



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

INGENIERÍA ELÉCTRICA

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

***PLAN DE MEJORA DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN LA RED DE
ALUMBRADO EXTERIOR***

Autor: NOELIA GARCÍA GUTIÉRREZ

Tutor: OSCAR DUQUE PÉREZ

Valladolid. Diciembre, 2017

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 8 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| 1. MEMORIA TÉCNICA..... | 9 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 12 |
| 1.3 EMPLAZAMIENTO | 13 |
| 1.4 ALCANCE DEL PROYECTO | 15 |
| 1.5 LUMINOTECNIA | 15 |
| 1.5.1 PARAMETROS DE MEDIDA | 15 |
| 1.5.2 FOTOMETRIA | 19 |
| 1.5.2.1 DIAGRAMA POLAR | 19 |
| 1.5.2.2 CURVAS ISOLUX | 21 |
| 1.6 NORMATIVA APLICABLE..... | 22 |
| 1.7 SITUACION ACTUAL | 24 |
| 1.7.1 LÁMPARAS VAPOR DE SODIO ALTA PRESION..... | 24 |
| 1.7.2 INVENTARIO DE LUMINARIAS..... | 27 |
| 1.7.3 SISTEMA DE REGULACION..... | 31 |
| 1.8 SOLUCIÓN ADOPTADA..... | 34 |
| 1.8.1 TECNOLOGÍA LED | 34 |
| 1.8.1.1 DEFINICIONES | 34 |
| 1.8.1.2 VENTAJAS Y PRESTACIONES DEL LED | 36 |
| 1.8.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LUMINARIAS..... | 39 |
| 1.8.2.1 CLASIFICACION DE LAS VÍAS Y SELECCIÓN DE CLASE DE ALUMBRADO | 39 |
| 1.8.2.2 ASPECTOS A TENER EN CUENTA | 42 |
| 1.8.2.3 NIVELES DE ILUMINACION..... | 46 |
| 1.8.3 JUSTIFICACION DE LA SOLUCION ADOPTADA | 48 |
| 1.8.3.1 ZONA URBANIZACIONES..... | 48 |
| 1.8.3.2 VIAL DE ENTRADA | 53 |
| 1.8.4 INVENTARIO LUMINARIAS PROPUESTAS | 57 |
| 1.8.5 HERRAMIENTA DE GESTIÓN | 58 |
| 1.8.5.1 STARSENSE Y CITYTOUCH | 58 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.8.5.2 | FUNCIONAMIENTO | 60 |
| 1.8.6 | INSTALACIÓN ELÉCTRICA..... | 65 |
| 2. | PLIEGO DE CONDICIONES | 67 |
| 2.1 | OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN | 68 |
| 2.2 | EJECUCION DE LOS TRABAJOS..... | 68 |
| 2.2.1 | MATERIALES | 68 |
| 2.2.1.1 | INFRAESTRUCTURAS | 68 |
| 2.2.1.2 | CONDUCTORES | 68 |
| 2.2.1.3 | LUMINARIAS | 69 |
| 2.2.1.4 | PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS | 70 |
| 2.2.1.5 | CAJAS DE EMPALME Y DERIVACION..... | 70 |
| 2.2.1.6 | SOPORTES | 70 |
| 2.2.1.7 | CUADROS DE MANDO Y PROTECCION | 71 |
| 2.2.2 | EJECUCIÓN..... | 72 |
| 2.2.2.1 | REPLANTEO..... | 72 |
| 2.2.2.2 | TOMAS A TIERRA..... | 72 |
| 2.2.2.3 | EMPALMES Y DERIVACIONES..... | 73 |
| 2.2.2.4 | FIJACIÓN Y REGULACION DE LAS LUMINARIAS..... | 73 |
| 2.2.2.5 | CUADRO DE MANIOBRA Y CONTROL | 74 |
| 2.2.2.6 | MEDIDAS DE ILUMINACION..... | 74 |
| 2.2.2.7 | SEGURIDAD..... | 74 |
| 3. | ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD | 75 |
| 3.1 | ANTECEDENTES | 76 |
| 3.2 | OBJETO DE ESTUDIO | 76 |
| 3.3 | DATOS DE LA OBRA Y SU ENTORNO | 76 |
| 3.4 | PECULIARIDADES DE LA OBRA..... | 77 |
| 3.5 | RIESGOS DE LOS TRABAJOS..... | 77 |
| 3.6 | PROTECCIONES INDIVIDUALES..... | 79 |
| 3.7 | PROTECCIONES COLECTIVAS..... | 79 |
| 3.8 | CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS | 80 |
| 3.8.1 | TRABAJO EN INSTALACIONES DE B.T. “SIN TENSION” | 80 |
| 3.8.2 | TRABAJO EN INSTALACIONES DE B.T. “CON TENSION” | 80 |
| 3.9 | FORMACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD..... | 81 |
| 3.10 | PREVENCION DE DAÑOS A TERCEROS | 81 |

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| 3.11 | RESPONSABLES DE SEGURIDAD..... | 81 |
| 4. | RESULTADOS..... | 83 |
| 4.1 | EFICIENCIA ENERGÉTICA..... | 84 |
| 4.2 | VIABILIDAD ECONOMICA..... | 91 |
| 4.2.1 | VAN..... | 91 |
| 4.2.2 | TIR..... | 93 |
| 5. | CONCLUSIONES..... | 94 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 96 |
| | ANEXO I: PLANOS..... | 98 |
| | ANEXO II: PRESUPUESTO..... | 98 |
| | ANEXO III: CALCULOS..... | 98 |
| | ANEXO IV: ESTUDIO DIALUX..... | 98 |
| | ANEXO V: FICHAS TECNICAS..... | 98 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Figura 1. Aérea Cabezón de Pisuegra. Fuente [1].....</i> | <i>13</i> |
| <i>Figura 2. Situación objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia</i> | <i>14</i> |
| <i>Figura 3. Fuente de luz cercana y fuente de luz alejada. Fuente [5]</i> | <i>16</i> |
| <i>Figura 4. Ángulo sólido. Fuente [5]</i> | <i>16</i> |
| <i>Figura 5: Luminancia. Fuente [5]</i> | <i>17</i> |
| <i>Figura 6. Rendimiento luminoso. Fuente [5]</i> | <i>18</i> |
| <i>Figura 7. Temperatura de color. Fuente [24]</i> | <i>19</i> |
| <i>Figura 8. Diagrama polar. Fuente [5].....</i> | <i>20</i> |
| <i>Figura 9 . Curva polar. Fuente [6]</i> | <i>20</i> |
| <i>Figura 10. Curvas Isolux. Fuente: [18].....</i> | <i>21</i> |
| <i>Figura 11. Espectro de emisión de una lámpara VSAP. Fuente: PHILIPS</i> | <i>24</i> |
| <i>Figura 12. Casquillos para lámparas VSAP. Fuente: [22].....</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 13. Lámpara vapor de sodio a alta presión. Fuente [6]</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 14. Equipo auxiliar de lámparas de vapor de sodio a alta presión. Fuente [22] .</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 15. Luminarias DECORATIVA JARDIN. Fuente: Elaboración propia</i> | <i>29</i> |
| <i>Figura 16. Disposición de luminarias en la vía pública. Fuente [5].....</i> | <i>30</i> |
| <i>Figura 17. Luminaria FAROLA VIAL. Fuente: Elaboración propia</i> | <i>30</i> |
| <i>Figura 18. Variación de tensión en las lámparas de vapor de sodio a alta presión. Fuente [22]</i> | <i>31</i> |
| <i>Figura 19. Influencia de la tensión en el consumo y la vida de una lámpara VSAP. Fuente [8]</i> | <i>31</i> |
| <i>Figura 20. Estabilizador-reductor de flujo ESDONI. Fuente [11]</i> | <i>32</i> |
| <i>Figura 21. Curva régimen de arranque, nominal y reducido del equipo ESDONI. Fuente [11]</i> | <i>33</i> |
| <i>Figura 22. Componentes de un LED. Fuente: Renowatio Lux.</i> | <i>34</i> |
| <i>Figura 23. Luminaria alumbrado exterior modificada, RETROFIT. Fuente [8]</i> | <i>35</i> |
| <i>Figura 24. Disminución del flujo luminoso en función del tiempo. Fuente [8]</i> | <i>37</i> |
| <i>Figura 25. LED vs Sodio. Fuente: Nerguiza</i> | <i>37</i> |
| <i>Figura 26. Comparativa del coeficiente de utilización VSAP y LED. Fuente [8].....</i> | <i>38</i> |
| <i>Figura 27. Luminaria CitySpirit Street. Fuente [23]</i> | <i>48</i> |
| <i>Figura 28. Curva polar PHILIPS BDS480 T15 1xGRN29-3S/740 DRW. Fuente [18].....</i> | <i>49</i> |
| <i>Figura 29. Simulación C/ Juan de Vivero Vizconde de Altamira. Fuente: Elaboración propia.</i> | <i>51</i> |
| <i>Figura 30 . Situación actual C/ Juan de Vivero Vizconde de Altamira. Fuente: Elaboración propia.</i> | <i>51</i> |
| <i>Figura 31. Luminaria Luma. Fuente [23].....</i> | <i>53</i> |
| <i>Figura 32. Curva polar PHILIPS BGP623 1xEco117/740 OFR4. Fuente [18]</i> | <i>54</i> |
| <i>Figura 33 . Simulación Av. José Zorrilla. Fuente: Elaboración propia.</i> | <i>55</i> |

| | |
|---|----|
| <i>Figura 34. Logo CityTouch. Fuente [10]</i> | 59 |
| <i>Figura 35. Variantes del sistema de control StarSense. Fuente [9]</i> | 60 |
| <i>Figura 36. Visualización CityTouch. Fuente [10]</i> | 62 |
| <i>Figura 37. Kit Controlador de segmento. Fuente [9]</i> | 63 |
| <i>Figura 38. Características técnicas del SC StarSense Wireless. Fuente [12]</i> | 63 |
| <i>Figura 39. Controlador de luminaria de exterior. Fuente [9]</i> | 64 |
| <i>Figura 40. Características técnicas del OLC StarSense Wireless. Fuente [12]</i> | 64 |
| <i>Figura 41. Cuadro eléctrico de alumbrado de Cabezón de Pisuegra. Fuente: Elaboración propia.</i> | 65 |
| <i>Figura 42. Sistema de fijación de la luminaria a la columna. Fuente [23]</i> | 73 |
| <i>Figura 43. Instalación luminaria. Fuente [23]</i> | 74 |
| <i>Figura 44. Un nivel de escalonamiento del flujo lumínico. Fuente [13]</i> | 85 |
| <i>Figura 45. Dos niveles de escalonamiento del flujo lumínico. Fuente [13]</i> | 85 |
| <i>Figura 46 . Calificación eficiencia energética. Fuente [8]</i> | 87 |
| <i>Figura 47. Iluminancia en Gama de grises C/Juan de Vivero Vizconde de Altamira. Fuente: Elaboración propia</i> | 89 |
| <i>Figura 48 . Calificación energética C/Juan vivero Ruiz Conde de Altamira. Fuente: Elaboración propia.</i> | 89 |
| <i>Figura 49. Iluminancia en Gama de grises Av. José Zorrilla. Fuente: Elaboración propia</i> | 90 |
| <i>Figura 50. Calificación energética Av. José Zorrilla. Fuente: Elaboración propia.</i> | 90 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| <i>Tabla 1. Inventario de luminarias actuales correspondientes al cuadro 10. Fuente: Elaboración propia</i> | 28 |
| <i>Tabla 2. Inventario de luminarias actuales correspondientes al cuadro 11. Fuente: Elaboración propia</i> | 29 |
| <i>Tabla 3. Comparativa entre VSAP y LED. Fuente: Elaboración propia</i> | 39 |
| <i>Tabla 4. Clasificación de las vías. Fuente [15]</i> | 40 |
| <i>Tabla 5. Clases de alumbrado para vías tipo A. Fuente [15]</i> | 41 |
| <i>Tabla 6. Clases de alumbrado para vías tipo B. Fuente [15]</i> | 42 |
| <i>Tabla 7. Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E. Fuente [15]</i> | 42 |
| <i>Tabla 8. Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipo A y B. Fuente [15]</i> | 46 |
| <i>Tabla 9. Inventario de luminarias propuestas correspondientes al cuadro 10. Fuente: Elaboración propia</i> | 57 |
| <i>Tabla 10. Inventario de luminarias propuestas correspondientes al cuadro 11. Fuente: Elaboración propia</i> | 58 |
| <i>Tabla 11. Comparación de consumos eléctricos entre las luminarias VPSAP y LED. Fuente: Elaboración propia</i> | 84 |
| <i>Tabla 12. Consumo teniendo en cuenta los sistemas de gestión. Fuente: Elaboración propia</i> | 86 |
| <i>Tabla 13. Comparación de consumos anuales traducido a toneladas de CO₂. Fuente: elaboración propia</i> | 86 |
| <i>Tabla 14 . Eficiencia energética de referencia en función del nivel de iluminancia media. Fuente [17]</i> | 88 |
| <i>Tabla 15. Calificación energética de instalaciones de alumbrado. Fuente [17]</i> | 88 |
| <i>Tabla 16. Comparación de gasto eléctrico anual. Fuente: Elaboración propia</i> | 91 |
| <i>Tabla 17. Desglose del VAN anual. Fuente: elaboración propia</i> | 93 |

RESUMEN

El presente proyecto propone una reforma del sistema de alumbrado público en una urbanización del municipio de Cabezón de Pisuerga, así como en la carretera de entrada al mismo. Consiste en la sustitución de las luminarias actuales de descarga de vapor de sodio de alta presión por luminarias LED, de este modo conseguiremos un gran ahorro energético y una mayor eficiencia, manteniendo una situación de confort con menor contaminación lumínica y una iluminación de calidad.

Se propone renovar las luminarias existentes manteniendo la ubicación de los puntos de luz actuales, la ubicación de los cuadros de mando y la instalación eléctrica en sí. Toda modificación se hará de acuerdo a la normativa vigente.

Para una completa mejora del sistema de alumbrado del municipio se propone hacer uso de una herramienta de telegestión que nos simplifique la labor de mantenimiento y nos permita sacar el máximo partido a nuestras luminarias. Se trata del software CityTouch acompañado de un controlador y receptores incluidos en las propias luminarias capaces de regular y captar información útil del sistema.

ABSTRACT

The present project proposes a reform of the public lighting system in an urbanization of the municipality of Cabezón de Pisuerga, as well as on the entrance road to it. It consists in replacing the current high pressure sodium vapor discharge luminaires with LED luminaires, in this way we will achieve a great energy saving and greater efficiency, maintaining a comfort situation with less light pollution and quality lighting.

It is proposed to renovate the existing luminaires, maintaining the location of the current light points, the location of the control panels and the electrical installation itself. Any modification will be made in accordance with current regulations.

For a complete improvement of the lighting system of the municipality, it is proposed to use a telemanagement tool that simplifies the maintenance work and allows us to get the most out of our luminaires. This is the CityTouch software accompanied by a controller and receivers included in the luminaires themselves capable of regulating and capturing useful system information.

1. MEMORIA TÉCNICA

1.1 INTRODUCCIÓN

La redacción de este proyecto se fundamenta en la Directiva de la Unión Europea 2012/27/UE, la cual dice que es fundamental llevar a cabo un plan de eficiencia energética para moderar la escasez de recursos energéticos, podernos desvincular de la dependencia de las importaciones de energía y no seguir induciendo un cambio climático tan rápidamente como hasta ahora. Esto se conseguirá si consumimos energía de forma inteligente, y para ello es necesario seguir innovando y aportando soluciones tecnológicas que nos permitan consumir menos energía sin renunciar a nuestro bienestar.

El propósito del Consejo Europeo es reducir un 20% el consumo de energía para el 2020, en comparación con los valores previstos.

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el alumbrado representa el 14% del consumo eléctrico de la Unión Europea y el 19% del consumo eléctrico mundial. Desde el punto de vista energético, el alumbrado es uno de los consumos con mayor potencial de ahorro para los ayuntamientos, por ello, una sencilla forma de contribuir a este cambio consiste en hacer uso de la tecnología LED.

La situación económica obliga a que los responsables de su administración tengan que buscar todas las formas posibles de ahorrar. Mientras tanto, el establecimiento de nuevas normativas, el valor de la opinión pública y la mayor concienciación sobre la importancia de adoptar unas prácticas respetuosas con el medio ambiente implican que las organizaciones tengan que buscar nuevas formas de reducir al mínimo su impacto en el planeta. Así pues, las localidades deberán encontrar la manera de aumentar su seguridad, limpieza, iluminación y dinamismo, creando espacios atractivos para sus habitantes.

La iluminación urbana resulta esencial para orientarse y, sobre todo, para tener una sensación de seguridad. También se incluye en las cuestiones económicas y puede influir considerablemente en el atractivo de una ciudad, lo que a su vez afecta al turismo, pero principalmente donde se obtienen ahorros económicos directos es en el bajo consumo de la iluminación LED.

El alumbrado público debe diferenciar las zonas más concurridas, con una iluminación adecuada al volumen de vehículos y tránsito de personas, mientras mantiene una iluminación de menor intensidad en otras áreas residenciales más tranquilas. También debe ofrecer la flexibilidad y el dinamismo necesario para formar parte de la identidad de una ciudad, destacando el carácter y la diversidad de sus espacios.

Finalmente, el alumbrado público es uno de los asuntos en los que se centra el debate sobre el problema medioambiental, con nuevas respuestas a cuestiones tales

como la sostenibilidad, la contaminación lumínica y la protección de la naturaleza. Una mejora de la red de alumbrado hace que la ciudad evolucione de forma positiva.

1.2 OBJETIVOS

A través de este estudio se pretende resolver un problema en la red de alumbrado público, de manera que la nueva instalación, cumpliendo con la normativa vigente, mejore la situación actual consumiendo menos energía y aportando una iluminación de calidad a los usuarios de las vías públicas.

Tras la implantación del nuevo sistema también se pretende optimizar al máximo la labor de mantenimiento de la red de alumbrado, así como conocer con detalle y de forma remota el estado de la misma.

En resumen, el principal objetivo es hacer uso de los avances tecnológicos que tenemos disponibles hoy en día para poder frenar nuestro impacto nocivo en la naturaleza y regirnos por la eficiencia en todos sus aspectos, invertir menos recursos para conseguir mejores resultados.

En el proyecto quedarán reflejadas las actuaciones a realizar así como la pertinente justificación de dichos cambios.

1.3 EMPLAZAMIENTO

Cabezón de Pisuerga es un municipio de la provincia de Valladolid, situado en dirección noreste a 12 km de la capital. Se accede por la carretera comarcal VA-113 o por la Autovía de Castilla A-62.



Figura 1. Aérea Cabezón de Pisuerga. Fuente [1]

Está localizado en un paraje dominado por el cerro de Altamira y dividido en dos por el río Pisuerga. Se caracteriza por su patrimonio artístico y natural en el que podemos destacar la riberá del río, las innumerables bodegas subterráneas, el canal de Castilla y principalmente el puente romano. Este puente es el nexo de unión entre las dos partes del pueblo, permitiendo también el paso del tráfico.

Concretamente el proyecto se centra en el sector suroeste del municipio, englobando una urbanización completa y el acceso de la carretera comarcal VA-113.

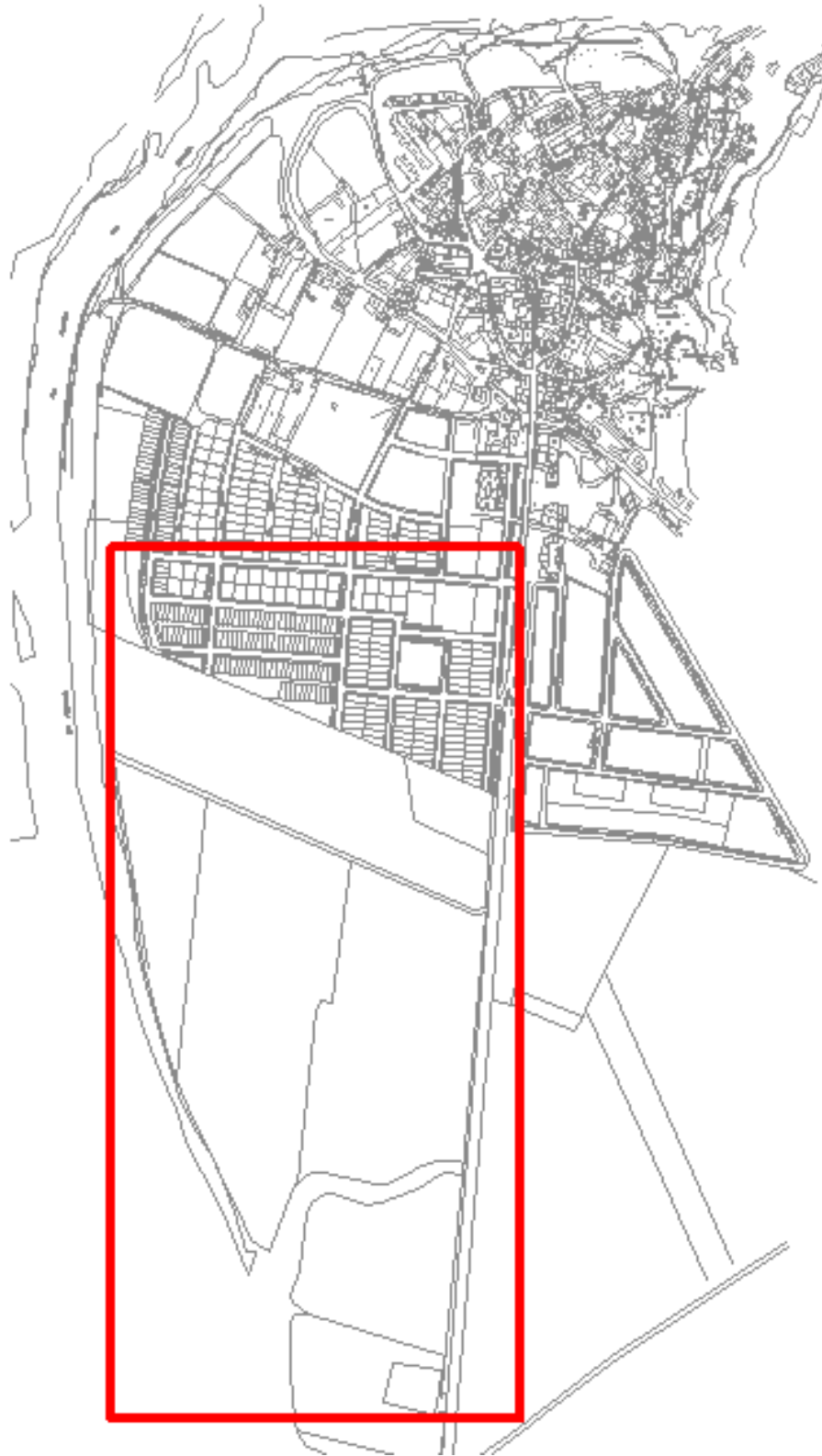


Figura 2. Situación objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

Se contempla un estudio luminotécnico de alumbrado público de los viales pertenecientes a una urbanización y a la entrada por la VA-113 del término de Cabezón de Pisuerga. Se abarcan dos cuadros de mando que controlan un total de ciento cuarenta y cuatro puntos de luz.

1.5 LUMINOTECNIA

La luminotecnia es la ciencia que estudia todo lo relacionado con la luz, ya sea su procedencia, su aplicación y todos los parámetros que la definen.

La luz se transmite por haces de fotones electromagnéticos con longitudes de onda diferentes. El ojo humano no es capaz de percibir toda la luz emitida, sino que solo puede captar una pequeña franja de longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780 nm, quedando las radiaciones ultravioleta e infrarrojas excluidas del espectro visible. Dentro de esta franja podemos observar distintas radiaciones que nos producen impresiones diferentes, estas impresiones se traducen en nuestro cerebro en forma de colores.

1.5.1 PARAMETROS DE MEDIDA

Vamos a describir los parámetros más importantes de iluminación que determinan la percepción de la luz en el espacio:

- **Flujo luminoso**

El flujo luminoso es la relación entre la cantidad de luz por unidad de tiempo, su unidad de medida es el Lumen (lm). Podemos decir que es la potencia consumida por la fuente de luz que llega a convertirse en luz visible para el ojo humano, en resumidas cuentas la potencia luminosa que emite en todas las direcciones.

$$\phi = \frac{Q}{t} \text{ (lumen)}$$

- **Iluminancia**

La iluminancia es el flujo luminoso que recibe una superficie concreta, su unidad de medida es el Lux (lx). Por ejemplo si tenemos dos fuentes de luz apuntando a una pared, una más alejada que la otra, la que se encuentra a mayor distancia alumbrará

una superficie mayor que la que está más cerca, pero como el flujo es el mismo, la relación entre ese flujo y la superficie alumbrada será menor.

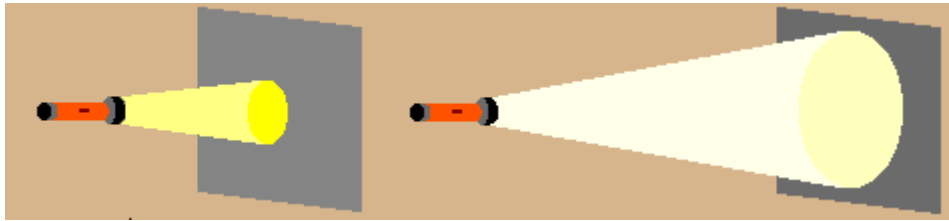


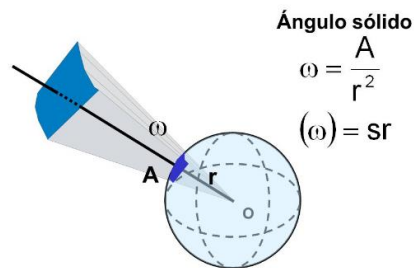
Figura 3. Fuente de luz cercana y fuente de luz alejada. Fuente [5]

$$E = \frac{\phi}{S} \text{ (lux) ó (lumen/m}^2\text{)}$$

- **Intensidad luminosa**

La intensidad luminosa hace referencia a la distribución del flujo en cada dirección del espacio, en concreto se podría definir como el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Para entender este concepto cabe describir primero que es el ángulo sólido.

El ángulo sólido (Ω) es una magnitud adimensional cuya unidad de medida es el estereorradián (sr). Imaginemos una esfera de radio conocido y un objeto cualquiera separado a una distancia determinada de ella. Del centro de esa esfera realizamos una proyección hasta el objeto, de forma que en la parte externa de la esfera se cree una superficie dada en forma de casquete esférico. El ángulo sólido será la relación entre la superficie creada a partir de la proyección y el radio de la esfera al cuadrado.



Ángulo sólido

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

$$(\Omega) = \text{sr}$$

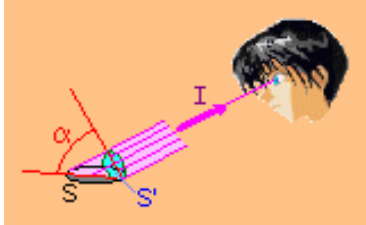
Figura 4. Ángulo sólido. Fuente [5]

La unidad de medida de la intensidad luminosa es la candela (cd)

$$I = \frac{\phi}{\Omega} \text{ (candela)}$$

- **Luminancia**

A diferencia del resto de magnitudes que nos informan sobre las propiedades de las fuentes de luz (flujo o intensidad) o sobre la luz que llega a una superficie (Iluminancia), la luminancia se encarga de contabilizar la luz que llega a nuestros ojos. Se define como la relación entre la intensidad luminosa reflejada y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada.



$$L = \frac{I}{S_{aparente}} = \frac{I}{S * \cos\alpha} \left(\frac{cd}{m^2} \right)$$

Figura 5: Luminancia. Fuente [5]

- **Luminancia de velo**

Es la luminancia uniforme equivalente resultante de la luz que incide sobre el ojo de un observador y que produce el velado de la imagen en la retina, disminuyendo de este modo la facultad que posee el ojo para apreciar los contrastes. Su símbolo es (L_v) y se expresa en cd/m^2 . La luminancia de velo se debe a la incidencia de la luz emitida por una luminaria sobre el ojo de un observador en el plano perpendicular a la línea de visión, dependiendo así mismo del ángulo comprendido entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, así como del estado fisiológico del ojo del observador.

$$L_v = K \frac{E_g}{\theta^2}$$

Donde:

K = Constante que depende fundamentalmente de la edad del observador y, aunque es variable, se adopta como valor medio 10 si los ángulos se expresan en grados, y 3×10^{-3} si se expresan en radianes.

E_g = iluminancia en lux sobre la pupila, en un plano perpendicular a la dirección visual y tangente al ojo del observador.

θ = Ángulo entre el centro de la fuente deslumbrante y la línea de visión, es decir, ángulo formado por la dirección visual del observador.

- **Rendimiento luminoso**

No toda la energía consumida por una fuente de luz es transformada en luz visible, ya que existen pérdidas en forma de energía calorífica y también se emiten radiaciones invisibles como la infrarroja y la ultravioleta. Por ello resulta interesante conocer el rendimiento luminoso que será la relación entre el flujo emitido y la potencia eléctrica consumida

$$\eta = \frac{\phi}{W} \quad (lm/W)$$



Figura 6. Rendimiento luminoso. Fuente [5]

- **Factor de utilización**

Es la relación existente entre el flujo procedente de una luminaria que incide en la superficie a iluminar y el flujo por la fuente de luz instalada en la luminaria. También se puede definir como la relación entre la iluminancia de la superficie iluminada y el flujo luminoso instalado por metro cuadrado como fuente de luz.

$$F_u = \frac{E}{\phi/S} \quad \text{en \%}$$

Este factor evalúa las prestaciones intrínsecas de las luminarias y su aptitud para optimizarlas, teniendo en cuenta las características del espacio a iluminar. Es función del tipo de fuente de luz (de descarga, LED...), de la distribución luminosa y rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación.

- **Temperatura de color**

Es el parámetro que caracteriza la tonalidad de la luz emitida. El color de la fuente de luz será similar al color que presenta un cuerpo negro al calentarse a una determinada temperatura.



Figura 7. Temperatura de color. Fuente [24]

Así podemos clasificar las distintas tonalidades:

- Cálida < 3500 K
- Neutra: 3500 – 5000 K
- Fría > 5000K

- **Índice de reproducción cromática**

Es la capacidad que tiene una fuente luminosa de reproducir fielmente los colores de un objeto en comparación con una fuente de luz natural. Este índice varía de la siguiente forma:

- IRC Excelente: $90 < IRC < 100$
- IRC Bueno: $80 < IRC < 90$
- IRC Pobre: $IRC < 80$

1.5.2 FOTOMETRIA

El estudio de la fotometría es una herramienta más de cálculo para elegir la luminaria que más se adecua a nuestras necesidades. A través de gráficos y tablas nos haremos una idea del comportamiento de la luz en cada luminaria.

Distinguimos distintos diagramas o gráficos:

1.5.2.1 DIAGRAMA POLAR

El diagrama polar está formado por tres coordenadas en las que se representa la forma del haz de luz que emite una luminaria. Tal y como se indica en la Imagen

podemos distinguir esas tres constantes, de las cuales la I hace referencia a la intensidad luminosa en forma de vector y expresado en candelas y las otras dos a la dirección en la que se propaga la luz. El ángulo C indica la apertura del plano vertical mientras que el y la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria.

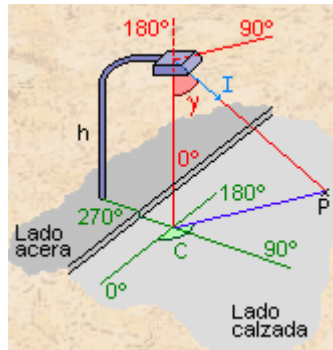


Figura 8. Diagrama polar. Fuente [5]

A través de este diagrama se puede generar una curva bidimensional en la que quede definida la distribución luminosa. En la curva polar de la imagen se aprecia una semicircunferencia en la que sus radios representan el ángulo “ y ”, y las semicircunferencias concéntricas el valor de la intensidad medida en candelas. Las curvas dibujadas hacen referencia a los planos verticales donde $C=0^\circ$ y $C=90^\circ$. De esta forma podemos saber en qué puntos del espectro la intensidad es mayor.

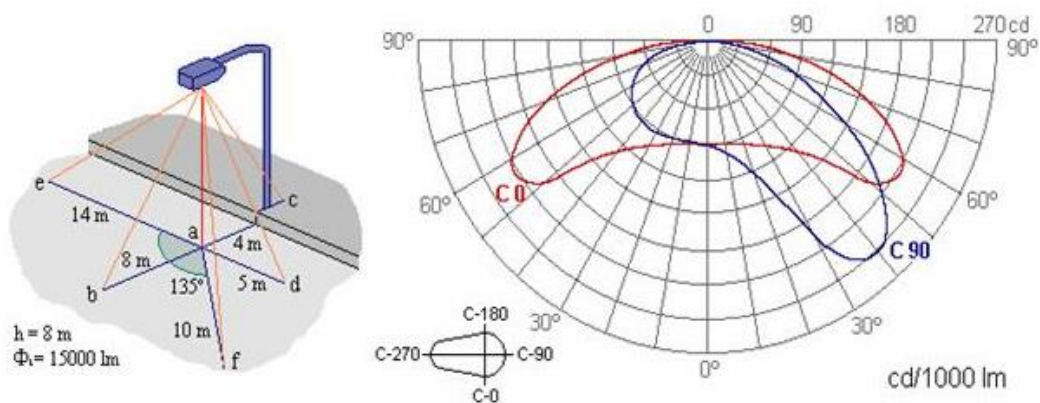


Figura 9. Curva polar. Fuente [6]

$C=0^\circ$ es el plano paralelo a la dirección de la calzada.

$C=90^\circ$ es el plano perpendicular a la dirección de la calzada.

Para evitar tener que hacer un gráfico para cada lámpara cuando solamente varía la potencia, estos gráficos se normalizan para una lámpara de referencia con un flujo luminoso dado por el fabricante.

1.5.2.2 CURVAS ISOLUX

Las curvas Isolux representan aquellos puntos de la superficie iluminada cuya iluminancia, E , tiene el mismo valor.

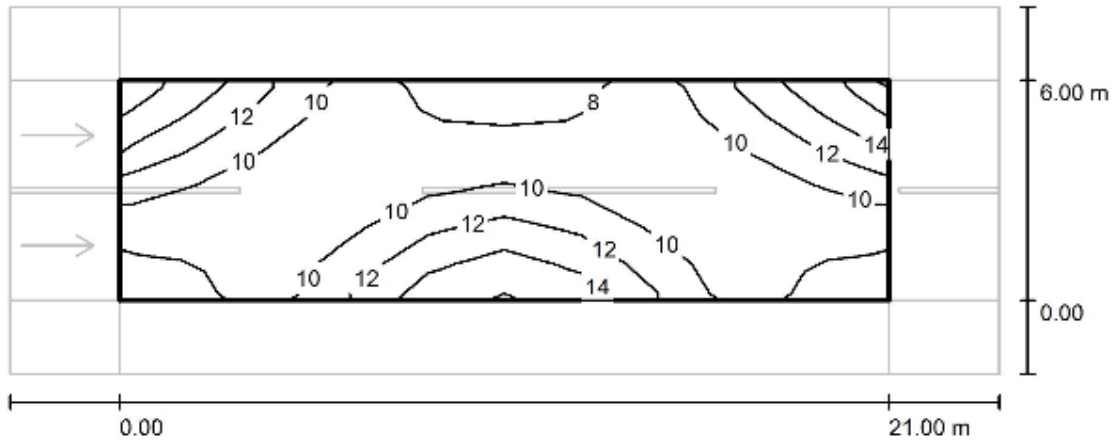


Figura 10. Curvas Isolux. Fuente: [18]

Estas curvas se estudian como norma general, para un flujo nominal de 1000 lúmenes, una altura de implantación de la luminaria de 1 metro y en su posición normal de ensayo y operación. De esta manera la representación se realiza en una cuadrícula en función de la altura de montaje.

1.6 NORMATIVA APLICABLE

El estudio del cambio de tecnología para el alumbrado público del municipio se ha hecho en base a la siguiente normativa:

Normativa general

- 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.
- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética.
- RBT-2002: Reglamento electrotécnico de baja tensión e instrucciones técnicas complementarias.
- UNE 20-460-94 Parte 5-523: Intensidades admisibles en los cables y conductores aislados.
- UNE 20-434-90: Sistema de designación de cables.
- UNE-EN 60947-2: Aparata de baja tensión. Interruptores automáticos.
- UNE-EN 60947-3: Aparata de baja tensión. Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- Ley 54/2003 de prevención de riesgos laborales.

Normativa aplicada a luminarias

- UNE-EN 60598-1 Luminarias. Requisitos generales y ensayos.
- UNE-EN 60598-2-3 Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias de alumbrado público.
- UNE-EN 60598-4-5 Luminarias. Requisitos particulares. Proyector.
- UNE-EN 62493 Evaluación de los equipos de alumbrado en relación a la exposición humana a los campos electromagnéticos.
- UNE-EN 62471:2009 Seguridad fotobiológica de lámparas y aparatos que utilizan lámparas.
- UNE-EN 61000-3-2. Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada 16A por fase).
- UNE-EN 61000-3-3. Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3: Límites. Sección 3: Limitación de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las redes públicas de suministro de baja tensión para equipos con corriente de entrada 16A por fase y no sujetos a una conexión condicional.
- UNE-EN 55015. Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares.
- UNE-EN 61547. Equipos para alumbrado de uso general. Requisitos de inmunidad CEM.

- UNE-EN 62504:2015 Iluminación general. Productos de diodos electroluminiscentes (LED) y equipos relacionados. Términos y definiciones.
- UNE-EN 62031. Módulos LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad.
- UNE-EN 61347-2-13. Dispositivos de control de lámpara. Parte 2-13: Requisitos particulares para dispositivos de control electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para módulos LED.
- IEC 62717:2014. Módulos LED para iluminación general. Requisitos de funcionamiento
- IEC 62722-1:2014. Características de funcionamiento de luminarias. Parte 1: Requisitos generales.
- IEC 62722-2-1:2014. Características de funcionamiento de luminarias. Parte 2: Requisitos particulares para luminarias LED.

1.7 SITUACION ACTUAL

En los últimos años la tecnología más utilizada en cuanto a iluminación de la red viaria ha sido el vapor de sodio a alta presión por sus amplias prestaciones y calidades. Tengamos en cuenta que nuestra zona de estudio, en concreto la parte residencial tiene una antigüedad de 12 años aproximadamente y por ello, las luminarias que nos podemos encontrar son de este tipo.

En cuanto a las luminarias del vial de entrada al pueblo han sido colocadas hace unos 8 años aproximadamente y también se optó por aplicar este tipo de lámparas, aunque de una potencia mayor e instaladas en columnas de diferentes características en cuanto altura e interdistancia.

1.7.1 LÁMPARAS VAPOR DE SODIO ALTA PRESION

Este tipo de lámparas, hasta hace relativamente poco, han sido las fuentes de iluminación más eficientes que había en el mercado, hablando de iluminación exterior, ya que podíamos conseguir gran cantidad de lúmenes por vatio. La causa de ello es que prácticamente toda la luz que generan lo hace en el espectro visible para el ojo humano (ver figura 11), a diferencia de las incandescentes, por ejemplo, que producen haces de luz en todas las frecuencias de onda del espectro y por tanto es energía perdida. [22]

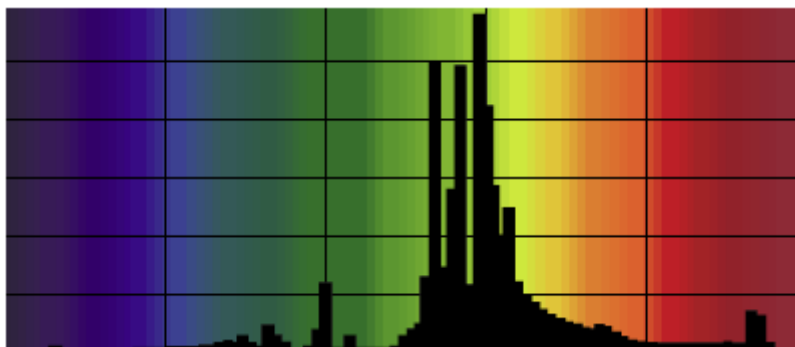


Figura 11. Espectro de emisión de una lámpara VSAP. Fuente: PHILIPS

Características principales:

- Régimen de arranque: 6 minutos
- Posibilidad de regulación: Si. Ver apartado 1.7.3
- Potencia: Desde 50W hasta 10.000W
- Flujo luminoso: Desde 3.500lm hasta 130.000lm
- Espectro de emisión: Discontinuo. Ver figura 11.
- Color de luz: Amarillo
- IRC: 25
- Radiación omnidireccional
- Temperatura de color: 2.300K

- Vida útil: De 10.000h a 15.000h
- Gran compatibilidad con diferentes tipos de portalámparas debido a sus numerosas formas de casquillo. Ver figura 12.

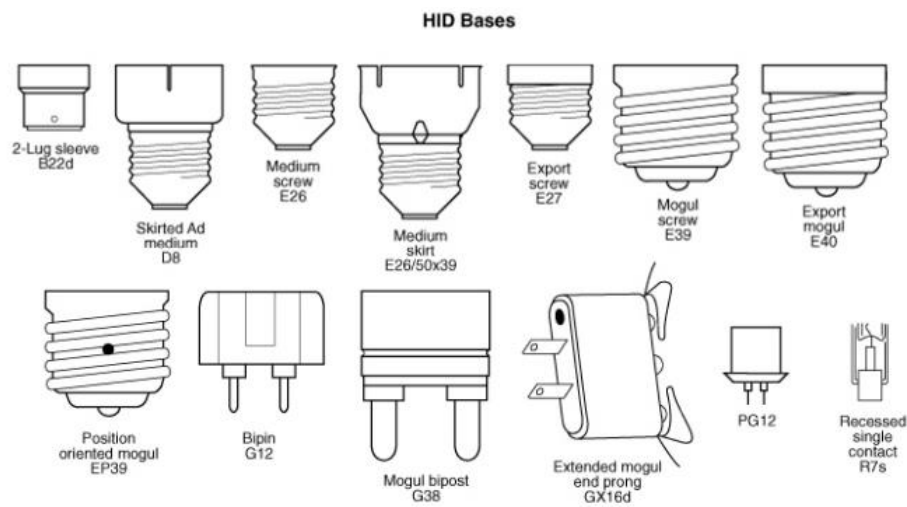


Figura 12. Casquillos para lámparas VSAP. Fuente: [22]

Componentes:

Este tipo de lámparas están compuestas de los siguientes elementos:

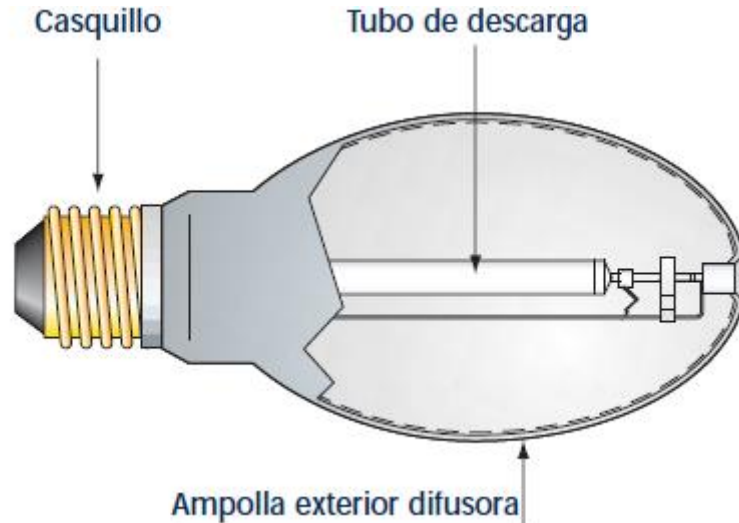


Figura 13. Lámpara vapor de sodio a alta presión. Fuente [6]

- 1) **Tubo de descarga:** Es cilíndrico, translúcido, de material cerámico a base de óxido de aluminio sinterizado y con un pequeño contenido de óxido de magnesio que reduce el tamaño del cristal de aluminio. Está dotado por dos electrodos de una aleación de tungsteno y titanio recubiertos por una sustancia que favorece la emisión de electrones.

El interior del tubo está compuesto principalmente de sodio aunque también tiene una mezcla de gas xenón para facilitar el arranque y vapor de mercurio para proteger los electrodos amortiguando la movilidad de los electrones. La mezcla de estos gases reduce la longitud necesaria del arco y esto hace que la lámpara pueda ser de menor tamaño.

- 2) **Ampolla exterior:** Es una recubierta de vidrio de forma ovalada, aunque también se pueden encontrar de forma tubular. Tienen hecho el vacío en su interior para reducir las pérdidas de calor del tubo y prevenir los ataques químicos.
- 3) **Casquillo:** Pieza de conexión a la luminaria, que normalmente suele ser de rosca Edison, pero también se puede encontrar de tipo Bayoneta. Ver figura 12.

Funcionamiento:

El choque entre los electrones libres y los átomos del gas del tubo de descarga hace que los electrones, al ser excitados, pasen a orbitales de mayor energía. Cuando regresan a su órbita se produce una emisión de fotones obteniéndose de esta forma la radiación de luz.

Equipos auxiliares:

Las lámparas de descarga no son capaces de arrancar por si mismas ya que los gases en estado normal se comportan como dieléctricos, es decir, no conducen electricidad, y es por ello que necesitan una tensión superior a la de funcionamiento para arrancar. Tampoco son capaces de controlar por si mismas la corriente de circulación debido a que representan una impedancia variable con la corriente. Por estos motivos requieren de un equipo auxiliar establezca los parámetros de funcionamiento adecuados para la lámpara.

El equipo auxiliar está formado por un balasto, un arrancador conectado en serie o semiparalelo y un condensador para corregir el factor de potencia. Ver figura 14.

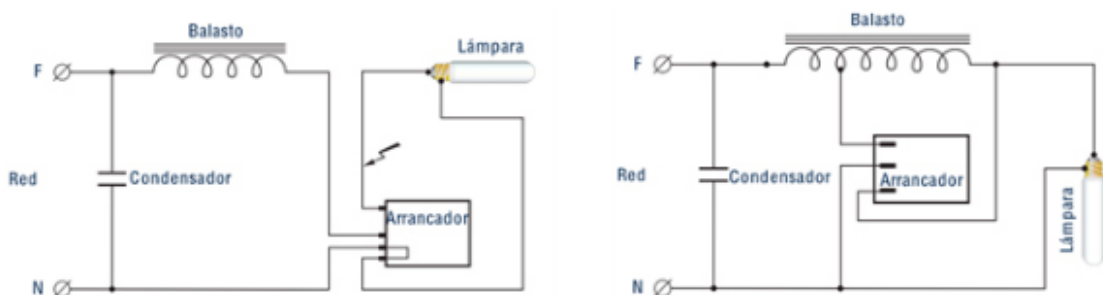


Figura 14. Equipo auxiliar de lámparas de vapor de sodio a alta presión. Fuente [22]

Ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

- Muy eficiente en comparación con otros tipos de lámparas como las incandescentes o halógenas.
- Aunque el encendido requiere de unos minutos de calentamiento, el reencendido, en caso de caída de tensión, es inmediato.
- Gran alcance para iluminar grandes áreas.
- Poseen un Índice de Reproducción Cromático elevado.

Inconvenientes:

- El encendido es una fase crítica en el funcionamiento de estas lámparas tardando unos minutos en estabilizarse y producir el 100% del flujo nominal.
- Necesitan equipo auxiliar, pues no son capaces de arrancar ni controlar la corriente de circulación por sí mismas.
- Gran tamaño.

1.7.2 INVENTARIO DE LUMINARIAS

A continuación se detalla la situación actual de los puntos de luz de la población. Mencionar que los datos han sido cedidos por el Excmo. Ayuntamiento de Cabezón de Pisuerga, y que posteriormente han sido revisados y actualizados.

El control del alumbrado público de todo el municipio se distribuye en diecisiete cuadros de mando repartidos en distintas zonas. Como hemos indicado anteriormente en este estudio vamos a contemplar únicamente dos de los diecisiete cuadros, en concreto el 10 y 11, que es la nomenclatura que tiene asignada el ayuntamiento. El cuadro 10 pertenece a la zona de las urbanizaciones y el 11 engloba el alumbrado del vial de entrada al municipio. Hacemos una clasificación de cada punto luminoso teniendo en cuenta también la ubicación, el tipo y la potencia de la lámpara que porta

| CUADRO DE MANDO 10 | | | | | | |
|---------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|---------------------------------------|
| | UBICACION | LUMINARIA | POTENCIA (W) | BALASTO (W) | UNIDAS | POTENCIA INSTALADA (W) |
| 1 | C/ JUAN DE VIVERO VIZCONDE DE ALTAMIRA | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 24 | 2688 |
| 2 | C/ ALFONSO III | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 12 | 1344 |
| 3 | C/ GREGORIO DE LA CUESTA | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 6 | 672 |
| 4 | C/ CONDE DEL CARPIO | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 28 | 3136 |
| 5 | C/ MAESTRO NICOLAS | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 26 | 2912 |
| 6 | C/ CARLOS FELIPE IV | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 7 | 784 |
| 7 | C/ CARLOS V | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 8 | 896 |
| 8 | C/ ALFONSO VIII | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 10 | 1120 |
| TOTAL | | | | | 121 | 13.552 |

Tabla 1. Inventario de luminarias actuales correspondientes al cuadro 10. Fuente: Elaboración propia

| CUADRO DE MANDO 11 | | | | | | |
|--------------------|------------------|-----------------------------------|--------------|-------------|-----------|------------------------|
| | UBICACION | LUMINARIA | POTENCIA (W) | BALASTO (W) | UNIDAS | POTENCIA INSTALADA (W) |
| 9 | AV JOSE ZORRILLA | FAROLA VIAL | 150 | 18 | 21 | 3528 |
| 10 | AV JOSE ZORRILLA | DECORATIVA JARDIN: Vapor de Sodio | 100 | 12 | 2 | 224 |
| TOTAL | | | | | 23 | 3.752 |

Tabla 2. Inventario de luminarias actuales correspondientes al cuadro 11. Fuente: Elaboración propia

Una vez hecha la clasificación pasemos a ver con más detalle cada tipo de luminaria que se encuentra instalada actualmente:

DECORATIVA JARDIN

Bajo esta nomenclatura podemos encontrar dos tipos de luminarias que únicamente difieren en la parte estética, pues ambas tienen las mismas características de funcionamiento.



Figura 15. Luminarias DECORATIVA JARDIN. Fuente: Elaboración propia

A pesar de no disponer de demasiados datos representativos de estos modelos de luminarias si podemos decir que contienen una lámpara de vapor de sodio de alta presión de 100W de potencia. Las dos están dotadas de un quipo externo de encendida, con un consumo equivalente al 12% de la potencia total de la lámpara. El periodo de vida útil estimado de estas luminarias, para una depreciación del flujo lumínico inferior al 70%, corresponde a 15.000h de funcionamiento. [1]

Las columnas que soportan estas luminarias tienen una altura de 5m y un diametro exterior de 60mm. La disposicion en la zona residencial es principalmente a tresbolillo, aunque tambien hay calles en las que están colocadas de forma unilateral. Ver figura 16. Se suele optar por la distribucion unilateral cuando la anchura de la calle es menor o igual a la altura de montaje de las luminarias. [5]

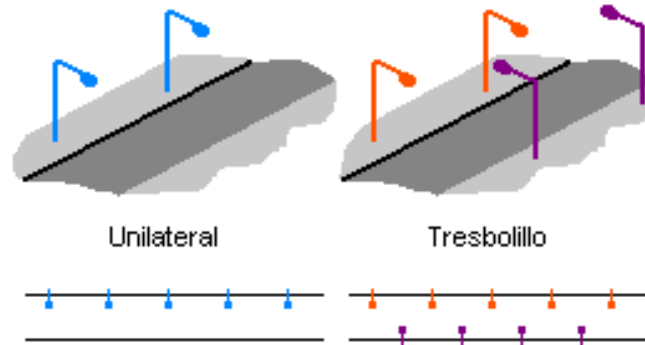


Figura 16. Disposicion de luminarias en la vía pública. Fuente [5]

FAROLA VIAL

Este tipo de luminaria porta una lámpara de vapor de sodio de alta presión de 150W y un equipo externo de encendida que consume el 12% de la potencia total de la lámpara. El periodo de vida útil estimado de estas luminarias, para una depreciacion del flujo lumínico inferior al 70%, corresponde a 15.000h de funcionamiento.



Figura 17. Luminaria FAROLA VIAL. Fuente: Elaboración propia

Las luminarias tipo vial son las que se han utilizado para iluminar la carretera de entrada a Cabezón. Están colocadas sobre columnas de 9m de altura, con disposicion unilateral (ver figura 16) y con una interdistancia entre ellas de unos 25m. La columna lleva asociada un brazo de 60mm de diámetro exterior en la punta.

1.7.3 SISTEMA DE REGULACION

Las variaciones de tensión en las lámparas de vapor de sodio a alta presión llevan consigo una alteración en la corriente, en la potencia consumida y en el flujo luminoso de la siguiente forma:

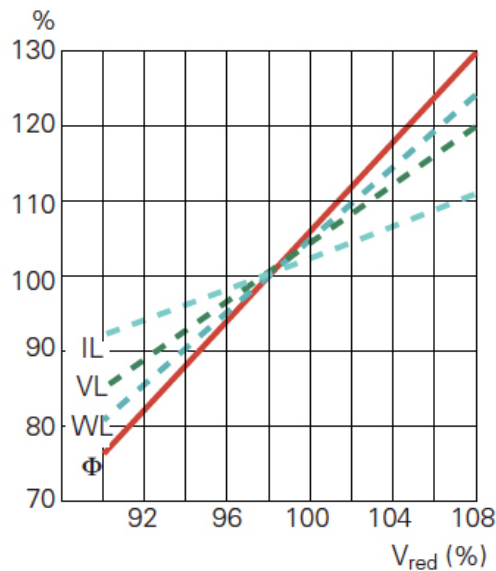


Figura 18. Variación de tensión en las lámparas de vapor de sodio a alta presión.
Fuente [22]

Estas variaciones de tensión afectan a la lámpara de forma negativa en cuanto a la reproducción cromática y a la vida útil de la misma. La figura 19 refleja la fuerte influencia de la tensión en el consumo y en la vida de una lámpara VSAP.

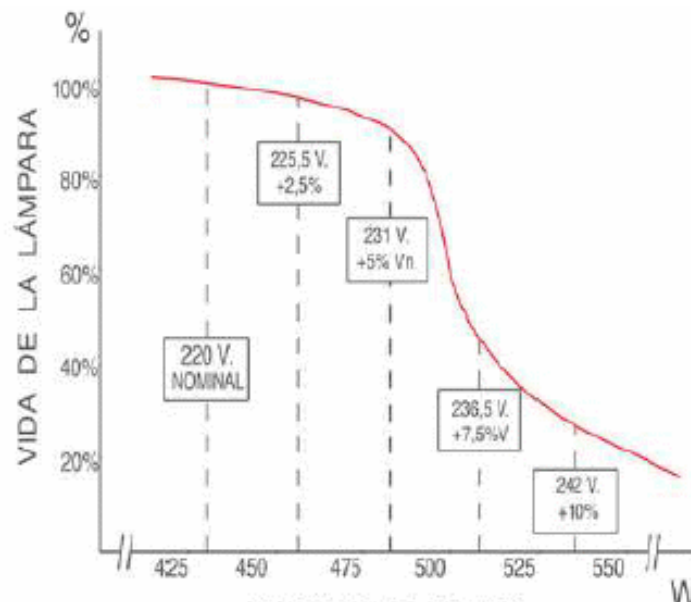


Figura 19. Influencia de la tensión en el consumo y la vida de una lámpara VSAP.
Fuente [8]

Para suplir esta serie de problemas en ocasiones es necesario instalar un estabilizador de tensión que regula las posibles variaciones de la red durante las horas de funcionamiento de las luminarias.

En este caso se encuentran instalados en los cuadros eléctricos del municipio los estabilizadores –reductores de flujo ESDONI.



Figura 20. Estabilizador-reductor de flujo ESDONI. Fuente [11]

Estos elementos, además de estabilizar los picos de tensión de la red, también son capaces de regular el nivel de iluminación. De esta forma, durante los periodos de menor uso de las vías públicas, se pueden obtener ahorros disminuyendo la tensión de forma gradual y con ella la potencia consumida, sin necesidad de apagar completamente las luminarias.

Este sistema va en sintonía con un reloj astronómico para controlar el horario de encendido y apagado y el cambio del régimen normal al reducido.

Durante el encendido de la luminaria el estabilizador mantiene, durante unos minutos, una tensión ligeramente superior a la necesaria por los ignitores de arranque del equipo. De este modo se produce un arranque suave y seguro al reducir los picos en la intensidad de arranque de los balastos y en las conexiones de la instalación.

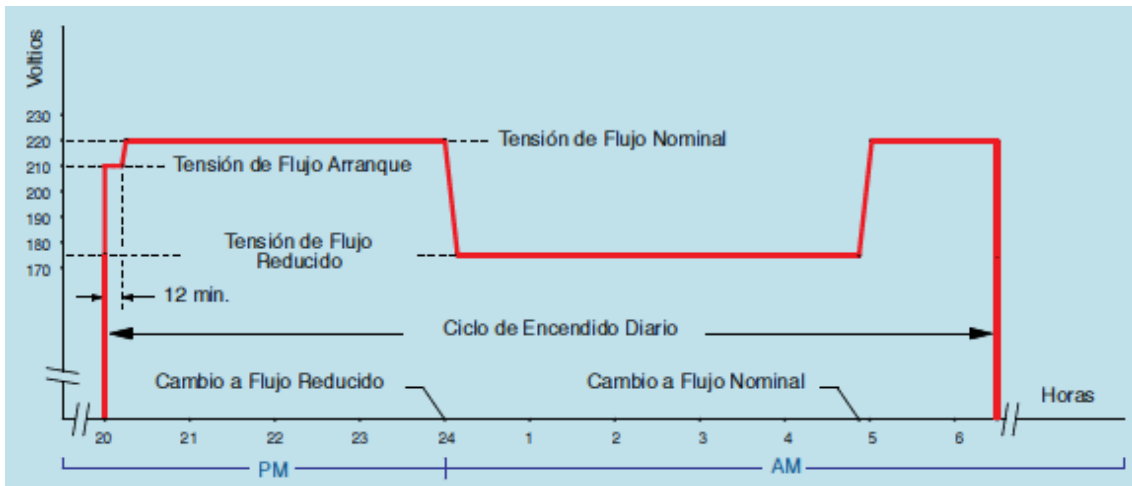


Figura 21. Curva régimen de arranque, nominal y reducido del equipo ESDONI. Fuente [11]

Los reguladores de flujo en instalaciones de lámparas de VSAP pueden reducir la tensión de entrada de las mismas a 175V como máximo. En caso de que la tensión se reduzca por debajo de este valor se producen apagados e inestabilidad en la instalación motivados por la característica inversa de la tensión de arco de las lámparas. Es por ello por lo que se establece este nivel para el funcionamiento en régimen reducido, consiguiendo una disminución de potencia del 35%, y por tanto, un ahorro energético.

1.8 SOLUCIÓN ADOPTADA

Para llevar a cabo esta reforma de alumbrado nos vamos a decantar por tecnología led. Se trata de una tecnología avanzada y novedosa cuyo punto más destacable respecto a cualquier otra forma de iluminación es la eficiencia luminosa. Por ello es una buena opción para lograr un ahorro y una eficiencia energética considerable y así poder contribuir al objetivo del Consejo Europeo del 2020.

1.8.1 TECNOLOGÍA LED

La aparición del LED de alta emisión lumínica ha provocado una revolución en el mundo del alumbrado. Una vez cubiertas las necesidades del alumbrado interior ha ido evolucionando en eficiencia hasta llegar a convertirse en la opción más adecuada de prácticamente todas las aplicaciones del alumbrado exterior.

Las posibilidades de nuevos diseños que aporta este tipo de iluminación abren toda una gama de opciones eficientes en el desarrollo de nuevos proyectos y las ventajas que ofrecen en cuanto a consumo, prestaciones, mantenimiento y larga vida útil dejan claro que es, sin duda, una buena opción de mejora en las instalaciones.

1.8.1.1 DEFINICIONES

LED: Un LED (Light Emitting Diode) es un diodo compuesto por la superposición de varias capas de material semiconductor, que al recibir una corriente eléctrica de muy baja intensidad emite luz en una o más longitudes de onda, cuando es polarizado correctamente. Al tratarse de un diodo solo se permite el paso de la corriente en una única dirección, cuando el diodo conduce se dice que está polarizado directamente, y es entonces cuando se genera luz.

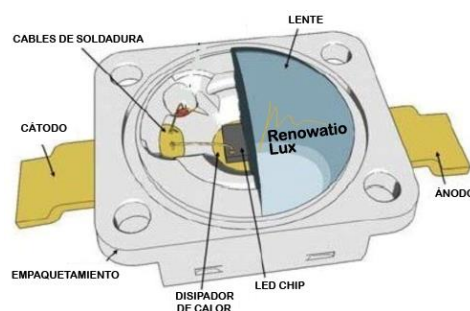


Figura 22. Componentes de un LED. Fuente: Renowatio Lux.

Modulo LED: Es un ensamblaje sin casquillo comprendido por uno o varios LED individuales que pueden incorporar otros elementos tales como circuitos impresos, disipadores térmicos, sistemas ópticos y conexiones eléctricas. Su diseño y características modificarán las cualidades y garantías que el propio fabricante de LED

individual ofrece, haciendo así necesaria su certificación y pruebas de funcionamiento en su integración en la luminaria y para la correcta aplicación de sus características.

DRIVER: Es un elemento auxiliar básico que consta de un dispositivo de alimentación y control electrónico. Su función es regular el funcionamiento de un módulo LED y adecuar la energía eléctrica de alimentación recibida por la luminaria a los parámetros exigidos para un correcto funcionamiento del sistema.

LÁMPARA LED: Es un dispositivo que incorpora la fuente de luz y el driver para su correcto funcionamiento, se alimenta en corriente alterna a 230V o 12V y dispone de casquillo estándar.

LUMINARIA LED: Se llama luminaria a la carcasa que sirve para alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Es la responsable del control y la distribución de la luz emitida por la fuente, por ello es importante que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar.

Sistema RETROFIT: Consiste en la sustitución directa de otras fuentes de luz y equipos asociados por un módulo LED y sus elementos auxiliares correspondientes. Esta técnica se emplea cuando se desea mantener la estética conservando la luminaria, y simplemente se quiere cambiar la fuente de luz por una más eficiente. Cuando se opta por implantar un sistema RETROFIT hay que tener en cuenta los márgenes de temperatura entre los que trabaja el módulo LED, ya que uno de los problemas es la necesidad de disipar el calor generado. Las luminarias de nueva generación están perfectamente preparadas para mantener la temperatura idónea pero en caso de aprovechar una luminaria existente puede implicar modificaciones mecánicas o eléctricas para que el sistema funcione correctamente.



Figura 23. Luminaria alumbrado exterior modificada, RETROFIT. Fuente [8]

1.8.1.2 VENTAJAS Y PRESTACIONES DEL LED

Gracias a sus numerosas ventajas, la tecnología LED se está imponiendo como la mejor alternativa a la hora de elegir un sistema de iluminación eficiente y flexible.

Entre ellas podemos destacar:

- **Tamaño reducido.** Un LED tiene una longitud de unos pocos milímetros. Esto permite ajustarse a una multitud de aplicaciones dependiendo de las necesidades que se deseen cubrir pudiendo generar infinidad de combinaciones aglomerando varios led en forma de módulo.
- **Alta resistencia contra golpes.** Poseen alta robustez y seguridad frente a vibraciones e impactos, ofreciendo mayor fiabilidad que las lámparas convencionales. Ofrecen un amplio rango de temperaturas admisibles sin que afecte al rendimiento, de -30°C a $+40^{\circ}\text{C}$
- **Larga duración.** El LED es la fuente de iluminación con mayor vida útil, de 50.000 a 100.000 horas, siempre y cuando se respeten las condiciones de funcionamiento recomendadas por el fabricante. A diferencia de otras tecnologías que pasadas ciertas horas de uso dejan de lucir completamente, el LED va reduciendo el flujo luminoso con el transcurso del tiempo. Es por ello por lo que la normativa exige que la vida que se facilite deberán ser las horas de funcionamiento en las cuales el flujo luminoso se mantenga superior a un tanto por ciento del estado inicial. Ver nota 1.¹

¹ **Nota:** La vida útil de los LED se expresa con la nomenclatura L_xB_y (en horas). Donde x hace referencia al valor porcentual de flujo luminoso inicial que tiene la luminaria, como mínimo, transcurridas las horas indicadas. El parámetro y se refiere al porcentaje, como máximo, de una muestra tomada de luminarias, las cuales no cumplen la condición L_x .

Ej: L80B10 100.000h. Quiere decir que al menos el 90% de las luminarias testeadas mantienen, como mínimo, el 80% del flujo inicial.

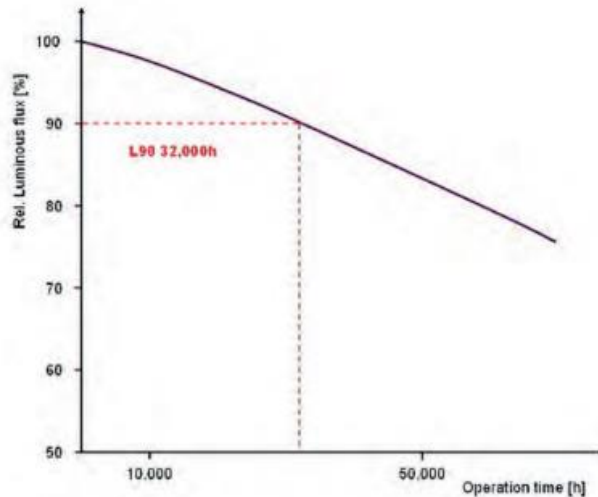


Figura 24. Disminución del flujo luminoso en función del tiempo. Fuente [8]

- Alta eficiencia. Generando más lúmenes por vatio que el resto de tecnologías.
- Bajo consumo. La elevada eficiencia hace que podamos instalar lámparas de menor potencia para alcanzar niveles de iluminación similares.
- Bajo mantenimiento. Supone un ahorro significativo la larga durabilidad de estos dispositivos.
- Alto Índice de Reproducción Cromática (IRC). Tiene una gran capacidad de reproducir fielmente los colores haciendo que el ojo humano tenga una sensación de mayor iluminación. Es una fuente de luz prácticamente monocromática y con un espectro discontinuo. Su R_a está en torno a 80.



Figura 25. LED vs Sodio. Fuente: Nerguiza

- Baja contaminación lumínica. La emisión del LED es monodireccional, permitiendo focalizar mejor el haz de luz y reduciendo, por tanto, la contaminación lumínica. Ver figura 26.
- Alto coeficiente de utilización. Las luminarias LED aportan más lúmenes de luz útiles que otros sistemas de iluminación, tanto por la direccionalidad como por las frecuencias de generación. Esto revierte en más lux sobre la superficie a iluminar.



Figura 26. Comparativa del coeficiente de utilización VSAP y LED. Fuente [8]

- Menor generación de calor. El proceso de emisión de luz en dispositivos LED lleva consigo pocas pérdidas en concepto de calor, pues solo radia en las longitudes de onda del espectro visible.

Aunque se genere menos calor que con los sistemas de alumbrado convencionales, el LED requiere una elevada disipación térmica, para ello es vital que los disipadores sean de aluminio y con mucha superficie de disipación. Nos garantizará mayor tiempo de vida de la lámpara.

- Arranques inmediatos. Y la posibilidad de reencender en caliente.
- Libre de radiaciones perjudiciales. Al emitir prácticamente en su totalidad luz visible no se genera radiación con otras longitudes de onda como ultravioleta o infrarrojo.
- Fácil regulación. Las lámparas permiten su regulación mediante protocolos 1-10V, DALI, DMX, etc. y se pueden combinar con sensores de presencia. Así podemos ajustar la iluminación a nuestras necesidades tanto en cantidad como en intensidad.
- Menor impacto medioambiental. La eficiencia y la gran vida útil hacen que sea un sistema de iluminación más sostenible que cualquier otro, implicando una reducción de la huella de carbono.

| | VSAP | LED |
|----------------------------|--|---|
| Vida útil | 10.000 - 15.000h | 100.000 h |
| Mantenimiento | Anual | Mínimo |
| IRC | 25 | 80 |
| Dirección de la luz | Omnidireccional | Monodireccional |
| Color de luz | Amarillo | Blanco |
| Eficiencia | 25 - 35% | 85 - 90% |
| Arranque | 6 minutos | Instantáneo |
| Inversión inicial | económica | elevada |
| Gastos reciclaje | Contiene gas y metales pesados como plomo y mercurio que son altamente tóxicos | Bajos |
| Robustez | Baja, afectando al ciclo de vida | Resistencia a impacto, vibraciones y variaciones de tensión y frecuencia de red |

Tabla 3. Comparativa entre VSAP y LED. Fuente: Elaboración propia.

Por todo ello podemos concluir que las soluciones LED no solo aportan ventajas en la reducción de los costes energéticos y de mantenimiento, sino que incluso aportan mejoras en cuanto a la calidad de la luz al mejorar los índices de reproducción cromática, y por tanto, la mejora en la percepción de los colores y objetos por parte de los usuarios, así como la comodidad visual.

1.8.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LUMINARIAS

Para poder implantar una buena solución al sistema de alumbrado primero tenemos que analizar qué tipo de vía queremos iluminar. También tenemos que tener en cuenta una serie de exigencias lumínicas para lograr el confort visual de los usuarios de las vías, tanto conductores como peatones. Estos parámetros vienen definidos por la ITC-EA-02 que será en la que nos basemos para realizar la configuración del alumbrado público.

Para poder hacer un estudio más veraz y exacto vamos a utilizar el software DIALux. Este programa nos permite realizar la simulación del sistema de alumbrado seleccionado y nos calcula la instalación de forma que podamos comprobar si está bajo reglamento o no cumple las exigencias mínimas establecidas.

1.8.2.1 CLASIFICACION DE LAS VÍAS Y SELECCIÓN DE CLASE DE ALUMBRADO

El nivel de iluminación requerido por una vía depende de múltiples factores como son el tipo de vía, la complejidad de su trazado, la intensidad del tráfico y la separación entre carriles destinados a distintos tipos de usuarios.

En función de estos criterios, podemos clasificar las vías en varios grupos o situaciones de proyecto, los cuales van a tener unos requisitos fotométricos específicos teniendo en cuenta las necesidades visuales de los usuarios.

En nuestro estudio vamos a tener en cuenta dos tipos de configuración de vía:

- **Vial de entrada**

El vial de entrada al municipio es una travesía cuya velocidad de circulación es 70 km/h descendiendo en la parte más cercana al pueblo a 50km/h. Como vemos en la tabla 4 podemos catalogar este vial como tipo A

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

Tabla 4. Clasificación de las vías. Fuente [15]

Habiendo clasificado el tipo de vía, posteriormente pasaremos a identificar la clase de alumbrado necesario dependiendo de la intensidad media del tráfico diario (IMD)

| Situaciones de proyecto | Tipos de vías | Clase de Alumbrado ^c |
|-------------------------------------|--|---------------------------------|
| A1 | <ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías). Intensidad de tráfico | ME1 ME2 ME3a |
| | Alta (IMD) ≥ 25.000 | |
| | Media (IMD) ≥ 15.000 y < 25.000 | |
| | Baja (IMD) < 15.000 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas). Intensidad de tráfico | |
| Alta (IMD) > 15.000 | ME1 | |
| Media y baja (IMD) < 15.000 | ME2 | |

| | | |
|-----------|---|--------------------------------------|
| A2 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Carreteras interurbanas sin separación de aceras o carriles bici.</i> • <i>Carreteras locales en zonas rurales sin vía de servicio.</i> Intensidad de tráfico IMD \geq 7.000 IMD $<$ 7.000 | ME1 / ME2 ME3a / ME4a |
| A3 | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Vías colectoras y rondas de circunvalación.</i> • <i>Carreteras interurbanas con accesos no restringidos.</i> • <i>Vías urbanas de tráfico importante, rápidas radiales y de distribución urbana a distritos.</i> • <i>Vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones.</i> Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD \geq 25.000 IMD \geq 15.000 y $<$ 25.000 IMD \geq 7.000 y $<$ 15.000 IMD $<$ 7.000 | ME1 ME2 ME3b ME4a / ME4b |

Tabla 5. Clases de alumbrado para vías tipo A. Fuente [15]

Fijándonos en la tabla 5 escogemos el tipo de vía que engloba a las vías principales de la ciudad y travesía de poblaciones. Teniendo en cuenta que la intensidad media del tráfico diario es de 4.608 vehículos por día, $<$ 7.000, por tanto nos da como resultado una clase de alumbrado ME4a/ME4b.

Cuando para una misma intensidad de tráfico pueden adoptarse distintas clases de alumbrado se recomienda seleccionar la que responda al nivel de exigencia más crítico. Es por ello por lo que vamos a elegir para el vial de entrada al pueblo la clase de alumbrado **ME4a**.

- **Zona urbanizaciones**

Este tipo de viales corresponden a una zona residencial cuya velocidad de circulación es $<$ 50km/h. Si observamos la tabla 4 podemos decir que pertenece al tipo de vía B.

Para seleccionar la clase de alumbrado es recomendable considerar el tipo de cruces y la densidad de los mismos, la dificultad en la tarea de conducción, así como el tráfico de ciclistas y la existencia de vehículos aparcados.

| Situaciones de proyecto | Tipos de vías | Clase de Alumbrado ⁽¹⁾ |
|-------------------------|--|-----------------------------------|
| B1 | <ul style="list-style-type: none"> Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante. Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas. Intensidad de tráfico IMD ≥ 7.000 IMD < 7.000 | ME2 / ME3c ME4b / ME5 / ME6 |
| B2 | <ul style="list-style-type: none"> Carreteras locales en áreas rurales. Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD ≥ 7.000 IMD < 7.000 | ME2 / ME3b ME4b / ME5 |

Tabla 6. Clases de alumbrado para vías tipo B. Fuente [15]

Esta zona de urbanizaciones la podemos identificar como vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas, según la tabla 6. La intensidad media del tráfico diario es bastante menor a 7.000 por tanto nos da como resultado las posibles clases de alumbrado ME4b/ME5/ME6.

Como hemos comentado antes nos quedaremos con la más restrictiva que en este caso es la clase de alumbrado **ME4b**.

Para las zonas peatonales o aceras vamos a establecer una clase de alumbrado **CE5**, según la Tabla 7.

| Clase de Alumbrado (1) | Iluminancia horizontal | |
|---------------------------|--|--|
| | Iluminancia Media <i>Em (lux)</i> [mínima mantenida ⁽¹⁾] | Uniformidad Media <i>Um</i> [mínima] |
| CE0 | 50 | 0,40 |
| CE1 | 30 | 0,40 |
| CE1A | 25 | 0,40 |
| CE2 | 20 | 0,40 |
| CE3 | 15 | 0,40 |
| CE4 | 10 | 0,40 |
| CE5 | 7,5 | 0,40 |

Tabla 7. Series CE de clase de alumbrado para viales tipos D y E. Fuente [15]

1.8.2.2 ASPECTOS A TENER EN CUENTA

- Requerimientos de visibilidad

La iluminación pública debe ser adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto de vehículos como de peatones. Para ello se debe tener en cuenta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual aplicando la cantidad y calidad de la luz sobre el área observada y de acuerdo con el trabajo visual requerido. Por este

motivo se debe hacer una cuidadosa selección de la fuente y la luminaria apropiada teniendo en cuenta su desempeño fotométrico. Lo ideal sería escoger la que nos permita mayores interdistancias, menores alturas de montaje y menor potencia eléctrica consumida.

- **Cantidad y calidad de luz**

Es fundamental que se permita a los usuarios de la calzada y del andén, circular sobre ellos en las horas nocturnas, con seguridad y comodidad y a velocidades preestablecidas.

La seguridad se logra si el alumbrado permite a los usuarios, que circulando a una velocidad normal, puedan evitar cualquier obstáculo y ver toda la vía así como señalizaciones, aceras, etc. En el caso de los peatones se establece que el criterio de seguridad consiste en visualizar un obstáculo de 0.2m x 0.2m con un factor de reflexión de 0.15 a una distancia de 10m o más. En cambio en el caso de los conductores, aparte de depender esencialmente de la velocidad, se establece que hay seguridad si a una velocidad media de 60km/h se percibe este obstáculo a una distancia de 100m. [14]

- **Confiabilidad de la percepción**

Los objetos sólo se pueden percibir cuando el contraste es superior al mínimo requerido por el ojo. Este valor depende del ángulo con el que se mire y de la distribución de la luminancia en el campo visual del observador. Ver figura 25.

La iluminación tendrá que buscar una luminancia promedio elevada y un bajo nivel de iluminancia para el obstáculo. Esta iluminancia promedio no solo consiste en hacer una media de los puntos calculados, sino que los valores de iluminancia de esos puntos tienen que mantener una dispersión baja de modo que los datos menores no afecten a la percepción por disminución de la luminancia de fondo. Esto se logra controlando el valor de la **uniformidad general de luminancia U_0** , que será la relación entre la luminancia mínima y la media de la superficie de la calzada.

La confiabilidad de la percepción se ve comprometida igualmente y de manera directa, con mayores niveles de deslumbramiento fisiológico. Por consiguiente, para restringir el efecto molesto del deslumbramiento, hay que especificar un límite máximo al valor para el **incremento umbral TI** . A través de este parámetro podemos obtener la pérdida de visibilidad producida por el deslumbramiento perturbador, que es el que perturba la visión de los objetos sin necesidad de causar una sensación desagradable. Se calcula de la siguiente forma:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0.8}}$$

Donde:

T_I = Incremento de umbral correspondiente al deslumbramiento perturbador en %

L_V = Luminancia de velo total en cd/m^2 .

L_m = Luminancia media de la calzada en cd/m^2 .

- **Comodidad visual**

La comodidad visual es una característica importante para la seguridad del tráfico, ya que la falta de la misma se traduce en una falta de concentración debido al cansancio que se producirá en el conductor.

El grado de comodidad visual proporcionado por una instalación de alumbrado público será mejor si el ojo del conductor tiene mejores niveles de adaptación. Ello implica elevar la Luminancia promedio sobre la vía, así como controlar la dispersión de los valores que componen dicho promedio. Para asegurar el control en la dispersión de los datos, se utiliza el concepto de **Uniformidad longitudinal de luminancia U_L** . Este factor hace referencia a la relación entre la luminancia mínima y la máxima en el mismo eje longitudinal de los carriles de circulación de la calzada, adoptando el valor menor de todos ellos.

Un bajo nivel de uniformidad longitudinal se traducirá en la aparición del efecto cebra sobre la vía, apareciendo sectores transversales a la vía bien iluminados seguidos de otros con poca iluminación.

En la comodidad visual del conductor se encuentra comprometida la luminancia ofrecida por la instalación de alumbrado público, su uniformidad, su nivel de iluminación, el grado de deslumbramiento, así como la disposición y naturaleza de las fuentes luminosas utilizadas. Una instalación urbana necesita mayores niveles de comodidad visual a fin de reducir la tensión nerviosa de los conductores y con ello sus efectos sobre el comportamiento en la vía. Por ello, la instalación de alumbrado debe considerar la iluminación de aceras y fachadas y de esa manera crear un ambiente más agradable. Todo esto, sin generar deslumbramiento y manteniendo la estética de la instalación, que al fin de cuentas, la hace más agradable.

Una instalación de iluminación en carreteras, debe asegurar una continuidad óptica sobre el carril de circulación y sobre la geometría de la vía, a fin de elevar la seguridad por la velocidad de circulación. Se deben tener en cuenta tres variables al considerar la selección o diseño de una instalación de alumbrado público: la velocidad de circulación, la frecuencia y naturaleza de los obstáculos a ver y el tipo de usuarios de la vía.

- **Relación de entorno**

Con este parámetro nos referimos a 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 entorno SR es la más pequeña de las dos relaciones entorno calculadas. La anchura de las dos zonas de cálculo para cada relación de entorno se tomará como 5 m o la mitad de la anchura de la calzada, si ésta es inferior a 10 m

Controlar la iluminancia de los alrededores ayuda al conductor a percibir más fácilmente el entorno y le ayuda a efectuar, de manera segura, las maniobras que necesite. Controlar la **relación de entorno SR** permite entonces, mantener las condiciones adecuadas de contraste de objetos al borde de la vía. Por otra parte, esta iluminación beneficia a los peatones, cuando existan a los lados de la vía andenes transitables por éstos.

1.8.2.3 NIVELES DE ILUMINACION

Se entiende por nivel de iluminación el conjunto de requisitos luminotécnicos o fotométricos (luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento, relación de entorno, etc.) que han sido establecidos por la ITC-EA-02 para dar lugar a una correcta iluminación de la vía pública.

Una vez hecha la clasificación de las vías motivo de estudio y seleccionada la clase de alumbrado más conveniente podemos determinar una serie de requerimientos que será necesario cumplir. La ITC-EA-02 nos da nociones de estos parámetros, los cuales se plasman en la tabla 8.

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

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

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

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

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

Tabla 8. Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipo A y B. Fuente [15]

Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado descritas no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia establecidos en dicha ITC. Estos niveles medios de referencia están basados en las normas de la serie UNE-EN 13201 "Iluminación de Carreteras". [15]

Es de señalar que los niveles de luminancia e iluminancia medias consignados en la Instrucción Técnica Complementaria, son valores de referencia. Deberá garantizarse el valor de la uniformidad mínima, mientras que el resto de requisitos fotométricos por ejemplo valor mínimo de iluminancia en un punto, deslumbramiento e iluminación de

alrededores, descritos para cada clase de alumbrado, son valores de referencia, pero no exigidos, que deberán considerarse para los distintos tipos de instalaciones. [15]

Los niveles de uniformidad incluidos en esta ITC-EA-02 son valores mínimos cuyo cumplimiento deberá garantizarse, tal y como dispone el artículo 7 de este Reglamento. Así mismo, alcanzar unos valores mínimos de la relación entorno (SR), así como no superar los niveles máximos de deslumbramiento (TI), resulta necesario para la seguridad de los usuarios de las vías de tráfico, por lo que se recomienda ajustarse a los niveles determinados al respecto en esta ITC. [15]

1.8.3 JUSTIFICACION DE LA SOLUCION ADOPTADA

El estudio lumínico del presente proyecto se ha realizado mediante el software DIALux 4.12. Se trata de una herramienta que permite diseñar, calcular y visualizar un proyecto de iluminación de forma profesional. Puede aplicarse tanto a espacios simples, grandes edificios o escenas exteriores, como es nuestro caso.

Se ha optado por el fabricante Philips por su amplia y diversa gama de luminarias y sus innumerables soluciones para cada tipo de necesidad planteada.

DIALux te permite elegir entre varios modelos de cada fabricante, y dentro de ellos entre distintas potencias, flujos luminosos, ópticas y colores.

1.8.3.1 ZONA URBANIZACIONES

Para mantener en cierto modo la estética de la urbanización hemos escogido la luminaria **CitySpirit Street**. Ver figura 27.



Figura 27. Luminaria CitySpirit Street. Fuente [23]

CitySpirit Street es parte de la gama CitySpirit gen2, una gama híbrida diseñada para proporcionar una iluminación excelente y respetuosa con el medio ambiente sin comprometer el aspecto arquitectónico.

En concreto se ha propuesto la luminaria **PHILIPS BDS480 T15 1xGRN29-3S/740 DRW**, que está dotada de las siguientes características básicas:

- Flujo luminoso de la luminaria: 2418 lm
- Flujo luminoso de la lámpara: 3100 lm
- Potencia de la luminaria 25 W
- Clasificación de la luminaria según CIE: 99
- Código CIE Flux: 31 62 93 99 78. Ver nota 2.²
- Vida útil: GreenLine (GRN) L80B10 100.000 horas. Ver nota 1.
- IRC: 740 según nomenclatura Philips, equivalente a $R_a > 76$, blanco neutro
- Óptica: S, simétrica. Ver figura 28.

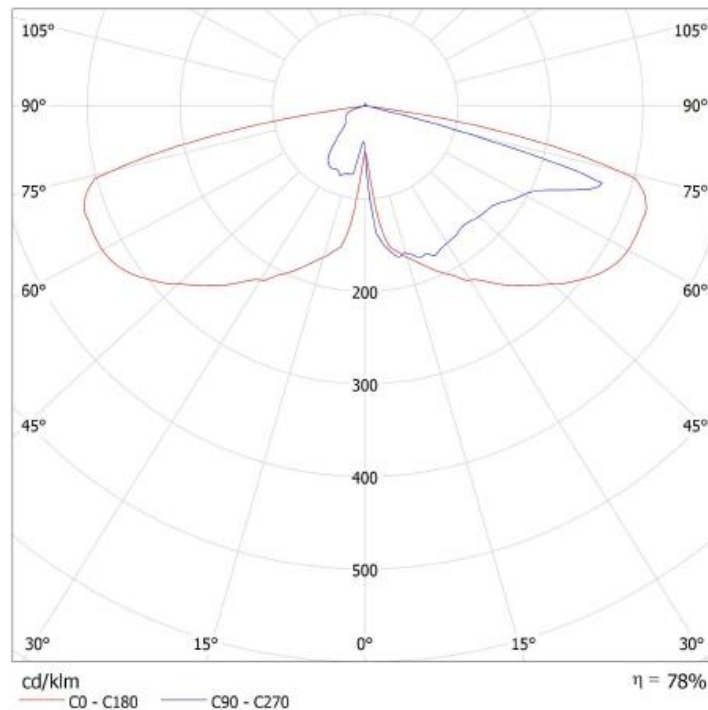


Figura 28. Curva polar PHILIPS BDS480 T15 1xGRN29-3S/740 DRW. Fuente [18]

² **Nota:** El código CIE Flux fue normalizado por la Comisión de Iluminación Internacional (CIE) en 1982. Aporta una clasificación del rendimiento de las luminarias basado en un código de 5 pares de cifras que representan, en tantos por ciento, el flujo emitido en cada porción angular del diagrama polar.

Ej: 31 62 93 99 78

La primera cifra indica que el 31% del flujo emitido hacia abajo se proyecta en el ángulo comprendido entre la vertical (0°) y los primeros 41,4° medidos desde ella.

La segunda indica que a 60° de la vertical ya se ha emitido el 62% del flujo total hacia abajo.

La tercera, que el 93% del flujo se emite en un abanico de hasta 75° medidos desde la vertical (0°).

La cuarta cifra indica que el 99% del flujo que logra emitir la luminaria se emite hacia abajo, luego no hay iluminación hacia el "plano superior".

La quinta representa el rendimiento global de la luminaria, un 78% en este caso.

- Equipos: Equipo electrónico y sistema de telegestión por radio frecuencia integrado. Compatibilidad con CityTouch. Ver apartado 1.8.5

Para obtener más información acerca de esta familia de productos consultar el ANEXO V FICHAS TECNICAS.

Las calles de la urbanización objeto de estudio guardan grandes similitudes entre ellas, como por ejemplo, la anchura de las mismas, las interdistancias y alturas de los puntos de luz, la velocidad de circulación, el tipo y nivel de tráfico, etc. Esto nos permite agruparlas de forma que podamos simplificar el estudio luminotécnico a un tramo de vía en el que queden, de forma muy exhaustiva, calculados todos los parámetros de interés para el diseño de la instalación. Una vez obtenidos los resultados podrán ser completamente extrapolables al resto de la urbanización.

Para llevar a cabo el estudio ha sido necesario recopilar una información previa basada en la geometría de las calles y la disposición de las luminarias existentes. De este modo DIALux puede generar una escena lo más realista posible y así poder obtener resultados fiables.

Estos datos han sido medidos in situ. Se detallan a continuación:

- Organización: Bilateral desplazado
- Disposición de mástiles:
 - Altura de montaje de las luminarias: 5,0 m
 - Altura del punto de luz: 4,5 m
 - Cantidad de luminarias por mástil: 1
 - Distancia entre dos mástiles: 21,0 m
 - Distancia Mástil-Calzada: 0,3 m
- Brazo:
 - Longitud del brazo: 0,0 m
 - Inclinación del brazo: 0,0 m
 - Saliente sobre la calzada: -0,3 m
- Camino peatonal 1: 2,0 m
- Calzada: 6,0 m
- Camino peatonal 2: 2,0 m

La composición de la escena con las luminarias en servicio queda conforme a la figura 29.

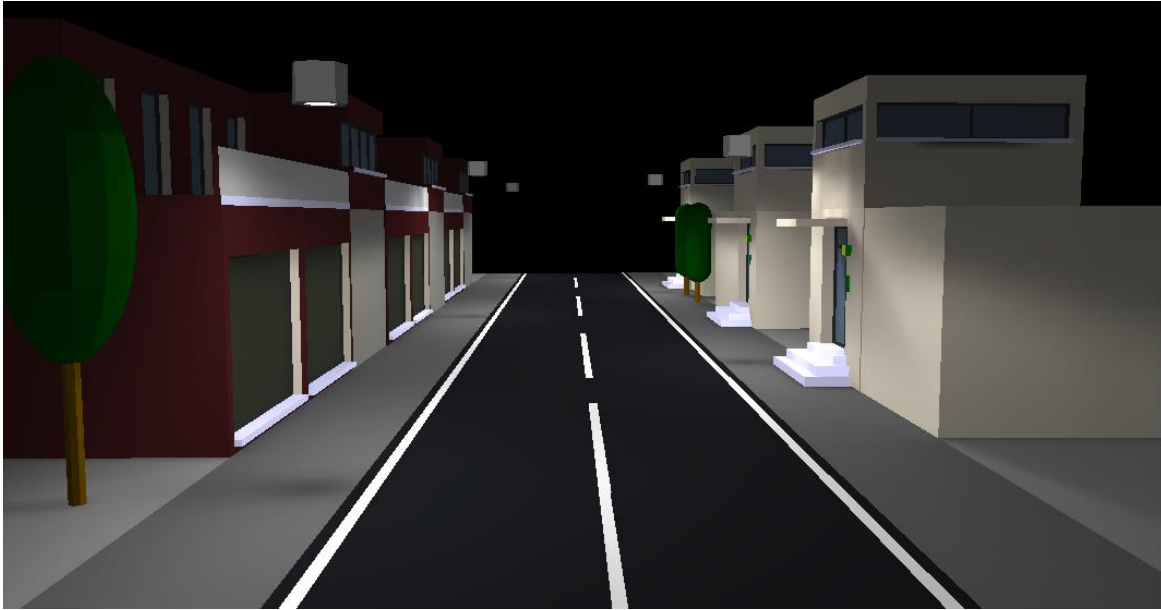


Figura 29. Simulación C/ Juan de Vivero Vizconde de Altamira. Fuente: Elaboración propia.

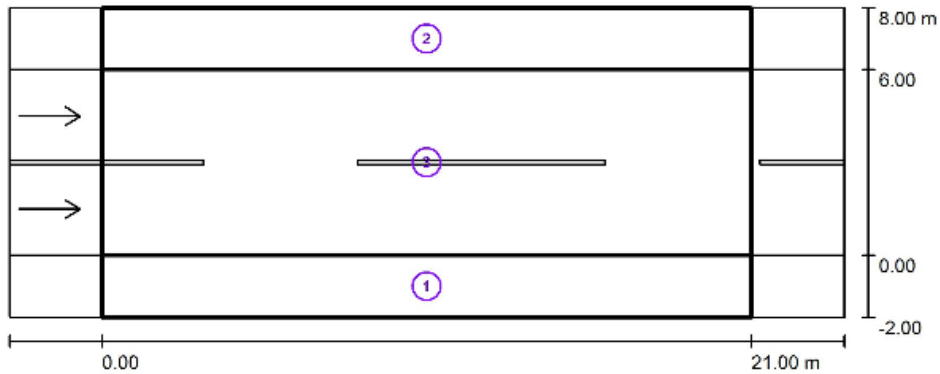


Figura 30. Situación actual C/ Juan de Vivero Vizconde de Altamira. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar, la luz que aporta el LED es natural con los colores y crea una sensación de mayor luminosidad al tratarse de luz blanca, más parecida a la luz del sol. Esto hace que los usuarios tengan mayor comodidad visual, mayor sensación de seguridad y en definitiva mejor calidad de vida.

Los resultados analíticos obtenidos tras hacer el cálculo con el software DIALux son los siguientes:

Calle Juan de Vivero Vizconde de Altamira / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:194

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 21.000 m, Anchura: 2.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)
 CE5

| | | |
|----------------------------------|------------|--------|
| Valores reales según cálculo: | E_m [lx] | U0 |
| Valores de consigna según clase: | 13.22 | 0.56 |
| Cumplido/No cumplido: | ≥ 7.50 | ≥ 0.40 |
| | ✓ | ✓ |

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2
 Longitud: 21.000 m, Anchura: 2.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.
 Clase de iluminación seleccionada: (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)
 CE5

| | | |
|----------------------------------|------------|--------|
| Valores reales según cálculo: | E_m [lx] | U0 |
| Valores de consigna según clase: | 13.22 | 0.56 |
| Cumplido/No cumplido: | ≥ 7.50 | ≥ 0.40 |
| | ✓ | ✓ |

- 3 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 21.000 m, Anchura: 6.000 m
 Trama: 10 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q_0 : 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)
 ME4b

| | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|------|------|--------|------|
| Valores reales según cálculo: | L_m [cd/m ²] | U0 | UI | TI [%] | SR |
| | 1.11 | 0.66 | 0.82 | 11 | 0.75 |
| | | | | | 52 |

| | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| Valores de consigna según clase: | ≥ 0.75 | ≥ 0.40 | ≥ 0.50 | ≤ 15 | ≥ 0.50 |
| Cumplido/No cumplido: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Se concluye que los valores obtenidos, tanto en la calzada como en los caminos peatonales, cumplen los requerimientos establecidos por normativa.

Hay que tener en cuenta que estos valores han sido calculados en un estado inicial de las luminarias, es decir sin tener en cuenta su depreciación lumínica, por tanto tiene que quedar siempre un ligero margen de forma que al final de su vida útil sigan cumpliendo los límites establecidos. Una opción de ahorro económico y energético está en regular el flujo luminoso de tal forma que al principio de la vida útil funcionen a menor carga y a medida que los propios LED se van desgastando aumentar la capacidad de los mismos para que siempre se mantenga un mismo nivel de iluminación y así evitar el efecto negativo del envejecimiento de las lámparas.

1.8.3.2 VIAL DE ENTRADA

Como sustitución de las lámparas de vapor de sodio de la Avenida José Zorrilla nos hemos decantado por la luminaria **Luma**. Ver figura 31.



Figura 31. Luminaria Luma. Fuente [23]

Luma es una luminaria de alumbrado vial de alto rendimiento con una clara identidad de diseño, que ofrece una solución perfectamente refrigerada y es apta en

todas las calles y carreteras. El flujo luminoso se puede ajustar para crear la solución deseada en términos de ahorro de energía y costos. Luma se puede programar para mantener el flujo de los LED en un nivel constante predefinido durante la vida útil de la luminaria, aumentando la corriente de funcionamiento a lo largo del tiempo para compensar la depreciación de la luz LED. Luma utiliza el motor LEDGINE-O de alto rendimiento y una amplia gama de ópticas según los últimos estándares.

En concreto se ha propuesto la luminaria **PHILIPS BGP623 1xECO117/740 OFR4**, que está dotada de las siguientes características básicas:

- Flujo luminoso de la luminaria: 10764 lm
- Flujo luminoso de la lámpara: 11700 lm
- Potencia de la luminaria 104 W
- Clasificación de la luminaria según CIE: 100
- Código CIE Flux: 39 72 96 100 92. Ver nota 2.
- Eficacia de la luminaria: Hasta 146 lm/W
- Vida útil: L95B10 100.000 horas. Ver nota 1.
- IRC: 740 según nomenclatura Philips, equivalente a $R_a > 76$, blanco neutro
- Óptica: OFR4, Óptica de carretera ancha. Ver figura 32.

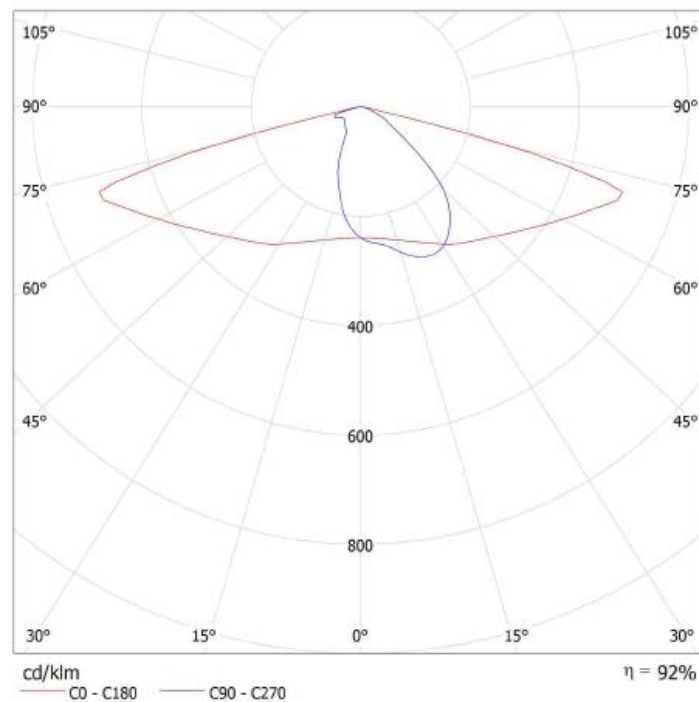


Figura 32. Curva polar PHILIPS BGP623 1xECO117/740 OFR4. Fuente [18]

- Equipos: Equipo electrónico y sistema de telegestión por radio frecuencia integrado. Compatibilidad con CityTouch. Ver apartado 1.8.5

Para obtener más información acerca de esta familia de productos consultar el ANEXO III FICHAS TECNICAS.

Los datos medidos in situ sobre la disposición de la Av José Zorrilla se detallan a continuación:

- Organización: Unilateral arriba
- Disposición de mástiles:
 - Altura de montaje de las luminarias: 9,0 m
 - Altura del punto de luz: 8,9 m
 - Cantidad de luminarias por mástil: 1
 - Distancia entre dos mástiles: 25,0 m
 - Distancia Mástil-Calzada: 2,5 m
- Brazo:
 - Longitud del brazo: 1,0 m
 - Inclinación del brazo: 25,0 m
 - Saliente sobre la calzada: -1,5 m
- Camino peatonal 1: 2,0 m
- Línea verde 1: 1,0 m
- Calzada: 8,0 m
- Línea verde 2: 0,5 m
- Camino peatonal 2: 2,0 m

La composición de la escena con las luminarias en servicio queda conforme a la figura 33.

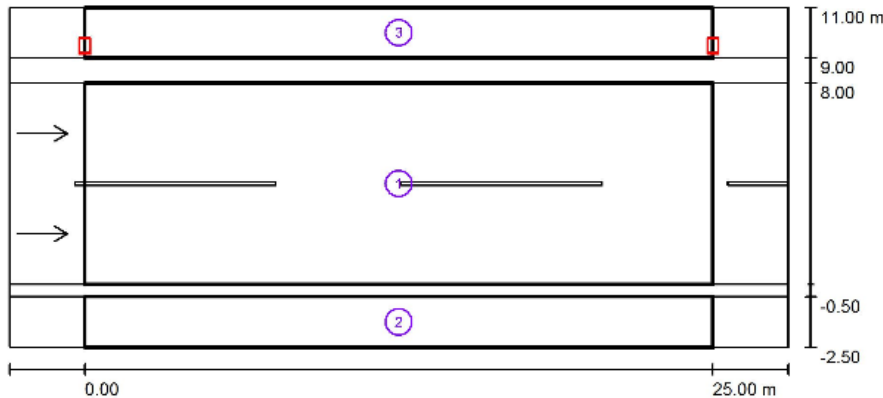


Figura 33 . Simulación Av. José Zorrilla. Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, para economizar gastos, las luminarias de entrada al municipio permanecen apagadas la mayor parte del tiempo. Es por ello por lo que no se ha realizado la captura de la situación actual.

Los resultados analíticos obtenidos tras hacer el cálculo con el software DIALux son los siguientes:

AVENIDA JOSÉ ZORRILLA / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.85

Escala 1:222

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 25.000 m, Anchura: 8.000 m
 Trama: 10 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME4a (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

| | L_m [cd/m ²] | U0 | UI | TI [%] | SR |
|----------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| Valores reales según cálculo: | 1.20 | 0.49 | 0.83 | 12 | 0.61 |
| Valores de consigna según clase: | ≥ 0.75 | ≥ 0.40 | ≥ 0.60 | ≤ 15 | ≥ 0.50 |
| Cumplido/No cumplido: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 25.000 m, Anchura: 2.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5 (Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

| | E_m [lx] | U0 |
|----------------------------------|-------------|-------------|
| Valores reales según cálculo: | 11.49 | 0.81 |
| Valores de consigna según clase: | ≥ 7.50 | ≥ 0.40 |
| Cumplido/No cumplido: | ✓ | ✓ |

- 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2

Longitud: 25.000 m, Anchura: 2.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.
 Clase de iluminación seleccionada: (Se cumplen todos los requerimientos
 CE5 fotométricos.)

| | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|
| Valores reales según cálculo: | E_m [lx] | U0 |
| Valores de consigna según clase: | 12.43 | 0.53 |
| Cumplido/No cumplido: | ≥ 7.50 | ≥ 0.40 |
| | ✓ | ✓ |

Se concluye que los valores obtenidos, tanto en la calzada como en los caminos peatonales, cumplen los requerimientos establecidos por normativa.

1.8.4 INVENTARIO LUMINARIAS PROPUESTAS

Respetando la distribución del sistema de alumbrado y la posición de cada punto de luz, se propone sustituir las luminarias actuales por las alternativas en LED, manteniendo las columnas y apoyos.

A continuación se detalla el inventario de luminarias:

| CUADRO DE MANDO 10 | | | | | |
|--------------------|--|-----------------------|--------------|------------|------------------------|
| | UBICACION | LUMINARIA | POTENCIA (W) | UNIDADES | POTENCIA INSTALADA (W) |
| 1 | C/ JUAN DE VIVERO VIZCONDE DE ALTAMIRA | CitySpirit Street LED | 25 | 24 | 600 |
| 2 | C/ ALFONSO III | CitySpirit Street LED | 25 | 12 | 300 |
| 3 | C/ GREGORIO DE LA CUESTA | CitySpirit Street LED | 25 | 6 | 150 |
| 4 | C/ CONDE DEL CARPIO | CitySpirit Street LED | 25 | 28 | 700 |
| 5 | C/ MAESTRO NICOLAS | CitySpirit Street LED | 25 | 26 | 650 |
| 6 | C/ CARLOS FELIPE IV | CitySpirit Street LED | 25 | 7 | 175 |
| 7 | C/ CARLOS V | CitySpirit Street LED | 25 | 8 | 200 |
| 8 | C/ ALFONSO VIII | CitySpirit Street LED | 25 | 10 | 250 |
| | | | TOTAL | 121 | 3.025 |

Tabla 9. Inventario de luminarias propuestas correspondientes al cuadro 10. Fuente: Elaboración propia.

| CUADRO DE MANDO 11 | | | | | |
|---------------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|------|
| UBICACION | LUMINARIA | POTENCIA (W) | UNIDADES | POTENCIA INSTALADA (W) | |
| 9 | AV JOSE ZORRILLA | LUMA | 104 | 21 | 2184 |
| 10 | AV JOSE ZORRILLA | CitySpirit Street LED | 25 | 2 | 50 |
| TOTAL | | | 23 | 2.234 | |

Tabla 10. Inventario de luminarias propuestas correspondientes al cuadro 11. Fuente: Elaboración propia.

1.8.5 HERRAMIENTA DE GESTIÓN

La dinámica de las vías públicas y carreteras cambia constantemente en función del tráfico, los accidentes, el tiempo atmosférico estacional, la delincuencia o los acontecimientos especiales. Lo ideal sería entonces que el alumbrado se pudiera adaptar a cada situación de forma flexible y dinámica para suplir todo tipo de necesidad. Es por ello por lo que el segundo punto propuesto para la renovación del alumbrado público es la implantación de un sistema de telegestión.

Bajo la premisa de un uso inteligente de la luz, estos sistemas ofrecen un alumbrado que se adapta a las necesidades de cada instalación y situación, creando ambientes adecuados para cada momento y proporcionando tanto un alto grado de confort como un elevado ahorro de energía.

Los sistemas de regulación y control del alumbrado, además de generar un ahorro económico, tienen un efecto muy positivo desde el punto de vista ecológico, ya que el menor consumo de energía supone tanto la reducción de emisiones de CO2 como un uso sostenible de los recursos naturales y las fuentes de energía, preservando de esta forma el medioambiente.

1.8.5.1 STARSENSE Y CITYTOUCH

StarSense es un sistema de telegestión punto a punto de Philips para alumbrado exterior que aporta considerables ventajas para el mantenimiento de la estación así como sustanciales ahorros de energía eléctrica. Permite regular el alumbrado de las calles a fin de maximizar la seguridad, la comodidad visual o la eficiencia energética según sea necesario.

Este sistema ofrece información detallada de la actividad de la instalación, facilitando su monitorización y gestión con la máxima eficacia. Todo ello se controla en

remoto mediante una plataforma llamada CityTouch que te permite multitud de configuraciones.



Figura 34. Logo CityTouch. Fuente [10]

Se puede regular el flujo lumínico punto por punto atendiendo a un modelo horario o en respuesta a la información recibida de un sensor atmosférico o de un contador de tráfico. También se pueden agrupar en función de su ubicación para que actúen al mismo tiempo.

StarSense es capaz de monitorizar el estado de todas las lámparas e informa de cualquier fallo que pueda haber en ellas y la ubicación del mismo. De esta forma se pueden reducir los gastos de mantenimiento ya que permite a su vez conocer la vida restante de las lámparas cercanas y reemplazarlas si fuese necesario.

Este sistema tiene dos variantes, usando la propia línea eléctrica de alimentación para comunicar cada luminaria con un dispositivo central ubicado en el cuadro (PowerLine), o mediante radiofrecuencia (Wireless). Proponemos en este proyecto StarSense Wireless como solución eficiente y novedosa.

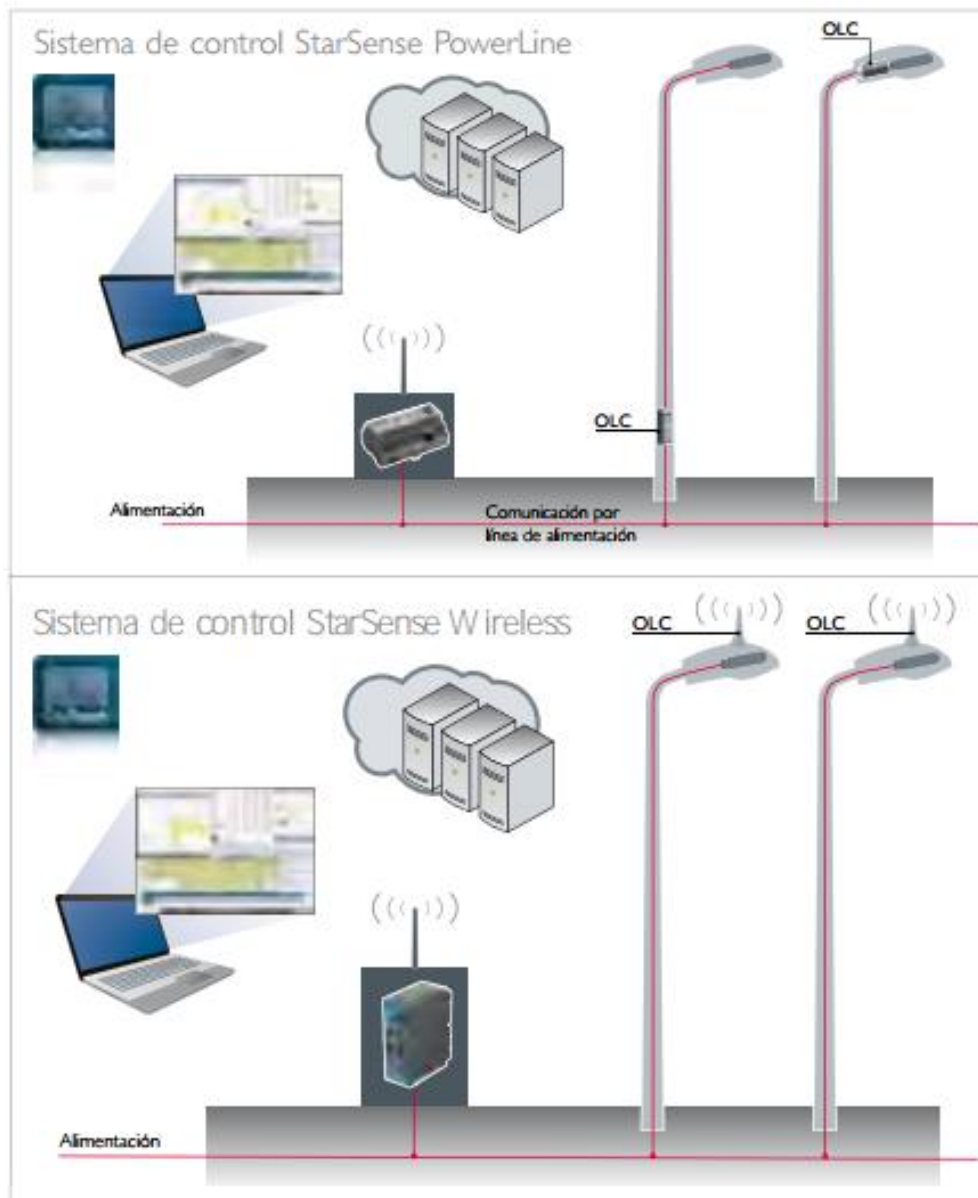


Figura 35. Variantes del sistema de control StarSense. Fuente [9]

1.8.5.2 FUNCIONAMIENTO

Este sistema integral de gestión del alumbrado público consta, principalmente, de tres niveles jerárquicos de mando y control.

1. Software de gestión CityTouch
2. Kit Controlador de segmento (SC)
3. Controlador de luminaria de exterior (OLC)

CityTouch

Constituye el núcleo del sistema. Es una plataforma o software informático que permite gestionar de forma remota y en tiempo real la instalación de alumbrado público mediante una interfaz de usuario intuitiva y de fácil manejo.

Incide directamente en las siguientes tareas:

- Gestionar:

Nos permite controlar y programar los niveles de iluminación de cada punto de alumbrado público, de forma individual o agrupada en calles o distritos. En función de la necesidad específica se puede aumentar el flujo lumínico para mejorar la seguridad y la visibilidad, o regularlos para ahorrar energía y evitar contaminación lumínica. El control puede ser programado, atendiendo a un modelo horario de forma escalonada, a sensores climatológicos, contadores de tráfico, etc. o ser manipulado de forma manual adaptándose a cualquier circunstancia, ya sea un evento festivo o un accidente de tráfico.

- Supervisar:

Se notificará automáticamente cualquier problema ocurrido en la instalación, lo que permitirá iniciar de inmediato el proceso de trabajo. El sistema ofrece tipos de fallos configurables con diferentes niveles de gravedad, por lo que se sabrá exactamente el motivo por el que ha fallado una luminaria.

- Medir:

Se logra medir de forma precisa e individual cada punto de luz, pudiendo saber cuánta energía que se está consumiendo y en qué lugar. Esto ayuda a evaluar las decisiones de la propia gestión así como verificar las facturas de la compañía eléctrica.



Imagen 19. *CityTouch connect app*. Fuente [10]

- Mantener:

Basándose en los datos sobre los activos de iluminación detallados que ofrece la aplicación se podrá llevar a cabo un mantenimiento tanto correctivo como preventivo de la forma más eficiente posible. Permite conocer el estado actual de cada lámpara y su vida útil restante.

- Planificar:

Todo ello facilita la planificación del trabajo, la generación de pedidos y la distribución de tareas.

- Obtener información:

La aplicación ofrece transparencia y permite analizar el sistema de alumbrado de la forma más sencilla. La interfaz aporta visualizaciones basadas en mapas y diagramas que permiten una visión global del estado general del alumbrado. Se puede obtener información desde una visión general hasta el más mínimo detalle de un punto de luz. Toda esta información se puede extraer en informes que se generan con facilidad y así poder respaldar futuras decisiones.

CityTouch dispone también de un módulo para la realización de la simulación del gasto energético al aplicar diferentes tarifas indicando el ahorro en coste entre las diferentes suministradoras en base al histórico del consumo.



Figura 36. Visualización CityTouch. Fuente [10]

Kit Controlador de segmento (SC)

El controlador de segmento es el elemento intermedio entre el interface usuario y el controlador propio de la luminaria (OLC). Va situado dentro del cuadro eléctrico de mando y recopila y procesa toda la información que circula de forma bidireccional.



Figura 37. Kit Controlador de segmento. Fuente [9]

La información entre el SC y el servidor central se transmite a través de internet, por conexión GPRS. La red StarSense Wireless es escalable de manera que cada SC puede controlar hasta 2.500 puntos de luz, siempre y cuando estén dentro del radio de cobertura. Flexibilidad para conectarse a distintas bandas de frecuencia.

| Descripción | | EOC |
|---|----------------------------------|-----------------|
| LFC7300/00 | StarSense Wireless SC Kit | 13745000 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● CPU con tarjeta Compact Flash <ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 152 x 115 x 60,15 mm ● Fuente de alimentación <ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones: 115 x 90 x 40,5 mm ● Módulo RF <ul style="list-style-type: none"> - IEEE 802.15.4 a 868 MHz - Dimensiones: 93,9 x 36,2 x 63,5 mm ● Antena Disco Inteligente ● Cable USB ● Cable UTP | | |

Figura 38. Características técnicas del SC StarSense Wireless. Fuente [12]

Controlador de luminaria de exterior (OLC)

Son pequeños controladores que van integrados en la carcasa de la propia luminaria. Las luminarias propuestas en este proyecto ya traen incluido este dispositivo, pero se puede colocar en otras de otro modelo incluso de otros fabricantes.

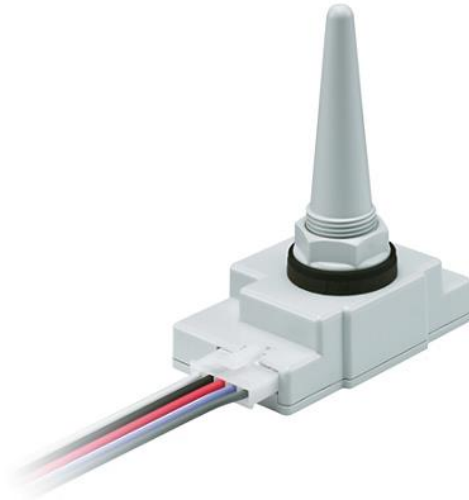


Figura 39. Controlador de luminaria de exterior. Fuente [9]

La función de estos controladores es responder a las órdenes del SC y enviar información al mismo tiempo. Son capaces de encender y apagar la lámpara, ajustar el nivel de iluminación y detectar fallos de la lámpara y del sistema. También registra las horas de funcionamiento y ofrece una lectura precisa del consumo real de energía.

El OLC se comunica con el controlador de segmento de forma inalámbrica y segura mediante señales de radiofrecuencia, en un rango de hasta 300m. Utiliza una señal de regulación DALI como interfaz con el balasto electrónico y un relé para activarlo y desactivarlo.

| Descripción | | EOC |
|---|---|-----------------|
| LLC7300/00 | StarSense Wireless 1-10 V / DALI | 12691100 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Alimentación: 220-240V ± 10% a 50/60 Hz ± 5% ● 5 x Cables de 500 mm ● Interfaz DALI <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de 2 drivers de lámpara hasta 400 W - Voltaje DALI: 11,5—20,5 V DC - Corriente DALI: 8—20 mA ● Interfaz 1-10 V <ul style="list-style-type: none"> - Corriente de 1 driver de lámpara hasta 400 W - Corriente de absorción de hasta 10 µA ● Protocolo RF: IEEE 802.15.4 a 868 MHz ● Dimensiones: 102,5 x 90,6 x 47,3 mm | | |

Figura 40. Características técnicas del OLC StarSense Wireless. Fuente [12]

1.8.6 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

El principio básico del proyecto es la sustitución punto por punto de cada luminaria, manteniendo postes de apoyo, ubicación de cuadros y toda la estructura base de la instalación de alumbrado.

Antes de nada, tengamos en cuenta que la instalación no es excesivamente antigua, pues la parte de las urbanizaciones fue construida en el 2005 y el alumbrado del vial de entrada al pueblo se colocó en 2009.

Si tomamos como referencia la ITC-BT-09 de instalaciones de alumbrado exterior podemos comprobar que se cumplen las especificaciones que estipula dicha norma en cuanto a características técnicas de la propia instalación.

Es decir:

- La acometida es subterránea con cables aislados y se garantiza la continuidad del neutro desde la salida del transformador de distribución AT/BT hasta los receptores de alumbrado al estar conectados entre sí.
- La sección de los cables es la mínima sección normalizada que cumple simultáneamente los criterios de intensidad máxima admisible, de caída de tensión y de intensidad de cortocircuito. En este caso son conductores de 6mm² y de tensión asignada 0,6/1kV. Ver figura 41.



Figura 41. Cuadro eléctrico de alumbrado de Cabezón de Pisuerga. Fuente: Elaboración propia.

- Las líneas de alimentación a los puntos de luz parten desde el cuadro de protección y están protegidas individualmente con corte omnipolar, tanto contra sobrintensidades como contra corrientes de defecto a tierra y contra sobretensiones cuando los equipos instalados los precisen. La intensidad de defecto, umbral de desconexión de los interruptores diferenciales es de 300mA y la resistencia de puesta a tierra, medida en la puesta en servicio de la instalación, es de 30Ω. La protección magnetotérmica es de 25A.
- Las envolventes de los cuadros de estudio proporcionan un grado de protección IP55 y disponen de un sistema de cierre que permite el acceso exclusivo del personal autorizado, con sus puertas de acceso situadas a una altura de 1 m. Las partes metálicas del cuadro están conectadas a tierra.
- La instalación es subterránea con tubos de 90mm enterrados a una profundidad mínima de 0,4m. No se agrupa más de un circuito en el interior del mismo tubo.
- Los empalmes y derivaciones están hechos en cajas de bornes adecuadas, situadas dentro de los soportes de las luminarias a una altura mínima de 0,3m, o en arquetas registrables, que garantizan, en ambos casos, la continuidad, el aislamiento y la estanqueidad del conductor.
- Los soportes de las luminarias actuales están formados por una sección circular en chapa de acero galvanizado. Son resistentes a las acciones de la intemperie y no permiten la entrada de agua de lluvia ni la acumulación del agua de condensación.

Si nos fijamos en el Anexo III de cálculos podemos observar que es viable aprovechar la instalación existente. Se cumple que la caída de tensión es menor al 3%, los conductores deben ser tetrapolares con una sección de 6mm², el diámetro de los tubos es el correcto y en cuanto a protecciones también estarán bien dimensionadas. Tengamos en cuenta que la potencia consumida con la reforma del alumbrado va a ser considerablemente menor a la consumida con las antiguas lámparas.

Aunque la acometida de los cuadros sea trifásica, la conexión de las luminarias es monofásica, pues las lámparas son receptoras a 230V. La alimentación se hace mediante las tres fases y el neutro de forma que cada luminaria se conecta a una fase y al neutro, con alternancia de la fase de un punto a otro. Esto se hace por dar fiabilidad al sistema de alumbrado, ya que si hay algún problema en una de las fases, no se queda toda la calle sin iluminar.

La modificación que será necesario hacer en el cuadro eléctrico, a priori, es la incorporación del controlador de segmento junto con su fuente de alimentación.

2. *PLIEGO DE CONDICIONES*

2.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este pliego de condiciones determina las condiciones mínimas aceptables para la ejecución de las obras de montaje del alumbrado público, especificadas en el correspondiente proyecto.

El contratista deberá atenerse a la normativa de aplicación especificada en la Memoria del Proyecto.

2.2 EJECUCION DE LOS TRABAJOS

2.2.1 MATERIALES

Todos los materiales empleados, de cualquier tipo y clase, aun los no relacionados con este pliego, deberán ser de primera calidad y de primera utilización.

2.2.1.1 INFRAESTRUCTURAS

Si en algún tramo no se puede emplear la canalización existente, se hará una nueva compuesta por cuatro tubos de color rojo exterior de PVC corrugado de diámetro interior 110mm y pared interior lisa. Los tubos irán embebidos en un dado de hormigón de 45cm de lado HM-20, respetándose en todo momento una cota libre a la pared del tubo más próxima a la superficie de 45cm.

El espacio entre el dado de hormigón y el pavimento se rellenará con tierra compactada en la que se instalará una cinta señalizadora que advierta de la existencia de cables eléctricos subterráneos, situada a una distancia mínima del nivel del suelo de 10 cm y a 25 cm por encima del tubo.

En caso de que sea necesario construir alguna arqueta de cruce de calzada o a pie de centro de mando serán de clase B-125 de 60 x 60 cm de hormigón moldeado en masa con tapa de hierro fundido revestida con pintura asfáltica, sobre cerco hidráulico del mismo material. La tapa llevará estampadas las palabras "Alumbrado Público Cabezón de Pisuerga", será de superficie antideslizante y llevará mecanizada una hendidura para facilitar la abertura. La Base de la arqueta será de grava gruesa de un mínimo de 15 cm de espesor. La distancia máxima entre arquetas consecutivas será de 50 metros.

2.2.1.2 CONDUCTORES

En caso de ser necesaria la tirada de una nueva línea, los conductores serán de cobre con aislamiento y cubierta de polietileno reticulado (XLPE) o policloruro de vinilo (PVC) de tensión nominal 0,6/1 Kv, de sección adecuada, no admitiéndose secciones superiores a 25 mm².

Las instalaciones eléctricas se realizarán siempre en sistema trifásico hasta los finales de línea.

Los cables cumplirán la normativa UNE de aplicación, con la marca, tipo de cable y sección, grabada en la cubierta exterior. La sección no será inferior a 4 mm², excepto en la subida al punto de luz que será de 2 x 2,5 mm², lo que se hará con interposición de cortocircuitos-fusible calibrado. Este conductor deberá ser soportado mecánicamente, no admitiéndose que cuelgue directamente de conexión del Driver.

Las líneas de alimentación se dimensionarán teniendo en cuenta una caída de tensión máxima del 3%. La línea de acometida al centro de mando deberá contar con una reserva de incremento de potencia mínima del 25%.

2.2.1.3 LUMINARIAS

La luminaria alojará en su interior los LED, el driver, la óptica y el resto de dispositivos auxiliares relacionados con el funcionamiento del equipo.

Se utilizarán el tipo y potencia de luminarias LED especificadas en la memoria y planos. Las luminarias serán clase II.

El fabricante deberá acreditar las garantías oportunas como mínimo 10 años en todos los componentes.

Características técnicas de luminarias LED:

- Corriente máxima alimentación del Led en funcionamiento 500mA.
- Grado mínimo de estanqueidad IP65/IK08.
- Inclinación regulable.
- Factor de potencia en condiciones nominales mayor de 0,95.
- Vida útil mínima de 50.000 L80F10.
- Temperatura de color 4000K.
- Índice de reproducción cromática mínimo de 0,70.
- Eficacia mínima de la luminaria 85 lúmenes/vatio, medida a 700mA, temperatura 25°C, Neutral White 4000 K. La medida deberá incluir Led, driver, ópticas y todos los componentes de la luminaria.
- Sistema de distribución fotométrica basado en lentes secundarias individuales de cada LED.
- Las luminarias deberán contar con el sistema de telegestión por radiofrecuencia que permita la regulación del flujo luminoso.
- La luminaria, deberá permitir como mínimo la reposición de la placa LED y el driver, de manera independiente, de forma que el mantenimiento de los mismos no implique el cambio de la luminaria completa.
- La tensión de alimentación de las luminarias debe ser como mínimo +-7% de la tensión de alimentación declarada, como se indica en el artículo 04.3 del R.D. 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución,

comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

- El rango de temperaturas ambiente de funcionamiento sin alteración de sus parámetros fundamentales deberá admitir al menos entre -10°C y 35°C.
- Los drivers utilizados tendrán una eficiencia de al menos el 92%, a máxima carga, corriente de salida comprendida entre 3000mA y 700mA, reprogramables sin intervención del fabricante.
- Las luminarias estarán dotadas de una protección contra sobre tensiones categoría I según R.E.B.T., de al menos 2Kv.
- La fecha de fabricación de los módulos LED no será anterior a seis meses de la del montaje en obra.

Las características técnicas de las luminarias deberán contar con sus certificados correspondientes, los cuales deberán haber sido emitidos por entidades acreditadas por ENAC.

Toda modificación del alumbrado vendrá a cumplir, por obligación, con las siguientes premisas:

- 1) La solución adoptada guardará relación con la estética existente actualmente del conjunto de la columna. Dicho conjunto está aceptado y homologado como tal y cuneta con todas las pruebas y aceptaciones pertinentes.
- 2) Los equipos de iluminación que se instalen deberán cumplir con lo exigido en el R.D. 1890/2008 del 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y se establecen las intensidades mínimas exigidas en función de la localización y la altura de la farola.
- 3) Los equipos de iluminación que se instalen deberán cumplir lo exigido en el R.E.B.T.

2.2.1.4 PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS

Cada punto de luz llevará dos cartuchos A.P.R. de 6A, los cuales se montarán en portafusibles seccionables de 20A.

2.2.1.5 CAJAS DE EMPALME Y DERIVACION

Estarán provistas de fichas de conexión y serán como mínimo P-549, es decir, con protección contra el polvo, contra las proyecciones de agua en todas las direcciones y contra una energía de choque de 20 julios.

2.2.1.6 SOPORTES

En caso de ser necesario reponer algún soporte, estos, serán de chapa de acero al carbono S-235 JR, o superior, según norma UNE-EN-1461 con acabados en acero galvanizado en caliente por inmersión de una sola vez, previos tratamientos de

desengrasado, decapado y fluxado, alcanzando un recubrimiento mínimo de 65 micras, según UNE-EN-10025.

Los pernos serán roscados de acero galvanizado y 18mm de diámetro.

Las cimentaciones de las columnas serán de hormigón en masa de 250Kg/m³, de cemento y dimensiones según norma.

Las columnas resistirán las solicitaciones previstas en la ITC-BT-09, apartado 6.1 con un coeficiente de seguridad no inferior a 2,5 particularmente teniendo en cuenta la acción del viento. No deberán permitir la entrada de lluvia ni la acumulación de agua condensada.

2.2.1.7 CUADROS DE MANDO Y PROTECCION

Todo material que se incorpore a los cuadros estará fabricados por casas de reconocida garantía y preparados para tensiones de servicio no inferior a 500V.

El centro de mando irá dotado de protección de sobretensiones clase II según Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

En caso de ser necesario reponer algún fusible, estos, serán APR, con bases apropiadas, de modo que no queden accesibles partes en tensión, ni sean necesarias herramientas especiales para la reposición de los cartuchos. El calibre será el mismo que el que había en un principio.

Para el caso de los interruptores diferenciales, deberán soportar 20.000 maniobras bajo carga nominal y el tiempo de respuestas no será superior a 30ms. Deben estar provistos de botón de prueba.

Las condiciones de los equipos de telegestión serán:

- CPU con tarjeta Compact Flash, dimensiones: 152 x 115 x 60,15 mm, alimentación: DC 20,4-28,8V
- Fuente de alimentación, dimensiones: 115 x 90 x 40,5 mm, entrada: AC 230V, salida: DC 24V/2,5A
- Módulo RF, IEEE 802.15.4 a 868 MHz, dimensiones: 93,9 x 36,2 x 63,5 mm
- Antena Disco Inteligente, tribanda GSM para 900/1800/1900 MHz
- Cable USB
- Cable UTP

2.2.2 EJECUCIÓN

2.2.2.1 REPLANTEO

El replanteo de la obra se hará por la Dirección Técnica, con representación del contratista. Se dejarán estaquillas o cuantas señalizaciones se estimen convenientes.

Durante el replante se definirán los cambios pertinentes en cuanto a necesidades de la instalación, de tal forma que quede siempre bajo la normativa vigente y según indica el pliego de condiciones.

2.2.2.2 TOMAS A TIERRA

La intensidad de defecto umbral de desconexión de los interruptores diferenciales será como máximo de 300mA y la resistencia de puesta a tierra, medida en la puesta en servicio de la instalación, será como máximo de 30 Ohm. También se admitirán interruptores diferenciales de intensidad máxima de 500mA o 1ª, siempre que la resistencia de puesta a tierra medida en la puesta en servicio de la instalación sea inferior o igual a 50hm y a 10hm, respectivamente. En cualquier caso la máxima resistencia de puesta a tierra será tal que, a lo largo de la vida de la instalación y en cualquier época del año, no se puedan producir tensiones de contacto mayores de 24V en las partes metálicas accesibles de la instalación (soportes, cuadros metálicos, etc.).

Realizar las comprobaciones necesarias y en caso de requerir una nueva puesta a tierra se procederá de la siguiente forma:

La puesta a tierra de los soportes se realizará por conexión a una red de tierra común para todas las líneas que partan del mismo cuadro de protección, medida y control. En las redes de tierra, se instalará como mínimo un electrodo de puesta a tierra cada 5 soportes de luminarias, y siempre en el primero y en el último soporte de cada línea. Los conductores de la red de tierra que unen los electrodos deberán ser:

- Desnudos, de cobre, de 35mm² de sección mínima, si forman parte de la propia red de tierra, en cuyo caso irán por fuera de las canalizaciones de los cables de alimentación.
- Aislados, mediante cables de tensión asignada 450/750V, con recubrimiento de color verde-amarillo, con conductores de cobre, de sección mínima 16mm² para redes subterráneas, y de igual sección que los conductores de fase para las redes posadas, en cuyo caso irán por el interior de las canalizaciones de los cables de alimentación.

El conductor de protección que une cada soporte con el electrodo o con la red de tierra, será de cable unipolar aislado, de tensión asignada 450/750V, con recubrimiento de color verde-amarillo, y sección mínima de 16mm² de cobre.

Todas las conexiones de los circuitos de tierra se realizarán mediante terminales, grapas, soldadura o elementos apropiados que garanticen un buen contacto permanente y protegido contra la corrosión.

2.2.2.3 EMPALMES Y DERIVACIONES

Los empalmes y derivaciones se efectuarán exclusivamente en cajas de las descritas en este pliego y la entrada y salida de los conductores se harán por la cara inferior.

Se reducirá al mínimo el número de empalmes.

2.2.2.4 FIJACIÓN Y REGULACION DE LAS LUMINARIAS

Las luminarias se instalarán con la inclinación adecuada a la altura del punto de luz, ancho de calzada y tipo de luminaria. En cualquier caso, su plano transversal de simetría será perpendicular al de la calzada.

Los dos tipos de luminarias propuestas son adaptables a columnas con un diámetro en punta de 60mm.

La columna quedará encajada en ambos casos dentro de la boca de la luminaria e irá fijada con las tuercas y tornillos prisioneros incluidos en el kit de la luminaria. Posteriormente se le aplicará una pequeña soldadura quedando se la siguiente forma:

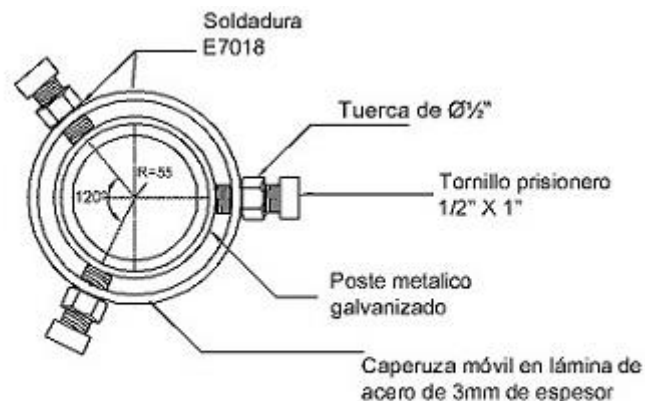
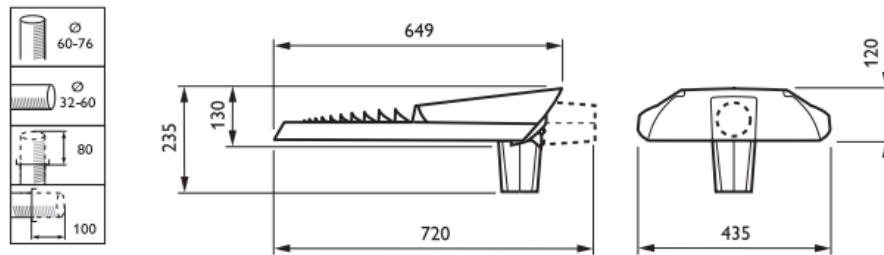


Figura 42. Sistema de fijación de la luminaria a la columna. Fuente [23]

En el caso de la luminaria Luma, el montaje será horizontal, según la figura 43, respetando las cotas recomendadas.



Luma 1 / BGP623 68 /NW PSU II OFR1 GR 62 0 L30

Figura 43. Instalación luminaria. Fuente [23]

Para el montaje de la luminaria CitySpirit Street se respetarán las mismas cotas que refleja la figura 43, pero en este caso el montaje será vertical sobre columna.

La conexión de los cables se realizará mediante prensaestopas M20 con alivio de tensión para el perfecto aislamiento del interior de la luminaria.

2.2.2.5 CUADRO DE MANIOBRA Y CONTROL

Todas las partes metálicas (bastidor, barras soporte, etc.) estarán estrictamente unidas entre sí y a la toma de tierra general.

La entrada y salida de los conductores se realizará de tal modo que no haga bajar el grado de estanqueidad del armario.

El controlador de segmento (SC) se conectará según indican las instrucciones del fabricante, usando los componentes que vienen incluidos en el kit.

2.2.2.6 MEDIDAS DE ILUMINACION

La comprobación del nivel medio de alumbrado será verificada pasados los 30 días de funcionamiento de las instalaciones. Se tomará una zona de la calzada comprendida entre dos puntos de luz consecutivos de una misma banda si estos están a tresbolillo, y entre tres puntos en caso de estar pareados o dispuestos unilateralmente.

Las mediciones se realizarán a ras de suelo y en ningún caso a una altura superior a 50cm, debiendo tomar las medidas necesarias para que no se interfiera la luz procedente de las diversas luminarias. La célula fotoeléctrica del luxómetro se mantendrá perfectamente horizontal durante la lectura de iluminancia.

2.2.2.7 SEGURIDAD

Al realizar los trabajos en vías públicas, tanto urbanas como interurbanas o de cualquier tipo, cuya ejecución pueda entorpecer la circulación de vehículos, se colocarán las señales indicadoras que especifica el vigente Código de la Circulación. Igualmente se tomarán las oportunas precauciones en evitación de accidentes de peatones, como consecuencia de la obra.

3. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

3.1 ANTECEDENTES

A partir de la promulgación de la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales, que establece la protección adecuada de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo y concretamente el RD 1627/1997, por el que se establecen condiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, determina en el apartado 2 del artículo 4 la obligatoriedad de la redacción de un Estudio básico de Seguridad y Salud, para los proyectos de construcción y obras públicas.

3.2 OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de este Estudio de Seguridad y Salud es establecer, durante la realización de las obras, las normas de prevención de accidentes y enfermedades profesionales, así como previsiones e informaciones útiles para efectuar en las debidas condiciones de seguridad y salud.

Servirá para dar directrices pertinentes a la empresa constructora referente a sus obligaciones en la prevención de riesgos profesionales, facilitando su desarrollo, de acuerdo con el R.D. 1627/97, del 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras publicas.

3.3 DATOS DE LA OBRA Y SU ENTORNO

- Número de trabajadores: Está previsto una media de 3 trabajadores.
- Suministro de energía eléctrica: Como todas las obras a realizar están ubicadas en el entorno de cada uno de los centros de mando de alumbrado público, ésta se tomará de los mismos, con las reglamentarias protecciones diferencial, magnetotérmica y puesta a tierra, según especificaciones del vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Ubicación de las obras: Las obras están ubicadas en el término municipal de Cabezón de Pisuerga (Valladolid).
- Previsiones económicas:

| | |
|--|-----------------|
| Presupuesto de ejecución material..... | 65.853,00 euros |
| Presupuesto total..... | 94.821,73 euros |
| Costo medio de mano de obra..... | 15 euros/h |
| Costo total de la mano de obra..... | 3.600 euros |
| Número de horas trabajadas..... | 240 horas |
| Número de jornadas de trabajo..... | 30 jornadas |

Duración de la obra.....2 semanas

3.4 PECULIARIDADES DE LA OBRA

Trabajo a realizar:

- Desmontaje de las luminarias actuales.
- Instalación de las nuevas luminarias en apoyos existentes.
- Instalación de controladores de segmento en los cuadros de mando.
- Configuración del software CityTouch.
- Puesta a punto del sistema de alumbrado.
- Pruebas de funcionamiento.

Lugar de trabajo: Cabezón de Pisuerga.

Las obras se realizaran con un total de 3 trabajadores.

Duración de los trabajos a realizar: 10 días.

Energía eléctrica: Se utilizará energía eléctrica de la instalación a tensión 2x230V ó 3x400V + N, con sus protecciones reglamentarias, diferencial y puesta a tierra, de acuerdo con el R.E.B.T.

3.5 RIESGOS DE LOS TRABAJOS

Los posibles riesgos que lleva este tipo de trabajos son los siguientes:

- Atrapamientos
- Desprendimientos, desplomes y derrumbes
- Choques y golpes
- Caída de personas al mismo nivel
- Caída de personas a distinto nivel
- Caída de objetos
- Cortes
- Contactos eléctricos
- Sobreesfuerzos
- Condiciones ambientales adversas

En la ejecución de los trabajos, se prestará especial atención a los siguientes aspectos:

Andamios y escaleras: Las escaleras serán de madera u otro material aislante, protegidas por barniz transparente, dotadas de zapatitas, no presentando holguras ni peldaños rotos o astillados y nunca se trepará por estructuras para alcanzar un punto elevado.

Plataformas de trabajo: A más de 2m de altura, serán sólidas de 60cm de ancho, protegidas por barandillas, barra intermedia y rodapié de 20cm en todo su entorno.

Comprobación de tensión: Debido a la naturaleza de los trabajos a realizar, a veces siendo necesario realizar operaciones en servicio, será preciso un sistema de señalización capaz de evitar cualquier maniobra que implique algún riesgo para el personal o para la instalación.

La instalación estará en “Fuera de carga” cuando se hayan realizado las siguientes operaciones:

- Apertura visible de las fuentes de tensión.
- Enclavamiento de los aparatos de corte en posición de apertura.

Equipos eléctricos: Se cumplirá en todo momento lo especificado en el vigente R.E.B.T. e Instrucciones Técnicas Complementarias.

Los cuadros provisionales de obra se conectarán en los centros de mando y maniobra de la instalación sin alterar el funcionamiento de la misma, cuidando especialmente la puesta a tierra en cuanto a sección y conexión al circuito de tierra.

La herramienta portátil alimentada por energía eléctrica será siempre de doble aislamiento o reforzada y el circuito al que se conecte estará protegido por diferencial de alta sensibilidad.

Los equipos eléctricos no portátiles, que no sean de doble aislamiento, estarán siempre puestos a tierra, preferentemente a través del cable de alimentación o con toma de tierra independiente, cuidando en este caso, la sección del cable y la conexión al circuito de tierra.

Los cables deberán estar en buen estado de aislamiento y la conexión de los equipos se realizará siempre mediante clavijas normalizadas.

El alumbrado provisional fijo a tensión mayor de 24V será de doble aislamiento, todas sus partes metálicas estarán puestas a tierra y el circuito protegido por diferencial de alta sensibilidad.

Transportes y elevación: Para el transporte de materiales, se seguirán las Recomendaciones del R.D.487/1997. Sobre “Disposiciones mínimas de seguridad y salud, relativas a la manipulación manual de cargas”.

Caída de objetos: Nunca se arrojarán objetos desde puntos elevados u otros inferiores.

Herramientas: Antes de utilizar cualquier herramienta, será necesario el conocimiento del manejo de la misma, por parte del operario.

Condiciones ambientales: Cuando las condiciones ambientales no sean las adecuadas para realizar el trabajo, se realizarán actividades complementarias u otro tipo de actividad, que entrañe riesgo mínimo para la seguridad del trabajador.

Orden y limpieza: La zona de trabajo se mantendrá limpia, prestándose atención a dejarla libre de obstrucciones, llevando la herramienta y el material sobrante al almacén y la chatarra y basura a depósitos colocados al efecto.

3.6 PROTECCIONES INDIVIDUALES

El personal hará uso inexcusable de los elementos de protección individual obligatorios y de aquellos que sean necesarios para protegerse de su trabajo específico.

Se usará siempre casco y calzado de seguridad.

Se utilizará cinturón de seguridad, sujeto a un punto fijo, siempre que exista riesgo de caída a distinto nivel.

Se dotará al personal de chalecos reflectantes homologados por tratarse de trabajos realizados en la vía pública.

Se cumplirá, en general, lo establecido en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales en lo referente a garantías y responsabilidades frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo.

3.7 PROTECCIONES COLECTIVAS

Los lugares de trabajo deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el R.D.486/1997 del 14 de abril.

Deberán permitir que los trabajadores realicen su trabajo sin riesgos para su seguridad y salud y en condiciones ergonómicas aceptables.

Para evitar el contacto eléctrico directo, se utilizará el sistema de separación de las partes activas, interposición de obstáculos y recubrimiento aislante de partes activas.

Para evitar el contacto eléctrico indirecto se utilizará el sistema de puesta a tierra de las masas metálicas, así como la instalación de interruptores diferenciales de sensibilidad adecuados a la resistencia a tierra de la instalación provisional.

Se colocará la señalización que se requiera, de acuerdo con el R.D.485/1997 en cuanto a:

- Señales de tráfico: Stop, dirección obligatoria, dirección prohibida, limitación de velocidad, etc.
- Señales de seguridad: Uso obligatorio de casco, gafas, botas, cinturón, etc.

- Señales informativas: Riesgo eléctrico, maquinas en movimiento, localización de botiquín, localización de extintor, etc.
- Cintas de balizamiento
- Jalones de señalización

Se dispondrá de botiquín de urgencias, conteniendo el material especificado en la Ordenanza General de Seguridad y Salud en el Trabajo.

3.8 CONDICIONES DE SEGURIDAD PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS

3.8.1 TRABAJO EN INSTALACIONES DE B.T. “SIN TENSION”

Siempre que sea posible se realizarán los trabajos como “Trabajos Sin Tensión”

Las maniobras serán las siguientes:

- Apertura con corte visible de todas las fuentes de tensión, mediante interruptores y seccionadores que aseguren la posibilidad de su cierre.
- Enclavamiento de los aparatos de corte y señalización en el mando.
- Comprobación de la ausencia de tensión
- Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las fuentes de tensión.
- Colocación de señalización, delimitando la zona de trabajo.

En la prevención de accidentes deberá tenerse en cuenta también los contactos, que aunque por su naturaleza no serán peligrosos, pudieran provocar movimientos irreflexivos ocasionando una pérdida de equilibrio o caída grave del trabajador.

Una vez concluidos los trabajos “Sin Tensión”, y antes de dar tensión a la instalación, se realizaran las siguientes operaciones:

- Se retirará el enclavamiento y señalización.
- Se retirarán las puestas en cortocircuito.
- Se avisará al responsable del trabajo y éste reunirá y avisará a todas las personas que hayan participado en el trabajo.
- Se cerrarán los circuitos previamente abiertos.

Hay que tener en cuenta también si en las proximidades, fuera del área de trabajo, se encuentra algún conductor desnudo y respetar la distancia y límite de aproximación a elementos en tensión no protegidos.

3.8.2 TRABAJO EN INSTALACIONES DE B.T. “CON TENSION”

Todos los trabajos “Con Tensión” deberán ser realizados por trabajadores cualificados, los cuales deberán poseer conocimientos específicos de instalaciones eléctricas.

El jefe de obra será quien decida la necesidad de realizar un trabajo “Con Tensión”.

Para realizar dicho trabajo se tomarán las siguientes precauciones:

- Se colocará el trabajador sobre un elemento aislante.
- Utilizará ropa seca que no disponga de elementos conductores y que cubra totalmente brazos y piernas.
- Utilizará casco, guantes y herramientas aislantes.
- Utilizará gafas de protección si existe riesgo de accidente ocular.
- Se aislarán los conductores desnudos en tensión, así como el neutro, próximos al lugar de trabajo.

3.9 FORMACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD

Todo el personal, al ingresar en la obra deberá recibir una exposición de los métodos de trabajo y riesgos que estos pudieran entrañar, así como las medidas de seguridad que deberán emplear.

3.10 PREVENCIÓN DE DAÑOS A TERCEROS

Con objeto de prevenir los daños que pudieran causarse a terceros con motivo de la realización de las obras se tendrá en cuenta lo siguiente:

Se señalará, de acuerdo con la normativa vigente, el enlace con las carreteras y caminos, tomándose las adecuadas medidas de seguridad que en cada caso se requieran. De igual forma, los accesos naturales a la obra, prohibiéndose el paso a toda persona ajena a la misma, colocándose los cerramientos necesarios.

Se delimitará la zona de peligro por medio de cinta plástica reflectante, sujeta en postes en todo su trazado para la seguridad diurna y con placas reflectantes durante la noche.

3.11 RESPONSABLES DE SEGURIDAD

La empresa nombrará a una persona responsable de la Seguridad y Salud durante el desarrollo de las obras, que se encargará de:

- Informar al personal de los riesgos potenciales.
- Motivar al personal para el cumplimiento de las Normas de Seguridad
- Detectar las condiciones de riesgo y preponer medidas para su corrección.
- Realizar revisiones periódicas.

- Organizar la atención al personal en caso de accidente y colaborar en la investigación del mismo.

Así mismo, la propiedad nombrará un Responsable de Seguridad y Salud que coordinará con el Responsable de la Empresa lo siguiente:

- Seguimiento del Plan de Seguridad y Salud establecido y proposición de posibles modificaciones.
- Estudio de la accidentalidad en la obra y sus causas.
- Control de la formación de los trabajadores.
- Control del estado de equipos y herramientas.
- Control de equipos de seguridad.

4. RESULTADOS

Los resultados que se pretenden alcanzar con este plan de mejora se resumen en un aumento de la eficiencia del sistema de alumbrado, una mayor comodidad visual de los usuarios de las vías pública y una disminución en el consumo eléctrico del municipio.

La clave para llegar a alcanzar estos propósitos es la implantación de un sistema eficiente, que economice el consumo de energía eléctrica sin disminuir las prestaciones de un adecuado alumbrado exterior. Con la instalación propuesta no solo no se disminuye la calidad del alumbrado si no que se mejora sustancialmente.

4.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Entendemos como eficiencia energética la optimización de los recursos para obtener un resultado mejor. A través de este plan se logra un sistema eficiente en cuanto a consumo pero también en cuanto a gestión, facilitando las tareas de mantenimiento, la previsión de gastos e incrementando la versatilidad del alumbrado.

La opción de la tecnología LED nos ayuda en la tarea de reducir el propio consumo de la luminaria, ya que los LED nos aportan un nivel de iluminación equivalente a otro tipo de lámparas pero demandando una potencia mucho menor.

En el caso práctico del proyecto se exponen los siguientes datos:

| | POTENCIA INICIAL INSTALADA (W) | POTENCIA FINAL INSTALADA (W) | AHORRO (W) | AHORRO (%) |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|
| CUADRO 10 | 13.552 | 3.025 | 10.527 | 77,7 |
| CUADRO 11 | 3.752 | 2.234 | 1.518 | 40,5 |
| TOTAL | 17.304 | 5.259 | 12.045 | 69,6 |

*Tabla 11. Comparación de consumos eléctricos entre las luminarias VPSAP y LED.
Fuente: Elaboración propia*

La tabla 11 nos indica que tras la sustitución de las luminarias actuales por luminarias LED, nuestra instalación va a consumir un 69,6% menos de energía eléctrica.

Aparte de la clara disminución en la energía consumida, estas luminarias se consideran también más eficientes, por el mejor aprovechamiento de sus haces luminosos, pues dirigen la luz de forma más precisa y se reduce la contaminación lumínica. El elevado índice de reproducción cromática también ayuda a aportar a los usuarios mayor sensación de iluminación y comodidad visual.

La combinación del alumbrado LED con el sistema de telegestión planteado incrementa esta eficiencia buscada, pudiendo adaptar la instalación a las necesidades de los ciudadanos, de forma que se ilumine lo justamente necesario. A través de la regulación se pueden alcanzar ahorros del 40%.

En el caso de las lámparas de vapor de sodio a alta presión se puede reducir la potencia hasta un 35% durante las horas de menor tránsito. Suponiendo que las horas de régimen reducido son de 12h a 6h de la mañana, esto supone un ahorro de energía total del 17,5% aproximadamente. Estas lámparas son muy sensibles a los cambios de tensión y esto supone un deterioro de las mismas, además que, en caso de que se quiera atenuar en mayor medida la iluminación, la alternativa es apagarlas por completo. En cambio las luminarias propuestas permiten una mayor versatilidad a la hora de modificar su flujo lumínico, pudiendo escalonar en mayor medida la potencia consumida durante sus horas de funcionamiento sin necesidad de apagar por completo las luminarias.

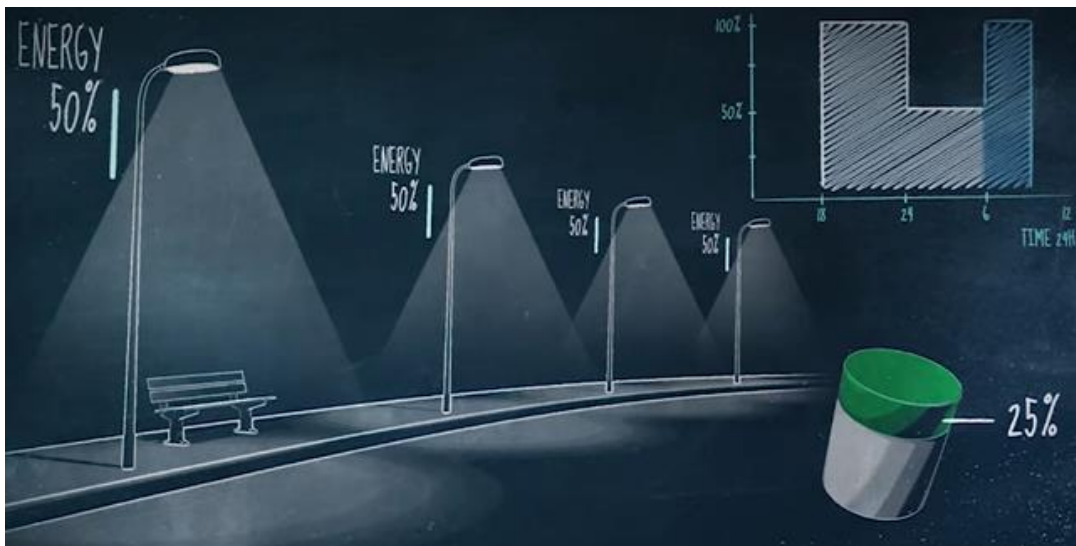


Figura 44. Un nivel de escalonamiento del flujo lumínico. Fuente [13]

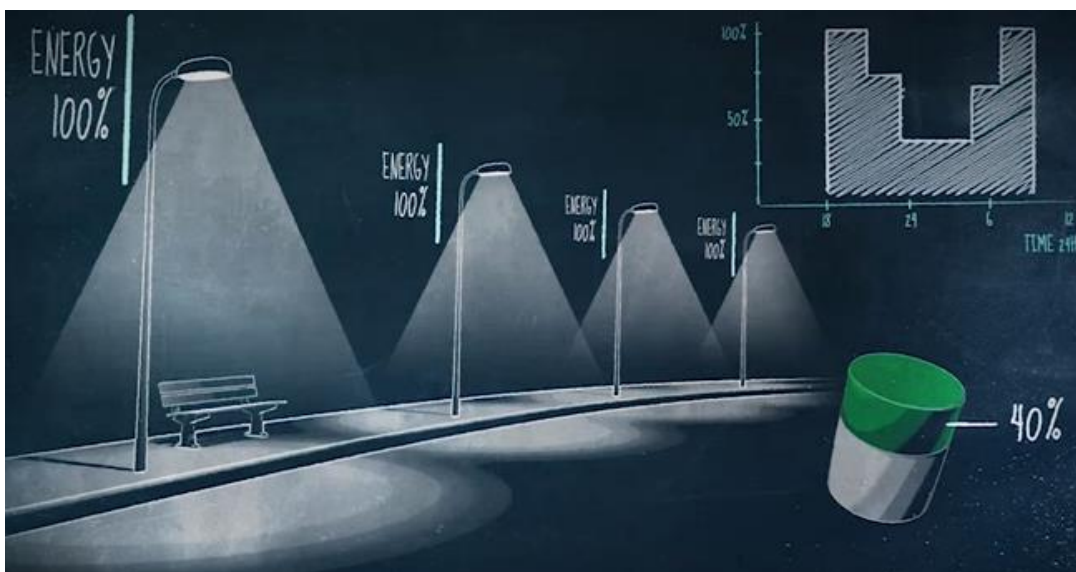


Figura 45. Dos niveles de escalonamiento del flujo lumínico. Fuente [13]

Por tanto si tenemos en cuenta ambos sistemas de control, los datos reales a valorar se van a ver reducidos, según la tabla 12.

Suponiendo un encendido medio de **11,5h diarias**, teniendo en cuenta la diferencia entre la estación de invierno y verano, resultan ser **4.197,5h anuales** de servicio.

| | POTENCIA INSTALADA (W) | ENERGIA ANUAL CONSUMIDA A PLENA CARGA (KWh) | ENERGIA ANUAL CONSUMIDA CON LOS SISTEMAS DE CONTROL (kWh) |
|------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| SITUACIÓN INICIAL | 17.304 | 72.634 | 59.923 |
| SITUACIÓN FINAL | 5.259 | 22.075 | 13.245 |
| AHORRO | 12.045 | 50.559 = (69,6%) | 46.678 = (78%) |

Tabla 12. Consumo teniendo en cuenta los sistemas de gestión. Fuente: Elaboración propia

Los ahorros energéticos obtenidos van directamente ligados con la disminución de emisiones de CO₂, puesto que, cuanto menos energía se consume, menor energía será necesario generar, y por tanto, menores serán las emisiones producidas de gases de efecto invernadero.

Se entiende como mix eléctrico el valor que expresa las emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad que se consume. El mix de la red eléctrica peninsular se estima en 308g CO₂/kWh.

Este consumo traducido a toneladas de CO₂ anuales sería el que muestra la tabla 13.

| | ENERGIA ANUAL CONSUMIDA (kWh) | TONELADAS ANUALES DE CO₂ |
|--------------------------|--|--|
| SITUACIÓN INICIAL | 59.923 | 18,45 |
| SITUACIÓN FINAL | 13.245 | 4,08 |
| AHORRO | 46.678 | 14,37 = (78%) |

Tabla 13. Comparación de consumos anuales traducido a toneladas de CO₂. Fuente: elaboración propia

Con la sustitución de las luminarias colaboramos en la reducción de las toneladas de CO₂ producidas y ayudamos a cumplir el propósito del Consejo Europeo de reducir un 20% el consumo de energía para el 2020.

De forma cuantitativa, la eficiencia en una instalación de alumbrado exterior se define como la relación del producto de la superficie iluminada por la iluminancia media entre la potencia instalada, es decir:

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P} \left(\frac{m^2 * lux}{W} \right)$$

Donde:

ε = Eficiencia energética

P= Potencia instalada (W)

S= Superficie iluminada (m²)

E_m= Iluminancia media (lux)



Figura 46 . Calificación eficiencia energética. Fuente [8]

Las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrado de señales y anuncios luminosos, festivos y navideños, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética I_ε. El índice de eficiencia energética (I_ε) se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación (ε) y el valor de eficiencia energética de referencia (ε_R) en función del nivel de iluminancia media proyectada, que se indican en la tabla 14.

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

| Iluminancia media en servicio proyectada E_m (lux) | Eficiencia Energética de referencia ϵ_R $\left(\frac{m^2 \cdot lux}{W}\right)$ |
|--|--|
| >30 | 32 |
| 25 | 29 |
| 20 | 26 |
| 15 | 23 |
| 10 | 18 |
| <7,5 | 14 |

Tabla 14 . Eficiencia energética de referencia en función del nivel de iluminancia media. Fuente [17]

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la A (más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (menos eficiente y con más consumo de energía). El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es el inverso al índice de eficiencia energética.

$$ICE = \frac{1}{I_E}$$

Según la GUIA-EA-01 de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, la calificación energética se efectúa según la tabla 15.

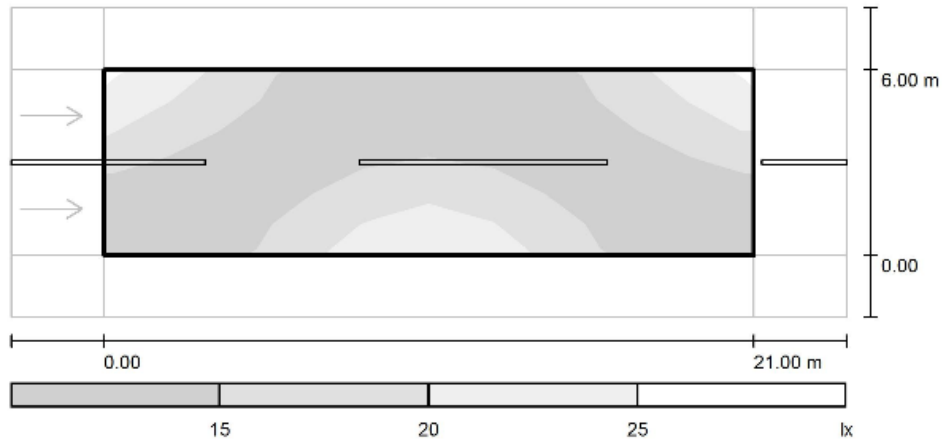
| Tabla 4 – Calificación energética de una instalación de alumbrado. | | |
|--|------------------------------|---------------------------------|
| Calificación Energética | Índice de consumo energético | Índice de Eficiencia Energética |
| A | ICE < 0,91 | $I_E > 1,1$ |
| B | $0,91 \leq ICE < 1,09$ | $1,1 \geq I_E > 0,92$ |
| C | $1,09 \leq ICE < 1,35$ | $0,92 \geq I_E > 0,74$ |
| D | $1,35 \leq ICE < 1,79$ | $0,74 \geq I_E > 0,56$ |
| E | $1,79 \leq ICE < 2,63$ | $0,56 \geq I_E > 0,38$ |
| F | $2,63 \leq ICE < 5,00$ | $0,38 \geq I_E > 0,20$ |
| G | ICE $\geq 5,00$ | $I_E \leq 0,20$ |

Tabla 15. Calificación energética de instalaciones de alumbrado. Fuente [17]

Hacemos uso de los datos obtenidos en DIALux para evaluar la eficiencia energética de ambas luminarias aplicadas a nuestra instalación:

- **CitySpirit**

Calle Juan de Vivero Vizconde de Altamira / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Gama de grises (E)



Escala 1 : 194

Trama: 10 x 6 Puntos

| E_m [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_m | E_{min} / E_{max} |
|------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|
| 15 | 11 | 23 | 0.722 | 0.472 |

Figura 47. Iluminancia en Gama de grises C/Juan de Vivero Vizconde de Altamira. Fuente: Elaboración propia

Se obtiene una iluminancia media de 15 lux para una superficie de 121 m² en la que interviene una luminaria en total (25W). Por tanto:

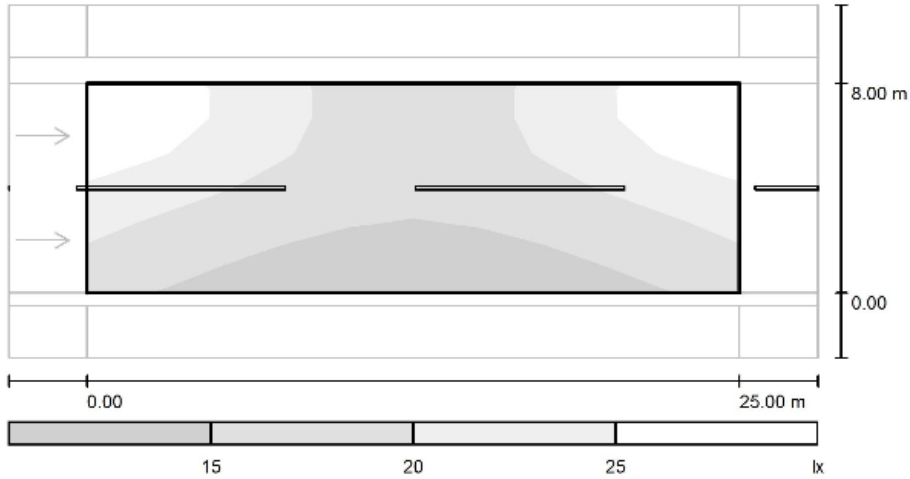
$$I_E = \frac{72,6}{23} = 3,16 \quad ICE = 0,32$$



Figura 48 . Calificación energética C/Juan vivero Ruiz Conde de Altamira. Fuente: Elaboración propia.

- Luma

AVENIDA JOSÉ ZORRILLA / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Gama de grises (E)



Escala 1 : 222

Trama: 10 x 6 Puntos

| E_m [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_m | E_{min} / E_{max} |
|------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|
| 19 | 12 | 28 | 0.645 | 0.449 |

Figura 49. Iluminancia en Gama de grises Av. José Zorrilla. Fuente: Elaboración propia

Se obtiene una iluminancia media de 13 lux para una superficie de 200 m² en la que interviene en total la mitad del flujo luminoso de una luminaria (52W). Por tanto:

$$I_E = \frac{73,08}{25,4} = 2,88 \quad ICE = 0,35$$



Figura 50. Calificación energética Av. José Zorrilla. Fuente: Elaboración propia.

4.2 VIABILIDAD ECONOMICA

La tecnología LED es una de las fuentes de iluminación que requieren mayor inversión inicial, pero sus innumerables ventajas, sobretodo, en cuanto a vida útil y bajos consumos, la hacen una alternativa muy adecuada para la mejora de casi cualquier sistema de iluminación.

Si establecemos un precio medio por kWh consumido de unos **0,1415€** aproximadamente, obtenemos los datos de la tabla 16.

| | ENERGIA ANUAL CONSUMIDA (KWh) | COSTE ILUMINACION ANUAL (€) |
|--------------------------|--|--|
| SITUACIÓN INICIAL | 59.923 | 8.479 |
| SITUACIÓN FINAL | 13.245 | 1.874 |
| AHORRO | 46.678 | 6.605 |

Tabla 16. Comparación de gasto eléctrico anual. Fuente: Elaboración propia

El gasto computable al alumbrado público no solo corresponde a la factura de la compañía eléctrica, sino también al gasto por el mantenimiento de las instalaciones. Datos cedidos por el propio ayuntamiento nos indican que invierten en el mantenimiento aproximadamente unos 19.200€ anuales en concepto de sustitución de lámparas. Extrapolando a nuestro campo de estudio, teniendo en cuenta que el número de puntos de luz totales del municipio es de 1.159, equivaldría a **2.385€**.

La larga durabilidad de las lámparas LED, junto con el sistema de control implantado, hace que el gasto por mantenimiento sea prácticamente despreciable en comparación con la antigua instalación. Según el fabricante la vida útil de las luminarias es de 100.000h, es decir unos 23 años. Por tanto el mantenimiento correctivo se efectuará a los 23 años y el preventivo se verá optimizado.

A la hora de estudiar la viabilidad económica será necesario calcular el VAN y la TIR correspondientes.

4.2.1 VAN

El VAN o Valor Actual Neto es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona un proyecto. Se calcula como:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{Q_i}{(1+k)^i}$$

Donde:

I_0 → la inversión inicial.

- n → número de periodos considerados.
 k → tasa de actualización.
 Q_i → flujos de caja en el periodo i.

Para la tasa de actualización se tomará la media de los últimos 15 años en Valladolid, siendo para la electricidad un valor aproximado de 6,14%.

Como inversión inicial tomaremos la resultante del Anexo II: presupuesto.

Para los años posteriores a la implantación del nuevo sistema de alumbrado se tomará como flujo positivo el ahorro resultante de la tabla 7 más el gasto de mantenimiento anual que se está teniendo en estos momentos.

En el año 23 se incluirá el gasto por la reposición de lámparas LED, que se tomará un precio de 100€ por unidad de forma aproximada, ya que ese aspecto se escapa del alcance de este proyecto, y hay gran cantidad de alternativas y precios que deberán barajarse cuando llegue el momento de su reposición.

| AÑO | INVERSIÓN | FLUJOS DE CAJA | VAN |
|------------|------------------|-----------------------|--------------|
| 0 | -93.093,85 € | -93.093,85 € | -94.821,73 € |
| 1 | | 8.990,00 € | -86.340,60 € |
| 2 | | 8.990,00 € | -78.339,53 € |
| 3 | | 8.990,00 € | -70.791,35 € |
| 4 | | 8.990,00 € | -63.670,43 € |
| 5 | | 8.990,00 € | -56.952,58 € |
| 6 | | 8.990,00 € | -50.614,98 € |
| 7 | | 8.990,00 € | -44.636,12 € |
| 8 | | 8.990,00 € | -38.995,68 € |
| 9 | | 8.990,00 € | -33.674,52 € |
| 10 | | 8.990,00 € | -28.654,55 € |
| 11 | | 8.990,00 € | -23.918,73 € |
| 12 | | 8.990,00 € | -19.450,97 € |
| 13 | | 8.990,00 € | -15.236,11 € |
| 14 | | 8.990,00 € | -11.259,82 € |
| 15 | | 8.990,00 € | -7.508,61 € |
| 16 | | 8.990,00 € | -3.969,73 € |
| 17 | | 8.990,00 € | -631,17 € |
| 18 | | 8.990,00 € | 2.518,43 € |
| 19 | | 8.990,00 € | 5.489,74 € |
| 20 | | 8.990,00 € | 8.292,86 € |
| 21 | | 8.990,00 € | 10.937,32 € |

| | | | |
|----|--------------|-------------|-------------|
| 22 | | 8.990,00 € | 13.432,09 € |
| 23 | -14.400,00 € | -5.410,00 € | 12.015,77 € |
| 24 | | 8.990,00 € | 14.236,10 € |
| 25 | | 8.990,00 € | 16.330,76 € |
| 26 | | 8.990,00 € | 18.306,85 € |
| 27 | | 8.990,00 € | 20.171,09 € |
| 28 | | 8.990,00 € | 21.929,81 € |
| 29 | | 8.990,00 € | 23.588,97 € |
| 30 | | 8.990,00 € | 25.154,22 € |

Tabla 17. Desglose del VAN anual. Fuente: elaboración propia.

La inversión realizada a 30 años, con una tasa de actualización constante, da como resultado un valor del VAN positivo, por lo tanto se puede afirmar que el proyecto estudiado es económicamente viable.

4.2.2 TIR

La TIR, o Tasa interna de rentabilidad es la que indica la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

$$TIR = r \quad \text{tal que} \quad VAN(k = r) = 0$$

Para este proyecto se obtiene una TIR del **8,45%**

La TIR (r=8,45%) tiene un valor superior a la tasa de actualización que hemos utilizado para calcular el VAN (k=6,14%), por tanto concluimos que el proyecto es rentable.

5. CONCLUSIONES

El alumbrado público es un servicio necesario para los habitantes de una localidad, a la vez que un gasto importante y prolongado para los ayuntamientos, es por ello por lo que se debe buscar la forma de mejorar la eficiencia de la red de alumbrado. Un alumbrado óptimo debe garantizar la mayor calidad junto con el consumo mínimo de energía.

La sustitución de las lámparas de vapor de sodio a alta presión por luminarias LED es un gran avance en sí mismo, pues el LED ofrece amplias ventajas en cuanto a calidad de luz, dinamismo, durabilidad, y sobre todo se destaca por su bajo consumo eléctrico. Solamente el cambio de una tecnología por otra supone al municipio un ahorro del 69,6% de energía. La luz neutra de los LED aporta a los usuarios de las vías públicas un mayor efecto de luminosidad sin deslumbramiento, dejando percibir mejor los colores y ganando en sensación de seguridad, así como aumentando la comodidad visual.

Para sacar el máximo partido a la red de alumbrado se ha combinado con un sistema de telegestión que permite regular el flujo luminoso dependiendo de las necesidades de la población. También ofrece datos de consumos, informa de errores y facilita la labor de mantenimiento. Aplicando sistemas de gestión se consigue que la instalación sea más eficiente, emitiendo la iluminación adecuada en cada momento. Como hemos visto en el desarrollo del proyecto, aplicando estas dos mejoras obtenemos un ahorro del 78% en la energía consumida.

El menor consumo de energía va directamente ligado con la disminución de partículas de CO₂ emitidas en la generación de la misma. Aplicando las medidas dispuestas en este estudio se consiguen reducir 14,37 toneladas de CO₂ anuales. Este cambio es una ayuda para el propósito del Consejo Europeo de reducir un 20% el consumo de energía para el 2020.

En lo que a datos económicos se refiere, el ayuntamiento se ve beneficiado con la implantación de la instalación propuesta, obteniendo 8.990,00€ de ahorro anual, en concepto de reducción de la factura eléctrica y de la optimización del mantenimiento.

La peculiaridad más desfavorable de los LED es que son una tecnología que requieren grandes inversiones iniciales, aunque su larga vida útil y su bajo consumo hacen que la instalación se desempeñe con facilidad. En este caso el ayuntamiento comienza a obtener beneficio económico, en comparación con la instalación actual, transcurridos 18 años. Tengamos en cuenta que el estudio se ha realizado para una pequeña zona del pueblo, por tanto el margen de ganancia no puede ser muy grande. Lo ideal es aplicar esta técnica a todos los puntos de luz del municipio para obtener grandes ahorros económicos, sacar el máximo partido al software de gestión y mejorar ampliamente la eficiencia buscada por este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- [1] Excmo. Ayuntamiento de Cabezón de Pisuerga. *Estudio energético para la mejora del sistema de alumbrado público del municipio de Cabezón de Pisuerga*. 2016
- [2] Universidad del Bio Bio. Distribución de la energía eléctrica
- [3] Benedicto Capón: Difusores y filtro
- [4] Javier García Fernández: Magnitudes y unidades de medida
- [5] EnerSuit. *Iluminación Led*. 2014
- [6] Manual de iluminación INDAL
- [7] IDAE. *Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología led de alumbrado exterior*. 2015
- [8] Fenercom. *Guía sobre tecnología LED en el alumbrado*. 2015
- [9] Philips. *Catálogo Alumbrado Profesional*. 2016
- [10] Philips. CityTouch. 2016
- [11] Orbis. *Alumbrado público*. 2011
- [12] Philips. *Catálogo de Sistemas de Control*. 2016
- [13] Philips. Get in control. 2013

NORMATIVA

- [14] *Anexo general del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Resolución nº 180540 de 30 de marzo de 2010
- [15] ITC-EA-02 *Niveles de iluminación*. Mayo 2013
- [16] GUIA-BT-09 *Instalaciones de alumbrado exterior*. 2004
- [17] GUIA-EA-01 *Eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior*. 2013

SOFTWARE

- [18] DIAL GMBH. *DIALux 4.12*. 2014
- [19] *dmELECT*. 2010

PÁGINAS WEB

- [20] <http://www.nexia.es/es/beneficios-del-led> 2017

- [21] <http://cabezondepisuerga.sedelectronica.es/transparency/679cf19d-ce39-4d48-bbc8-7cf52213f823/> 2015
- [22] Lámparas de vapor de sodio <http://www.efimarket.com> 2017
- [23] <http://www.lighting.philips.com> 2017
- [24] <http://www.eneltec-led.es> 2014

ANEXO I: PLANOS

ANEXO II: PRESUPUESTO

ANEXO III: CALCULOS

ANEXO IV: ESTUDIO DIALUX

ANEXO V: FICHAS TECNICAS