escasez de información y estudios sobre la iluminación y sus repercusiones.

Afortunadamente, la sociedad va tomando cada vez más consciencia sobre las implicaciones inherentes a la iluminación, y en la actualidad se está percibiendo como una problemática real, ya sea por su impacto en el consumo energético o por la alteración que puede producir en el entorno donde nos encontramos.

La iluminación repercute en muchos ámbitos de la vida diaria, como el tráfico rodado y peatonal, el ocio, el hogar, el lugar de trabajo y el resto de actividades que realizamos en horario nocturno.

Dada la magnitud del problema, se están llevando a cabo multitud de proyectos para mejorar todos los aspectos a los que la iluminación afecta.

2.2. Motivación

Desde que se empezó a integrar el alumbrado en todos los rincones del mundo hasta la actualidad, se ha intentado mantener a éste en un sitio significativo en la innovación tecnológica del sector.

Esta evolución ha venido marcada por las épocas de crecimiento demográfico en zonas urbanas, que de forma paralela, han ocasionado el crecimiento del consumo energético.

En España, los Ayuntamientos son propietarios del 95% de las instalaciones de alumbrado exterior [1] y, según los últimos datos del IDAE sobre el consumo energético [1], éstas supusieron un gasto de 326 ktep en 2010, frente a los 290 ktep declarados en 2004.

Podemos observar la evolución del consumo en la Fig. 2.1. El gasto municipal se refleja en la Fig. 2.2.



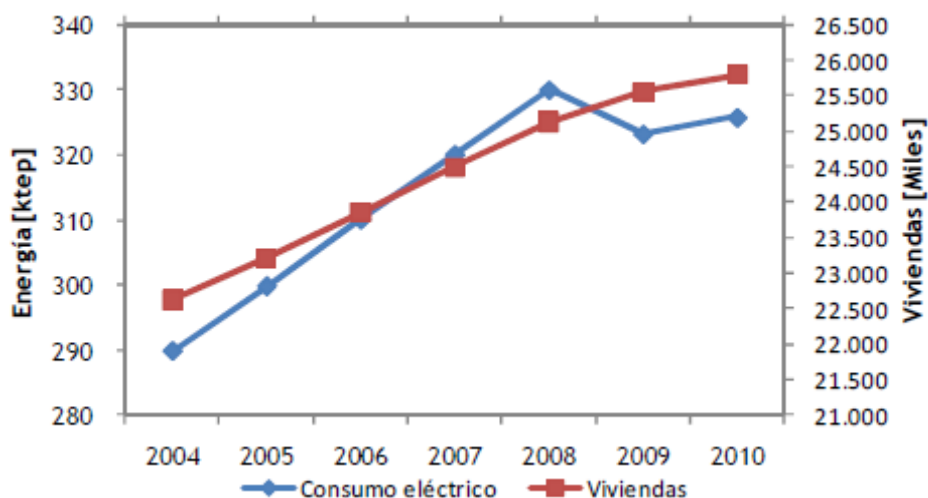


Figura 2.1. Evolución del consumo eléctrico en el uso del alumbrado exterior y evolución del número de viviendas [1].

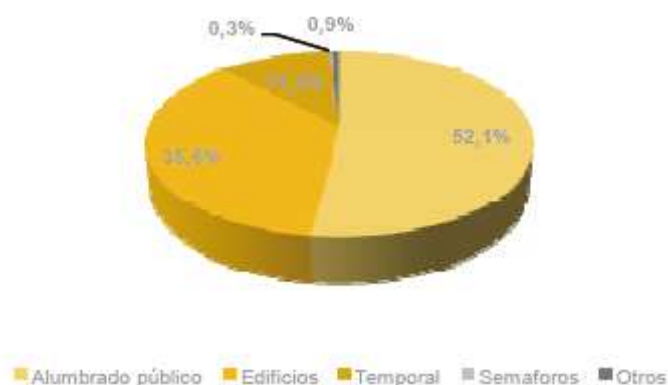


Figura 2.2. Distribución del consumo eléctrico en un ayuntamiento 2009 [1].

La administración local ocupa un papel importantísimo dentro de la temática de la iluminación, por ser la entidad más cercana al ciudadano. Éste basa su actitud en los patrones que percibe de la administración, copiándolos e implantándolos en su ámbito privado.

La imagen pública del alumbrado es por tanto de gran relevancia, no pudiendo obviar sus funciones y repercusiones en la vida cotidiana: la fluidez del tránsito, el ambiente y paisaje nocturno, la seguridad ciudadana, el confort, el diseño, etc.

Por estos motivos no puede comprometerse la calidad del servicio basándonos únicamente en su eficiencia energética. En otras palabras, si adoptáramos la política energética más barata, el resultado sería la supresión total del alumbrado, porque de esta forma se obtiene



el coste energético menor (nulo). No es necesario comentar que la situación sería inaceptable para la sociedad actual.

Una de las acciones tomadas por el gobierno en este ámbito ha sido el *Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07* [4], aprobado por el MITYC y que los municipios deben cumplir desde el 1 de abril de 2009.

El Real Decreto se centra preferentemente en la visión de la eficiencia energética. Contempla también otros aspectos que debe tener una instalación, pero los reduce a un segundo plano. Esto conlleva una gran variabilidad de los proyectos de iluminación entre los municipios.

En el presente proyecto trataremos, por un lado, de dar relevancia precisamente a esos aspectos donde la reglamentación es más laxa, y, por otro lado, analizar los que sí están reglamentados, tratando de conseguir valoraciones de los distintos campos para al final conseguir una valoración conjunta.





3. Introducción

3.1. Objetivos del proyecto

El objetivo fundamental de este proyecto es proporcionar una herramienta procedimental para evaluar los proyectos luminotécnicos o, en su defecto, las instalaciones existentes del alumbrado público.

Esta valoración se realizará a través de unos criterios globales y no centrados exclusivamente en la eficiencia energética, a pesar de que es de obligado cumplimiento por parte de MITYC [4], obteniendo así un análisis completo.

Queda fuera del propósito de este proyecto analizar instalaciones que dependen del reglamento de baja tensión o de otros reglamentos específicos.

A partir de un análisis de los requerimientos lumínicos, energéticos, medioambientales, etc., en diferentes situaciones, se tratará de desarrollar una escala de valores que pueda cuantificar los valores cualitativos. En última instancia, conseguir una valoración global de toda la instalación, servirá al proyectista para realizar un análisis más exhaustivo.

En la Fig. 3.1 se observa el diagrama de situación de los distintos elementos que se consideran a lo largo del proyecto y como se realiza el flujo de la información a través de estos. El sistema de valoración creado se sitúa entre el proyecto luminotécnico y la instalación, contemplando que si la valoración fuera negativa debería revisarse de nuevo el proyecto luminotécnico o en caso positivo dar luz verde a dicha instalación.

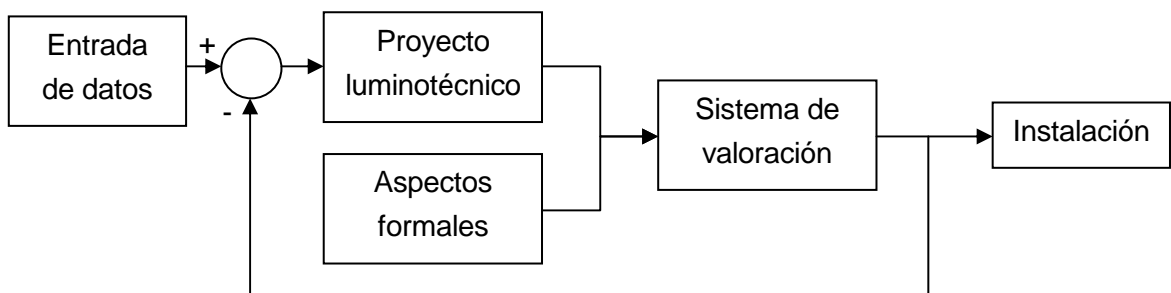


Figura 3.1. Diagrama de flujo



3.2. Alcance del proyecto

El presente proyecto no pretende dar respuesta a la totalidad de casos que se puedan encontrar, pero si intenta solventar la mayor parte de situaciones dentro de una zona urbana con alumbrado público de titularidad municipal.

Hay que remarcar que dentro de las zonas urbanas nos centraremos en las vías de tránsito de vehículos, peatones y ciclistas, y quedaran fuera todas aquellas singularidades como plazas, todas ellas diferentes, ramblas con diseño específico, paseos de los parques, etc., ya que estas poseen un diseño muy específico, para el que no se puede obtener una valoración a partir de un procedimiento estandarizado.

La reglamentación [4] también contempla casos como son: las festividades navideñas, carteles, alumbrado ornamental, etc., de manera independiente, y por lo tanto, no entraremos tampoco en ellos en estas consideraciones.

En definitiva, nos centraremos en las instalaciones de alumbrado vial funcional dentro de las zonas urbanas y de las instalaciones de alumbrado vial ambiental, a excepción de lo comentado con anterioridad.

Los ejes principales o criterios generales en torno a los que girará la valoración obtenida vendrán dados por:

- Una visión de conjunto, donde las instalaciones están interrelacionadas entre ellas.
- La demanda específica de cada zona, la función de su uso prioritario y su carácter ciudadano.
- El uso de los niveles de iluminación necesarios para garantizar condiciones de seguridad y funcionalidad, evitando los excesos innecesarios.
- Asegurar una adecuada calidad de servicio, facilitando su mantenimiento y permitiendo una vida útil prolongada.
- El uso de sistemas y diseños con elevada eficiencia energética y que no generen contaminación.
- Minimizar el impacto medioambiental, evitando dispersión e intrusión de luz en espacios no adecuados.
- Considerar la apariencia visual de las instalaciones y su adecuación e integración al entorno urbano.



- Priorizar la relación servicio/coste y minimizar en la medida de lo posible los costes de instalación, consumo y explotación.





4. Alumbrado público

4.1. Paseando por la historia

Desde el surgimiento de la Humanidad hasta el descubrimiento del fuego, la única fuente de luz y calor que conoció el hombre fue el Sol. Tras aprender a controlar el fuego, este fue utilizado durante miles de años como medio para proporcionarse calor y como fuente de luz artificial.

La primera forma de iluminación artificial, la antorcha, fue evolucionando a lo largo del tiempo hasta que, supuestamente sobre el 7000 a.C., aparecieron en Mesopotamia las primeras lámparas de terracota, que utilizaban el aceite como combustible.

Posteriormente, los fenicios comenzaron a utilizar las conocidas velas de cera, alrededor del año 400 d.C., que han perdurado hasta nuestros días manteniendo la misma función de proporcionarnos luz o de ambientación en un lugar.

Muchos años después, sobre el 1798, empieza a utilizarse el gas como combustible en las lámparas para alumbrado. En 1859, Edwin L. Drake descubre el petróleo y este sustituye al gas en el desempeño de dicha función.



Fig. 4.1. Evolución del alumbrado.

Los físicos, durante el siglo XIX, se empeñaron en encontrar aplicación práctica a la corriente eléctrica, para conseguir crear un dispositivo que fuera capaz de emitir luz artificial.

El primer experimento, dirigido por Humpry Davy, que logro el objetivo, lo realizó en 1840. Obteniendo incandescencia en un fino hilo de platino al ser atravesado por una corriente eléctrica. Sin embargo, al no encontrarse protegido al vacío, este se fundía o volatilizaba debido al contacto directo con el aire. Pasaron aproximadamente diez años hasta que finalmente se obtuvo iluminación artificial por arco eléctrico.



El primer dispositivo eléctrico de iluminación artificial, fue la lámpara de filamento, esta fue desarrollada simultáneamente por Joseph Swan y Thomas Alva Edison. A este último, en 1878, se le otorgo la patente. Esta lámpara consiguió una inmediata popularidad con su comercialización.

Desde su creación la lámpara eléctrica incandescente apenas ha sufrido variación alguna en su concepción original. Probablemente éste dispositivo eléctrico, uno de los más sencillos y longevos que existen, sea el que más aporte ha brindado también al desarrollo de la humanidad.

A lo largo del siglo XX y hasta la actualidad, se ha progresado en este campo a un ritmo elevado. Se desarrolló la lámpara de vapor de mercurio de alta presión, que es una lámpara de arco eléctrico cuya descarga ocurre dentro de un gas bajo alta presión. Más tarde, se desarrolló la lámpara de vapor de sodio de baja presión, que emite una luz monocromática, y posteriormente se desarrolló la lámpara de vapor de sodio de alta presión, cuya luz es de color ámbar. Esta última aporta un índice de rendimiento de color un poco mayor, siendo una fuente de luz más puntual y de un tamaño menor que la anterior, lo que permite un manejo y un mejor diseño de las luminarias.

El primer LED, desarrollado en 1927 por Oleg Vladimírovich Lósev, no tuvo un impacto directo en el alumbrado hasta sus primeras implantaciones en la industria, dado que solo se fabricaba en color rojo, verde y amarillo.

A finales del siglo XX, se inventaron los ledes ultravioletas y azules, lo que dio paso al desarrollo del led blanco, que es un led de luz azul con recubrimiento de fósforo, lo que produce luz amarilla. La mezcla entre los dos colores, el azul y el amarillo, estos a la vez complementarios en el espectro RGB, producen una luz blanquecina denominada "luz de luna", de alta luminosidad, lo cual ha propiciado la ampliación de su utilización e implantación en otros sistemas de iluminación.

El ritmo previsto de despliegue de las tecnologías LED estaba previsto que fuera más lento y dilatado en el tiempo de lo que ha resultado ser. La crisis económica, financiera y presupuestaria, sin embargo, están acelerando la migración masiva hacia este tipo de tecnologías, que contribuyen a ensanchar los presupuestos de las administraciones municipales y mejorar la calidad luminaria del alumbrado público.

4.2. Objetivos del alumbrado público

La necesidad del alumbrado público nace paralelamente a la evolución urbana, fruto de la revolución industrial. Esta, a día de hoy, es un servicio público cuyo objetivo es iluminar las



vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica, diferente del municipio, con el fin de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades.

Por lo general, el alumbrado público en las ciudades o centros urbanos es un servicio municipal, responsable de su instalación y mantenimiento. Sin embargo, en carreteras o infraestructuras viales importantes, la responsabilidad corresponde al gobierno central o regional.

La influencia del alumbrado ha llegado a mejorar aspectos que tienen mucha importancia y que no siempre se tienen en cuenta. Algunos de ellos son la reducción de la gravedad y del número de accidentes, el aumento de la seguridad de las personas y sus bienes, el aumento de la comodidad de los peatones y los conductores, la reducción de la duración de los viajes, el aprovechamiento de las infraestructuras, la mejora del ambiente y el incremento de las actividades comerciales y turísticas.

4.3. Plan director del alumbrado público

A pesar de que normalmente las instalaciones de alumbrado público se realizan de manera aislada dentro de una misma población, cada día se hace más evidente que no se pueden considerar como una suma de elementos independientes.

Puesto que su explotación posterior se realiza para todo el conjunto de la población, sus componentes se interrelacionan, tanto en el aspecto geográfico (itinerarios de mantenimiento, definición de zonas homogéneas, acomodación de niveles entre zonas cercanas), como de gestión (relación mantenimiento/consumo, política de amortización, economías de escalera).

El plan director del alumbrado público define los aspectos que afectarán el conjunto de las instalaciones de alumbrado, como por ejemplo, los objetivos de servicio (nivel de iluminación, color de la luz, etc.), los sistemas técnicos y la estructura de gestión. Esto permitirá tratar las instalaciones de alumbrado como un conjunto, les dará un aspecto homogéneo y evitará desequilibrios en niveles de iluminación o criterios de color de la luz.

En este sentido, un vez aprobado el plan director, hace falta un compromiso al más alto nivel municipal para respetar estas decisiones, evitando no hacer excepciones que, al intentar integrarlas en el conjunto del alumbrado, pueden conducir a una escalada de los niveles de iluminación y llegar a consumos energéticos muy por encima de lo necesario.



4.4. Proyectos de alumbrado público

Cómo se ha indicado anteriormente, el plan director determinará los objetivos de las instalaciones de alumbrado público desde el punto de vista de toda la población en conjunto.

A la hora de redactar el proyecto pero, habrá que escoger los sistemas técnicos que hagan posible conseguir los objetivos descritos en el plan director, y también prever los costes de explotación de la instalación.

En estos proyectos se definirá en el siguiente orden:

- La elección de los sistemas de alumbrado, que incluyen las lámparas, luminarias, geometría de implantación y equipos auxiliares.
- La instalación eléctrica, donde se hará referencia al conjunto de dispositivos que proveen de la energía suficiente para su funcionamiento.
- El pliego de condiciones para el control y ejecución de las obras, que servirá para evitar que, por motivos económicos, de finalización o comodidad, se produzcan desvíos sobre el planteamiento inicial.
- Las previsiones del consumo y del coste energético de la explotación, que incluye el coste de mantenimiento, el consumo energético, el coste de gestión y el coste de reciclaje de los diversos elementos.

4.5. Instalaciones del alumbrado público

4.5.1. Lámparas

Las lámparas son los aparatos encargados de generar luz. Transforman la energía primaria (en nuestro caso eléctrica) en luz útil para lo que se diseña.

4.5.1.1. Características principales

- Eficacia luminosa

Es la relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y la potencia consumida por ésta. Se expresa en lm/W (lúmenes/vatio).



$$\eta_{lamp} = \frac{F_{lamp}}{P_{lamp}} \quad [Ec. 4.1]$$

En el caso de lámparas conectadas a la red de alimentación a través de equipos auxiliares, la potencia consumida por estos no está incluida en este concepto, y como consecuencia, estas pérdidas deberán tenerse en cuenta en cualquier proyecto.

En las lámparas, las pérdidas se centran en dos aspectos: las pérdidas por calor y las pérdidas por radiaciones no visibles (ultravioleta e infrarrojo).

Se puede observar el balance energético en la Fig. 4.2.

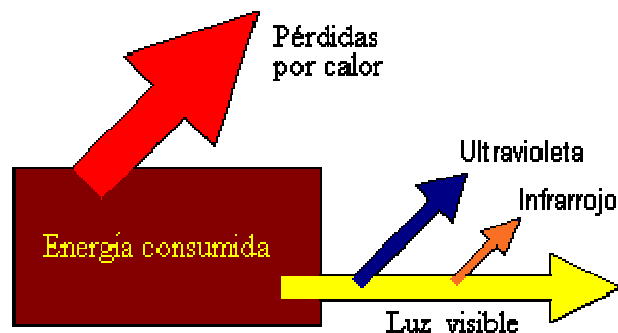


Figura 4.2. Balance energético de una lámpara.

➤ Color

Las características de color suelen delimitarse mediante 3 conceptos:

- Tono: color básico de la luz. En alumbrado urbano hay normalmente dos alternativas: blanco y amarillo.
- Rendimiento del color: fidelidad con la que la luz utilizada reproduce el color de los objetos, tomando como referencia unas determinadas condiciones de luz natural. Suele expresarse mediante un índice de reproducción cromática (IRC).
- Temperatura del color: apreciación de la calidad de frialdad o calidez psicológica del ambiente iluminado. Se expresa mediante la temperatura de color correlacionada, indicada en grados Kelvin. A alta temperatura, color hacia el azul (sensación fría) y a baja temperatura, color hacia el rojo (sensación cálida).

En la tabla 4.1 se puede ver una clasificación objetiva de los colores, según OSRAM [4], a partir del índice de reproducción cromática y las lámparas típicas que corresponden a cada grupo.



Grupo	Índice R_a	Lámparas típicas
1A	≥ 90	Halógenas
1B	80 – 89	Fluorescentes compactos
2A	70 – 79	Inducción, Fluorescentes
2B	60 – 69	Fluorescentes
3	40 – 59	Vapor de mercurio
4	≤ 39	VSAP, VSBP

Tabla 4.1. Clasificación de los colores.

➤ Vida de una lámpara

Aunque realmente existen innumerables formas de definir la vida de una lámpara dentro de una instalación dada, se hará referencia a las más comunes:

- La vida individual es el tiempo transcurrido en horas hasta que una lámpara se estropea o muere, trabajando en unas condiciones determinadas.

- La vida media se define como el número de horas de funcionamiento para el que han fallado el 50% de las lámparas correspondientes a una muestra suficientemente representativa después de funcionar en condiciones de prueba.

- La vida útil es el tiempo estimado en horas tras el cual es preferible sustituir un conjunto de lámparas de una instalación a mantenerlas. Esto se hace por motivos económicos y para evitar una disminución excesiva en los niveles de iluminación en la instalación debido a la depreciación que sufre el flujo luminoso con el tiempo. Este valor sirve para establecer los periodos de reposición de las lámparas de una instalación.

➤ Depreciación luminosa

Es el descenso del flujo luminoso emitido por una lámpara a lo largo de su vida. Se expresa en % del flujo inicial aunque la forma más corriente consiste en expresar esta característica en forma gráfica: % Flujo vs Horas.

En la Fig. 4.3 se puede observar la depreciación lumínica de los distintos tipos de lámparas, los valores son ilustrativos ya que dependen del modelo exacto de cada una de ellas.



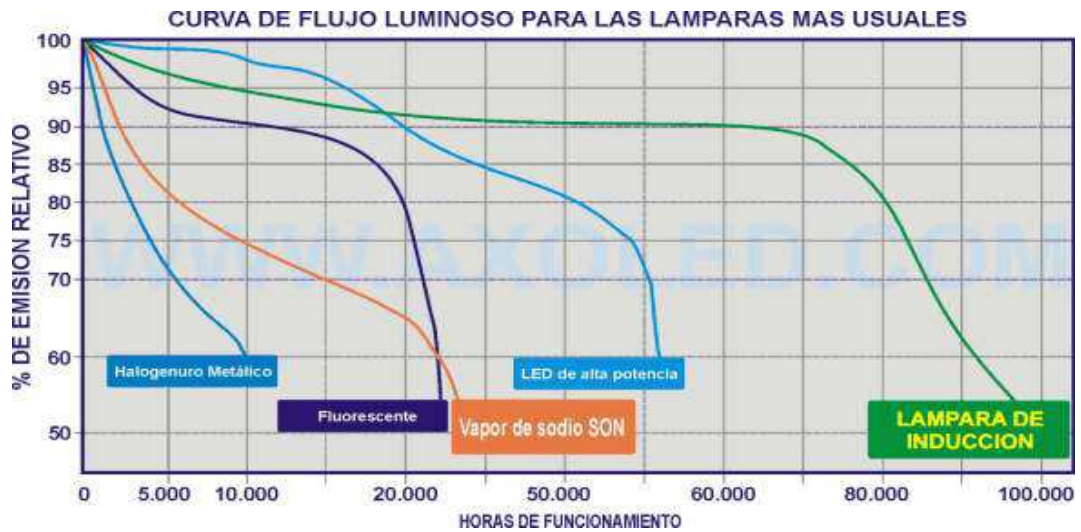


Figura 4.3. Depreciación lumínica de las diferentes familias de lámparas [4].

4.5.1.2. Tipologías y fuentes de luz

Existen cuatro tipologías o tecnologías para la iluminación:

➤ Incandescentes

Se las denomina lámparas incandescentes por tener un elemento radiador, cuyo cuerpo luminoso está constituido por un hilo conductor a través del que se hace pasar una corriente eléctrica. Bajo dicha corriente, el hilo eleva su temperatura hasta el rojo blanco emitiendo a esta temperatura radiaciones comprendidas dentro del espectro visible.

Por razones de compacidad y de conservación del calor, el hilo generalmente está enrollado de forma helicoidal y ubicado en el interior de una ampolla de vidrio, en la cual se ha realizado el vacío o ha sido llenado con un gas inerte.

Con la tecnología existente, actualmente se consideran poco eficientes, ya que el 90% de la electricidad que consume la transforma en calor y solo el 10% restante en luz.

Existen dos tipos de lámparas incandescentes:

- Las que están al vacío o contienen un gas inerte. Tienen una duración normalizada de 1000 horas, unas eficacias entre 7.5 y 11 lm/W para las lámparas de vacío y entre 10 y 20 lm/W para las rellenas de gas inerte y una reproducción del color excelente.

- Las halógenas, que tienen un funcionamiento similar al de las lámparas incandescentes normales, con la salvedad de que el halógeno incorporado en la ampolla ayuda a conservar el filamento. Así la vida útil de la lámpara aumenta entre 2.000 a 5.000 horas, mejora su



eficiencia luminosa al llegar a 22 lm/W, reduce su tamaño y mantiene la reproducción del color de las anteriores.

➤ Descarga

Se les llama lámparas de descarga porque la luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado.

En el interior del tubo, se producen descargas eléctricas como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos. Estas descargas provocan un flujo de electrones que atraviesa el gas. Cuando uno de ellos choca con los electrones de las capas externas de los átomos les transmite energía y pueden suceder dos cosas.

La primera posibilidad es que la energía transmitida en el choque sea lo suficientemente elevada para poder arrancar al electrón de su orbital.

La otra posibilidad es que el electrón no reciba suficiente energía para ser arrancado y pasa a ocupar otro orbital de mayor energía. Este nuevo estado acostumbra a ser inestable y rápidamente se vuelve a la situación inicial. Al hacerlo, el electrón libera la energía extra en forma de radiación electromagnética, principalmente ultravioleta (UV) o visible.

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

- Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión, en las que la luz se produce predominantemente mediante polvos fluorescentes activados por la energía ultravioleta de la descarga. Tienen una duración entre las 5.000 y 7.000 horas, su eficacia luminosa se encuentra entre 38 y 91 lm/W, y mediante distintos fluorescentes se consiguen una serie de colores de luz y distintas calidades de reproducción cromática. Las lámparas fluorescentes requieren de balastos, reactancias o reactancias electrónicas.

- En las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, cuando se aumenta la presión de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de las lámparas de baja presión pierde importancia respecto las emisiones en la zona visible. Con estas condiciones la luz emitida es de color azul-verde, para solucionar este problema se acostumbran a añadir sustancias fluorescentes para mejorar las características cromáticas de la lámpara. La vida útil de este tipo de lámparas es de unas 8.000 horas, para llegar una eficacia luminosa entre 40 y 63 lm/W, con una reproducción del color regular. Estas requieren de un balasto externo para estabilizar la corriente de la lámpara.



- Las lámparas de luz de mezcla son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y, habitualmente, tienen un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia. Tienen una vida media de 6.000 horas, consiguen una eficacia luminosa baja que ronda entre 19 y 28 lm/W y el rendimiento del color es excelente.
- Las lámparas con halogenuros metálicos, consisten en tubos de descarga a los que añadimos yoduros metálicos (sodio, talio, indio, etc.), consiguiendo una mejor capacidad de reproducir los colores que las lámparas de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio). Su vida media alcanza las 10.000 horas, con una eficacia luminosa entre 75 y 95 lm/W y con una reproducción cromática buena o muy buena. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas y tienen un periodo de encendido de 10 minutos, tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga.
- Las lámparas de vapor de sodio a baja presión producen una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm), muy próximas entre sí y también próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes, pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible. Tienen una vida media de 15.000 horas y una útil entre 6.000 y 8.000 horas, con la mejor eficacia luminosa entre 100 y 183 lm/W y un desastroso rendimiento del color. El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos.
- Las lámparas de vapor de sodio a alta presión son muy exigentes debido a las altas temperaturas (1.000 °C), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio, que actúa como amortiguador de la descarga, y xenón, que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. Tienen una vida media de 20.000 horas y una útil entre las 8.000 y 12.000 horas, con una eficiencia luminosa entre 70 y 130 lm/W. Debido al sacrificio de esta última se consigue un rendimiento de color mejorado respecto a las de baja presión. El tiempo de arranque de este tipo de lámpara es de unos cinco minutos.



➤ Inducción electromagnética

Las lámparas de inducción introducen un concepto nuevo en la generación de la luz. Se basa en el principio de descarga de gas a baja presión, aunque esta vez prescinde de la necesidad de electrodos para originar la ionización. Utiliza una antena interna, cuya potencia proviene de un generador externo de alta frecuencia, para crear un campo electromagnético dentro del recipiente de descarga, y esto es lo que induce la corriente eléctrica en el gas para originar su ionización. La radiación obtenida es ultravioleta, por lo que hay que recubrir la superficie con una sustancia fluorescente que transforme esta radiación ultravioleta en visible.

Tienen una vida útil que van de las 60.000 hasta las 100.000 horas, una eficacia luminosa entre los 80 y 130 lm/W, y una reproducción de color muy buena.

➤ LED


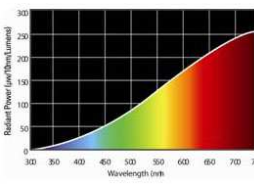

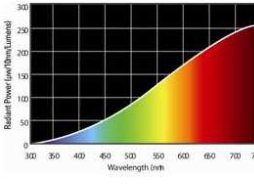

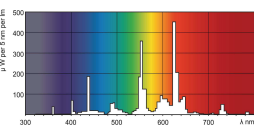

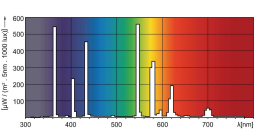

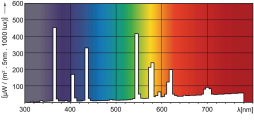

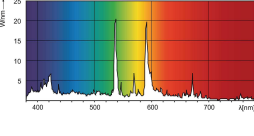
LED deviene de las siglas en inglés Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz). La luz se genera por electroluminiscencia, esto significa que se liberan fotones (luz) debido a electrones que cambian de nivel de energía durante su desplazamiento por el material semiconductor (diodo). Debido a que la luz capaz de emitir un LED no es muy intensa, por lo que para alcanzar la intensidad luminosa similar a las otras lámparas existentes, las lámparas LED están compuestas por agrupaciones de ledes, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada.

Tienen una vida útil entre las 50.000 y 60.000 horas, con una eficacia luminosa entre 100 y 150 lm/W y una reproducción del color muy buena o excelente.

➤ Cuadro general de tipos de lámpara

En la tabla 4.2 se muestra un resumen de los distintos tipos de lámpara, los valores indicados son los más representativos, aunque dependen de las especificaciones propias de los fabricantes.



Tipo	Imagen	Vida (h)	Eficacia luminosa (lm/W)	Índice R_a	Diagrama espectral
Incandescente		1.000 (1)	7.5 - 20	100	
Halógena		2.000 - 5.000 (1)	22	100	
Fluorescente		5.000 - 7.000 (2)	38 - 91	60 - 85	
Vapor de mercurio a alta presión		8.000 (1)	40 - 63	40	
Mezcla		6.000 (2)	19 - 28	90 - 100	
Halogenuros metálicos		10.000 (2)	75 - 95	65 - 93	




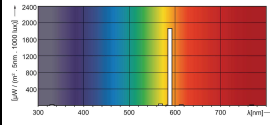

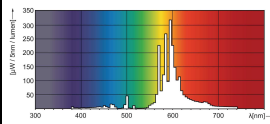

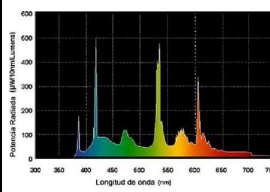

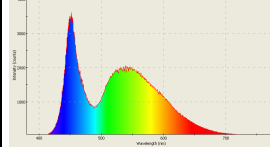
Vapor de sodio a baja presión		6.000 - 8.000 (1) 15.000 (2)	100 - 183	0	
Vapor de sodio a alta presión		8.000 - 12.000 (1) 20.000 (2)	70 - 130	25	
Inducción		60.000 - 100.000 (1)	80 - 130	80	
LED		50.000 - 60.000 (1)	100 - 150	80 - 90	
<p>Nota (1): Se refiere a vida útil. Nota (2): Se refiere a vida media.</p>					

Tabla 4.2. Clasificación lámparas [4].

4.5.2. Luminarias

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a las lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

La norma UNE-EN 60598 tiene como objeto especificar los requisitos generales y ensayos para las luminarias que incorporan fuentes de luz eléctricas.

Otros requisitos que deben cumplir las luminarias es que sean de fácil 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.



4.5.2.1. Características principales

➤ Características ópticas

Hacen referencia a la distribución del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Según esta clasificación se distinguen seis tipos de distribución que se pueden observar en la Fig. 4.4.

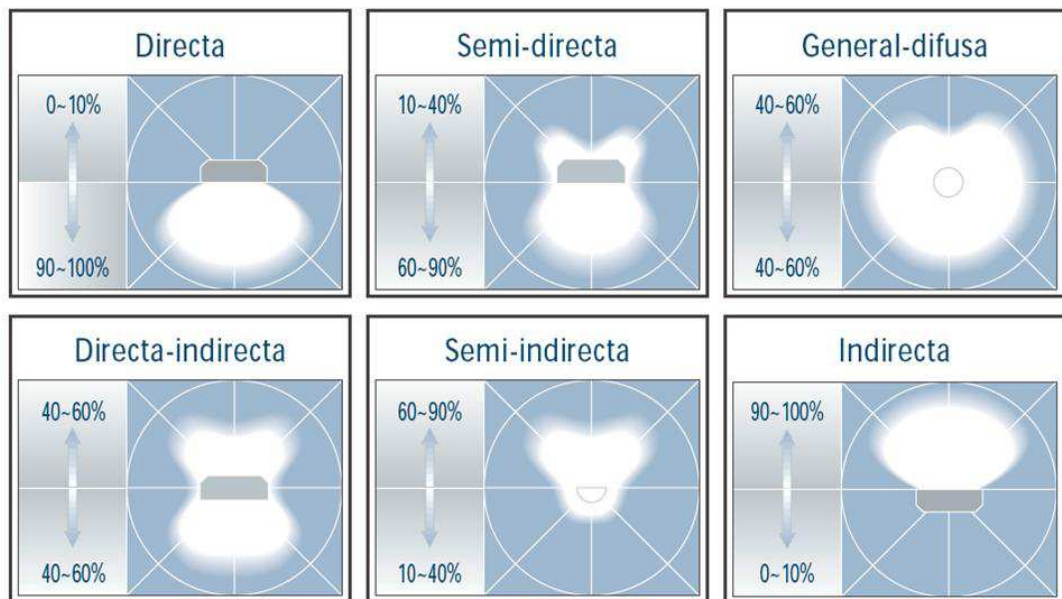


Figura 4.4. Clasificación CIE según la distribución de la luz [4].

Los valores importantes a tener en cuenta son:

- Flujo hemisférico instalado superior (FHS_{INST}), que es el flujo dirigido por encima del plano horizontal. El flujo hemisférico se expresa en tanto por ciento del flujo total emitido por la luminaria.
- Deslumbramiento perturbador, que es el deslumbramiento que perturba la visión de los objetos sin causar necesariamente una sensación desagradable.

➤ Características fotométricas

Son aquellas en que una luminaria distribuye la luz en el espacio. Pueden representarse de forma tabulada o de forma gráfica.

La forma tabulada indica, en una matriz numérica, los valores de intensidades dirigidas a determinadas direcciones del espacio. La forma gráfica, derivada generalmente de las



matrices indicadas anteriormente, puede representar gráficamente la distribución de intensidades, iluminancias, luminancias, etc., como se observa en la Fig. 4.5.

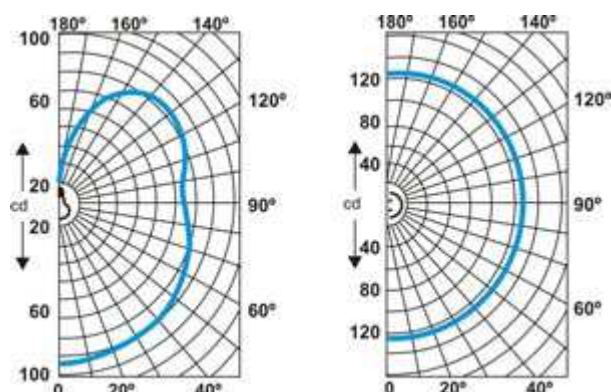


Figura 4.5. Curvas fotométricas de una lámpara incandescente y otra fluorescente.

Los aspectos de mayor importancia son:

- Rendimiento de la luminaria (η_{lum}), que es la relación entre el flujo luminoso emitido por la luminaria y el emitido por la lámpara. Carece de unidades.

$$\eta_{lum} = \frac{F_{lum}}{F_{lamp}} \text{ (en \%)} \quad [Ec. 4.2]$$

- Factor de utilización (F_u), que es la relación entre el flujo útil que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por la lámpara. Carece de unidades.

$$F_u = \frac{F_{util}}{F_{lamp}} \quad [Ec. 4.3]$$

➤ Características mecánicas

Dado que las luminarias se instalan en una gran diversidad de condiciones ambientales, es preciso señalar qué tipo de protección a cada ambiente presentan las luminarias. Se clasifican según el grado de protección contra el polvo, los líquidos y los golpes.

La norma UNE-EN 60598, en una de sus secciones, define estas clasificaciones de las luminarias por las letras IP seguidas de tres dígitos. La primera cifra característica IP indica el grado de protección contra la penetración de cuerpos sólidos y polvo, la segunda cifra indica el grado de protección contra la penetración del agua y la última indica la resistencia a los choques (energía de choque en Joules).

En la tabla 4.3 se muestra los grados de protección IP.



Grado	1ª cifra	2ª cifra	3ª cifra
0	No protegido	No protegido	No protegido
1	Protegido contra cuerpo sólidos de más de 50 mm	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua	Impacto de 0.255 J
2	Protegido contra cuerpo sólidos de más de 12 mm	Protegido contra la caída de agua con una inclinación máxima de 15°	Impacto de 0.375 J
3	Protegido contra cuerpo sólidos de más de 2.5 mm	Protegido contra la caída de agua en forma de lluvia	Impacto de 0.5 J
4	Protegido contra cuerpo sólidos de más de 1 mm	Protegido contra las proyecciones de agua	Impacto de 1 J
5	Protegido contra el polvo	Protegido contra los chorros de agua	Impacto de 2 J
6	Totalmente protegido contra el polvo	Protegido contra fuertes chorros de agua (mar gruesa)	Impacto de 4 J
7	-	Protegido contra los efectos de la inmersión	Impacto de 6 J
8	-	Protegido contra la inmersión prolongada	Impacto de 10 J
9	-	-	Impacto de 20 J

Tabla 4.3. Grados de protección IP-XXX.

➤ Características eléctricas

Se entienden como aquellas dirigidas tanto a proporcionar un correcto funcionamiento de la luminaria como las que están diseñadas para proporcionar seguridad a las personas.

Según el grado de protección eléctrica que ofrezcan las luminarias se dividen en cuatro clases, como se puede observar en la tabla 4.4.



Clase	Descripción protección eléctrica
0	Luminarias en las que la protección contra los choques eléctricos recae exclusivamente sobre el aislamiento principal. Descansando la protección, en caso de fallos del aislamiento principal, sobre el medio circundante.
I	Luminarias en las que la protección contra los choques eléctricos recae exclusivamente sobre el aislamiento principal y un conductor de protección conectado a tierra (toma de tierra), que debe conectarse al borne marcado.
II	Luminarias en las que la protección contra los choques eléctricos no recae exclusivamente sobre el aislamiento principal sino que comprende medidas suplementarias, tales como el doble aislamiento o el aislamiento reforzado. Estas luminarias no incorporan toma de tierra.
III	Luminarias en las que la protección contra los choques eléctricos, se realiza alimentando las luminarias a una muy baja tensión de seguridad (MBTS).

Tabla 4.4. Clases de la protección eléctrica.

➤ Características térmicas

Las características térmicas que debe tener una luminaria se orientan, principalmente, a la mayor duración de la misma, de sus componentes, y tampoco deben producir peligro para los usuarios, ni temperaturas externas que puedan causar un incendio. Por lo tanto, se deben contemplar los valores que alcanzan las temperaturas en aquellos puntos susceptibles de dañar a los elementos y usuarios. Se tienen en cuenta siempre las partes construidas con materiales plásticos, gomas, etc., tales como cubetas y tapas de cierre, regletas, juntas de estanqueidad, fundas de cables, etc.

Todos estos aspectos térmicos deben tenerse en cuenta siempre con la luminaria en su posición más desfavorable de funcionamiento normal, existe un tipo de funcionamiento anormal, que es aquel en que la luminaria está bajo condiciones que no son normales.

➤ Características funcionales

Sus prestaciones, en este aspecto deben ser:

- Facilidad de montaje, donde el cableado de las luminarias, su conexión con la red, el montaje mecánico, son trabajos habituales en cualquier operación de montaje. Si ésta se realiza en situación elevada, y para ello se necesita escalera o camión grúa con cesta, es



preciso que puedan realizarse con la mayor facilidad y comodidad posible. Representa un ahorro de tiempo de instalación así como evita errores.

- Facilidad de mantenimiento, ya que toda instalación requiere, a lo largo de su vida, que con cierta regularidad se le efectúen operaciones de mantenimiento. De ellas podemos destacar las de cambio de lámparas y, con menor frecuencia, otros elementos como juntas de cierre, elementos traslúcidos de cierre del grupo óptico, etc. Estas deben poder efectuarse con rapidez y con comodidad por parte del mantenedor, máxime si las luminarias pueden hallarse en lugares de difícil acceso. Tampoco deben olvidarse las formas, a efectos de poder efectuar limpiezas de los vidrios y, en su ausencia, de los reflectores.

➤ Características de diseño

Todas las características mencionadas de las luminarias son realmente importantes. Pero, después de las fotométricas (y, cómo no, de las económicas), puede decirse que si hay alguna decisiva, es la de la estética de la propia luminaria. Cualquier proyecto luminotécnico, además de los estudios técnicos, debe aportar croquis y/o fotografías de los aparatos propuestos, a efectos de poder evaluar cada propuesta.

De entre las características de diseño, cabe destacar:

- Ergonómicas, destinadas a facilitar la manipulación, o en su caso, a evitar que produzcan molestias al usuario (deslumbramientos, calor, sombras, etc.).

- Integradas al entorno, teniendo en cuenta que, en el caso de alumbrado exterior, si bien la función se realiza de noche, las luminarias (y todo punto de luz) son visibles durante el día. Para ello pueden escogerse dos caminos distintos. O pasar desapercibidas o formar parte del propio paisaje.

- Vanguardistas, criterio tan aplicable al interiorismo como a las luminarias destinadas al alumbrado exterior. La búsqueda de formas acordes con los estilos actuales es una constante en los distintos fabricantes de todo tipo de luminarias.

- Reciclable, tanto los materiales como las partes de que se componen las luminarias deben ser diseñados a efectos de su aprovechamiento posterior, en ellos se incluyen también los embalajes.

➤ Cuadro general de tipos de luminarias



En la tabla 4.5 se muestra un resumen de las distintas tipologías de luminarias, los valores indicados son los más representativos, aunque dependen de las especificaciones propias de los fabricantes.

Tipo	Imagen	Denominación	Rendimiento tipo	FHS _{INST} tipo %
A		Bolas sin protección y similares.	30 lm/W	50
B		Bolas con protección mínima y similares.	55 lm/W	30
C		Ornamentales, tipo jardín y similares.	36.74 lm/W	38.8
D		Ambiental con grupo óptico.	65.2 lm/W	8
E		Luminaria sin cubeta difusora ("cacerola").	71.82 lm/W	0



F		Luminarias con cubeta no plana.	62.2 lm/W	0.6
G		Luminarias con cubeta plana.	86.6 lm/W	0
H		Proyectores.	65.1 lm/W	0 (1)
Nota 1: Caso singular depende de la orientación.				

Tabla 4.5. Tipos de luminarias.

4.5.3. Geometría de implantación

Para conseguir una buena iluminación debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conducto con suficiente antelación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar las farolas en la exterior de la misma, en autopistas de varias calzadas ponerlas en la mediana o cambiar el color de las lámparas en las salidas.

El presente estudio se centrará en las zonas urbanas con titularidad municipal excluyendo los casos singulares. Dada la gran variedad de geometrías posibles, se valoraran los tramos rectos de vías.

Existen tres disposiciones básicas para los tramos rectos de vía con una única calzada que dependen del dimensionado de la calle, las cuales se observan en la Fig. 4.6. La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias, la bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.5. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas. La disposición de las vías según la relación de la anchura de la vía respecto la altura de montaje se muestra en la tabla 4.6.



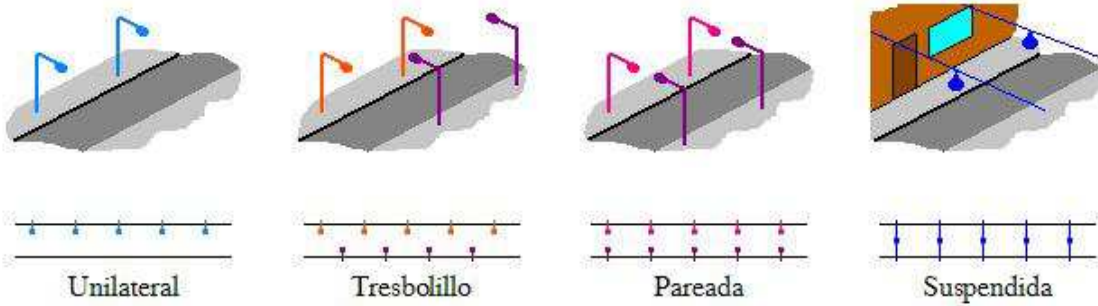


Figura 4.6. Disposición de las luminarias [4].

Disposición	Relación entre anchura de la vía y la altura de montaje
Unilateral	$A/H < 1$
Tresbolillo	$1 \leq A/H \leq 1.5$
Pareada	$A/H > 1.5$
Suspendida	Calles muy estrechas

Tabla 4.6. Distribución de las vías.

En el caso de tramos rectos de vías con dos o más calzadas separadas por una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma se incita al usuario a circular por el carril de la derecha. En la Fig. 4.7 se observan los distintos casos mencionados.

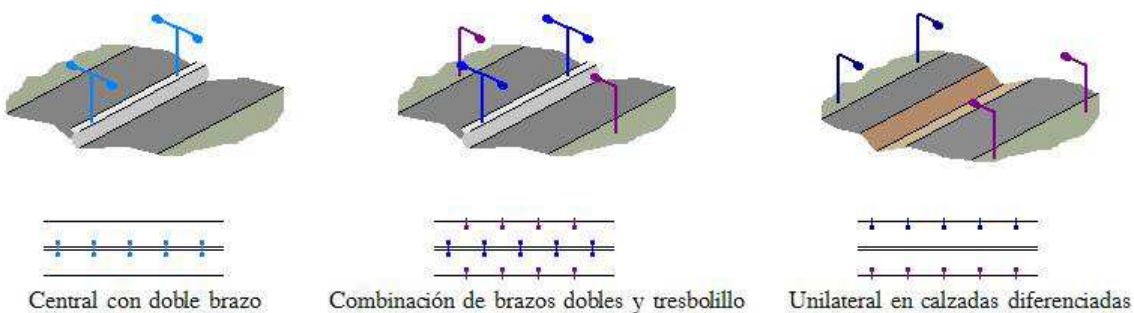


Figura 4.7. Disposición de las luminarias [4].



Por último, hay que considerar la presencia de árboles en la vía. Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, las luminarias se situarán a su misma altura, en cambio, si son pequeños las farolas usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 m de altura. En ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles.

4.5.4. Equipos auxiliares

Puesto que muchos tipos de lámparas no pueden funcionar por simple conexión a la red eléctrica, estos requieren unos equipos auxiliares para transformar la energía eléctrica de alimentación a las características requeridas por la lámpara.

También se incluyen los elementos de maniobra dentro de los equipos auxiliares, ya que se tratan de dispositivos que permiten programar el funcionamiento del alumbrado adecuándolo en mayor o menor medida a las necesidades efectivas del mismo.

Lógicamente, la calidad y la adecuación del equipo auxiliar influirán en las prestaciones de la lámpara, y sobre todo, en la eficiencia energética del conjunto.

4.5.4.1. Componentes de equipos auxiliares

Los equipos auxiliares más comunes en las lámparas del alumbrado público son el balasto, condensador y arrancador. En la tabla 4.7 se muestra que equipo auxiliar típicamente hace falta para cada tipo de lámpara.

Tipo de lámpara	Balasto	Condensador	Arrancador
Incandescente			
Halógenas			
Fluorescente	❖	❖	❖
Vapor de mercurio	❖	❖	
Mezcla			
Halogenuros metálicos	❖	❖	❖
Vapor de sodio a baja presión	❖	❖	❖
Vapor de sodio a alta presión	❖	❖	❖
Inducción	❖	❖	
LED			

Tabla 4.7. Equipos auxiliares convencionales [4].



➤ Balasto

Elemento estabilizador que limita el crecimiento de la intensidad de la corriente y suministra a la lámpara características de tensión, de frecuencia y de potencia adecuadas a un funcionamiento estable. Regula las variaciones de la potencia consumida por la lámpara. Hace falta que estas funciones se realicen correctamente bajo las variaciones de tensión de red o bajo los efectos de factores exteriores como tormentas, viento, vibraciones o ambientes corrosivos.

Es muy frecuente el uso de inductancias como elementos estabilizadores, por lo cual, el balasto es conocido muy comúnmente por el nombre de reactancia. Desde el punto de vista energético, las características más importantes son las siguientes:

- Pérdidas propias. El funcionamiento del balasto provoca un consumo de energía por pérdidas en la inductancia que incrementa el consumo propio de la lámpara. Este incremento puede llegar a un 20% del consumo de la lámpara.
- Características de la alimentación. La tensión, la intensidad y la frecuencia de la corriente suministrada a la lámpara tienen que corresponder a sus características nominales para evitar un funcionamiento a baja eficacia o un acortamiento de la vida de la lámpara, y para conseguir que la potencia consumida por esta no se aparte de la nominal.

➤ Condensador

Su misión principal es corregir el factor de potencia del conjunto lámpara-balasto para evitar el consumo de energía reactiva. Desde el punto de vista energético, la característica más importante es la capacidad, que tiene que corresponder a la necesaria para corregir el factor de potencia al valor deseado. Hay que evitar que la excesiva corrección conduzca a consumos capacitivos.

Hay que evitar la compensación de la energía reactiva con baterías de condensadores en cabecera, cosa que comportaría un aumento en las líneas de la acometida de la intensidad total (intensidad reactiva más intensidad activa). Este aumento de la intensidad, que se iría agravando a lo largo de las líneas, puesto que se acumularía la intensidad reactiva de los diferentes puntos de luz, podría llegar a dar problemas serios de seguridad y de mal funcionamiento.

➤ Arrancador

También conocido como arrancador o cebador, tiene como misión generar los impulsos de tensión necesarios para la encendida de la lámpara.



Desde el punto de vista energético, las características más importantes son la tensión de pico y la amplitud de impulso. Ambas tienen que corresponder a los valores necesarios para garantizar el arranque de la lámpara. Los comportamientos a la hora de la encendida varían mucho entre los diferentes tipos de lámpara.

4.5.4.2. Elementos de maniobra

Nos encontramos que existen dos tipos de elementos de maniobra, los elementos de control, que hacen funcionar las instalaciones dentro del horario de necesidad, y los de regulación de flujo, que posibilitan reducir el nivel de iluminación a partir de cierta hora de la noche en la que la actividad en la calle ha disminuido, no siendo necesario por tanto un uso tan intenso del mismo.

➤ **Sistemas de control**

Entre los más empleados se encuentran las fotocélulas, los relojes analógicos o astronómicos, la combinación de ellos y la tele-gestión, esta última en fase de incorporación como nueva tecnología porque ofrece el mejor conocimiento y el control más efectivo de las instalaciones de alumbrado público.

➤ **Sistemas de regulación del flujo**

En la actualidad la mayoría de las instalaciones de alumbrado público no tiene ningún sistema de regulación. A partir de la reglamentación [4], las nuevas instalaciones incorporarán estos sistemas para la mejora de la eficiencia energética y el ahorro. Los sistemas más utilizados son los de corte de fase y doble circuito, aunque se están incorporando en la actualidad balastos de doble nivel y reductores-estabilizadores porque consiguen el mayor ahorro energético y económico.

En la Fig. 4.8 se muestra un ejemplo de régimen de funcionamiento de una instalación.



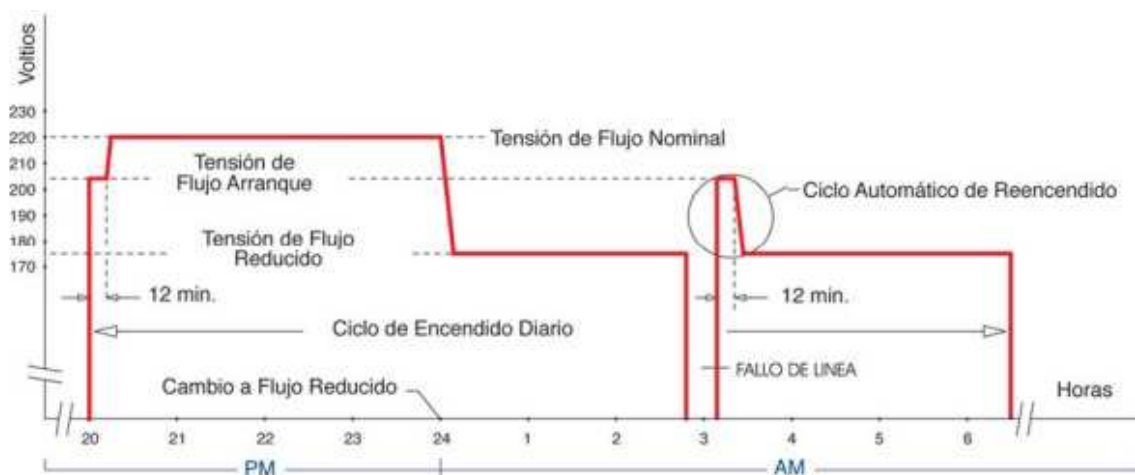


Figura 4.8. Curva de régimen de arranque, normal y reducido con corte de red en un reductor de flujo [4].

4.6. Condiciones lumínicas y energéticas

El reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior [4], tiene por objeto establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad de mejorar la eficiencia energética, el ahorro energético, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

A continuación describiremos las condiciones expuestas por [4] que serán de obligado cumplimiento y formaran la base del presente proyecto.

4.6.1. Eficiencia energética

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada. Se expresa en lux·m²/W.

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P} \tag{Ec. 4.4}$$

También se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:



$$\varepsilon = \varepsilon_L * F_m * F_u \quad [\text{Ec. 4.5}]$$

Siendo:

ε_L la eficiencia de la lámpara y sus equipos auxiliares.

F_m el factor de mantenimiento.

F_u el factor de utilización.

4.6.2. Niveles de iluminación

Se entiende por nivel de iluminación el conjunto de requisitos luminotécnicos o fotométricos (luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, relación de entorno, etc.). Estos vendrán determinados al clasificar los viales por el tipo de vía, la complejidad de su trazado, la intensidad y sistema de control de tráfico y la separación entre carriles destinados a distintos tipos de usuarios.

4.6.2.1. Tipo y clase de alumbrado para las distintas instalaciones

Existen 4 grandes grupos para clasificar el tipo de alumbrado:

- Alumbrado vial funcional

Que son aquellas instalaciones que se llevan a cabo en las autopistas, carreteras y vías urbanas de alta y moderada velocidad ($v > 30$ km/h).

- Alumbrado vial ambiental

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.

- Otras instalaciones de alumbrado

En la que se incluyen alumbrado específico, ornamental, para vigilancia y seguridad nocturna y el de señales y anuncios luminosos.

- Alumbrado de festivos y navidades

Que son los considerados casos especiales en fechas puntuales del año.



Como se comentó con anterioridad solo trataremos los 2 primeros grupos, y que situaciones especiales dentro de ellos tampoco estarán incluidos. Aun así se clasifican las vías como muestra la tabla 4.8.

Clasificación de las vías					
Tipo	Velocidad del tráfico rodado (km/h)	Situación de proyecto	Tipo de vía	Intensidad de tráfico	Clase de alumbrado
A	v > 60	A1	Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías).	IMD ≥ 25000	ME1
				IMD ≥ 15000 y < 25000	ME2
			IMD < 15000	ME3a	
			Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas).	IMD ≥ 15000	ME1
		IMD < 15000		ME2	
		A2	Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bicis. Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio.	IMD ≥ 7000	ME1/ME2
				IMD < 7000	ME3a/ ME4a
		A3	Vías colectoras y rondas de circunvalación. Carreteras interurbanas con accesos no restringidos. Vías urbanas de tráfico importante, rápidas radiales y de distribución urbana a distritos. Vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones.	IMD ≥ 25000	ME1
				IMD ≥ 15000 y < 25000	ME2
				IMD ≥ 7000 y < 15000	ME3b
				IMD < 7000	ME4a/ ME4b
		B	30 < v ≤ 60	B1	Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas.
IMD < 7000	ME4b/ME5/ ME6				
B2	Carreteras locales en áreas rurales.			IMD ≥ 7000	ME2/ME3b
				IMD < 7000	ME4b/ME5
C	--	C1	Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión de zonas urbanas.	Tráfico de ciclistas alto	S1/S2
				Tráfico de ciclistas normal	S3/S4
D	5 < v ≤ 30	D1 - D2	Áreas de aparcamiento en autopistas y autovías. Aparcamientos en general. Estaciones de autobuses.	Tráfico de peatones alto	CE1A/CE2
				Tráfico de peatones normal	CE3/CE4
		D3 - D4	Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada.	Tráfico de peatones alto	CE2/S1/S2
				Tráfico de peatones normal	S3/S4



			Zonas de velocidad muy limitada.		
E	v ≤ 5	E1	Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, y aceras a lo largo de la calzada. Paradas de autobús con zonas de espera. Áreas comerciales peatonales.	Tráfico de peatones alto	CE1A/CE2/S1
				Tráfico de peatones normal	S2/S3/S4
		E2	Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones.	Tráfico de peatones alto	CE1A/CE2/S1
				Tráfico de peatones normal	S2/S3/S4

Tabla 4.8. Clasificación de las vías [4].

4.6.2.2. Requerimientos luminotécnicos y fotométricos

A continuación describiremos los parámetros luminotécnicos más importantes:

➤ Luminancia (L)

Es la intensidad luminosa por unidad de superficie reflejada o emitida por la misma superficie en la dirección del ojo del observador. La unidad de medida es la candela entre metro cuadrado (cd/m²). Viene determinada por la iluminación recibida por la superficie, la posición relativa del punto de luz al observador y las características de reflexión de la superficie.

La expresión de la luminancia en un punto P, es función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, de la altura h de montaje de la luminaria y de las características de reflexión del pavimento r (β, tg γ), es la siguiente:

$$L = \frac{I(c, \gamma) * r(\beta, tg \gamma)}{h^2} \quad [Ec. 4.6]$$

El parámetro de luminancia más utilizado es la luminancia media de una superficie (L_m), que es el valor medio de la luminancia de la superficie considerada. La definición del nivel medio de luminancia hace referencia al valor mantenido en servicio, o sea, no al valor en el momento de la instalación sino al valor mínimo que se alcanza en el tiempo de servicio teniendo en cuenta los aspectos de depreciación y mantenimiento.

Este parámetro se utiliza en el estudio de la iluminación de vías destinadas a la circulación de vehículos, ya que hay una normalización internacional de los pavimentos y se puede suponer que la situación del observador-conductor y su dirección principal de visión se



mantienen relativamente constantes, contrariamente en el ámbito urbano la situación es mucho más compleja al mezclar peatones, vehículos, fachadas, etc., y hace que su criterio sea poco utilizado para estos casos.

➤ Iluminancia (E)

Es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. La unidad de medida es el lux (lm/m²).

La expresión de la iluminancia horizontal en un punto P, es función de la intensidad luminosa que incide en dicho punto, definida por las coordenadas (c, γ) en la dirección del mismo, y de la altura h de montaje de la luminaria, es la siguiente:

$$E = \frac{I(c, \gamma) * \cos^3 \gamma}{h^2} \quad [Ec. 4.7]$$

Para el cálculo de la iluminancia vertical en un punto P, su expresión es:

$$E_v = \frac{I(c, \gamma) * \sen \gamma * \cos^2 \gamma}{h^2} \quad [Ec. 4.8]$$

Las características más utilizadas son la iluminancia media (E_m) y la iluminancia mínima (E_{mín}) para los planos horizontales y para los planos verticales también son los mismos, la media (E_v) y la mínima (E_{v mín}). Con menos frecuencia se hace referencia a la iluminación en planos diferentes a estos como la iluminación sobre la cara del peatón. Como ocurre con la luminancia el nivel medio hace referencia al valor mantenido en servicio.

➤ Uniformidad (U)

Indica la distribución de los valores puntuales de la luminancia o de la iluminancia en el conjunto de la escena visual. Carece de unidad de medida. Los parámetros más utilizados son:

- Uniformidad global (U_o): es la relación entre la luminancia mínima y la media de la superficie de la calzada.



$$U_c = \frac{L_{\min}}{L_m} \quad [\text{Ec. 4.9}]$$

- Uniformidad longitudinal (U_l): es la relación entre la luminancia mínima y la máxima en el mismo eje longitudinal de los carriles de circulación de la calzada, adoptando el menor de todos ellos. Utilizado, normalmente, en vías destinadas a la circulación de vehículos.

$$U_l = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad [\text{Ec. 4.10}]$$

- Uniformidad media (U_m): es la relación entre la iluminancia mínima y la media de la superficie de la calzada.

$$U_m = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad [\text{Ec. 4.11}]$$

Algunas veces se indica el valor mínimo de iluminación que se puede permitir en un área determinada. Una uniformidad deficiente da lugar a zonas oscuras dentro de la escena general, en las que será difícil apreciar detalles de interés o de riesgo. Además, causa sensación de malestar y, en situaciones prolongadas, de fatiga.

➤ Deslumbramientos

Pretende evitar o disminuir los perjuicios o molestias ocasionados por intensidades de luz marcadamente superiores a la media que inciden en los ojos del observador. En el alumbrado viario se utilizan 2 índices para determinar la adecuación del deslumbramiento:

- Deslumbramiento perturbador: indica la magnitud del deslumbramiento fisiológico. La medición de la pérdida de visibilidad producida por el deslumbramiento perturbador, ocasionado por las luminarias de la instalación de alumbrado público, se efectúa mediante el incremento de umbral de contraste. Su símbolo TI, carece de unidades y su expresión, en función de la luminancia de velo L_v y la luminancia media de la calzada L_m , si esta se encuentra entre 0.05 y 5 cd/m^2 , es la siguiente:

$$TI = 65 * \frac{L_v}{(L_m)^{0.8}} \text{ (en \%)} \quad [\text{Ec. 4.12}]$$

Para el caso de L_m en la calzada superior a 5 cd/m^2 , TI viene dado por:



$$TI = 95 * \frac{L_v}{(L_m)^{1.05}} \text{ (en \%)} \quad [\text{Ec. 4.13}]$$

- Deslumbramiento molesto: hace referencia a la magnitud del deslumbramiento psicológico. Se indica normalmente mediante el índice G, para vial funcional, y el índice D, para vial ambiental, que relacionan parámetros de luminancia de escena, distribución fotométrica y características de la instalación.

Normalmente no se determinan parámetros cuantitativos, sino grados cualitativos, los cuales se relacionan con características específicas de la instalación (altura, distribución, potencia de lámpara, etc.).

➤ Relación de entorno (SR)

Es la relación entre la iluminancia media de la zona situada en el exterior de la calzada y la iluminancia media de la zona adyacente situada sobre la calzada, en ambos lados de los bordes de la misma. La relación de entorno es la más pequeña de las dos relaciones entorno calculadas. La anchura de las dos zonas de cálculo para cada relación de entorno se tomara como 5 metros o la mitad de la anchura de la calzada, si esta es inferior a 10 metros.

$$SR = \text{Mín} \left\{ \frac{E_{m,extizq}}{E_{m,cal}}, \frac{E_{m,extder}}{E_{m,cal}} \right\} \quad [\text{Ec. 4.14}]$$

4.7. Otros parámetros

Son aquellos parámetros que nos permiten obtener una mejor visión del conjunto y un mejor detalle de las instalaciones, estos no están contemplados ya que se les supone un valor correcto, pero a veces estas suposiciones no ocurren.

4.7.1. Factor de mantenimiento

Las características y las prestaciones de una instalación de alumbrado exterior se modifican y degradan a lo largo del tiempo, como se ha comentado con anteriormente. Una explotación correcta y un buen mantenimiento permitirán conservar la calidad de la instalación, asegurar el mejor funcionamiento posible y lograr una idónea eficiencia energética.



Las características fotométricas y mecánicas de una instalación de alumbrado exterior se degradaran a lo largo del tiempo debido a numerosas causas, siendo las más importantes las siguientes:

- La baja progresiva del flujo emitido por las lámparas.
- El ensuciamiento de las lámparas y del sistema óptico de la luminaria.
- El envejecimiento de los diferentes componentes del sistema óptico de las luminarias (reflector, refractor, cierre, etc.).
- El prematuro cese de funcionamiento de las lámparas.
- Los desperfectos mecánicos debidos a accidentes de tráfico, actos de vandalismo, etc.

El factor de mantenimiento (F_m) es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado periodo de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior ($E_{m \text{ servicio}}$), y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva ($E_{m \text{ inicial}}$).

$$F_m = \frac{E_{m \text{ servicio}}}{E_{m \text{ inicial}}} \quad [\text{Ec. 4.15}]$$

El factor de mantenimiento será siempre menor que la unidad, e interesará que resulte lo más elevado posible para una frecuencia de mantenimiento lo más baja que pueda llevarse a cabo.

El factor de mantenimiento también será el producto de los factores de depreciación del flujo luminoso de las lámparas, de su supervivencia y de depreciación de la luminaria, de forma que se verificará:

$$F_m = FDFL * FSL * FDLU \quad [\text{Ec. 4.16}]$$

Siendo:

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

Los factores de depreciación y supervivencia máximos admitidos se indican en las tablas 1, 2 y 3 del ITC-EA-06 del reglamento [4].



4.7.2. Contaminación lumínica

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

Entre los inconvenientes más destacables podemos nombrar el daño a los ecosistemas nocturnos, la disminución de la visibilidad de las estrellas y demás objetos celestes con la consiguiente pérdida de percepción del Universo y los problemas causados a los observatorios astronómicos.

En la tabla 4.9, se clasifican las diferentes zonas en función de su protección contra la contaminación luminosa, según el tipo de actividad a desarrollar en cada una de las zonas.

Clasificación de zonas	Descripción
E1	Áreas con entornos o paisajes oscuros: Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés natural, áreas de protección especial (red natura, zonas de protección de aves, etc.) donde las carreteras están sin iluminar.
E2	Áreas de brillo o luminosidad baja: Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	Áreas de brillo o luminosidad media: Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
E4	Áreas de brillo o luminosidad alta: Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

Tabla 4.9. Clasificación de zonas para resplandor luminoso nocturno [4].



Para evitar este tipo de excesos se han limitado las emisiones luminosas dependiendo de la zona, con el parámetro FHS_{INST} , descrito anteriormente. En la tabla 2 del ITC-EA-03 del reglamento [4] podemos obtener estos límites.

También es importante mencionar que el IAC, ha creado un listado de las luminarias y proyectores certificados por ellos [4], en el que incluyen un factor reductor de la contaminación (FR) dependiendo del tipo de lámpara, este indicador tiene en cuenta la difusión de la luz en la atmosfera según la dispersión de Rayleigh, según la cual ésta es inversamente proporcional a la longitud de onda, elevada a la cuarta potencia.





5. Análisis de los requerimientos

Una vez expuesto el propósito del proyecto, trataremos de concebir la totalidad de este como una caja negra en que se transforman unas entradas en unas salidas. Se trata de un proceso mediante el cual se define que parámetros y características afectan al sistema y la solución a la cual se quiere llegar.

Se muestra en la siguiente Fig. 5.1 la situación del conjunto.

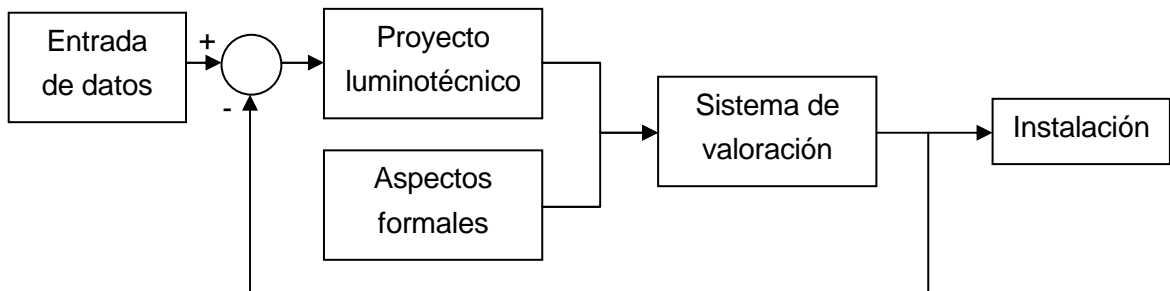


Figura 5.1. Diagrama de flujo.

Las entradas del sistema de valoración serán los resultados del proyecto luminotécnico, las características del sistema de alumbrado y unos aspectos formales.

Las salidas serán los resultados después de aplicar la metodología de este proyecto.

5.1. Calidad del alumbrado

En la actualidad los estándares de calidad para el alumbrado público radican fundamentalmente en la reglamentación [4], que esta establece el tipo de alumbrado que le corresponde a cada clase de vía, fija los niveles mínimos de alumbrado por tipo, establece los requisitos que deben cumplir las instalaciones de alumbrado y señala los procedimientos de supervisión del servicio.

Como se ha comentado a lo largo del proyecto estos requisitos no son suficientes, existen carencias y estas quedan en el aire a disposición del proyectista, y si no se realiza un buen diseño a la larga puede ocasionar perjuicios en todos los ámbitos donde se instala el alumbrado. No hay ningún procedimiento o guía completa para tener en cuenta unos criterios de calidad, pero sí para algunos requerimientos mínimos.

Para una valoración global de todo el alumbrado, y que sirva para complementar la reglamentación existente, se deberían agrupar las distintas características en grupos diferentes y evaluarlos independientemente.



De esta forma se pueden agrupar las características en:

- La cantidad lumínica, donde se evalúan los niveles de iluminación de las distintas zonas de una vía, ya sea calzada, aceras o fachadas de los edificios colindantes.
- La calidad lumínica, que hace referencia a la visibilidad, contrastes y la capacidad de discernir los colores.
- La eficiencia energética, que engloba los rendimientos y utilización de las instalaciones.
- La contaminación, donde encontramos los perjuicios al medio ambiente, al cielo, a los usuarios de las instalaciones y a las personas que viven en sus residencias.
- El mantenimiento, que hace referencia a la vida de las instalaciones, su limpieza y la facilidad en realizar las tareas en dichas instalaciones.
- La integración en el entorno, referente a todas aquellas valoraciones de estilo, funcionalidad, estética e impacto visual.
- El coste, donde se refleja la economía de la instalación.

5.2. Entradas que afectan al proyecto luminotécnico

Todos los parámetros descritos en apartados anteriores pueden afectar a diversas variables dentro del sistema. Estas variables son la recopilación de los datos obtenidos de las características de la vía y las características del alumbrado o, en su defecto, de la instalación existente y serán las entradas utilizadas por el sistema.

5.2.1. Geometría y disposición de la vía

Las primeras variables que desde un principio dan la información más básica de cualquier proyecto luminotécnico, son las que definen la geometría la vía. Estas se contemplan en la tabla 5.1 y se observan en la Fig. 5.2.

Variable	Acrónimo	Unidad de medida
Ancho de calle	A	Metros (m)
Ancho de calzada	A_c	Metros (m)
Ancho de acera derecha	A_d	Metros (m)
Ancho de acera izquierda	A_i	Metros (m)
Altura de las farolas	H	Metros (m)



Distancia entre farolas	D_f	Metros (m)
Distancia entre farola y calzada	D_{fc}	Metros (m)
Disposición vía (1)	-	-
Nota 1: Ver que distribución toca en la tabla 4.5		

Tabla 5.1. Variables de geometría y disposición de la vía.

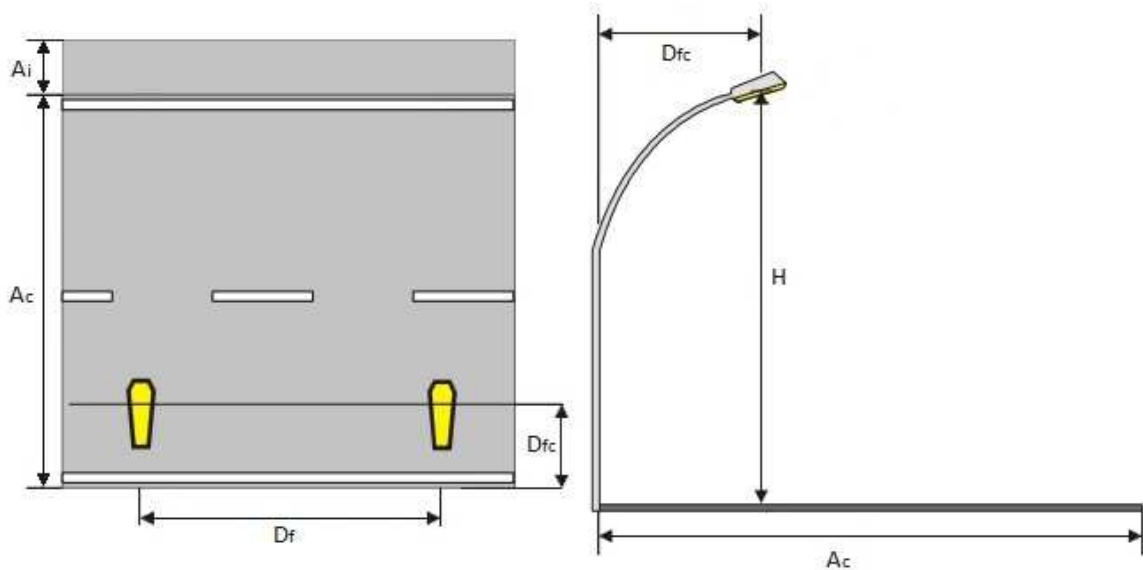


Figura 5.2. Geometría de la vía.

5.2.2. Características de uso

Las siguientes variables darán como resultado, a través de las distintas clasificaciones, en qué situación de proyecto y clase de alumbrado se encuentra la vía a analizar, y por consiguiente sus requerimientos luminotécnicos.

A veces la clase de alumbrado viene asignada por la autoridad que le compete la vía y puede que no coincida por lo tabulado en el reglamento [4].

En la tabla 5.2 se encuentran aquellas variables que designan en qué situación se encuentra la vía.

Variable	Acrónimo	Unidad de medida
Velocidad del tráfico rodado	v	Kilómetros por hora (km/h)
Situación de proyecto	SP	-



Intensidad media de tráfico diario	IMD	Nº vehículos por día (nº/d)
Clase de alumbrado	CA	-
Tipo de alumbrado para peatones	TP	-
Clasificación de zonas de protección	E	-
Grado de contaminación	GC	-
Situación de la vía	SV	-

Tabla 5.2. Variables de las características de uso de la vía.

5.2.3. Características de los sistemas de alumbrado

La elección de los sistemas de alumbrado, a través de los fabricantes de estos elementos, proporcionaran las siguientes variables que se muestran en la tabla 5.3.

Variable	Acrónimo	Unidad de medida
Tipo de lámpara	TL	-
Acceso a la lámpara	AL	-
Vida media de la lámpara	V_m	Horas (h)
Reproducción del color	IRC	-
Temperatura del color	T	Kelvin (K)
Potencia de la lámpara y equipos auxiliares	P_L	Vatios (W)
Eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares	ϵ_L	Lúmenes por vatio (lm/W)
Rendimiento luminaria	η_{lum}	En %, carece de unidad
Grado IP	IP	-
Flujo hemisférico superior instalado	FHS_{INST}	En %, carece de unidad

Tabla 5.3. Variables de los sistemas de alumbrado.

5.3. Entradas que afectan al sistema de valoración

El sistema de valoración tiene como entradas todas aquellas salidas que da el proyecto luminotécnico, unos aspectos formales y una gran parte de las variables descritas en el apartado anterior. Estas últimas son susceptibles a ser tratadas de nuevo por el sistema de valoración, como por ejemplo, podemos tener el requerimiento del FHS_{INST} , entrada del



proyecto luminotécnico, y su valor real, salida del proyecto luminotécnico, ambos valores formarán parte de las entradas al sistema de valoración.

5.3.1. Resultados luminotécnicos

Aquí se encuentran todas aquellas variables que, después de conocer la geometría, la disposición y tipo de vía y los elementos de la instalación, son el resultado luminotécnico de la instalación escogida por el proyectista. Estas variables, las agruparemos por grupos característicos para tener una mejor visión de ellas.

Las variables que definen el nivel de iluminación se muestran en la tabla 5.4.

Variable	Acrónimo	Unidad de medida
Iluminancia media de la vía	E_m	Lux
Iluminancia media de la calzada	E_{mc}	Lux
Iluminancia media de la acera derecha	E_{md}	Lux
Iluminancia mínima vertical derecha (1)	E_{vmind}	Lux
Iluminancia máxima vertical derecha (2)	$E_{vmáxd}$	Lux
Iluminancia media de la acera izquierda	E_{mi}	Lux
Iluminancia mínima vertical izquierda (1)	$E_{vmíni}$	Lux
Iluminancia máxima vertical izquierda (2)	$E_{vmáxi}$	Lux
Nota 1: A una altura de 1.5 metros.		
Nota 2: Por encima de 4 metros.		

Tabla 5.4. Variables de niveles de iluminación.

Las variables que definen la uniformidad y deslumbramientos se observan en la tabla 5.5.

Variable	Acrónimo	Unidad de medida
Uniformidad media de la calzada	U_{mc}	-
Uniformidad media de la acera derecha	U_{md}	-
Uniformidad media de la acera izquierda	U_{mi}	-
Incremento de umbral	TI	-

Tabla 5.5. Variables de uniformidad y deslumbramiento.

Las variables que designan la depreciación y supervivencia lumínica se observan en la tabla 5.6.



Variable	Acrónimo	Unidad de medida
Factor de depreciación del flujo luminoso de la lámpara	FDFL	-
Factor de supervivencia de la lámpara	FSL	-
Factor de depreciación de la luminaria	FDLU	-

Tabla 5.6. Variables de depreciación y supervivencia.

Las variables que inciden en la eficiencia se muestran en la tabla 5.7.

Variable	Acrónimo	Unidad de medida
Factor de utilización	F_u	-
Eficiencia energética de la instalación	ϵ	Lux·m ² /W

Tabla 5.7. Variables de la eficiencia energética.

5.3.2. Aspectos formales

Se incluyen aquí todos aquellos parámetros provenientes de otras instituciones o que su evaluación es objetiva por parte los usuarios. Estos se resumen en la tabla 5.8.

Variable	Acrónimo	Unidad de medida
Factor reductor (1)	FR	-
Impacto visual	-	-
Estilo	-	-
Funcionalidad y estética	-	-

Nota 1: Ver el valor del factor reductor que les corresponde en [4].

Tabla 5.8. Variables de aspectos formales.

5.4. Salidas del sistema de valoración

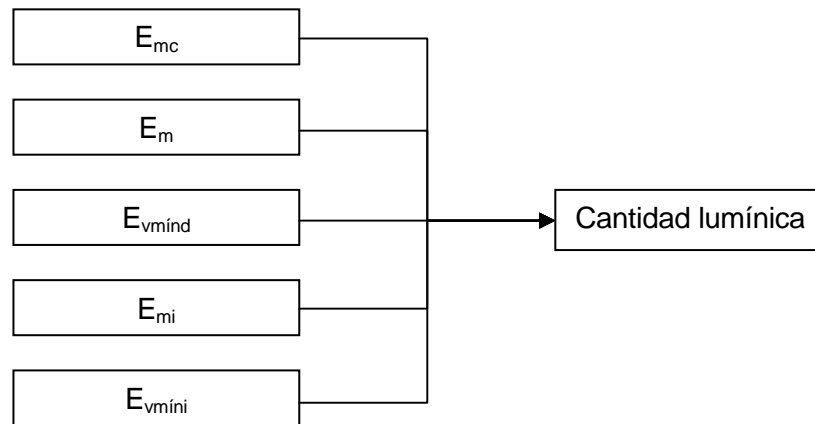
Una vez se han expuesto todas las variables que afectan al sistema se debe definir qué resultados se obtienen de él. Estos resultados se engloban en 7 vectores, cada uno de ellos independiente de los otros 6, para conseguir una valoración de los distintos campos en los que afecta un proyecto luminotécnico o en su defecto de una instalación existente de alumbrado exterior.



En los siguientes puntos se mostrarán los siete árboles de funciones adoptados para realizar dichas valoraciones y obtener así su resultado.

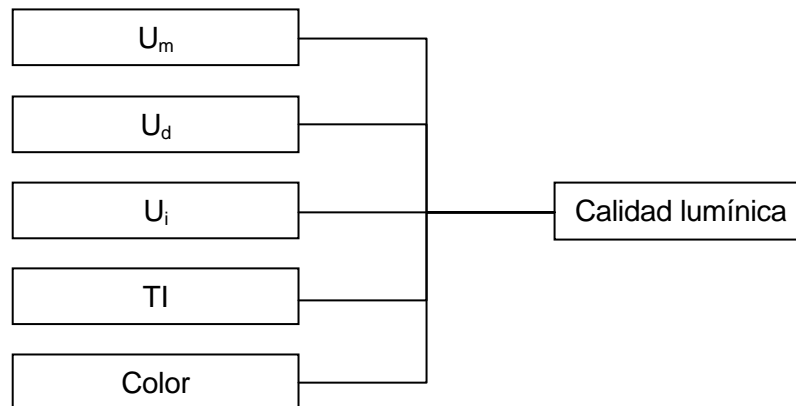
5.4.1. Árbol sobre la cantidad lumínica

Esta salida viene dada exclusivamente por aquellos valores que hacen referencia explícita a la cantidad de luz que incide en cada una de las zonas de la vía.



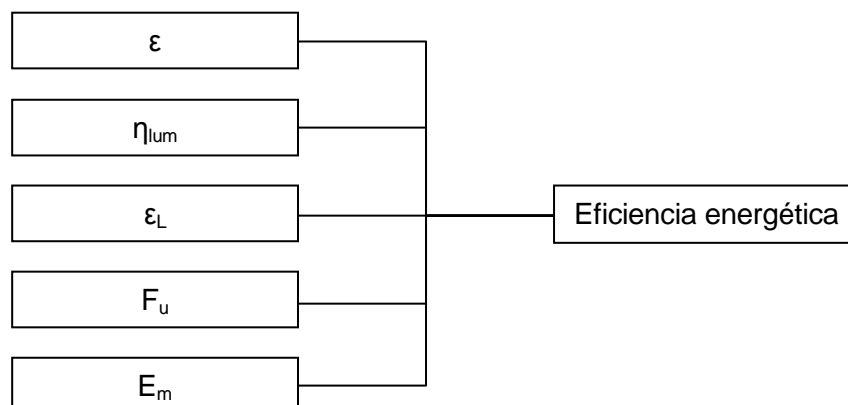
5.4.2. Árbol sobre la calidad lumínica

Este vector hace referencia a una correcta visualización, que no cree deslumbramientos, contrastes erróneos y zonas oscuras dentro de la vía.



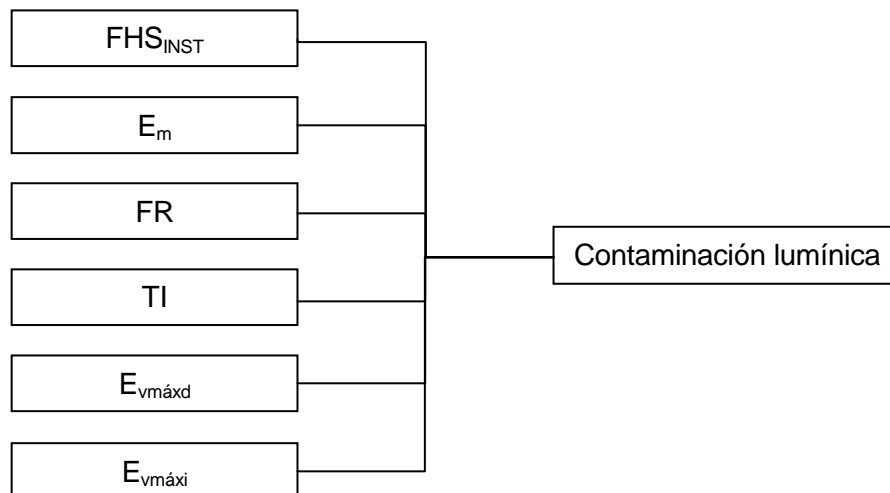
5.4.3. Árbol sobre la eficiencia energética

El resultado se obtiene por los rendimientos y utilización de los distintos elementos de la toda instalación.



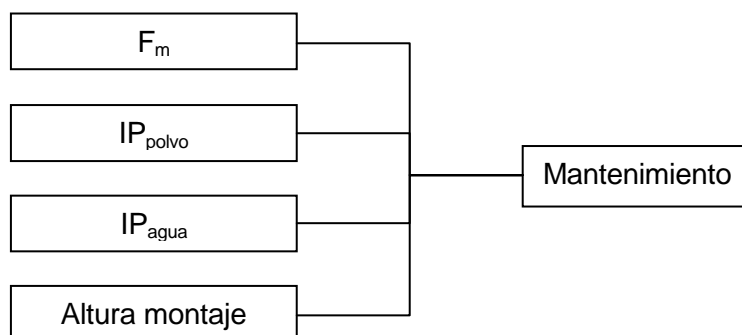
5.4.4. Árbol sobre la contaminación lumínica

En esta salida se consideraran todos aquellos aspectos que contaminan el entorno en sus diferentes vertientes.



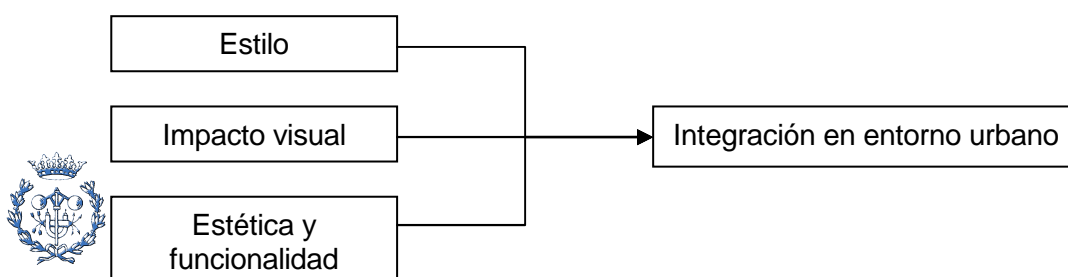
5.4.5. Árbol sobre el mantenimiento

El vector resultante es valorado por los distintos aspectos que influyen directamente o indirectamente al mantenimiento.



5.4.6. Árbol sobre la integración en entorno urbano

Esta salida viene valorada por aquellos parámetros que definen el diseño y su imagen, junto con su entorno.







6. Criterios de valoración

A lo largo de este apartado se mostrara para cada uno de los siete vectores, cómo y con qué criterios se evalúan cada una de sus variables para finalmente, a partir de normativas, estudios luminotécnicos o reglamentaciones, obtener su valoración final.

Para evaluar cada uno de los parámetros, se asignara a cada uno de ellos una nota entre el 0 y el 10, creando una escala de valores, realizando una interpolación lineal u otro método, o puede que el parámetro en cuestión requiere otra forma diferente de evaluación y se expresara en el apartado correspondiente. Normalmente, para cada variable a medir se determina, su valor mínimo, máximo y/o óptimo, para a cada uno de ellos se les asigna una puntuación diferente y un criterio para evaluarlos.

Todos aquellos parámetros que se evalúen y obtengan una nota superior en la escala considerada, se les asignara por defecto el valor máximo obtenible en dicha escala. De la misma forma, todos aquellos que obtengan una nota inferior se les asignaran por defecto el valor mínimo de la escala.

6.1. Cantidad lumínica

Para analizar las variables que hacen referencia a la cantidad de luz que incide en la vía, se deberán analizar las distintas zonas que la componen, por ejemplo las zonas más comunes de una calle son la calzada y ambas aceras.

El criterio escogido para evaluar cada una de las zonas es el de las iluminancias y no de las luminancias, por la sencilla razón que se recomienda el uso de la iluminancia para zonas urbanas y la luminancia para carreteras.

La respuesta de la sensibilidad respecto la luminancia (indirectamente para iluminancias ocurre lo mismo) es logarítmica con rendimientos decrecientes como se observa en la figura 6.1. Se destaca que para simplificar, en porcentajes tan bajos de diferencia se comporta casi de forma lineal.



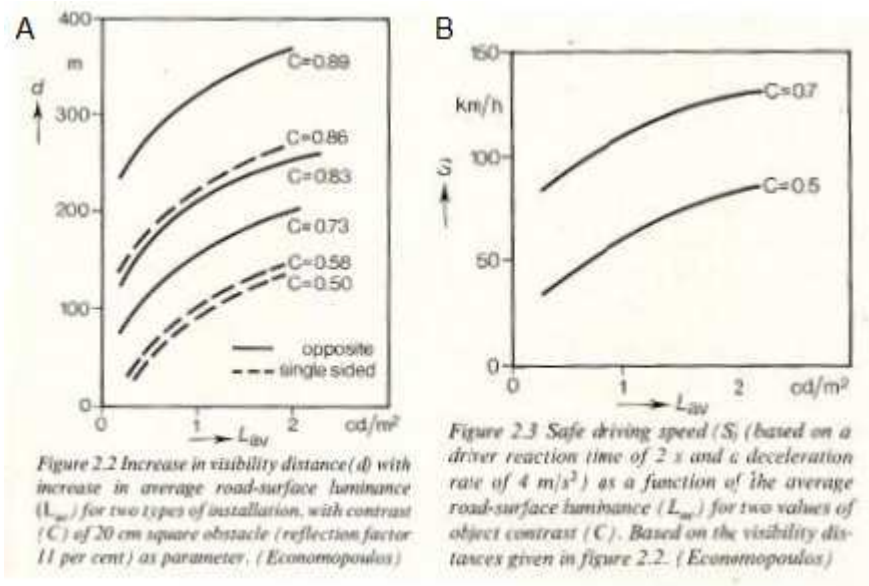


Figura 6.1. (A) Distancia de visibilidad respecto la luminancia media de la calzada. (B) Velocidad de conducción segura respecto la luminancia media de la calzada. [4].

6.1.1. Cálculo de la iluminancia media horizontal

Para el cálculo de la iluminancia media, se toma el valor de la reglamentación [4] en el ITC-EA-02, como la mejor indicada para proporcionar el valor óptimo y mínimo de esta variable para tráfico rodado y de la publicación [4] para tráfico peatonal. El valor mínimo se calcula disminuyendo un 20% el valor dado en ambas reglamentaciones. Asignándoles como indican sus nombres, el valor de 10 para el óptimo y el 5 para el mínimo. Realizando la interpolación lineal con estos dos puntos y el valor obtenido por el proyecto luminotécnico sabremos donde estamos situados.

Se muestra en la figura 6.2 el gráfico ilustrativo para las valoraciones de la iluminancia media horizontal.



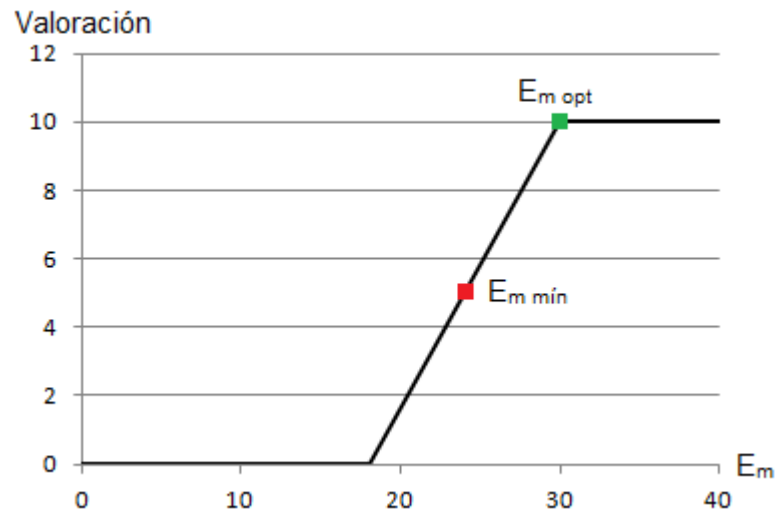


Figura 6.2. Gráfica de valoración de la iluminancia media horizontal.

6.1.2. Cálculo de la iluminancia vertical mínima

Para la iluminancia vertical mínima, utilizada en este caso para reconocimiento facial a 1.7 metros del suelo, el cálculo se asemeja al anterior. Se obtiene el valor óptimo de la publicación [4], y el mínimo se obtendrá como se ha realizado en el apartado anterior disminuyendo el valor un 20%.

6.1.3. Cálculo final del vector

La obtención de una valoración sobre la cantidad lumínica, dependerá de la cantidad de zonas a iluminar, como se ha comentado con anterioridad, en una calle convencional se consideran la calzada y ambas aceras, pero en el caso que alguna de las zonas no se requiera su análisis, esta se obviará.

Por consiguiente la valoración final se realiza en función de las N zonas a tener en cuenta y si estas requieren de su reconocimiento facial o no. Se pondera cada una de ellas por la superficie a la que afectan respecto a la superficie total analizada.

Donde n son las zonas que no requieren reconocimiento facial y m las que si requieren de este reconocimiento.

$$\text{Cantidad Lumínica} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{mi} * S_i}{S_T} + \sum_{i=1}^m \frac{\left(\frac{E_{mi} + E_{wi}}{2}\right) * S_i}{S_T} \quad [\text{Ec. 6.1}]$$



6.2. Calidad lumínica

Como ocurre en el vector anterior, las variables a evaluar dependen de cada una de las zonas que tiene la vía. Para obtener una buena calidad lumínica, esta requiere de un nivel mínimo de iluminación, una buena definición de los objetos, poder discernir los colores y que la luz no produzca deslumbramientos fisiológicos o psicológicos.

6.2.1. Cálculo de la uniformidad media

En cada una de las zonas, siguiendo el criterio de las iluminancias, comentado con anterioridad, se evalúa la uniformidad media. Se obtiene el valor mínimo aceptable, en la reglamentación [4] dentro del ITC-EA-02, a veces el reglamento da en lugar de la uniformidad media la uniformidad global, este valor se toma como si fuera la uniformidad media. Se considera como valor óptimo el doble de lo estipulado como mínimo y se considera que como una valoración negativa, con una nota de 0, todos aquellos valores que estén por debajo de la mitad del valor mínimo.

Como en los casos anteriores se procede a la interpolación lineal, y evaluando el valor del proyecto luminotécnico en dicha recta se obtiene su valoración. Podemos observar la valoración en la gráfica 6.3.

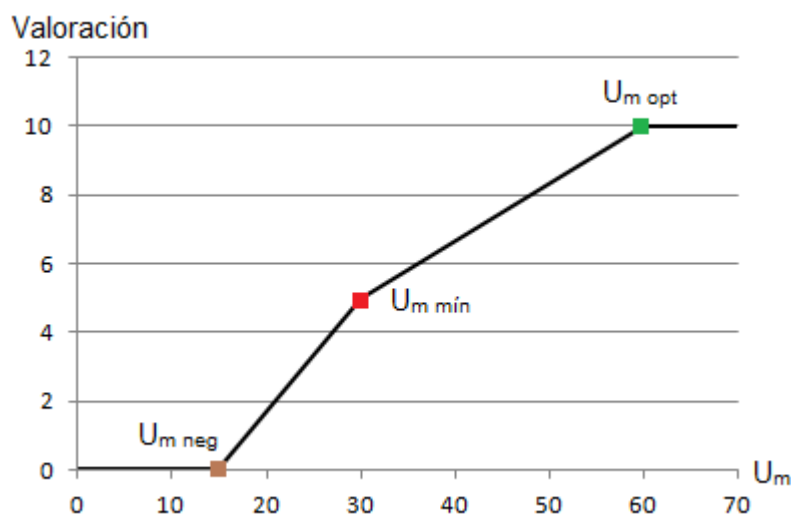


Figura 6.3. Gráfica de valoración de la uniformidad media.

Cabe destacar que existe una relación de linealidad entre la uniformidad y la luminancia, esta se muestra en la figura 6.4.



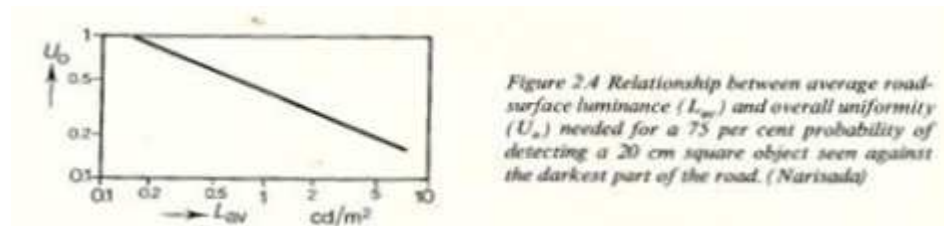


Figura 6.4. Relación entre uniformidad media y luminancia media.

6.2.2. Cálculo del deslumbramiento molesto

Para evaluar el deslumbramiento psicológico, en alumbrado vial se utilizan dependiendo del tipo de vía el índice G o el índice D, estos por su complejidad en su cálculo y por falta de herramientas para ello, se obviarán hasta que aparezca un nuevo sistema de valoración de este factor.

6.2.3. Cálculo del deslumbramiento perturbador

Para la obtención del deslumbramiento fisiológico, se toma nuevamente de la reglamentación [4] en el ITC-EA-02, el valor máximo permitido para la vía, si este no se indica se tomara un valor máximo del 15%, que es el máximo permitido por dicha reglamentación en el resto de vías. El valor óptimo para el TI se sitúa en el 5%, ya que en próximos estudios se están planteando subir el nivel de exigencia hasta ese punto. Para realizar la interpolación lineal, se toma el máximo permitido con un 5 de valoración y el valor óptimo como 10. Por encima del máximo permitido se dobla la pendiente hasta llegar a una valoración de 0. Se muestra en la figura 6.5 la grafica de valoración para esta variable.

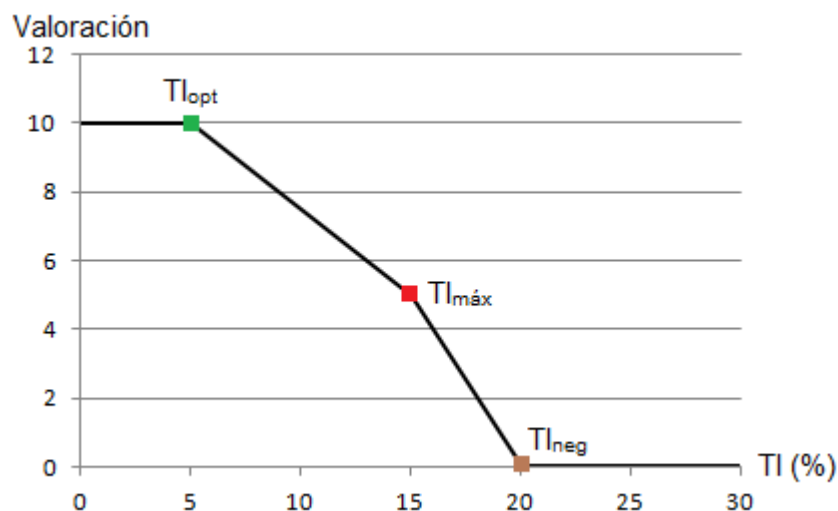


Figura 6.5. Gráfica de valoración del deslumbramiento perturbador.



6.2.4. Cálculo del color

El color no se trata de la misma forma, se ha simplificado su valoración que irá de muy positiva a muy negativa. Estas valoraciones irán en función del IRC y/o su temperatura, el resultado de estas valoraciones se muestra en la tabla 6.1.

Valoración	Criterio	Resultado
Muy Positiva	IRC > 80 y 2700 K < Temperatura < 4200 K	10
Positiva	IRC > 70 y 2700 K < Temperatura < 5000 K	7.5
Correcta	IRC > 40 o Temperatura < 5000 K	5
Negativa	IRC > 30	2.5
Muy negativa	IRC > 10	0

Tabla 6.1. Valoración del color.

6.2.5. Cálculo final del vector

Para la obtención de una valoración final de la calidad lumínica, esta dependerá de los factores comentados a lo largo del apartado, donde la uniformidad media nos informará de la iluminación mínima de las diferentes zonas y su homogeneidad de estas, el deslumbramiento perturbador de los problemas fisiológicos que pueda ocasionar y el color de la capacidad de discernir los colores. La ecuación 6.2 propuesta para este vector contempla los parámetros descritos sin incluir el deslumbramiento psicológico, cuando aparezca una valoración asequible para el deslumbramiento molesto este se incluirá como señala la ecuación 6.3.

$$\text{Calidad Lumínica} = X_1 * \left(\sum_{i=1}^n \frac{U_{m_i} * S_i}{S_T} \right) + X_2 * TI + X_3 * Color \quad [\text{Ec. 6.2}]$$

$$\text{Calidad Lumínica} = X_1 * \left(\sum_{i=1}^n \frac{U_{m_i} * S_i}{S_T} \right) + X_2 * TI + X_3 * Des. Mol. + X_4 * Color \quad [\text{Ec. 6.3}]$$

Donde en ambas ecuaciones n son las distintas zonas a analizar de la vía y los factores X_1 , X_2 y X_3 (junto con el X_4 en la Ec. 6.3) variarán en función de la importancia que se le quiera otorgar a cada uno de los parámetros (influenciados por los requisitos específicos que tenga la calle). Estos últimos sumarán 1 en todos los casos (dándole un peso de 1/3 a cada uno de ellos en los ejemplos posteriores).



6.3. Eficiencia energética

En este vector se analizan diferentes factores de la eficiencia energética de la instalación y de su uso. A veces ocurre que una buena eficiencia energética no implica una buena utilización de ella y estos aspectos deben ser también analizados para tener una visión completa de todo ello.

6.3.1. Cálculo de la eficiencia energética

Para la valoración de este parámetro, se utiliza el índice de eficiencia energética. Para ello, se buscan para la interpolación lineal dos puntos de la recta. El primero, el óptimo, se obtiene del reglamento [4], en el ITC-EA-01, y de entre todos los valores se coge aquel que da una calificación energética de A y corresponde a un índice de eficiencia energética de 1.1. El segundo valor es el mínimo que pide la misma reglamentación, a través de un valor de referencia, para este se debe utilizar las distintas tablas hasta llegar a encontrar el índice correspondiente.

6.3.2. Cálculo del rendimiento de la luminaria

En este punto nos encontramos que el reglamento [4] en el ITC-EA-04 proporciona un valor mínimo para el rendimiento de las luminarias, pero al ser un valor que la mayoría de las instalaciones cumple y no es muy restrictivo se sitúa como rendimiento óptimo de la luminaria en el 80%, ya sea alumbrado vial funcional o ambiental. Con el valor proporcionado por el fabricante de la luminaria, situaremos la valoración del rendimiento de la luminaria.

6.3.3. Cálculo de la eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares

Para la eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares se ha realizado un ajuste en la escala de valores. El reglamento [4] en el ITC-EA-04 proporciona un valor mínimo pero insuficiente para valorar la situación y se ha optado por unos rangos de valores y entre los rangos se procede a una interpolación lineal, estos se muestran en la tabla 6.2 y se puede observar en la figura 6.6 la grafica de valoración.

Criterio de valoración	Resultado
$\varepsilon_L \leq 40 \text{ lum/W}$	0
$60 \text{ lum/W} < \varepsilon_L \leq 80 \text{ lum/W}$	5
$\varepsilon_L \geq 100 \text{ lum/W}$	10

Tabla 6.2. Rangos de valoración para la eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares.



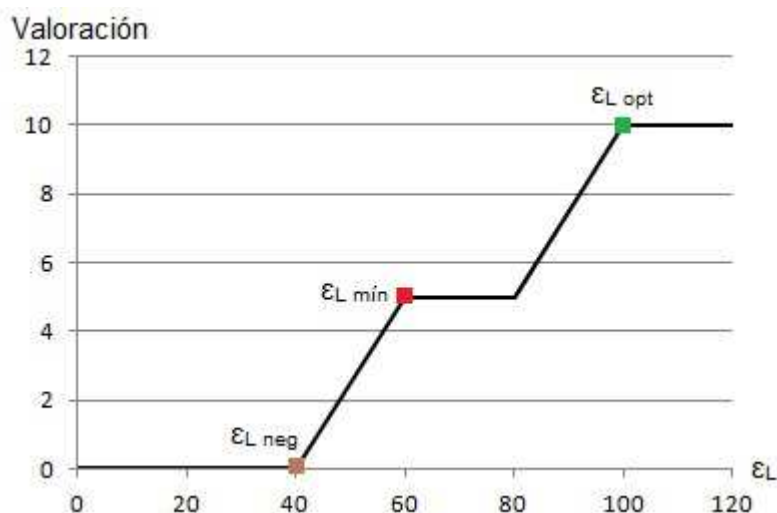


Figura 6.6. Gráfica de valoración de la eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares.

6.3.4. Cálculo del factor de utilización

El factor de utilización 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. Este valor se calcula con la Ec. 4.5, y se obtiene su punto mínimo evaluando la ecuación con la eficiencia energética mínima que da la reglamentación [4], el punto óptimo se sitúa en el 0.65 porque es un valor al que las nuevas instalaciones deben tender en un futuro próximo.

6.3.5. Cálculo de la iluminancia media horizontal

Este cálculo se asemeja al realizado en el apartado 6.1.1, con dos diferencias notables. La primera es que el valor de iluminancia media es de toda la vía y la segunda es que en este caso se penaliza tener una iluminación excesiva, una instalación no se considera eficiente si ilumina más de lo que le corresponde. El valor óptimo se obtiene de la reglamentación [4] en el ITC-EA-02 y el valor máximo se calcula por similitud, si para el apartado anterior nombrado se pide un 20% menos para el valor mínimo respecto el óptimo, para el valor máximo se aconseja un 20% más.

En la figura 6.7 se observa esta valoración.



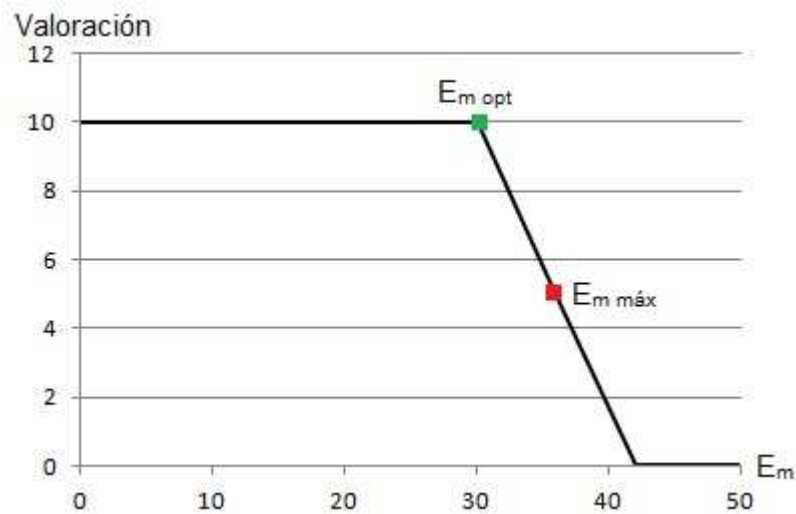


Figura 6.7. Gráfica para la valoración de la iluminancia media horizontal.

6.3.6. Cálculo final del vector

Una vez expuestos los distintos factores que afectan globalmente en este vector, a la eficiencia energética se le otorga la mitad del peso total del vector al ser el parámetro por el cual se hacen en la actualidad las valoraciones de las instalaciones. Para el resto de factores, el rendimiento de la luminaria, la eficiencia de la lámpara y equipos auxiliares, el factor de utilización y la iluminancia media, se reparten equitativamente el otro 50% de la valoración, ya que todos ellos tienen la misma importancia. De esta forma la ecuación 6.4 queda:

$$\text{Eficiencia energética} = \varepsilon * 0.5 + \left(\frac{(\eta_{lum} + \varepsilon_L + FU + E_m)}{4} \right) * 0.5 \quad [\text{Ec. 6.4}]$$

6.4. Contaminación lumínica

Para analizar la contaminación lumínica se deben observar todos aquellos parámetros que influyan en el entorno directamente o indirectamente y que ocasionen perjuicios.

6.4.1. Cálculo del factor hemisférico superior instalado

Para el cálculo de este parámetro, se realiza una escala de valores, se muestra en la tabla 6.3, para valores intermedios se procederá a una interpolación entre ellos. La escala de valores, se basa en la reglamentación [4], en el ITC-EA-03, y los nuevos estudios sobre las nuevas tecnologías.



Clasificación de la zona	FHS _{INST}	Valoración
Zona E1	≤ 0.5%	10
	= 1%	5
	> 5%	0
Zona E2	≤ 1%	10
	= 5%	5
	> 10%	0
Zonas E3 y E4	≤ 1%	10
	= 5%	6
	= 15%	5
	> 15%	0

Tabla 6.3. Escala de valores para el FHS_{INST}.

6.4.2. Cálculo del factor reductor

Para el *FR* hemos diseñado la tabla 6.4 para dar una nota a cada una de las lámparas, su valor de *FR* viene determinado en el documento [4], dependiendo de la zona en la que se encuentra, esta definición de zona se encuentra en la ITC-EA-3 de [4].

Valor FR	1/3	1/2	2/3	1
Zona E1	2	0	-1	-2
Zona E2	2	1	0	-1
Zona E3	3	2	0	0
Zona E4	3	2	1	0

Tabla 6.4. Escala de valores para el *FR*.

6.4.3. Cálculo de la iluminación media horizontal

Como se ha comentado en el apartado 6.3.5, un nivel de iluminación excesiva aparte de ser poco eficiente, contamina en exceso. De ahí que se valore de la misma forma que en el apartado nombrado.



6.4.4. Cálculo del incremento de umbral

Para el cálculo de este factor, se toma la limitación del 15% de TI como valor máximo permitido, en el ITC-EA-03 de [4], y por el mismo criterio escogido en el apartado 6.2.3 el valor óptimo se sitúa en el 5%. Como en el apartado nombrado, se toma el máximo permitido con un 5 de valoración y el valor óptimo como 10, para realizar la interpolación lineal.

6.4.5. Cálculo de la iluminación vertical máxima

En este apartado se calcula la luz intrusa a las fachadas de los edificios colindantes, este se calcula a partir de 4 metros y se tiene del ITC-EA-03 de [4] su valor máximo permitido, el valor óptimo se sitúa por nuevos estudios en un 50% del valor que tiene la zona. Como se realiza en otros apartados se hace la interpolación lineal entre los puntos.

6.4.6. Cálculo final del vector

Todos los factores que afectan a la contaminación lumínica directamente o indirectamente, tienen que ser considerados dependiendo de la situación de la vía, de ahí que se haya creado la tabla 6.5, que distribuye el peso de los factores.

Situación vía	X ₁	X ₂	X ₃
Entorno urbano, lejano de hábitats	0.45	0.1	0.45
Entorno rural o cercano a observatorio	0.8	0.1	0.1
Cercano a hábitat natural	0.4	0.4	0.2
Viviendas de planta baja cerca de zonas oscuras	0.4	0.3	0.3
Viviendas de planta baja lejanas de zona oscura	0.2	0.3	0.5

Tabla 6.5. Distribución de factores.

La forma de calcular la valoración final de este vector se muestra en la ecuación 6.5.

$$Cont. lumínica = X_1 * (0.8 * FHS_{INST} + 0.2 * E_m + FR) + X_2 * TI + X_3 * \sum_{i=1}^n \frac{E_{vi}}{n} \quad [Ec. 6.5]$$

El primer factor (X₁) incide en la contaminación al cielo, afectado por el FR que tiene una condición especial. En ningún caso el conjunto de la valoración puede ser superior a 10 ni inferior a 0. El factor X₂ hace referencia a la contaminación a los usuarios de la vía. Por



último, el factor X_3 nos indica la contaminación de luz intrusa al entorno. La suma de los 3 factores siempre será 1.

La iluminancia vertical máxima, tiene 2 valoraciones en una calle convencional, pero si una de estas zonas o ambas no se analizan este debe ser excluido.

6.5. Mantenimiento

En este apartado los factores son igual de importantes, ya que tanta importancia tiene el factor de mantenimiento, ya sea por la depreciación del flujo de la lámpara como de la luminaria, como el índice de protección que tiene o la seguridad con la que realizar dichas tareas de mantenimiento.

6.5.1. Cálculo del factor de mantenimiento

Para poder crear una escala de valoración para el factor de mantenimiento primero debemos saber en qué grado de contaminación nos encontramos, estos grados están descritos en el ITC-EA-06 de [4]. El valor mínimo que se exige es de 0.65 y el valor óptimo será de 0.81 para un grado de contaminación bajo, 0.783 para grado medio y 0.747 para un grado de contaminación alto.

Para el cálculo de F_m , a partir de la Ec. 4.16, se considera el factor FSL igual a 1 porque en alumbrado vial se realiza un mantenimiento correctivo. Para la tecnología LED, obtendremos su valor en el documento [4].

6.5.2. Cálculo del Índice de protección

Para el IP se han creado 2 escalas de valores, una para el polvo y otra para el agua, la tercera cifra del IP se obviara. Una vez se tengan sus valores se realiza la media y se obtiene el resultado de nuestra valoración. Las escalas de valores se muestran en la tabla 6.6.

Valor IP (polvo)	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*
Valoración	0	1.5	3	5	8	10	-	-
Valor IP (agua)	*1	*2	*3	*4	*5	*6	*7	*8
Valoración	0	1.5	3	5	7	8.5	10	10

Tabla 6.6. Escalas de valores para el IP.



6.5.3. Cálculo de la altura de montaje

La seguridad es un tema difícil de evaluar, dependiendo de si el acceso a la lámpara es superior o inferior, más cómodo si es superior, y la altura donde se encuentra, normalmente para realizar las instalaciones y tareas de mantenimiento se utiliza una grúa. Con estas premisas se crea la siguiente tabla 6.7 para realizar la interpolación.

Altura	Valor máximo	Valor óptimo
Acceso inferior	8 metros	4 metros
Acceso superior	8.5 metros	4.5 metros

Tabla 6.7. Escala de valores para la altura de montaje.

6.5.4. Cálculo final del vector

Como se ha comentado al inicio de este apartado, los factores que inciden en la valoración del mantenimiento tienen el mismo peso, hay que visualizar que para el IP debemos realizar la media de sus dos valoraciones. La ecuación 6.6 muestra como evaluar este vector.

$$\text{Mantenimiento} = \frac{F_m + \frac{(IP_{\text{polvo}} + IP_{\text{agua}})}{2} + H}{3} \quad [\text{Ec. 6.6}]$$

6.6. Integración en entorno urbano

De todos los vectores este es el que tiene una valoración más subjetiva, aun así se ha reducido su impacto diferenciando con cada una de las preguntas a valorar su función, estas se evalúan directamente del 0 al 10.

6.6.1. Valoración primera pregunta

La primera pregunta se refiere exclusivamente a su estilo comparándolo con las del alrededor, ese entorno no es únicamente la misma vía sino vías adyacentes a la evaluada, y al tipo de lámpara utilizado. La pregunta simplificada es:

¿Las luminarias son del mismo estilo que las de alrededor?



6.6.2. Valoración segunda pregunta

En la segunda se trata de la imagen visual de las luminarias en la vía, valorando si están en consonancia con el entorno de la vía, que no agreda a la visión del conjunto. Se debe abstraer uno de la parte estética de la misma. La pregunta a realizar es:

¿Cuál es el impacto visual?

6.6.3. Valoración tercera pregunta

Para la tercera pregunta se valora de forma conjunta la funcionalidad y estética de la luminaria, dando así la importancia de que cumple con lo exigido por el entorno y lo que transmite si es modernidad o antigüedad dependiendo de dónde se encuentra y si la función que desarrolla es excesiva o correcta. La pregunta es:

¿El conjunto funcionalidad y estética, cumple con lo exigido?

6.6.4. Cálculo final del vector

Como se ha comentado al principio de este punto, al ser una valoración subjetiva y cada una de las preguntas valora una parte independiente, se considera que la mejor fórmula aplicable es realizar la media de todas las preguntas.

$$\text{Integración entorno urbano} = \frac{\sum \text{Preguntas}}{\text{Nº de preguntas}} \quad [\text{Ec. 6.7}]$$



7. Casos de estudio

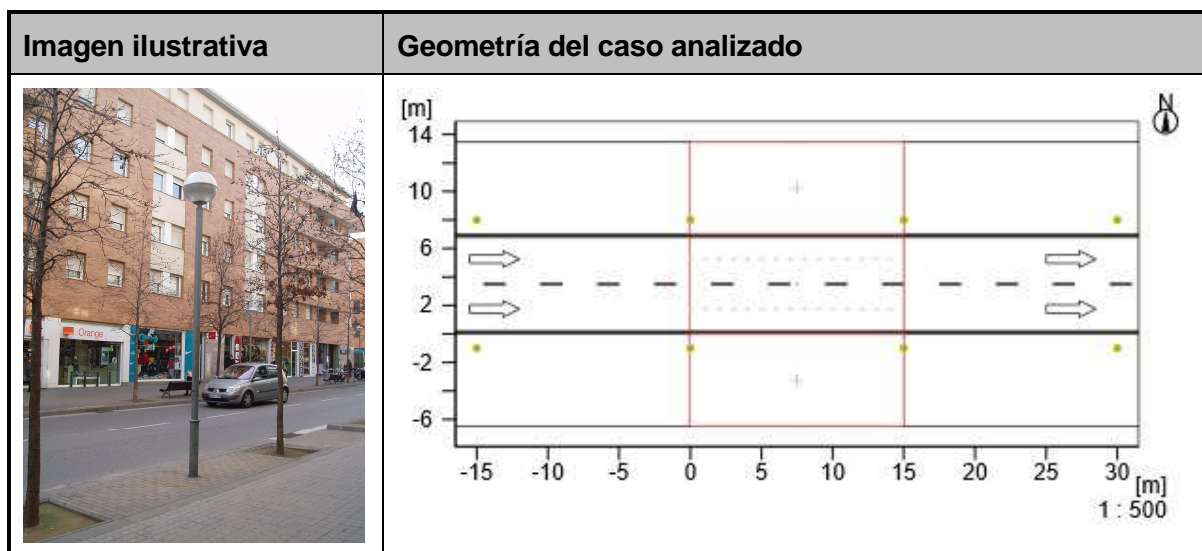
En este apartado se incluyen los resúmenes del sistema aplicado a diferentes calles junto con sus resultados.

Las simulaciones de las calles se han realizado lo más próximas a la realidad, a través del programa RELUX [4]. Estas simulaciones tienen un par de vacíos, el primero de ellos es que muchas de las lámparas que tienen las calles están en la actualidad descatalogadas y no se ha podido conseguir todas sus características técnicas reales, de esta forma se ha escogido la luminaria y lámpara más cercana a la realidad. La segunda es que no se han incorporado elementos como señales y anuncios luminosos (se incluyen aquí anuncios iluminados, alumbrado de escaparates, señales, etc.), bancos o árboles en las simulaciones.

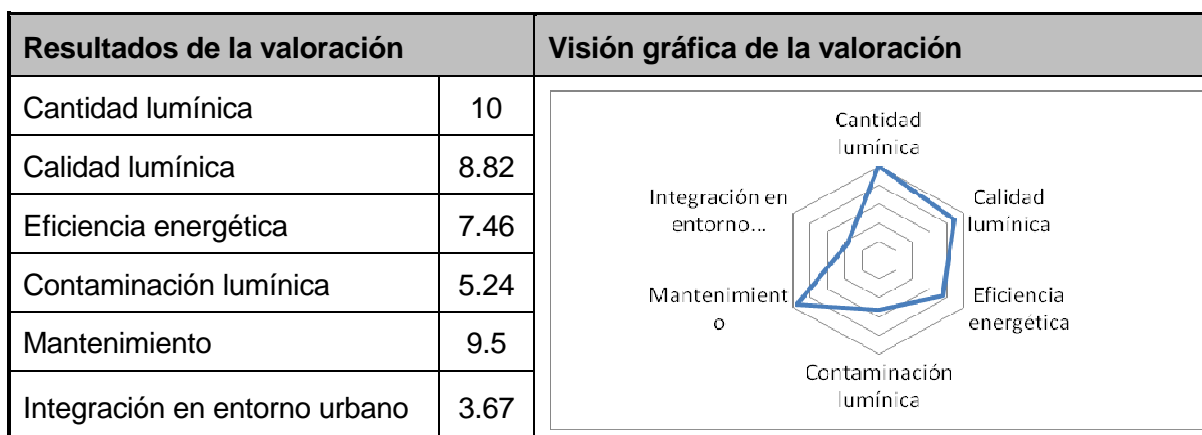


7.1. Caso 1

Caso	Variante	Calle
1	0 (Inicial)	Calle Tres Creus, Sabadell (Barcelona)

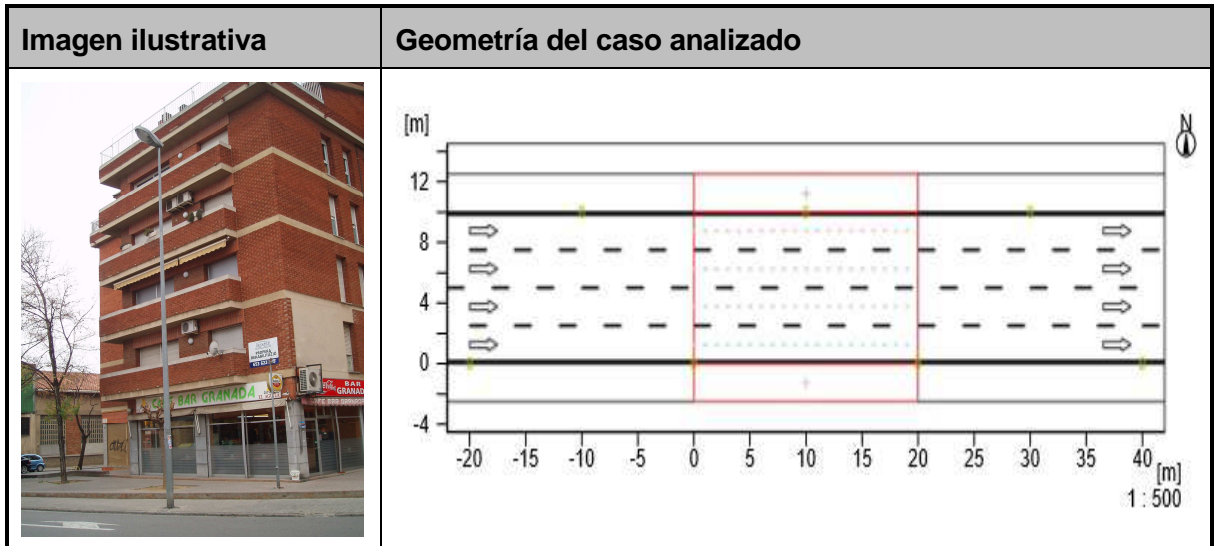


Descripción del sistema lumínico					
Soporte	Columna a 4 metros de altura	E_m	20.4	η_{lum}	65.2
Luminaria	Tipo A, SX150 34-2 (SELUX)	U_m	0.82	F_u	0.56
Lámpara	VSAP 100 W	FHS_{INST}	23.4	F_m	0.84
Implantación	Bilateral	TI	12.1	ϵ	30.6

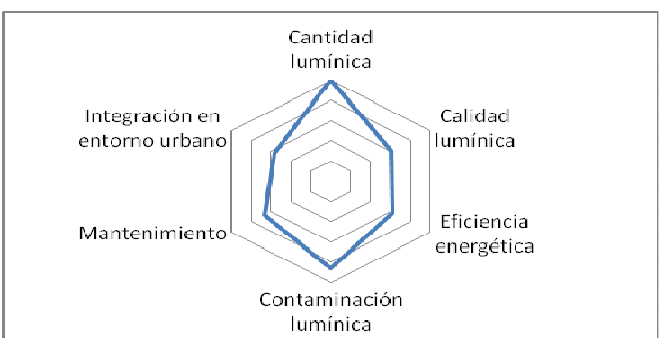


7.2. Caso 2

Caso	Variante	Calle
2	0 (Inicial)	Carretera Barcelona, Sabadell (Barcelona)



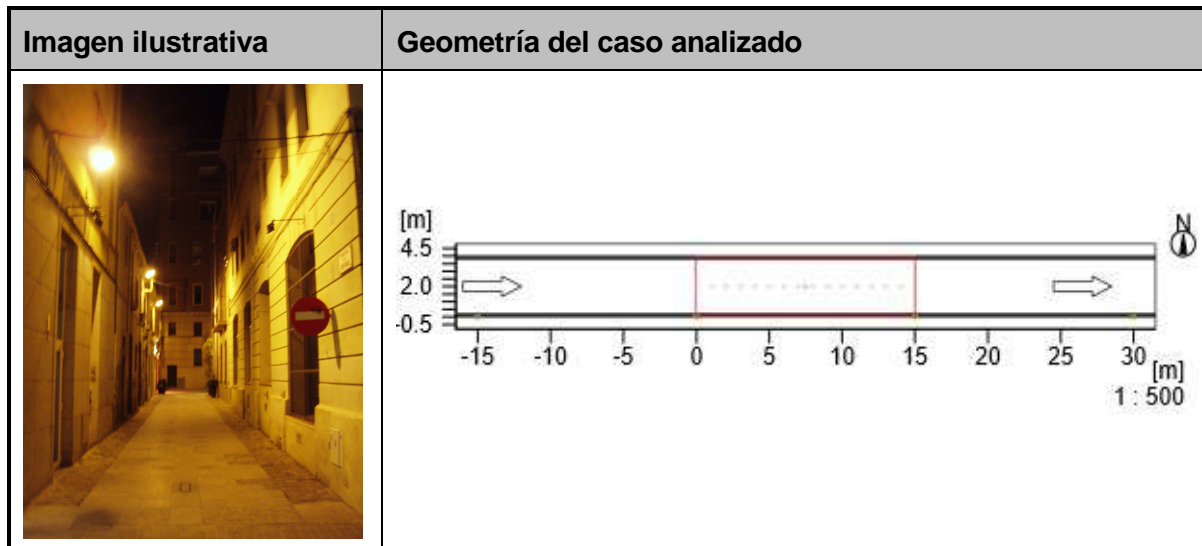
Descripción del sistema lumínico					
Soporte	Farola a 10 metros de altura	E_m	46.35	η_{lum}	74.72
Luminaria	Tipo F, M250/H-NAH 250 (LUMIS)	U_m	0.56	F_u	0.37
Lámpara	VSAP 250 W	FHS_{INST}	0.6	F_m	0.81
Implantación	Tresbolillo	TI	3.3	ϵ	27.07

Resultados de la valoración		Visión gráfica de la valoración	
Cantidad lumínica	10		
Calidad lumínica	6.04		
Eficiencia energética	6.18		
Contaminación lumínica	8.62		
Mantenimiento	6.67		
Integración en entorno urbano	5.67		

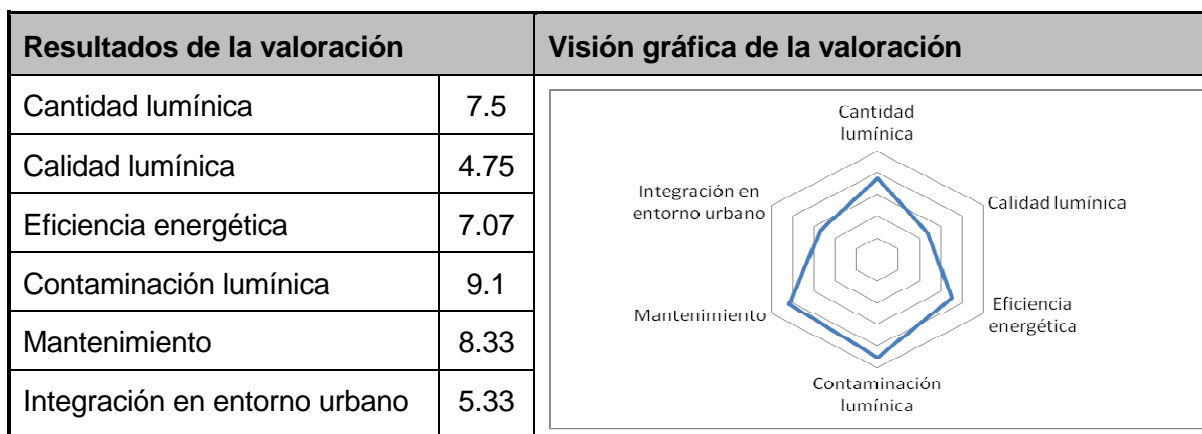


7.3. Caso 3

Caso	Variante	Calle
3	0 (Inicial)	Travesía de la Borriana, Sabadell (Barcelona)

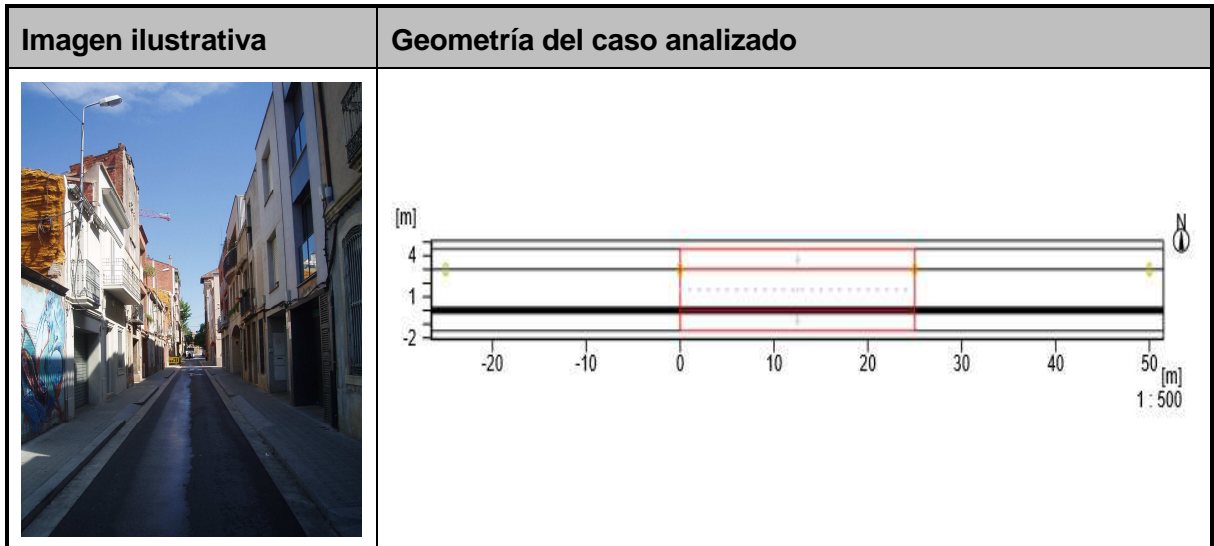


Descripción del sistema lumínico					
Soporte	Proyector a 6 metros de altura	E_m	23.1	η_{lum}	55.61
Luminaria	Tipo H, MX NAH 70 (LUMIS)	U_m	0.17	F_u	0.3
Lámpara	VSAP 70 W	FHS_{INST}	0	F_m	0.85
Implantación	Unilateral	TI	1.9	ϵ	17.33

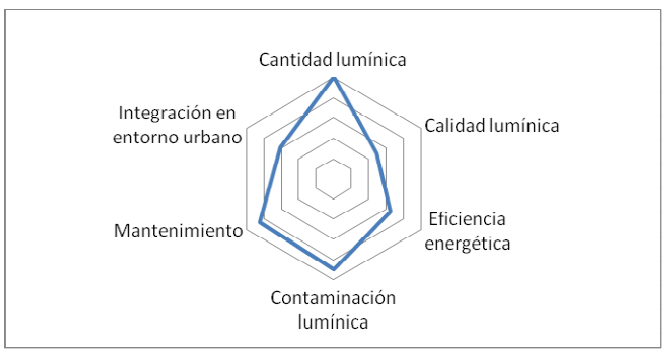


7.4. Caso 4

Caso	Variante	Calle
4	0 (Inicial)	Calle Concepción, Sabadell (Barcelona)



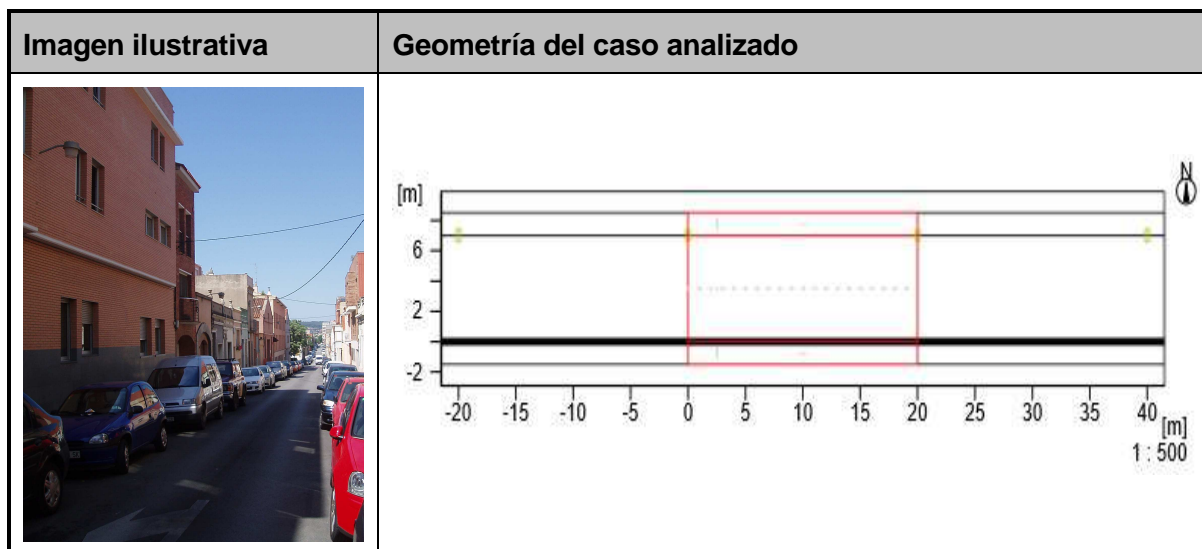
Descripción del sistema lumínico					
Soporte	Farola a 6 metros de altura	E_m	14.88	η_{lum}	81.6
Luminaria	Tipo F, SERIKA 100W SHP-E_SK-011 (AEC Illuminazione)	U_m	0.41	F_u	0.38
Lámpara	VSAP 100 W	FHS_{INST}	0.7	F_m	0.84
Implantación	Unilateral	TI	10.6	ϵ	19.4

Resultados de la valoración		Visión gráfica de la valoración	
Cantidad lumínica	10		
Calidad lumínica	4.92		
Eficiencia energética	6.49		
Contaminación lumínica	9		
Mantenimiento	8.5		
Integración en entorno urbano	6.17		

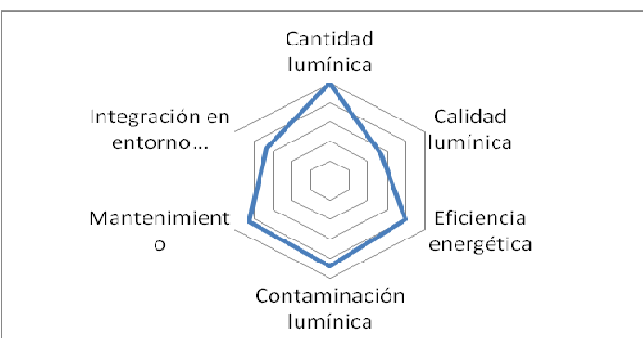


7.5. Caso 5

Caso	Variante	Calle
5	0 (Inicial)	Calle Sant Sebastià, Sabadell (Barcelona)




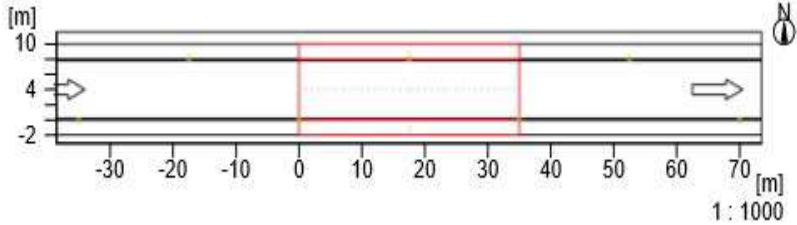
Descripción del sistema lumínico					
Soporte	Farola a 7 metros de altura	E_m	16.56	η_{lum}	81.6
Luminaria	Tipo F, SERIKA 100W SHP-E_SK-011 (AEC Illuminazione)	U_m	0.56	F_u	0.57
Lámpara	VSAP 100 W	FHS_{INST}	0.7	F_m	0.84
Implantación	Unilateral	TI	9.8	ϵ	28.79

Resultados de la valoración		Visión gráfica de la valoración	
Cantidad lumínica	10		
Calidad lumínica	5.4		
Eficiencia energética	8.02		
Contaminación lumínica	8.86		
Mantenimiento	8.5		
Integración en entorno urbano	6.67		

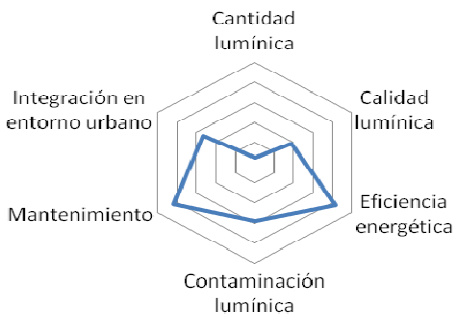


7.6. Caso 6

Caso	Variante	Calle
6	0 (Inicial)	Calle Dolors, Sant Quirze (Barcelona)

Imagen ilustrativa	Geometría del caso analizado
	

Descripción del sistema lumínico					
Soporte	Columna a 4.5 metros de altura	E_m	5.67	η_{lum}	53.44
Luminaria	Tipo C, 9100 (HELLUX)	U_m	0.51	F_u	0.33
Lámpara	VSAP 70 W	FHS_{INST}	21.4	F_m	0.82
Implantación	Tresbolillo	TI	17.6	ϵ	17

Resultados de la valoración		Visión gráfica de la valoración	
Cantidad lumínica	0.47		
Calidad lumínica	3.8		
Eficiencia energética	8.36		
Contaminación lumínica	5.77		
Mantenimiento	8.33		
Integración en entorno urbano	5.33		





8. Resultados obtenidos

A lo largo de este apartado, se incluye de forma resumida los distintos casos de estudio analizados con las distintas variantes realizadas y un análisis de los resultados obtenidos.

En los archivos adjuntos al proyecto, se encuentran el grueso de las calles analizadas. En el estudio, una misma calle se ha simulado varias veces con luminarias y lámparas diferentes y en posiciones distintas. Esta repetición de simulación ha dado una visión más amplia de los factores analizados, ya que una misma calle se puede iluminar de formas distintas y así obtener una mejor percepción de las opciones que tiene un proyectista. Las varias pruebas realizadas ayudan a validar el sistema de valoración creado.

De la tabla 8.1 a la tabla 8.6 tenemos las distintas variantes que se han realizado de los distintos casos de estudio.

Variante	Descripción
0	Luminaria tipo B, con lámpara VSAP de 100W en disposición bilateral.
1	Luminaria tipo D, con lámpara VSAP de 100W en disposición bilateral.
2	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 100W en disposición tresbolillo.
3	Luminaria tipo G, con lámpara LED de 44W en disposición tresbolillo.

Tabla 8.1. Variantes del sistema de iluminación para el caso 1.

Variante	Descripción
0	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 250W en disposición tresbolillo.
1	Luminaria tipo G, con lámpara VSAP de 100W en disposición tresbolillo.
2	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 150W en disposición tresbolillo.
3	Luminaria tipo G, con lámpara VSAP de 100W en disposición bilateral.

Tabla 8.2. Variantes del sistema de iluminación para el caso 2.



Variante	Descripción
0	Luminaria tipo H, con lámpara VSAP de 70W en disposición unilateral.
1	Luminaria tipo B, con lámpara HALO de 70W en disposición unilateral.
2	Luminaria tipo G, con lámpara HALO de 45W en disposición unilateral.
3	Luminaria tipo G, con lámpara VSAP de 50W en disposición unilateral.

Tabla 8.3. Variantes del sistema de iluminación para el caso 3.

Variante	Descripción
0	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 100W en disposición unilateral.
1	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 100W en disposición unilateral.
2	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 70W en disposición tresbolillo.
3	Luminaria tipo G, con lámpara VSAP de 50W en disposición unilateral.

Tabla 8.4. Variantes del sistema de iluminación para el caso 4.

Variante	Descripción
0	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 100W en disposición unilateral.
1	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 100W en disposición unilateral.
2	Luminaria tipo F, con lámpara VSAP de 70W en disposición tresbolillo.
3	Luminaria tipo G, con lámpara VSAP de 50W en disposición unilateral.

Tabla 8.5. Variantes del sistema de iluminación para el caso 5.

Variante	Descripción
0	Luminaria tipo C, con lámpara VSAP de 70W en disposición tresbolillo.
1	Luminaria tipo D, con lámpara VSAP de 70W en disposición bilateral.
2	Luminaria tipo G, con lámpara LED de 44W en disposición tresbolillo.
3	Luminaria tipo G, con lámpara HALO de 45W en disposición tresbolillo.

Tabla 8.6. Variantes del sistema de iluminación para el caso 6.

De la tabla 8.7 hasta la tabla 8.12 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de los distintos casos y sus variantes, junto a las comparaciones en forma gráfica, que van de la figura 8.1 a la figura 8.6.



Caso 1	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Cantidad lumínica	10,00	10,00	9,94	8,39
Calidad lumínica	8,82	4,79	6,38	10,00
Eficiencia energética	7,46	7,85	6,67	9,20
Contaminación lumínica	5,24	7,08	10,00	10,00
Mantenimiento	9,50	8,83	5,83	6,42
Integración en entorno urbano	3,67	4,67	6,67	6,67

Tabla 8.7. Resumen de los resultados para el caso 1.

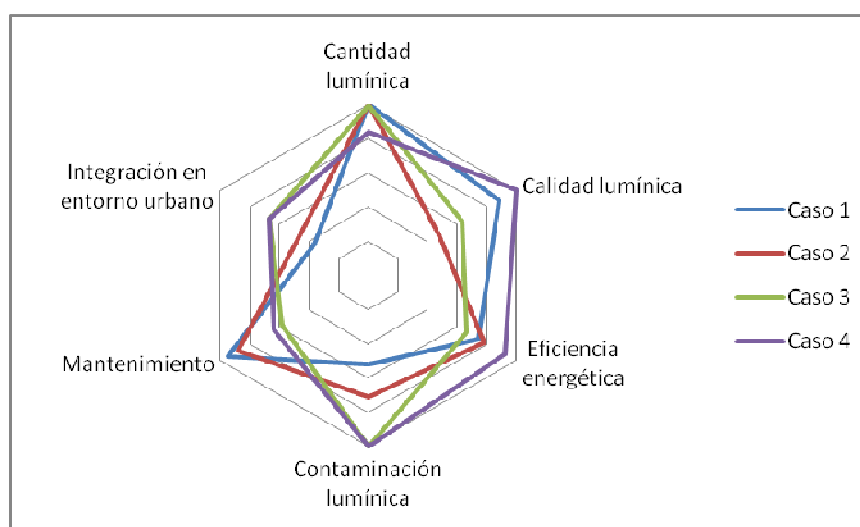


Figura 8.1. Comparación entre las variantes del caso 1.

Caso 2	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Cantidad lumínica	10,00	10,00	10,00	10,00
Calidad lumínica	6,04	6,67	6,13	6,51
Eficiencia energética	6,18	8,34	8,03	8,74
Contaminación lumínica	8,62	9,55	9,39	9,81
Mantenimiento	6,67	7,00	7,25	7,83
Integración en entorno urbano	5,67	6,50	6,17	6,17

Tabla 8.8. Resumen de los resultados para el caso 2.



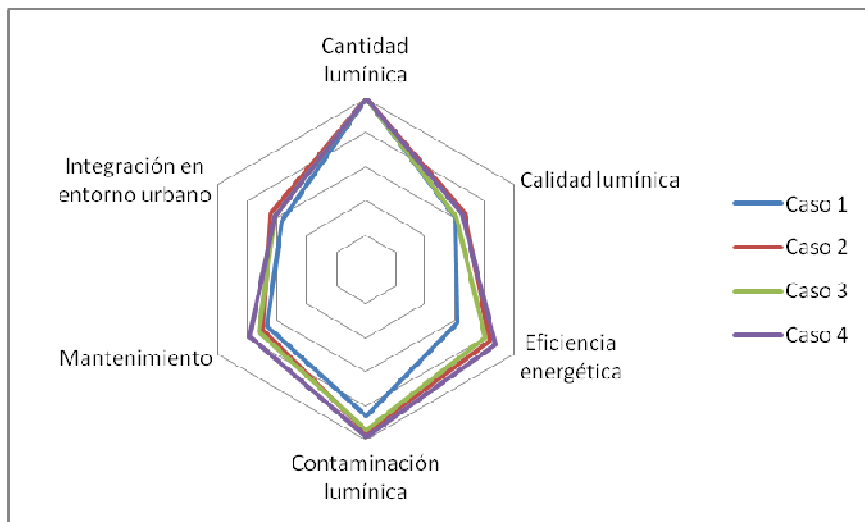


Figura 8.2. Comparación entre las variantes del caso 2.

Caso 3	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Cantidad lumínica	7,50	9,50	8,00	7,75
Calidad lumínica	4,75	6,67	9,27	6,08
Eficiencia energética	7,07	7,11	7,68	7,33
Contaminación lumínica	9,10	5,65	8,88	8,93
Mantenimiento	8,33	7,65	7,27	8,50
Integración en entorno urbano	5,33	6,00	5,33	5,33

Tabla 8.9. Resumen de los resultados para el caso 3.

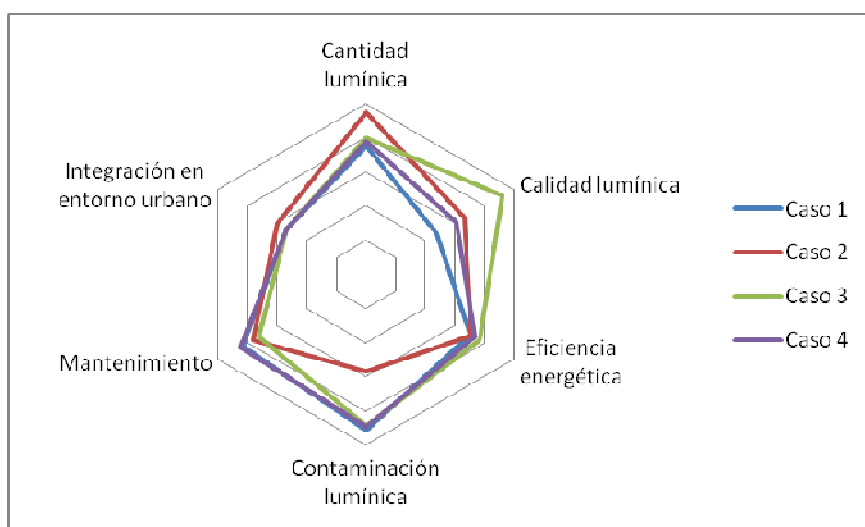


Figura 8.3. Comparación entre las variantes del caso 3.



Caso 4	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Cantidad lumínica	10,00	8,50	9,63	10,00
Calidad lumínica	4,92	4,96	5,54	5,57
Eficiencia energética	6,49	6,89	6,69	6,72
Contaminación lumínica	9,00	9,00	8,26	9,61
Mantenimiento	8,50	8,25	7,50	8,25
Integración en entorno urbano	6,17	6,00	5,67	6,17

Tabla 8.10. Resumen de los resultados para el caso 4.

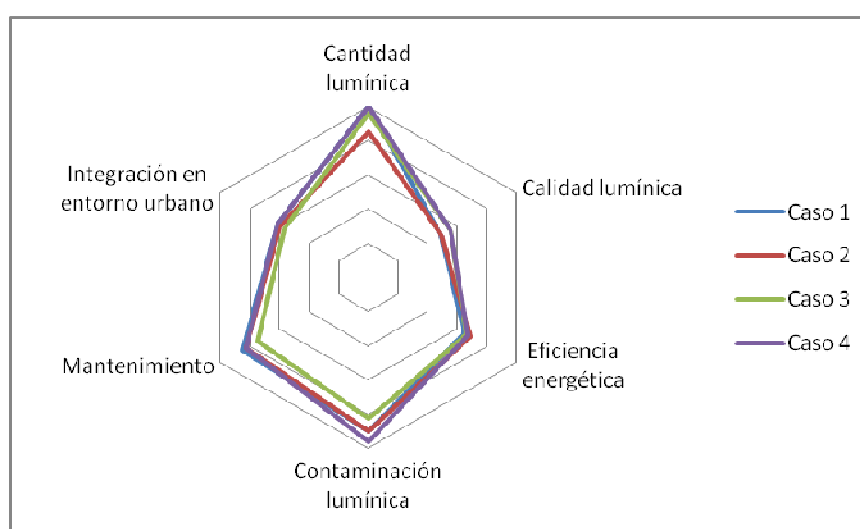


Figura 8.4 Comparación entre las variantes del caso 4.

Caso 5	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Cantidad lumínica	10,00	9,48	10,00	9,41
Calidad lumínica	5,40	6,13	5,93	5,43
Eficiencia energética	8,02	7,81	7,20	7,94
Contaminación lumínica	8,86	9,10	7,95	9,10
Mantenimiento	8,50	7,00	7,50	8,25
Integración en entorno urbano	6,67	6,33	5,33	5,67

Tabla 8.11. Resumen de los resultados para el caso 5.



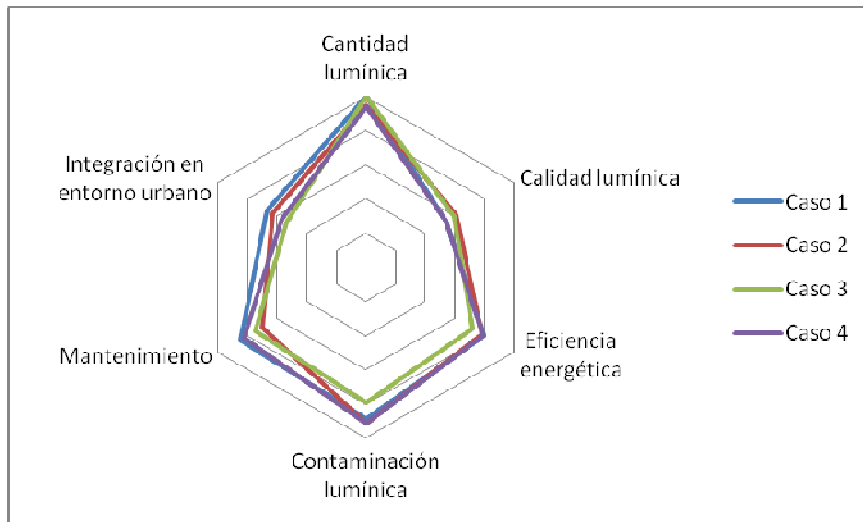


Figura 8.5. Comparación entre las variantes del caso 5.

Caso 6	Variante 0	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Cantidad lumínica	0,47	10,00	9,44	9,01
Calidad lumínica	3,80	3,51	7,15	9,05
Eficiencia energética	8,36	7,96	9,87	9,21
Contaminación lumínica	5,77	7,71	9,65	9,81
Mantenimiento	8,33	8,63	8,08	6,85
Integración en entorno urbano	5,33	5,67	6,00	5,83

Tabla 8.12. Resumen de los resultados para el caso 6.

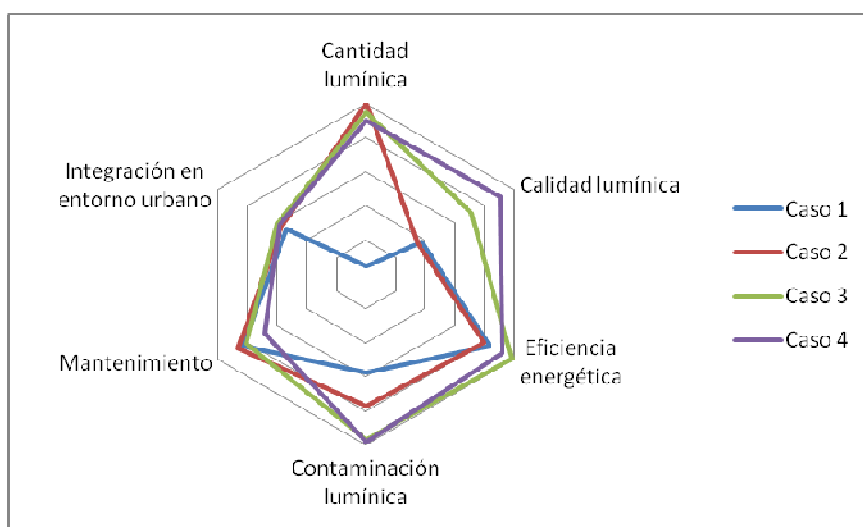


Figura 8.6. Comparación entre las variantes del caso 6.



8.1. Análisis de los resultados

Se observa que el vector de cantidad lumínica en todos los casos analizados se encuentra siempre con una valoración muy positiva próxima al 10, esto implica que se ilumina normalmente con una gran proporción de luz, hay que nombrar que se debe porque en España se tiene la costumbre de iluminar más de lo necesario. En las simulaciones de las distintas variantes se ha intentado mantener el mismo criterio. Se encuentra con la excepción de la situación inicial del caso 6, al tener unas luminarias antiguas y desfasadas de las opciones que actualmente se encuentran.

El vector de la calidad lumínica en cambio, cabe destacar que en términos generales los casos iniciales suspenden o aprueban con lo mínimo, se debe a que la forma de iluminar no es la adecuada, y confirma que en la gran mayoría de los casos dos de los tres términos no se regulan correctamente. Principalmente se suspende por una mala definición de los colores (la mayoría de las lámparas con un IRC bajo), y aquí nos encontramos que si las luminarias son del tipo A, B, C o D su deslumbramiento es excesivo pero tienen una aceptable uniformidad al contrario que ocurre con el resto de tipos de luminarias, que tienen poca uniformidad pero no deslumbran en exceso. En las simulaciones se puede observar que las variantes con lámparas LED o halogenuros metálicos obtienen una muy buena valoración al tener un IRC elevado y así tener dos de los tres términos en buen lugar. La excepción nos la encontramos en la situación inicial del caso 1, en que el fabricante ha proporcionado a una lámpara VSAP un IRC erróneo, superior al 80.

Para la eficiencia energética, se observa una situación de estabilidad con buenas notas (entre el 6 y el 8), cabe destacar de los parámetros que intervienen, que la eficiencia energética de la instalación con la valoración por parte de [4] obtiene siempre una nota superior al 7 y en la mayoría de casos de 10. A diferencia, los otros parámetros evaluados tienden a una valoración de aprobado justo. En las simulaciones nos encontramos con la misma situación, con la diferencia que en los casos donde se disminuye la potencia de las lámparas existe una mejoría importante, pero solo es real en las lámparas LED, ya que en el resto de casos que tienen una mejor eficiencia es por una mejor situación de las luminarias a lo largo de la vía.

En la contaminación lumínica se aprecia una divergencia entre los distintos casos. Aquellos que son iluminados por luminarias de tipo A, B o C, tienen una valoración de aprobado justo, esto se debe a un alto FHS_{INST} y un valor alto en TI, compensado en parte por una cantidad de luz inferior que las otras y una mejor distribución. Las luminarias de tipo D obtienen una mejor valoración que las anteriores, por su menor FHS_{INST} , pero inferior al resto de luminarias, como se observa en el conjunto de simulaciones.



En el de vector de mantenimiento se observa que en todos los casos que se utilizan lámparas distintas a VSAP o LED, sus prestaciones bajan al tener un factor de mantenimiento peor, y que las luminarias de baja altura ayudan a que el mantenimiento sea mejor y menos peligroso. El IP de las luminarias por parte de los fabricantes acostumbra a ser elevado y eso comporta una buena seguridad en términos generales.

Finalmente, para el vector sobre la integración en el entorno urbano nos encontramos en una zona estable de valoración, alrededor del 6 en la totalidad de los casos. Aunque se hayan escogido distintos tipos de luminarias, no se han obtenido grandes variaciones en sus valores. Se observa a pie de calle que hay una dispersión en el tipo de elección de luminarias ya que las calles contiguas a las analizadas por norma general, no están iluminadas de la misma forma, ya sea porque tienen grandes vías alrededor o porque existen callejuelas. Otra observación es que algunas si que tienen un menor impacto visual que otras, pero en ningún caso se aprecia un cambio muy importante. Y por último, se prima la funcionalidad respecto a la estética, aunque la estética toma relevancia en situaciones como cascos antiguos o ramblas de diseño.

Como se ha comentado en distintos puntos de este proyecto, no se realiza una valoración global del conjunto, ya que, los vectores a analizar son independientes unos de otros y es importante mantener esa independencia, aunque algunas de las variables afecten a diversos vectores.



9. Estudio económico

La realización de este sistema de valoración para los proyectos de alumbrado exterior implica establecer de una manera precisa los costes concurridos para la elaboración del mismo.

En primer lugar, es necesario concretar los requerimientos referidos a las horas de trabajo dedicadas por el personal. Aquí se incluye al director del proyecto, por la dirección y supervisión de este, al ingeniero junior, por la realización y diseño, y finalmente al programador, por proporcionar el programa que realiza los cálculos.

En la siguiente tabla 9.1, se presenta una estimación del coste referido al personal.

Trabajador	Personas	Coste (€/h)	Tiempo (h)	Coste total (€)
Director del proyecto	1	50	70	3.500
Ingeniero junior	1	15	700	10.500
Programador junior	1	15	50	750
TOTAL				14.750

Tabla 9.1. Costes de personal

Por otro lado, cabe incluir los costes de las licencias utilizadas. Se tiene la licencia de Windows y el paquete Office, como recursos para el diseño y programación, y el programa [4] utilizado para realizar los cálculos de las calles, este último como se indica en la tabla 9.2 es un software libre. Estos costes van en proporción a la parte de utilización de la licencia, es decir, su parte proporcional respecto todo un año de licencia.

Por último, se debe considerar el gasto de material de oficina, como papel, tinta y electricidad para la conexión del ordenador y la iluminación de la estancia donde se ha realizado.

Todo el conjunto, se presenta en la tabla 9.2.



Concepto	Cantidad	Coste (€)	Coste total (€)
Licencia Windows	1	45	45
Licencia Office 2010	1	60	60
Licencia RELUX	1	0	0
Material de oficina	-	300	300
TOTAL			405

Tabla 9.2. Costes de licencias y material de oficina.

El resultado económico final se muestra en la tabla 9.3.

Concepto	Coste (€)
Coste personal	14750
Coste licencias	105
Material de oficina	300
Coste final	15155
Beneficio industrial (+20%)	3031
IVA (+21%)	3819.06
Coste final	22005.06

Tabla 9.3. Resultado económico final.



10. Impacto medioambiental

En todo proyecto se requiere un análisis sobre los posibles impactos medioambientales, en cualquiera de sus fases, ya sea en la fase previa a su implantación como en la posterior. En este sentido, el impacto en ambas fases es mínimo, ya que su realización se centra en la utilización del soporte informático y una cantidad de documento en papel despreciable.

Se trata de un proyecto que afecta al diseño de un sistema informático y se puede concluir que ni su desarrollo ni su implantación producen apenas impacto medioambiental.

Sin embargo, cabe mencionar que en los casos de una mejor eficiencia energética y/o una menor contaminación lumínica, donde influye el tipo de luminaria, su distribución a lo largo de la calzada y la elección de la lámpara principalmente, descrito en detalle los diversos factores en el apartado 8.1, se obtendría beneficios en forma de consumo y calidad.

En cualquiera de los casos, como se ha comentado anteriormente, en la actualidad se ilumina más de lo necesario. Se pueden obtener los diversos beneficios, manteniendo un valor de cantidad lumínica elevado con una buena elección en los diversos factores.

El alcance de este propósito supondría un importante éxito para las maltrechas arcas de los municipios y de las instituciones encargadas del alumbrado exterior, sin perder de vista las ventajas para el cielo nocturno o la calidad de vida de los usuarios.





Conclusiones

La metodología descrita a lo largo del proyecto, se muestra efectiva si se quiere seguir mejorando en el ámbito de la iluminación de alumbrado exterior. Al obtener una visión más amplia de todo lo que conlleva y afecta el alumbrado.

La herramienta informática, a través de la comparación entre variantes de una misma calle proporciona una ayuda al proyectista a la hora de escoger la mejor opción para el proyecto luminotécnico.

Se encuentran unos vacíos sobre los costes, donde no se ha podido realizar ninguna aproximación ni valoración por motivos como, el tiempo extra que dedicaría un proyectista al utilizar la metodología descrita, o los distintos costes en implantación de los distintos tipos de tecnologías o del ahorro energético que supondría utilizar una u otra de estas tecnologías, entre otros.

También cabe destacar que, con la metodología descrita, realizar cambios estructurales en ella no supone un gran esfuerzo y es apta a ser mejorada, a partir de nuevos estudios o nuevas consideraciones descritas en el siguiente apartado de propuestas de futuro.

Por último, se recomienda la aplicación del sistema de valoración por los beneficios, tanto a corto plazo, como calidad de vida por una iluminación más adecuada, como a largo plazo por los ahorros energéticos y un menor impacto medioambiental que supondría.





Propuestas de futuro

Vistos los resultados obtenidos en el estudio, sería interesante en futuros estudios:

- Investigar acerca el deslumbramiento molesto, para definir un indicador objetivo que sea de manejo fácil o intuitivo, para luego incluirlo en las valoraciones pertinentes.
- Ampliar o realizar un sistema de valoración similar para incluir plazas, paseos de parques y otros tipos de vías que han quedado fuera del alcance de este.
- Incluir en el método nuevas variables, en su lugar pertinente, que surjan con los nuevos estudios y sean de relevancia, con el fin de mejorar el método a medida que se avance tecnológicamente.

Estos estudios o mejoras están enfocados a profundizar en las opciones de mejora del sistema de alumbrado exterior, en los diversos ámbitos analizados.





Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] IBÁÑEZ ABAIGAR, F. Presidente Comité Español de Iluminación. *El Alumbrado Público hoy (Artículo de interés)*. Madrid 2009.
- [2] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Plan de acción de ahorro y eficiencia energética 2011-2020*. Madrid 2011.
- [3] ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. *Estudio sobre el Mercado de la Eficiencia Energética en España*. Madrid ¿?
- [4] REAL DECRETO 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07*. BOE núm. 279 de 19/11/2008.
- [5] OSRAM.
http://www.osram.es/osram_es/Servicios_y_Herramientas/Entrenamiento_%26_Conocimiento/lichtlexikon_popups/pop_1_Absorption488516.jsp . Web 24/01/2013.
- [6] AXOLED. http://axoled.com/inducccion_visionhumana.html . Web 25/01/2013.
- [7] PHILIPS. <http://www.ecat.lighting.philips.es//lamparas-profesionales/24034/cat/> . Web 02/03/2013.
- [8] DISEÑO CON LUZ. <http://disenoconluz.wordpress.com/category/luz-definiciones/> . Web 05/03/2013.
- [9] EDISON UPC. <http://edison.upc.edu/curs/llum/iluminacion-exteriores/vias-publicas.html> . Web 10/03/2013.
- [10] INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. *Gestió energètica de l'enllumenat públic*. Barcelona 1999.
- [11] FENERCOM. <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-gestion-energetica-en-el-alumbrado-publico-fenercom.pdf> . Web 15/03/2013.



- [12] INSTITUTO ASTROFÍSICO DE CANARIAS. *Lista de luminarias certificadas por I.A.C. Lista de proyectores*. Revisión marzo 2013.
- [13] W.J.W. VAN BOMMEL, J.B. DE BOER. Philips Technical Library. *Road lighting* (1980).
- [14] CIE 115:2010. *Alumbrado de Carreteras para tráfico de vehículos y peatones*. Viena, 2010. Oficina Central de la CIE.
- [15] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior*. Madrid, junio 2011.
- [16] RELUX. <http://www.relux.biz> . Web 13/09/2012.



Índice de referencia de los archivos anexos

(En soporte informático)

A: Simulaciones de las calles.

Se encuentran los 24 simulaciones, cada una de ellas con el formato de archivo del programa RELUX (.rdf).

B: Resultados lumínicos.

Se encuentran los 24 resultados lumínicos obtenidos de las simulaciones, en formato PDF.

C: Valoraciones.

Se encuentran 2 tipos de archivos, el primero es una hoja de calculo para la valoración individual de una calle, el segundo es una hoja de calculo para la valoración de una calle con 4 posibles variantes. Un total de 8 archivos en formato XLS, 6 valoraciones de calles y el archivo individual en blanco y otro con las 4 variantes para realizar nuevos cálculos.

