

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías  
Industriales

Estudio y comparativa de tecnologías para un sistema de telegestión de alumbrado público.  
Caso práctico en el municipio de Úbeda.

Autor: Juan Manuel Álvarez Villalba

Tutor: Ana Cinta Oria Oria

Dpto. Ingeniería Electrónica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

**Estudio y comparativa de tecnologías para un sistema de telegestión de alumbrado público. Caso práctico en el municipio de Úbeda.**

Autor:

Juan Manuel Álvarez Villalba

Tutora:

Ana Cinta Oria Oria

Profesora Titular de Universidad

Dpto. de Ingeniería Electrónica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado: Estudio y comparativa de tecnologías para un sistema de telegestión de alumbrado público. Caso práctico en el municipio de Úbeda.

Autor: Juan Manuel Álvarez Villalba

Tutora: Ana Cinta Oria Oria

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*





# AGRADECIMIENTOS

---

Agradecer a mi familia, a mis amigos y a mi tutora por todo el apoyo y ayuda para realizar este trabajo.

# RESUMEN

---

En este trabajo se va a estudiar un proyecto de telegestión de alumbrado que se ejecutó en Úbeda (Jaén) en 2018, y se planteará una alternativa a la tecnología de comunicación requerida por el pliego de prescripciones técnicas de dicho proyecto. Para ello, se estudiarán todas las tecnologías de comunicación en la telegestión del alumbrado en el mercado y se elegirán las más adecuadas para una comparación posterior, con el sistema instalado. En este caso se confrontarán la tecnología inalámbrica Zigbee con la tecnología cableada PLC, exponiendo sus ventajas y desventajas y tomando una conclusión de cuál es el sistema más adecuado para instalar en la ciudad de Úbeda. Finalmente, se discutirán las líneas futuras en la telegestión del alumbrado público.



# ABSTRACT

---

In this draft, a lighting remote management project that was carried out in Úbeda (Jaén) in 2018 will be studied and will be considered an alternative to the communication technology required by the technical specifications of said project. For this, all communication technologies for remote management of lighting on the market will be studied and the most suitable ones will be chosen for a later comparison with the installed system. In this case, the installed system, with Zigbee wireless technology, will be compared with wired PLC technology used in other market systems, exposing its advantages and disadvantages and taking a conclusion of which is the most suitable system to install in the city of Úbeda. Finally, there will be discussed the future lines in the remote management of public lighting.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>12</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>13</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>15</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Contexto del Trabajo Fin de Grado .....</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Motivación del Trabajo Fin de Grado .....</i>	<i>1</i>
1.3 <i>Objetivo del Trabajo Fin de Grado .....</i>	<i>2</i>
1.4 <i>Organización y metodología .....</i>	<i>2</i>
<b>2 ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Introducción a la telegestión del alumbrado público .....</i>	<i>3</i>
2.1.1 <i>Unidad de control de alumbrado .....</i>	<i>4</i>
2.1.2 <i>Red de comunicación .....</i>	<i>6</i>
2.1.3 <i>Software de telegestión .....</i>	<i>6</i>
2.1.4 <i>Ventajas e inconvenientes de la telegestión del alumbrado público .....</i>	<i>8</i>
2.2 <i>Descripción de tipos de telegestión de alumbrado público .....</i>	<i>9</i>
2.2.1 <i>Telegestión en cabecera de cuadro .....</i>	<i>9</i>
2.2.2 <i>Telegestión punto a punto .....</i>	<i>12</i>
2.3 <i>Tecnologías en la telegestión de alumbrado público .....</i>	<i>17</i>
2.3.1 <i>Tecnologías inalámbricas .....</i>	<i>17</i>
2.3.2 <i>Tecnologías por cable .....</i>	<i>21</i>
<b>3 ESCENARIO PARA LA PROYECCIÓN DEL SISTEMA DE TELEGESTIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO.....</b>	<b>25</b>
3.1 <i>Escenario inicial .....</i>	<i>25</i>
3.1.1 <i>Elementos del cuadro de mando .....</i>	<i>29</i>
3.1.2 <i>Elementos de iluminación .....</i>	<i>33</i>
3.1.3 <i>Reglamento y recomendaciones .....</i>	<i>34</i>
3.2 <i>Proyecto de mejora .....</i>	<i>35</i>
3.2.1 <i>Objeto del proyecto .....</i>	<i>35</i>
3.2.2 <i>Luminarias .....</i>	<i>40</i>
3.2.3 <i>Telegestión .....</i>	<i>43</i>
3.2.4 <i>Resto de requisitos .....</i>	<i>44</i>
3.2.5 <i>Presupuesto .....</i>	<i>45</i>
3.2.6 <i>Mejora del proyecto de licitación .....</i>	<i>45</i>
3.2.7 <i>Planos del proyecto .....</i>	<i>46</i>
<b>4 SOLUCIÓN APROBADA POR EL AYUNTAMIENTO .....</b>	<b>51</b>
4.1 <i>Luminarias instaladas .....</i>	<i>51</i>
4.2 <i>Sistema de telegestión instalado .....</i>	<i>57</i>
4.2.1 <i>Dispositivos .....</i>	<i>58</i>
4.2.2 <i>Software de telegestión .....</i>	<i>62</i>
<b>5 SOLUCIÓN ALTERNATIVA.....</b>	<b>67</b>
5.1 <i>Introducción.....</i>	<i>67</i>
5.2 <i>Descripción de solución alternativa .....</i>	<i>67</i>
5.2.1 <i>Sistema PLC Uvax .....</i>	<i>68</i>
5.2.2 <i>Sistema PLC AirisLed .....</i>	<i>76</i>

5.3	<i>Comparación de sistemas de telegestión de alumbrado público</i> .....	79
5.3.1	Tecnologías de comunicación	79
5.3.2	Tasa de datos	79
5.3.3	Rango de señal	79
5.3.4	Capacidad de control	79
5.3.5	Tipo de conexión de los nodos	80
5.3.6	Sensor GPS	80
5.3.7	Entrada de otros sensores	80
5.3.8	Software de telegestión	80
5.3.9	Coste del proyecto	80
5.3.10	Síntesis de la comparación	84
5.3.11	Solución alternativa mejorada	84
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS</b> .....	<b>87</b>
6.1	<i>Conclusiones del Trabajo Fin de Grado</i> .....	87
6.2	<i>Líneas futuras</i> .....	87
	<b>Bibliografía</b> .....	<b>90</b>
	<b>Glosario</b> .....	<b>92</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Características de los puntos de luz en un sistema de alumbrado. público	38
Tabla 2. Correspondencia puntos de luz, planimetría y cuadros de mando.	39
Tabla 3. Ahorro energético, económico y de emisiones según estudio.	40
Tabla 4. Tabla de clases de alumbrado de estudio luminotécnico del proyecto [4].	41
Tabla 5. Tabla de clasificación de vías según el REEIAE [5].	42
Tabla 6. Requisitos mínimos para viales tipo A y B.	42
Tabla 7. Requisitos mínimos para viales tipo C, D y E.	42
Tabla 8. Requisitos luminarias pliego prescripciones técnicas.	43
Tabla 9. Presupuesto del proyecto de modernización del alumbrado.	45
Tabla 10. Luminarias instaladas.	51
Tabla 11. Presupuesto de ejecución material de sistema de telegestión de alumbrado <i>AirisLed</i> .	81
Tabla 12. Presupuesto de ejecución material de sistema de telegestión de alumbrado <i>Uvax</i> .	82
Tabla 13. Presupuesto de ejecución material para un cuadro tipo con sistema <i>AirisLed</i> .	82
Tabla 14. Presupuesto de ejecución material para un cuadro tipo con sistema <i>Uvax</i> .	83
Tabla 15. Presupuesto de ejecución material para un cuadro tipo con sistema <i>Owlet</i> .	83
Tabla 16. Comparación de sistemas de telegestión de alumbrado público.	84





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

Ilustración 1. IoT como red de redes [24].	3
Ilustración 2. Esquema de sistema de telegestión del alumbrado público.	4
Ilustración 3. Unidad de control de alumbrado marca WeLight.	4
Ilustración 4. Unidad de control de alumbrado marca Rat Light.	5
Ilustración 5. Sistema de telegestión con unidad de control de alumbrado público en luminaria.	5
Ilustración 6. Unidad de control en luminaria inalámbrica marca Umpi.	6
Ilustración 7. Unidad de control en luminaria por cable marca <i>AirisLed</i> .	6
Ilustración 8. Página principal en software <i>Monrabal</i> .	7
Ilustración 9. Apartado de consumo en software <i>Monrabal</i> .	7
Ilustración 10. Plano de puntos de luz en software <i>Luix</i> .	8
Ilustración 11. Unidad de control de telegestión de alumbrado público instalada en cabecera.	10
Ilustración 12. Regulador/estabilizador de tensión para alumbrado público.	10
Ilustración 13. Funcionamiento de unidad de control en cabecera.	11
Ilustración 14. Telegestión punto a punto cableada e inalámbrica.	12
Ilustración 15. Telegestión punto a punto inalámbrica.	13
Ilustración 16. Nodo punto a punto de conexión 1-10V.	14
Ilustración 17. Nodo punto a punto de conexión 1-10V y DALI.	14
Ilustración 18. Nodo punto a punto conexión NEMA.	14
Ilustración 19. Nodo punto a punto cableado.	14
Ilustración 20. Telegestión punto a punto mediante PLC.	15
Ilustración 21. Unidad de control en luminaria por cable marca <i>AirisLed</i> .	15
Ilustración 22. Frecuencias de onda y rango de señal [21].	17
Ilustración 23. Tecnologías <i>IoT</i> Wireless para productos de Smart Lighting.	18
Ilustración 24. Configuraciones de comunicación de Zigbee.	19
Ilustración 25. Distribución de frecuencias utilizadas por LoRaWAN en el mundo [22].	19
Ilustración 26. Configuración en estrella de dispositivos SigFox.	20
Ilustración 27. Tecnología DALI cableada.	21
Ilustración 28. Esquema de control 0-10 V de lámpara LED [23].	22
Ilustración 29. Detalle de onda de PLC sobre onda de la red eléctrica.	22
Ilustración 30. Dispositivo 0-10V.	23
Ilustración 31. Dispositivo de control de luminarias PLC.	23
Ilustración 32. Dispositivo de control de luminarias PLC con driver de luminaria incluido.	24
Ilustración 33. Encuadre territorial del escenario del proyecto.	25
Ilustración 34. Red de distribución de Úbeda.	26
Ilustración 35. Detalle de distribución en zona central de la ciudad de Úbeda.	27
Ilustración 36. Armario exento.	27
Ilustración 37. Armario adosado.	28

---

Ilustración 38. Armario en cuarto interior.	28
Ilustración 39. Maxímetro.	29
Ilustración 40. Regulador de tensión.	29
Ilustración 41. Cuadro de mando.	30
Ilustración 42. Reloj astronómico de catálogo.	31
Ilustración 43. Reloj astronómico instalado.	31
Ilustración 44. Autómata modelo Orbis Orbilux.	31
Ilustración 45. Autómata modelo Siemens Sentron.	31
Ilustración 46. Módem marca Siemens con antena.	32
Ilustración 47. Funcionamiento sistema de alumbrado.	33
Ilustración 48. Luminaria Halogenuro Metálico.	33
Ilustración 49. Luminaria Vapor de sodio.	33
Ilustración 50. Farol Halogenuro.	34
Ilustración 51. Luminaria Vapor de sodio.	34
Ilustración 52. Contaminación en el hemisferio superior.	34
Ilustración 53. Ejemplo de nomenclatura.	35
Ilustración 54. Nomenclatura de tipos de lámpara.	36
Ilustración 55. Bloque óptico para vial decorativo.	37
Ilustración 56. Vial decorativo o farol, con bloque óptico LED instalado.	37
Ilustración 57. Detalle de instalación de bloque óptico en farol.	37
Ilustración 58. Plano 11 correspondiente al cuadro de mando UBE-12 (Zona Suroeste).	47
Ilustración 59. Plano 08 correspondiente a cuadro de mando UBE-88 (Solana de Torralba).	48
Ilustración 60. Plano 04 correspondiente con cuadro de mando UBE-55 (barrio El Comendador).	49
Ilustración 61. Luminaria vial funcional <i>Schreder</i> TECEO.	52
Ilustración 62. Luminaria ambiental KIO.	52
Ilustración 63. Luminaria Vial funcional NATH SIMON.	52
Ilustración 64. Bloque óptico.	52
Ilustración 65. Luminaria de vapor de sodio <i>PHILIPS</i> ajena al proyecto, para comparación estética.	53
Ilustración 66. Luminaria <i>Teceo S</i> sobre brazo con dispositivo de telegestión.	53
Ilustración 67. Luminaria <i>TECEO 2</i> sobre báculo sin dispositivo de telegestión.	54
Ilustración 68. Luminaria <i>TECEO 2</i> sobre báculo sin dispositivo de telegestión.	54
Ilustración 69. Faroles ornamentales con bloques ópticos instalados.	55
Ilustración 70. Farol ornamental con bloque óptico instalado.	55
Ilustración 71. Detalle placa LED de bloque óptico en farol.	56
Ilustración 72. Farol ornamental sin instalación de bloque óptico.	57
Ilustración 73. Esquema general de sistema <i>Owlet</i> .	58
Ilustración 74. Dispositivo de telegestión Luco exterior.	58
Ilustración 75. Luminaria Teceo con Luco instalado.	59
Ilustración 76. Instalación de Luco sobre luminaria Teceo.	59
Ilustración 77. Esquema de conexión dentro de luminaria.	60

Ilustración 78. Esquema de comunicación en sistema <i>Owlet</i> .	61
Ilustración 79. Comunicación de nodo aislado en sistema <i>Owlet</i> .	61
Ilustración 80. Ejemplo de problema de ubicación de puntos de luz.	62
Ilustración 81. Plano de puntos de luz de la ciudad de Úbeda en software <i>Owlet</i> .	63
Ilustración 82. Detalle de información de punto de luz en software <i>Owlet</i> .	63
Ilustración 83. Información detallada de punto de luz en software <i>Owlet</i> .	64
Ilustración 84. Plano de puntos de luz de la ciudad de Úbeda y sus pedanías en software <i>Owlet</i> .	64
Ilustración 85. Apartado de alarmas en software <i>Owlet</i> .	65
Ilustración 86. Edición de curva de iluminación en software <i>Owlet</i> .	66
Ilustración 87. Apartado de perfiles en software <i>Owlet</i> .	66
Ilustración 88. Apartado de sensores en software <i>Owlet</i> .	66
Ilustración 89. Concentrador PLC CA-13 Nodo PLC <i>Uvax</i> .	68
Ilustración 90. Actuador MR-4859 <i>Uvax</i> .	69
Ilustración 91. Nodo PLC <i>Uvax</i> con conexión dentro de báculo.	69
Ilustración 92. Nodo PLC <i>Uvax</i> con conexión NEMA.	69
Ilustración 93. Nodo PLC <i>Uvax</i> con conexión dentro de luminaria.	69
Ilustración 94. Instalación en cuadro de mando de sistema <i>Uvax</i> .	70
Ilustración 95. Esquema de conexiones en cuadro de sistema <i>Uvax</i> .	71
Ilustración 96. Nodo PLC de <i>Uvax</i> instalado en báculo.	72
Ilustración 97. Esquema de conexiones de nodo PLC <i>Uvax</i> .	72
Ilustración 98. Página principal del software <i>SmartFirefly</i> .	73
Ilustración 99. Plano de puntos de luz en software <i>SmartFirefly</i> .	73
Ilustración 100. Cámaras instaladas en luminaria conectadas con nodo PLC.	74
Ilustración 101. Apartado de grupos de luminarias.	74
Ilustración 102. Sección de calendario en software <i>SmartFirefly</i> .	75
Ilustración 103. Consumo de energía en un día y en una semana en software <i>Owlet</i> .	75
Ilustración 104. Apartado de alarmas en software <i>Owlet</i> .	76
Ilustración 105. Instalación en cuadro de mando de sistema PLC <i>AirisLed</i> .	76
Ilustración 106. Nodo PLC <i>AirisLed</i> EXILIS.	77
Ilustración 107. Página principal del software.	77
Ilustración 108. Consumo de punto de luz diario en software <i>AirisLed</i> .	78
Ilustración 109. Regulación del nivel de luminosidad en software <i>AirisLed</i> .	78
Ilustración 110. Informe de consumo mensual en software <i>AirisLed</i> .	78
Ilustración 111. Detalle de la partida correspondiente al sistema <i>Owlet</i> .	81
Ilustración 112. Vía con sensores de presencia en luminaria, inactivos.	85
Ilustración 113. Vía con sensores de presencia en luminaria, activándose por presencia de vehículo.	85
Ilustración 114. Estructura de la red neuronal para el algoritmo de control. [19]	88



# 1 INTRODUCCIÓN

---

Se comenzará introduciendo los sistemas de control del alumbrado y de cómo se está implantando la idea del Internet de las Cosas, a partir de ahora *IoT* (*Internet of Things*), dando lugar así a las *Smart Cities*, donde tenemos diferentes tecnologías de control con el objetivo solucionar diversos problemas que presentan los sistemas del pasado.

## 1.1 Contexto del Trabajo Fin de Grado

En la actualidad vivimos en un mundo donde todos estamos conectados a la red y esa misma idea se traslada a los todos los dispositivos, y es aquí donde nace la idea de *IoT*. Se le conoce como una red de redes ya que su objetivo es poder unir todas las redes individuales de cada dispositivo (automóviles, telefonía, seguridad, alumbrado, etc.) [1]. Internet ha conectado más de un trillón de dispositivos en los últimos años, de diferentes tamaños, capacidad de procesamiento y potencia computacional, por lo que se hace necesaria la existencia de un internet más inteligente y conectado, el *IoT* [2].

Aplicando el concepto de *IoT* a las ciudades, podemos crear unas ciudades inteligentes o *Smart cities*, donde todos los dispositivos pueden estar interconectados entre ellos y a su vez, conectados a la nube. Debido al aumento de la población residente en ciudades o grandes urbes, hace necesario aumentar la eficiencia de los servicios públicos [3] tal y como la recogida de residuos, transporte público, zonas verdes, administración o alumbrado público.

Concretando en los elementos de control del alumbrado público, nace una gran oportunidad de mejorar la eficiencia de la iluminación, reducir la contaminación lumínica y generar un ahorro económico debido a las grandes opciones que nos brindan los nuevos sistemas basados en *IoT*.

Este es el contexto tecnológico en el que se basa el estudio de este Trabajo Fin de Grado (TFG).

## 1.2 Motivación del Trabajo Fin de Grado

El tema sobre el que versa el TFG surge por la experiencia adquirida durante la realización de unas prácticas extracurriculares en el departamento de infraestructuras y proyectos del área de urbanismo del Ayuntamiento de Úbeda. Durante los 6 meses que estuve allí, pude acceder a los proyectos que se estaban llevando a cabo y entre ellos, uno de modernización del alumbrado público, donde se eligió implantar un sistema de telegestión de alumbrado público con tecnología inalámbrica. Mi tarea consistió en la revisión del proyecto y a la intervención y revisión de la instalación efectuada por el contratista, por lo que pude comprender y conocer el funcionamiento y los problemas a los que había que enfrentarse. A raíz de la experiencia obtenida trabajando en este proyecto, surge la idea de estudiar aquellas tecnologías actuales existentes en el Estado del Arte para la implementación de un sistema de alumbrado público con telegestión, con el objetivo de comparar las prestaciones y el coste de dichas tecnologías con el sistema real implantado en la ciudad de Úbeda.

### 1.3 Objetivo del Trabajo Fin de Grado

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es presentar el Estado del Arte de las tecnologías existentes en un sistema inteligente de alumbrado público que permita el control remoto de la luminaria y la telegestión. Este TFG presenta la estructura de cada uno de los sistemas de telegestión de alumbrado público con las diferentes tecnologías existentes, sus características, sus ventajas e inconvenientes, y una comparativa presupuestaria de su posible instalación en un caso práctico como es la instalación de este sistema en la ciudad de Úbeda.

Como se podrá deducir del documento de este TFG, a grandes rasgos se puede clasificar las tecnologías de comunicación para la telegestión del alumbrado público en dos categorías: tecnologías de comunicación inalámbrica y tecnologías de comunicación cableada. La tecnología implantada en el proyecto diseñado e instalado en la actualidad en la ciudad de Úbeda se basa en la tecnología inalámbrica. Por eso, en este TFG, se estudian también las ventajas e inconvenientes del diseño del mismo sistema de alumbrado público con telegestión pero basado en tecnología cableada en la misma ciudad. Se pretende por tanto que este TFG sirva como documento de referencia para conocer las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas de telegestión en la implantación de un sistema de telegestión de alumbrado público en las *Smart Cities*.

### 1.4 Organización y metodología

Este TFG versa sobre el diseño y la implantación de sistemas de telegestión de alumbrado público en *Smart Cities*. Para ello, en el capítulo 2 se aborda el Estado del Arte actual, donde destacaremos los tipos de telegestión de alumbrado y las tecnologías que toman parte en ellos. En el capítulo 3 se presenta el caso práctico en el que se basa este trabajo y el escenario inicial donde se desarrollan el resto de apartados. El capítulo 4 trata sobre el proyecto licitado y ejecutado en el escenario inicial y la descripción de su sistema y dispositivos. En el capítulo 5 se muestran las dos soluciones alternativas a la descrita en el capítulo anterior, y se comparan punto por punto. Por último, en el capítulo 6 se expone la conclusión del trabajo teniendo en cuenta la comparación entre sistemas de telegestión y, además, se expone sobre las líneas futuras en el campo de la telegestión del alumbrado público y su control.

Para la realización del presente trabajo, se ha seguido el siguiente esquema:

- En primer lugar, se ha realizado una búsqueda de información sobre la temática a tratar, mediante el uso de internet y de diferentes fuentes físicas disponibles.
- Con los datos recopilados, se muestra la situación actual del tema objeto del trabajo.
- Una vez estudiado el Estado Del Arte, se ha analizado un caso práctico real, donde se han identificado posibles puntos a mejorar.
- Basándonos en lo anterior, se han propuesto alternativas y posteriormente se han comparado con el caso real.
- Por último, se ha concluido con la elección de una de ellas, exponiendo los razonamientos pertinentes.

## 2 ESTADO DEL ARTE

*The Internet of Things has the potential to change the world, just as the Internet did. Maybe even more so.*

*- Kevin Ashton -*

En este capítulo se estudiarán las diferentes soluciones que aportan las empresas del sector hoy en día para la telegestión del alumbrado público. Todas están enfocadas sobre el “IoT” o *Internet of Things* (Internet de las cosas, en castellano). El IoT se define según la IEEE como “Un sistema de entidades (incluidos los dispositivos cibernéticos, recursos de información y personas) que intercambian información e interactúan con el mundo físico mediante la detección, el procesamiento, informando y actuando ” [4].

### 2.1 Introducción a la telegestión del alumbrado público

Hoy en día, la mayoría de las tecnologías de control de dispositivos están orientadas a la corriente del IoT y en el ámbito del control del alumbrado público, las técnicas siguen el mismo esquema: dotar a los elementos en cuestión con dispositivos que los conecten a internet y sean controlados remotamente. Para este fin, existen diversas tecnologías que se analizarán en este documento, atendiendo a varios aspectos: el económico, la viabilidad y el cumplimiento de ciertos requisitos normativos.

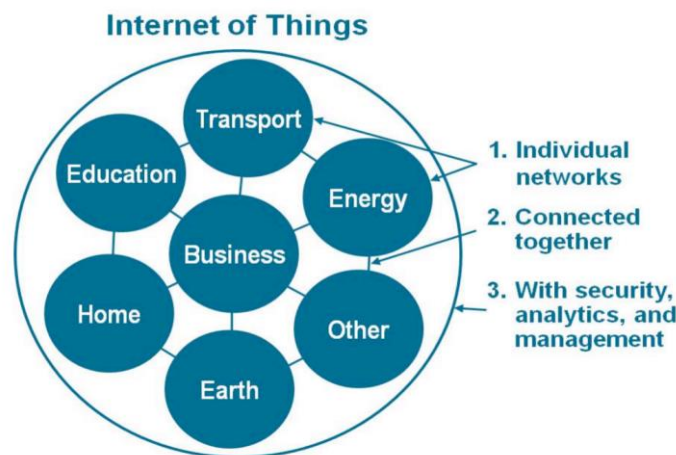


Ilustración 1. IoT como red de redes [22].

La telegestión del alumbrado público consiste en la comunicación de diversos dispositivos en una red común para el control y la monitorización de las luminarias. El esquema general de telegestión se basa en (véase Ilustración 2):

- Unidad de control de alumbrado
- Red de comunicación
- Software de telegestión

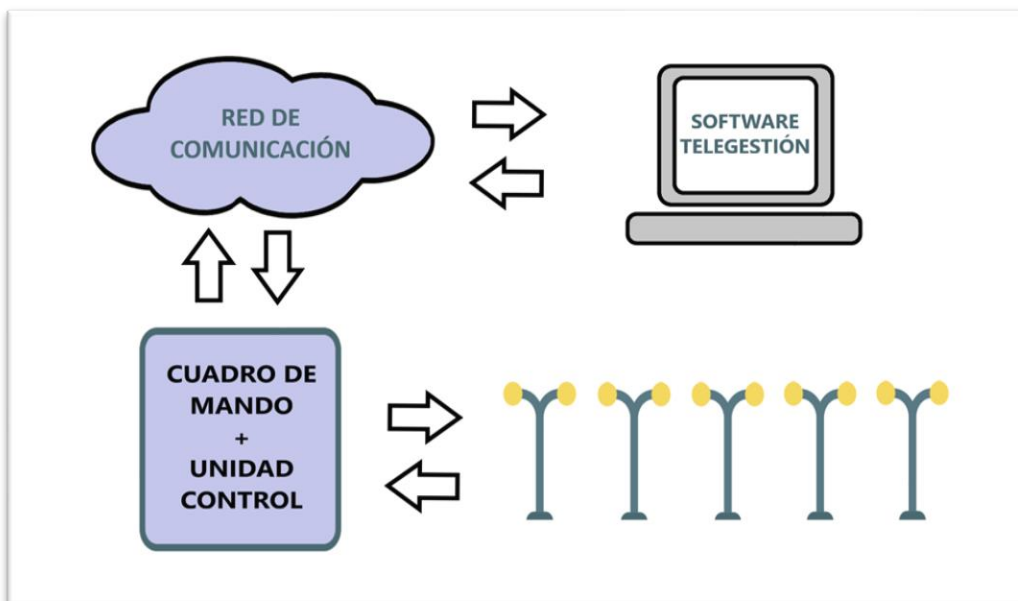


Ilustración 2. Esquema de sistema de telegestión del alumbrado público.

### 2.1.1 Unidad de control de alumbrado

La unidad de control de alumbrado es un dispositivo con capacidad de procesamiento de información que se encarga de las siguientes tareas:

- Control del nivel de iluminación de las luminarias.
- Adquisición de datos de consumo.
- Comunicación con un servidor en la nube para la telegestión del alumbrado público.

En el mercado actual existen varios tipos dependiendo de la ubicación dentro del sistema de alumbrado público. Por ejemplo, existen unidades de control de iluminación que se ubican dentro del armario eléctrico, en el cuadro de mando que se quiere telegestionar (véase *Ilustración 3 y 4*). Es usual que a su vez se conecten con un analizador de redes eléctricas instalado en el mismo cuadro con el objetivo de obtener los datos de consumo, voltaje, intensidad y resto de parámetros, para transmitirlos, mediante su conexión a la nube, hasta el software de telegestión.



Ilustración 3. Unidad de control de alumbrado marca WeLight.





Ilustración 4. Unidad de control de alumbrado marca Rat Light.

Existen otros tipos de unidades de control de alumbrado que se equipan dentro de cada luminaria o de su báculo (véase Ilustración 5) y cumple las mismas funciones que la unidad de control en cuadro pese a su reducido tamaño. Estos dispositivos son capaces de comunicarse con la nube mediante sus conexiones inalámbricas tipo celular (GPRS, 3G, etc. ), y evitan así la necesidad de instalación de ningún dispositivo en el cuadro de mando (véase Ilustración 6) o estar conectados a una unidad de mando en cuadro para la comunicación posterior (véase Ilustración 7).

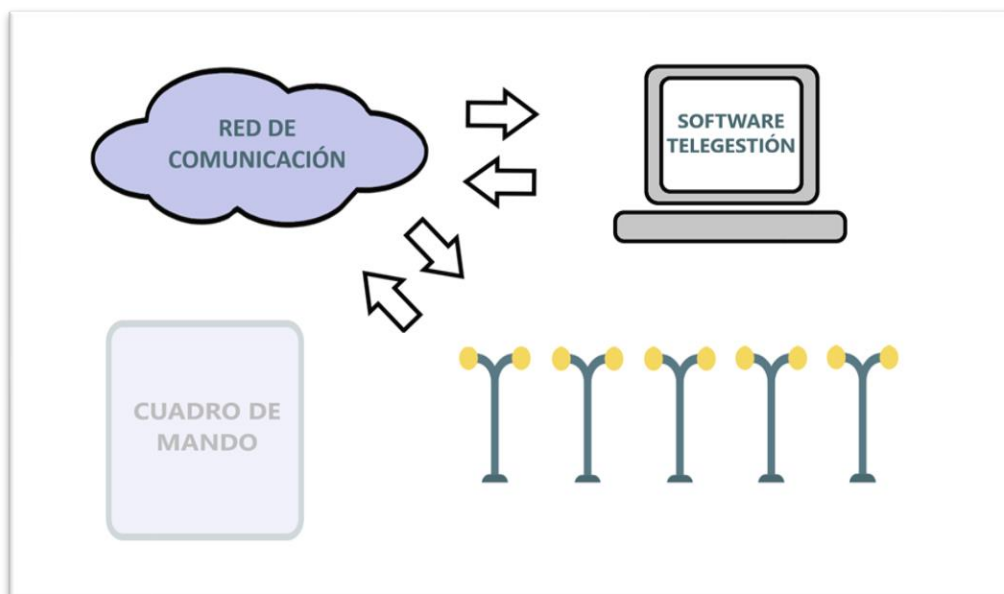


Ilustración 5. Sistema de telegestión con unidad de control de alumbrado público en luminaria.



Ilustración 6. Unidad de control en luminaria inalámbrica marca Umpi.



Ilustración 7. Unidad de control en luminaria por cable marca AirisLed.

### 2.1.2 Red de comunicación

En el marco de las comunicaciones existen una gran variedad de tecnologías que son aplicadas en conjunto para conformar el sistema de telegestión. Dependiendo de las exigencias u objetivos, se eligen unas u otras, debido a sus diferentes características, tales como el rango de la señal, el método de propagación o la tasa de datos a la que envía o recibe información.

Para poder adentrarnos en el concepto de *Internet de las Cosas (IoT)*, es necesario hacer uso de la red de Internet. Para ello, parte de los dispositivos que utilicemos deberán poder conectarse a esta red. En concreto, estos dispositivos son las unidades de control, las cuales están equipadas con tecnología de telefonía móvil, ya sea 2G, GPRS, 3G, etc. Las propias unidades de control se comunicarán, usando las citadas tecnologías, con los servidores ubicados en internet que, a su vez, se comunicarán con el software de telegestión para completar la cadena de comunicación y transmisión de información.

En ciertos sistemas de telegestión de alumbrado público, donde las unidades de control se encuentran en el interior de la luminaria, se emplean diferentes técnicas inalámbricas o cableadas para la conexión entre ellas o, con un concentrador principal que controle aquellas unidades. Dentro de este tipo de comunicaciones inalámbricas figuran una gran cantidad de tecnologías (*Zigbee*, *Sigfox*, *LoRaWan*, etc.) que ofrecen diferentes niveles de tasa de datos, rango de señal o frecuencia utilizada. En las instalaciones cableadas, las tecnologías usan un hilo de mando propio (*DALI*, *0-10V*) o la propia red eléctrica ya instalada, empleando la tecnología de comunicación llamada *Power Line Communication (PLC)*. Todas estas tecnologías se describirán con mayor detalle en los apartados posteriores.

Todo lo anterior se enmarca en los sistemas de comunicación de doble nivel o "*Bi-level*", donde la información obtenida por los dispositivos se traslada a un servidor a través de comunicaciones inalámbricas de largo alcance (2G, 3G, etc.). La alternativa llamada "*Single-level*", se valdría de una comunicación inalámbrica de corto alcance con un servidor ubicado cerca de los dispositivos de telegestión [5]. Esta última opción no está explotada en el mercado ya que supone un elevado coste la instalación de un servidor propio en la ciudad donde se instale el sistema y, además, se aleja totalmente de la idea del Internet of Things, al estar desconectado de la red global de internet.

### 2.1.3 Software de telegestión

El sistema de telegestión necesita una plataforma para poder acceder a toda la información que proporciona la unidad de control o las unidades en cada luminaria. Este software suele ser una plataforma web para su acceso mediante la red de internet, donde enlaza con el servidor, propiedad de la empresa instaladora, que recibe los

datos de los dispositivos instalados de telegestión. Es común en todos los sistemas encontrar un software similar, compuesto por una interfaz con un plano de la ciudad o municipio a telegestionar, un panel de control para el acceso a la información global del sistema y un último apartado de configuración de alarmas.

En la interfaz principal se suele encontrar un plano de la ciudad con los cuadros de mando y/o puntos de luz telegestionados situados en su ubicación real. En este plano se pueden elegir las luminarias o cuadros deseados y obtener su información (consumo, estado, modelo instalado, curva de iluminación, etc.).

En el panel de control es posible la generación de informes de consumo de una, varias o todas las luminarias, en tramos horarios o por agrupaciones predefinidas por el usuario. Además del consumo, es posible acceder a informes de ahorro económico o emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por último, existe un apartado de configuración de alarmas que depende de la profundidad del equipo de telegestión instalado, ya que se pueden ofrecer avisos por caída del sistema de alimentación o fallas en la comunicación en los cuadros de mando, o posiblemente, alarmas por rotura, traslado o malfuncionamiento de un punto de luz en particular. Dichos avisos y alarmas suelen ser comunicados mediante iconos en el panel de control, correo electrónico o servicios de mensajería, según ofrezca la empresa suministradora.

El acceso a la plataforma puede ser remoto, desde un ordenador o dispositivo móvil que tenga acceso a internet.

A continuación, se pueden ver diferentes softwares comerciales, en concreto, de la marca *Monrabal* y *Luix*:

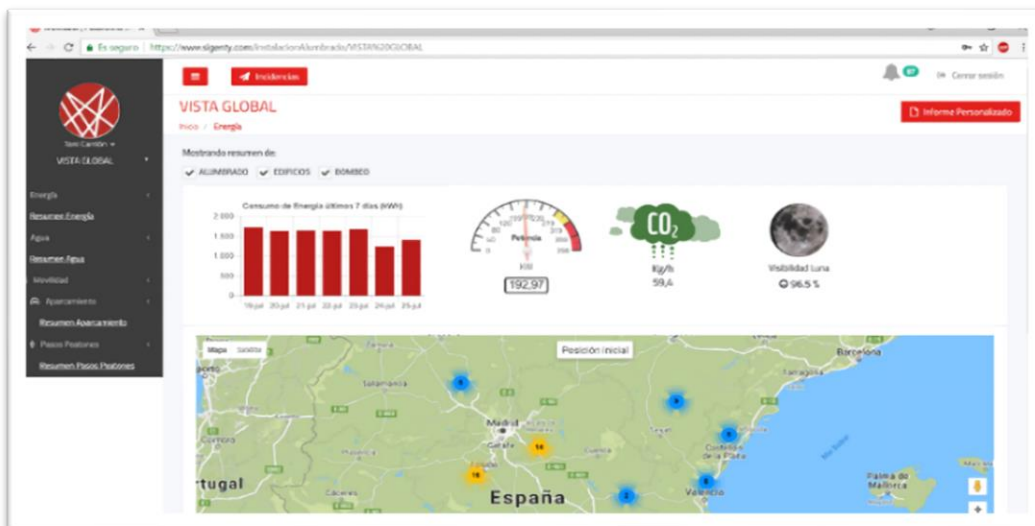


Ilustración 8. Página principal en software *Monrabal*.

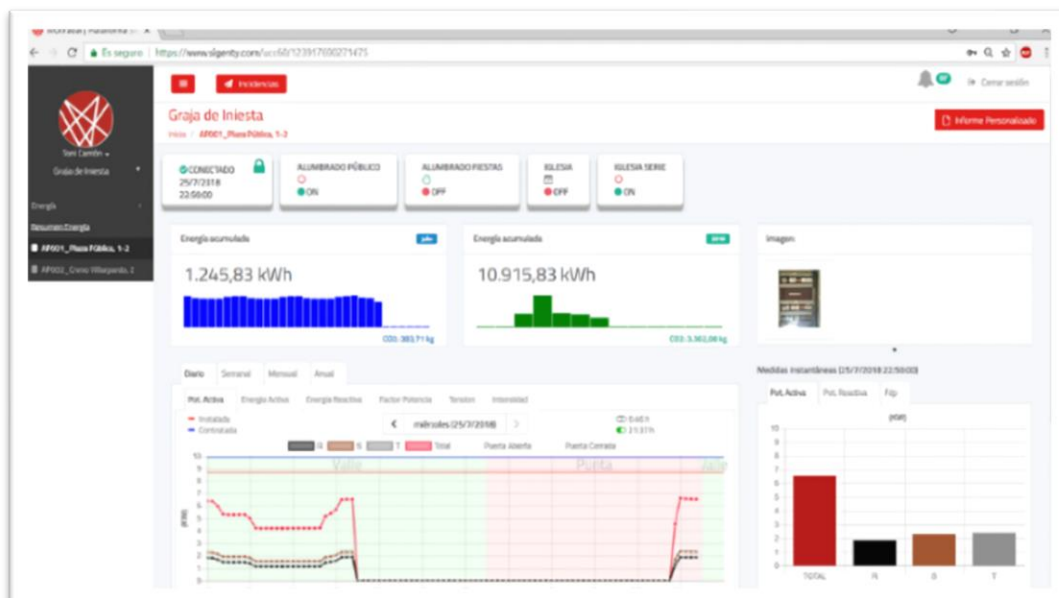


Ilustración 9. Apartado de consumo en software *Monrabal*.

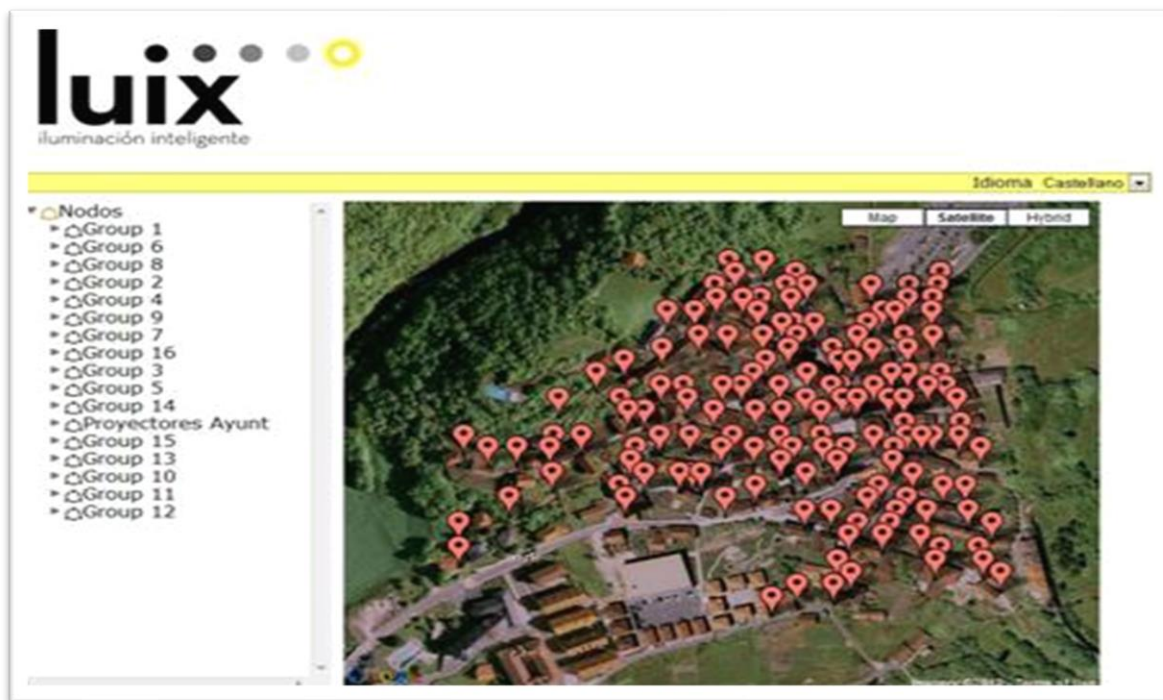


Ilustración 10. Plano de puntos de luz en software *Luix*.

## 2.1.4 Ventajas e inconvenientes de la telegestión del alumbrado público

Como toda innovación, existen factores a favor, y en contra. A continuación, se analizan las ventajas de la telegestión del sistema de alumbrado público respecto a un sistema tradicional.

### 2.1.4.1 Ventajas

- Ahorro energético debido al mayor control sobre el nivel de iluminación de las luminarias y la posibilidad de interacción en ellas, detectando anomalías del sistema y eliminando los consumos excesivos derivados.
- Ahorro económico gracias al ahorro energético y la disminución de personal de mantenimiento, debido al acceso más sencillo a la información, estado y problemas de los puntos de luz.
- Rápida amortización de la inversión inicial.
- Rapidez en la detección de fallos, adquisición de información y actuación.
- Simplificación de tareas de inventariado y programación de los puntos de luz.
- Versatilidad y compatibilidad con el concepto *Smart City*, donde se busca la interconexión de todos los servicios públicos (Limpieza, recogida de residuos, iluminación, acceso a internet, etc.) y la nube, para un ecosistema digital y así tener control absoluto.

#### 2.1.4.2 Inconvenientes

- Inversión inicial proporcional al número de puntos de luz objeto de la telegestión.
- Exigencia de personal con cierta cualificación.
- En el caso de instalación empleando la tecnología PLC, dependencia de la calidad y el estado de la instalación eléctrica.
- Saturación del espectro electromagnético en el caso de telegestión punto a punto empleando tecnología de comunicación inalámbrica.
- Vulnerabilidad ante crackers y demás delincuentes informáticos.
- Aumento de la sensibilidad ante inclemencias climáticas.

## 2.2 Descripción de tipos de telegestión de alumbrado público

Para estudiar las soluciones a la telegestión del alumbrado público, es necesario conocer los tipos de telegestión que se pueden llevar a cabo en función de la posición donde se instalan los dispositivos de control, dentro de la instalación eléctrica del sistema de alumbrado público a controlar. Atendiendo a este criterio se pueden distinguir dos tipos de telegestión: telegestión aplicada a cuadro eléctrico y telegestión punto a punto. En los siguientes apartados se describirán los sistemas comerciales que existen, sus posibilidades y sus ventajas e inconvenientes.

### 2.2.1 Telegestión en cabecera de cuadro

Es el modelo de telegestión más simple y fácil de instalar ya que solo se interviene en los cuadros de mando de cada circuito de luminarias de alumbrado público, sin actuar en las propias luminarias. Los inconvenientes de dicha instalación son las limitaciones a la hora de controlar y obtener información de cada punto de luz. Sin embargo, en algunas situaciones, basta con el conocimiento del estado general del cuadro de mando y una manipulación agrupada de las luminarias.

#### 2.2.1.1 Equipamiento

La instalación de un sistema de telegestión de alumbrado público en cabecera de cuadro es muy simple y se reduce a la instalación de una unidad de control en el interior del armario eléctrico donde se ubica el cuadro de mando de la instalación de alumbrado (*véase Ilustración 11*). Este dispositivo conformará el núcleo del control de las luminarias, ya que tendrá capacidad lógica y de procesamiento, además de poder administrar al regulador de tensión para fijar el nivel lumínico deseado en todas las luminarias que estén conectadas a este cuadro de mando.

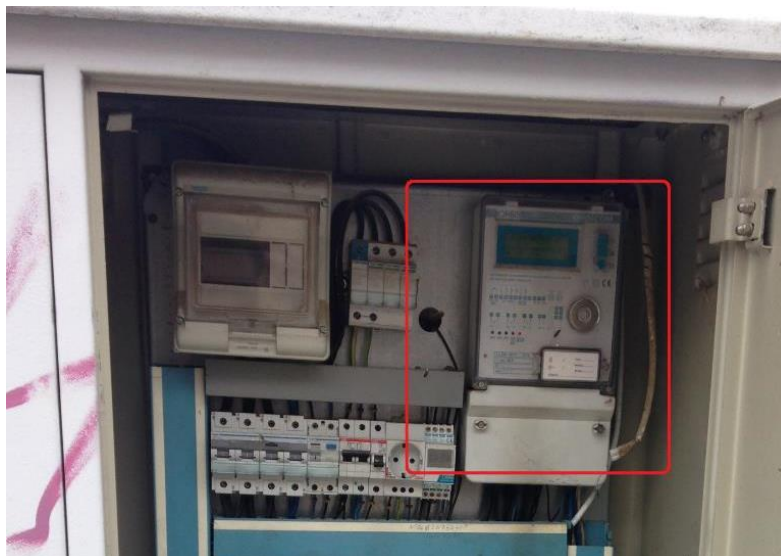


Ilustración 11. Unidad de control de telegestión de alumbrado público instalada en cabecera.

Además de la unidad de control de telegestión, se necesita de un dispositivo de comunicación para la conexión con internet, y así poder llevar toda la información procurada por la unidad, a la plataforma o software respectivo. Entre las soluciones comerciales más comunes, se encuentra el uso de módems GPRS y 3G, ya que satisfacen la tasa de datos requerida por la unidad de control. Esto se lleva a cabo a través de un módem con una tarjeta SIM con un número que nos permitirá el contacto con internet para realizar la comunicación satisfactoriamente.

Por último, para posibilitar la reducción de la tensión y así conseguir diferentes niveles de iluminación y su consecuente ahorro energético, se necesita un regulador/estabilizador de tensión (véase *Ilustración 12*), instalado dentro del mismo armario eléctrico o en un armario propio anexo al cuadro de mando, que tendrá el objetivo de variar la tensión de línea entrante y devolver la tensión deseada por la unidad de control. Este dispositivo tiene también la capacidad de estabilizar la tensión, produciendo así una reducción de las pérdidas y consumo de la instalación.



Ilustración 12. Regulador/estabilizador de tensión para alumbrado público.



### 2.2.1.2 Modo de funcionamiento

La unidad de control gestionará la mayor parte de los elementos del cuadro de mando y su funcionamiento se explicará a continuación (véase ilustración 13):

- La unidad de control inicia uno de los programas de iluminación que tiene almacenado o que recibe, por parte del técnico encargado de la telegestión, a través de su conexión a internet. Estos programas contienen la curva lumínica deseada y la correspondencia con la tensión a adoptar por el regulador de tensión para que las luminarias alcancen el nivel de iluminación deseado.
- El regulador de tensión devuelve la tensión para la alimentación de las luminarias y se fija el nivel de iluminación deseado. Esta tensión tendrá un rango entre 220V, hasta el mínimo que marquen las luminarias, ya que necesitan una tensión mínima para su arranque.
- La unidad de control tiene el acceso constante a la información de la instalación, ya sea consumo de las luminarias, estado del cuadro eléctrico o detección de averías, la cual puede ser consultada por el técnico a cargo, en cualquier momento y desde cualquier dispositivo compatible con el software facilitado y con acceso a la red de internet.

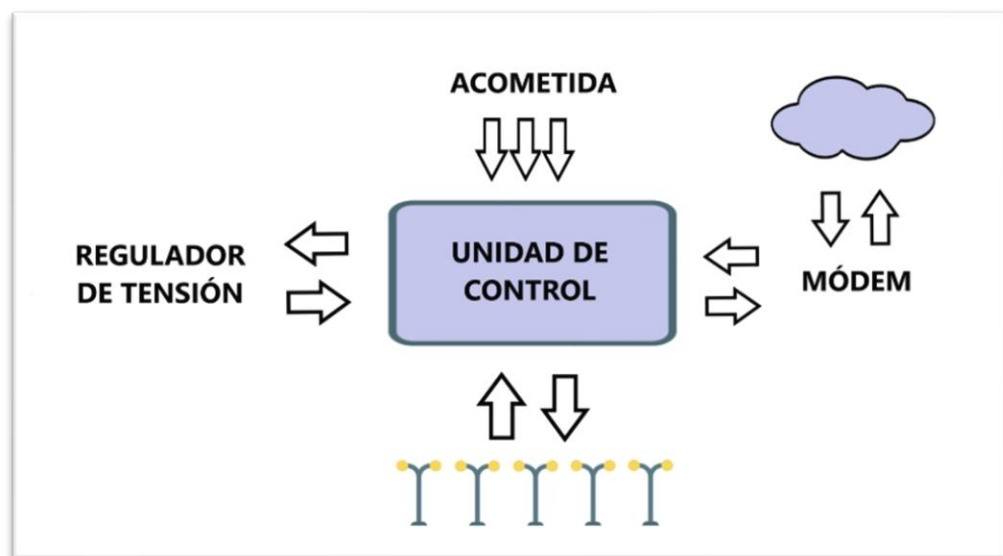


Ilustración 13. Funcionamiento de unidad de control en cabecera.

### 2.2.1.3 Beneficios y limitaciones respecto a sistema tradicional

En este apartado se describen los beneficios y las limitaciones que aporta este sistema de telegestión:

#### Beneficios

- Control del encendido y apagado de las luminarias.
- Control homogéneo del nivel de iluminación instantáneo, sin importar la tecnología de las lámparas (LED, vapor de sodio, halogenuro metálico, etc.).
- Control del consumo en los circuitos de alumbrado y equipos del cuadro de mando.

- Comunicación mediante telefonía móvil (GPRS, 3G o similar) para actuación remota instantánea.
- Control remoto de encendido y apagado, niveles de iluminación y acceso a informes de consumo, averías y ahorro energético a través de la plataforma online.
- Detección de averías en la red, robo de cable y desviaciones del consumo.
- Posibilidad de incorporar sensor de apertura de armario eléctrico.
- Recomendable si hay instalado, a priori, un regulador de tensión.

### Limitaciones

- Incapacidad de controlar puntos de luz individualmente.
- Imposibilidad de detectar averías o mal funcionamientos en puntos de luz específicos.
- Información de la instalación limitada al conjunto del sistema, sin tener datos de consumo de cada luminaria individualmente.
- Requerimiento de una alta inversión inicial para el equipamiento necesario.
- Necesidad de instalación de un regulador de tensión con alto coste y de grandes dimensiones, además de la necesidad de instalación en un armario por separado.

## 2.2.2 Telegestión punto a punto

Es el tipo de telegestión más versátil y completo puesto que concierne a todos los puntos de luz del alumbrado público. Está diseñado para un control total sobre la instalación y la obtención de datos singulares de cada luminaria. Dentro de la telegestión punto a punto, existen dos grupos bien diferenciados según el uso de tecnología de comunicación usada: comunicación inalámbrica o comunicación a través de tecnología cableada. Cada tecnología necesita distintos equipamientos e infraestructuras. (véase *Ilustración 14*).

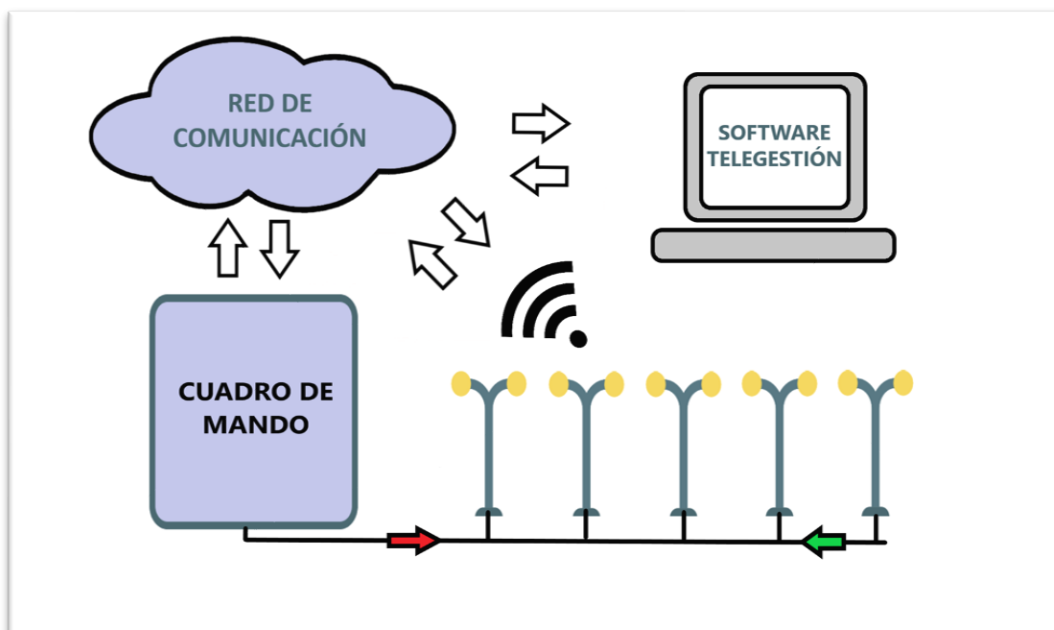


Ilustración 14. Telegestión punto a punto cableada e inalámbrica.



### 2.2.2.1 Telegestión punto a punto inalámbrica

Se basa en la utilización de dispositivos equipados con tecnología inalámbrica del tipo red mallada para la creación de redes de nodos en las que se transmite la información de unos a otros, para que pueda ser enviada en conjunto por un nodo maestro (véase *Ilustración 15*). En función de la tecnología inalámbrica elegida, la cantidad de saltos que puede dar la información entre nodos es diferente y puede ser definitorio a la hora de optar por una tecnología u otra.

Actualmente, en el mercado existen varias soluciones similares basadas en tecnología inalámbrica, pero se distinguen según la frecuencia que utilizan, los protocolos que adoptan y las características de tasa de datos y rango de señal. Esto se explicará con más detenimiento en apartados posteriores.

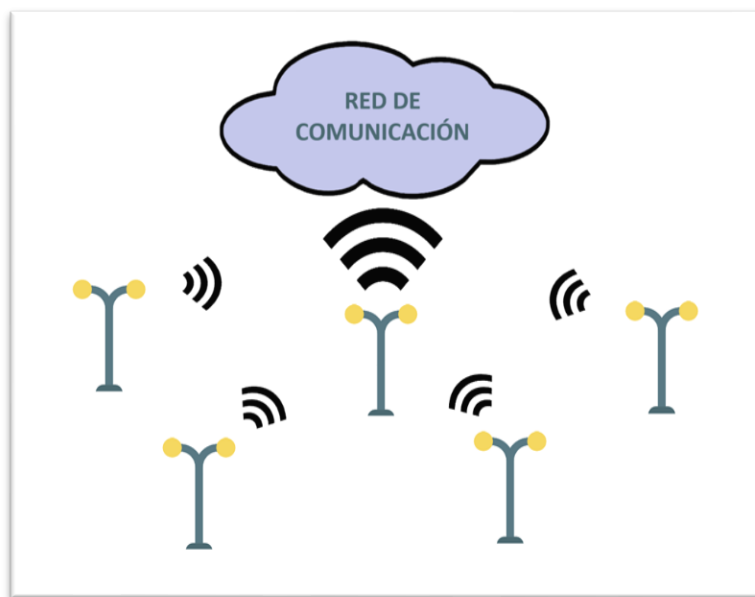


Ilustración 15. Telegestión punto a punto inalámbrica.

Los dispositivos utilizados son pequeñas unidades de control diseñadas para el control de la luminaria sobre la que está instalado. Tienen capacidad de comunicación mediante el uso de protocolos de corto/mediano alcance (*Zigbee, Sigfox, LoRa, etc.*) para su conexión con otros dispositivos iguales o con una unidad de control central instalada en el cuadro eléctrico. Además, tiene la capacidad de reducir o aumentar el nivel de iluminación, con arreglo a las curvas de iluminación previamente instaladas o a las curvas programadas telemáticamente.

Estos dispositivos se instalan dentro de la luminaria LED, entre la alimentación de red y la lámpara a través de una conexión *DALI* o *0-10V* (véase *Ilustración 16 y 17*), para hacer de interruptor regulador. A su vez, existen modelos que se conectan exteriormente de forma *Plug & Play*, por medio de conexiones ya estandarizadas, como puede ser la conexión *NEMA* (véase *Ilustración 18*), o directamente, por cable (véase *Ilustración 19*).



Ilustración 16. Nodo punto a punto de conexión 1-10V.



Ilustración 17. Nodo punto a punto de conexión 1-10V y DALI.



Ilustración 18. Nodo punto a punto conexión NEMA.



Ilustración 19. Nodo punto a punto cableado.

### 2.2.2.2 Telegestión punto a punto híbrida cableada

Una de las opciones propuestas por las compañías dedicadas a ofrecer telegestión en el alumbrado público es aportar una solución híbrida, más segura y robusta, basada en tecnología cableada e inalámbrica. Dentro de este tipo de telegestión de alumbrado público, la tecnología más adecuada para la comunicación entre los puntos de luz y el cuadro de mando es la que se sirve de la propia red de distribución eléctrica de alumbrado, para el envío y recepción de datos entre dispositivos a ella conectados. A esta técnica se le denomina tecnología *PLC*, acrónimo de *Power Line Communication* y genera un método de control diferente al inalámbrico, con las ventajas y desventajas que ello acarrea.

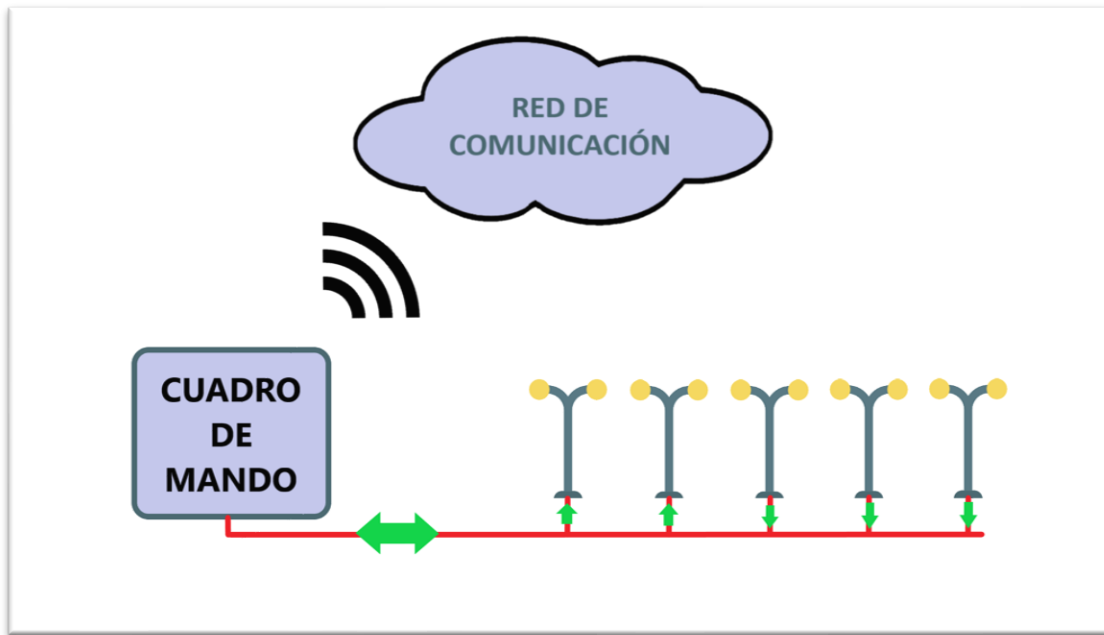


Ilustración 20. Telegestión punto a punto mediante PLC.

El sistema consiste en una serie de dispositivos instalados en cada luminaria, que tendrán el objetivo de controlar dicha luminaria y comunicarse con la unidad de control instalada en el cuadro de mando. Como se ha mencionado anteriormente, la transferencia de información se realiza a través del cableado eléctrico de alumbrado, que enlaza cada punto de luz entre sí y, a su vez, con el cuadro de mando correspondiente.

Para la realización de esta comunicación, los dispositivos PLC están equipados con una serie de filtros que permiten el aislamiento de información del resto de ondas de la red, ya sea ruido o interferencias de otros equipos o de la propia electricidad que alimenta las luminarias.



Ilustración 21. Unidad de control en luminaria por cable marca *AirisLed*.

### 2.2.2.3 Beneficios y limitaciones

En este apartado se describen los beneficios y las limitaciones que aporta este sistema de telegestión punto a punto:

#### Beneficios

- Control del encendido y apagado de las luminarias individualmente.
- Control del nivel de iluminación instantáneo de cada punto de luz.
- Control del consumo de cada luminaria.
- Comunicación mediante telefonía móvil (GPRS, 3G o similar) para actuación remota instantánea.
- Control remoto de encendido y apagado, niveles de iluminación individuales y acceso a informes de consumo y ahorro energético a través de la plataforma online.
- Alerta sobre avería o rotura en un punto de luz en particular.
- Gran ahorro económico ya que no precisa de la instalación de regulador de tensión para control de tecnología LED.
- Posibilidad de instalación de varios sensores en luminaria para incrementar el ahorro energético.
- Instalación sencilla y en el caso del sistema inalámbrico, puede ser de Plug&Play.
- Ubicación automática mediante GPS de la luminaria en la plataforma online (sólo sistema inalámbrico y en caso de disponer de GPS).
- Comunicación inalámbrica de corto alcance entre luminarias (sólo sistema inalámbrico).
- Control del consumo en los circuitos de alumbrado y equipos del cuadro de mando (sólo sistema PLC) .
- Comunicación segura a través de la red eléctrica (sólo sistema PLC).
- Detección de averías en la red, robo de cable y desviaciones del consumo (sólo sistema PLC).
- Posibilidad de incorporar sensor de apertura de armario eléctrico (sólo sistema PLC) .

#### Limitaciones

- Imposibilidad de detectar averías o mal funcionamientos en cuadro de mando (sólo sistema inalámbrico).
- Requerimiento de una alta inversión inicial para el equipamiento necesario (menor para sistema PLC a partir de un cierto número de luminarias).
- Exigencia de un buen estado de la red eléctrica de alumbrado (sólo sistema PLC) .
- Saturación del espectro electromagnético y posibles interferencias debido a un espectro saturado por otros dispositivos inalámbricos (sólo sistema inalámbrico).

- Aumento de la vulnerabilidad respecto a crackers y demás delincuentes cibernéticos (sólo sistema inalámbrico).
- Aumento de sensibilidad respecto a variaciones climáticas.
- Exceso de información que puede llegar a ser superflua e innecesaria.

## 2.3 Tecnologías en la telegestión de alumbrado público

En este apartado se describirán las diferentes tecnologías utilizadas en sistemas de telegestión de alumbrado público, haciendo hincapié en las más empleadas por las compañías punteras dentro de la telegestión *IoT*:

### 2.3.1 Tecnologías inalámbricas

Las tecnologías inalámbricas son aquellas que transmiten información por ondas electromagnéticas, a través del aire. Suelen ser del tipo radio y tienen dos características que las definen: la velocidad de transmisión de datos y el alcance de la señal. Ambas características vienen principalmente influenciadas por la frecuencia de operación, la cual está sujeta a estándares y a normativas según el país debido a los distintos usos del espectro (uso doméstico, privado, militar...).

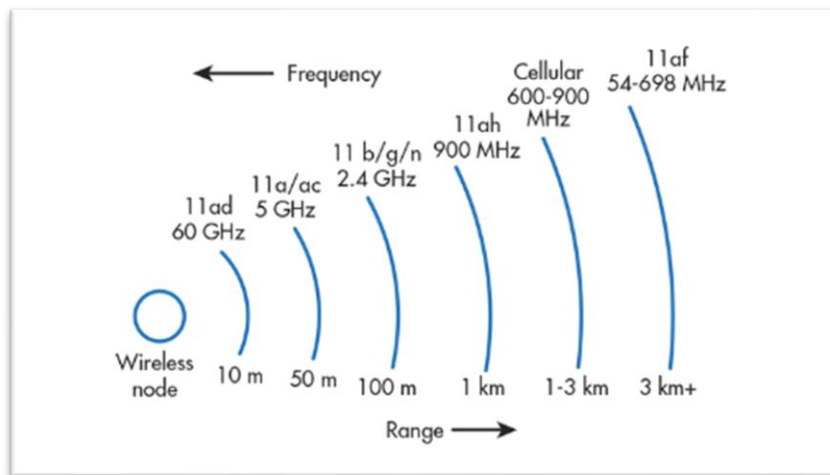


Ilustración 22. Frecuencias de onda y rango de señal [23].

En la siguiente *Ilustración 23* podemos ver un compendio de las diferentes tecnologías *Wireless* o sin cable, dentro del marco del *IoT* y, más en concreto, para los elementos de iluminación inteligente. Todas estas tecnologías tienen su uso dentro del mercado comercial, aunque solo vamos a entrar en mayor detalle en las tecnologías que más se ofertan hoy en día por parte de las empresas *IoT*, las cuales son muy similares entre ellas, pero destacaremos las diferencias que pueden hacer decantarse por una u otra.

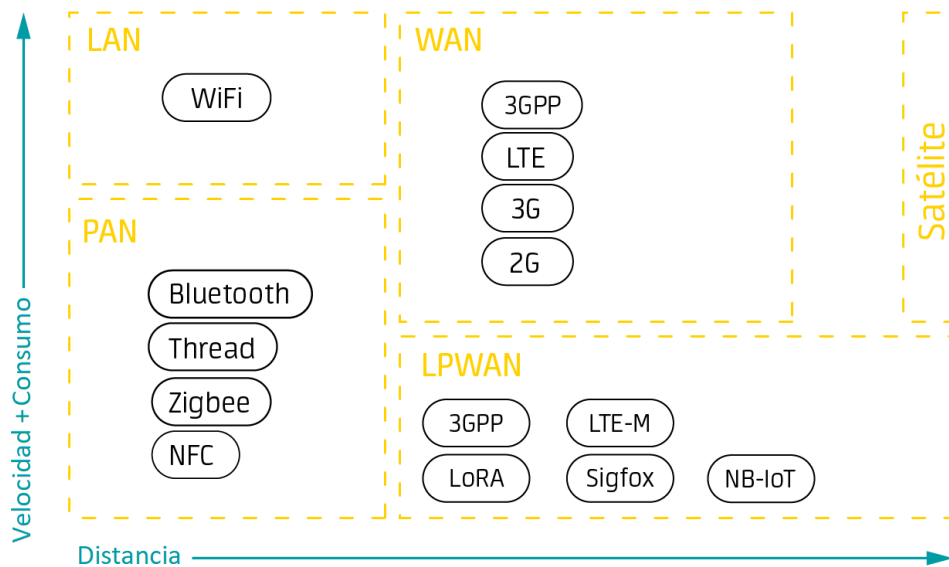


Ilustración 23. Tecnologías *IoT* Wireless para productos de Smart Lighting.

### 2.3.1.1 Telefonía móvil (2G, GPRS, 3G, etc.)

Conjunto de redes y protocolos, a través de ondas electromagnéticas, que se utilizan en su mayoría para las comunicaciones de los dispositivos móviles. En lo que concierne a la telegestión de alumbrado, interesa hablar sobre todo de las redes GPRS y 3G, ya que son las que más se ajustan a los requisitos de tasa de datos y rango de transmisión. Estas dos redes cubren el espectro necesario para la cobertura de cualquier dispositivo instalado en un cuadro de mando de alumbrado o en una luminaria y se emplea casi por completo para la transmisión de datos a internet desde cada dispositivo de telegestión. No tiene uso para la comunicación entre dispositivos cercanos ni para la creación de redes malladas por su alto coste y consumo de potencia.

### 2.3.1.2 Zigbee

Zigbee es un estándar de red inalámbrica diseñado para el control y la monitorización basado en el protocolo *IEEE 802.15.4*. [6] de redes inalámbricas de uso personal (*WPAN*). Está basado en la radiofrecuencia y genera comunicaciones seguras de baja potencia y velocidad de transmisión de datos.

Esta tecnología es usada en sistemas de domótica en interiores, pero también se ha extendido su uso en dispositivos exteriores de control de alumbrado público, en concreto, para la comunicación entre nodos situados en cada punto de luz, gracias a su funcionamiento de red mallada. El mayor inconveniente de esta tecnología reside en el uso de la banda de 2,4 GHz, la cual suele estar saturada debido a las redes WIFI.

Su tasa de datos puede llegar a los 250 kbits/s y el rango de transmisión se eleva hasta un máximo de 100 metros en visión directa entre dispositivos. Permite varias configuraciones de comunicación aunque la más utilizada en el ámbito del alumbrado público es la configuración en red mallada (véase *Ilustración 24*).

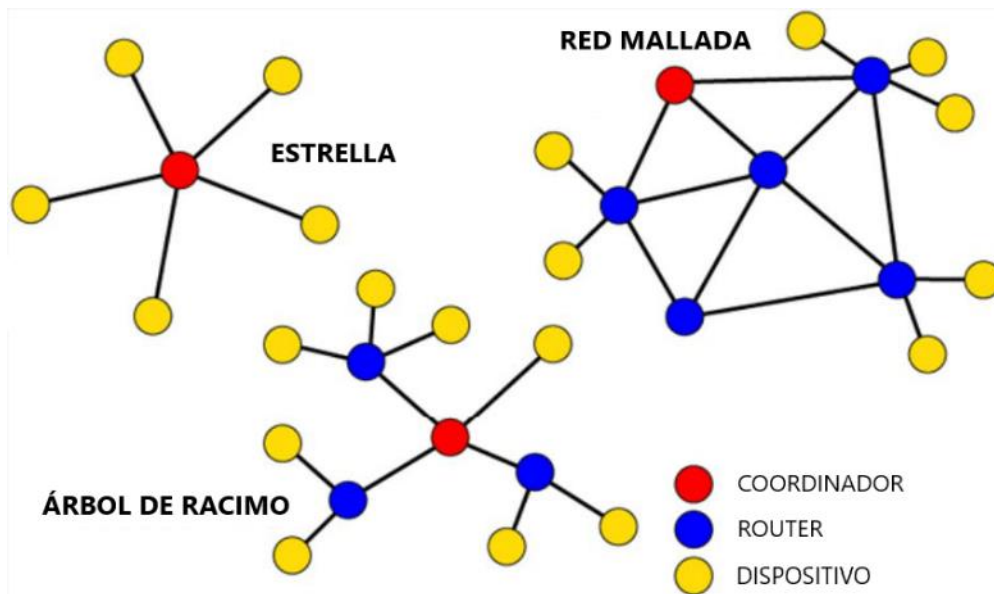


Ilustración 24. Configuraciones de comunicación de Zigbee.

### 2.3.1.3 LoRaWAN

Protocolo patentado, aunque abierto, de control inalámbrico de luminarias creado por la *LoRa Alliance* (entidad sin ánimo de lucro), con el objetivo de una mayor interoperabilidad entre dispositivos, servidores y software, y unas comunicaciones más seguras. Opera a frecuencias altas que difieren según el continente, pero siempre del orden de los cientos de MHz y nunca sobrepasa la barrera de 1 GHz (véase *Ilustración 25*), para reducir las frecuencias saturadas por el resto de los equipos existentes que operan a 2,4 o 5,8 GHz (bandas *ISM*). Su configuración suele ser en estrella, con un concentrador de señales que se comunica con cada nodo y, a su vez, con un servidor para el tratamiento de la información.

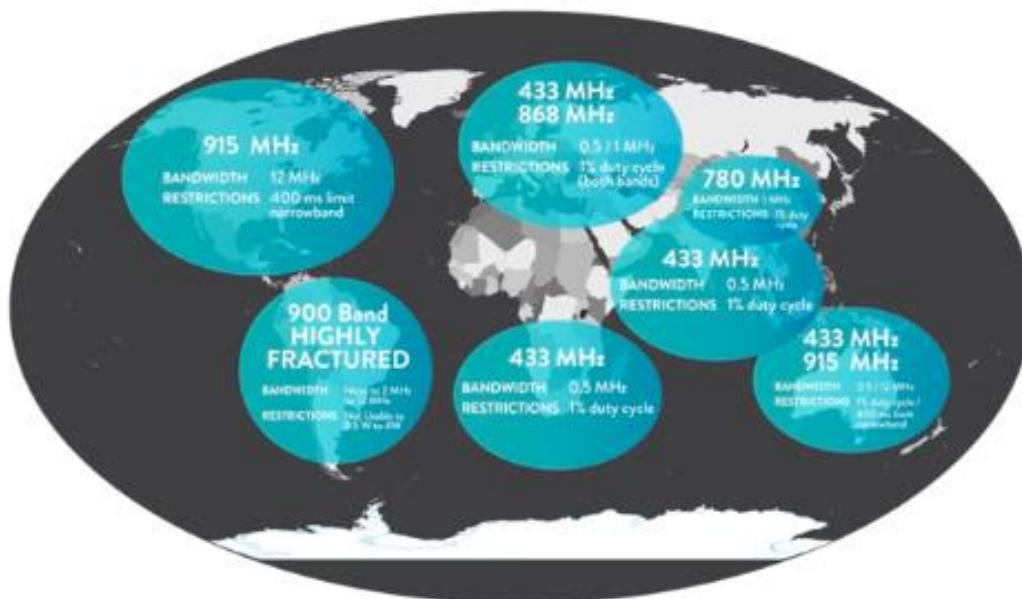


Ilustración 25. Distribución de frecuencias utilizadas por LoRaWAN en el mundo [24].

LoRaWAN ofrece una tasa de transmisión de datos baja, de hasta 100 bytes/s, sin límite de cantidad diario y una comunicación bidireccional de baja potencia. No es la tecnología más indicada para control en tiempo real debido a la alta latencia y a la baja capacidad de envío de información en cada mensaje. Al operar en la banda de 900 MHz sin licencia, puede tener problemas de interferencia con otros dispositivos que trabajen en esta banda.

#### 2.3.1.4 SigFox

Tecnología que trabaja a muy baja frecuencia que permite el envío de una cantidad muy pequeña de datos a velocidad muy baja (del orden de los 500 bits/s), pudiendo conseguir de esta manera, cubrir grandes distancias. El sistema se suele basar en una configuración en estrella (véase *Ilustración 26*), donde los dispositivos de control se comunican con un concentrador que gestiona la información recibida. Para que estos dispositivos puedan trabajar con dicha tecnología, deberán estar certificados por la compañía dueña del protocolo y cumplir ciertos requisitos como el envío de un máximo de 140 mensajes al día.

Se caracteriza por utilizar frecuencias muy concretas para poder ser aislada fácilmente y filtrar el ruido o las interferencias que haya en el ambiente, no obstante, las comunicaciones bidireccionales no son totalmente funcionales ya que, la recepción de datos por parte de los dispositivos controladores es compleja debido a su pequeño tamaño y limitadas capacidades de filtrado. Esto último se suele resolver en la práctica mediante la repetición de mensajes, del orden máximo de la decena de bytes, hasta que se confirme su recepción. Las comunicaciones en dirección *dispositivo de control – Concentrador de señales* son bastante más fructuosas por el mejor diseño y calidad del dispositivo concentrador.

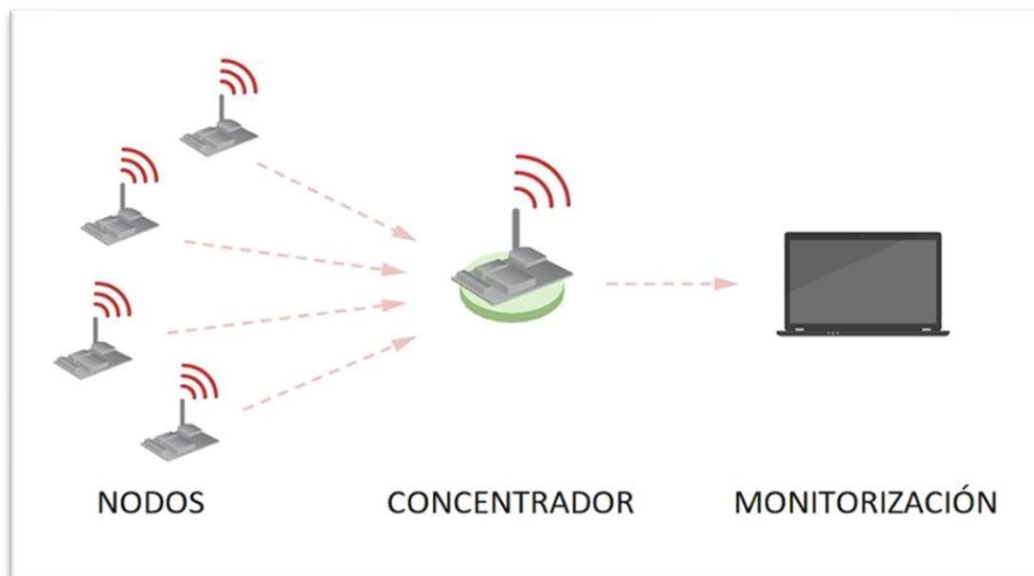


Ilustración 26. Configuración en estrella de dispositivos SigFox.



### 2.3.2 Tecnologías por cable

En el entorno de la telegestión, también se encuentran las tecnologías por cable ya que, en determinados casos, pueden ofrecer ciertas ventajas respecto a las redes inalámbricas.

#### 2.3.2.1 DALI

Tecnología dedicada exclusivamente al control de iluminación. Es utilizada en su mayoría en sistemas interiores (hogares, oficinas) y ciertos recintos (edificios deportivos, recintos de ocio, etc.) formando circuitos cerrados con hilos de mando para controlar la iluminación (véase *Ilustración 27*). Debido a esto último, no se puede extender al uso a gran escala, como el alumbrado público, ya que requeriría una gran modificación de la red eléctrica para poder añadir el cableado de control.

Esta tecnología ha sido mejorada con la aparición de DALI 2, con una incorporación de sensores de luz y ocupación y pulsadores estandarizados específicamente para esta tecnología.

Hay que remarcar, sin embargo, su uso dentro de las comunicaciones para regulación de nivel de iluminación por parte de dispositivos de telegestión conectados, mediante tecnología DALI, a los controladores de luminaria de alumbrado público.

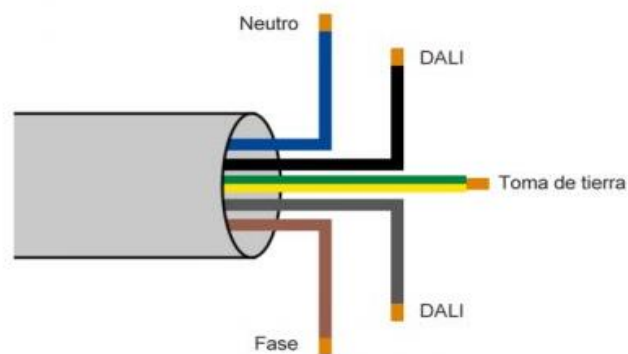


Ilustración 27. Tecnología DALI cableada.

#### 2.3.2.2 Control 0-10V

Fue la primera tecnología cableada en utilizarse para el control de la iluminación por su simpleza. Se basa en una corriente continua que varía entre cero y diez voltios, lo cual equivale al cero por ciento y cien por cien de iluminación, respectivamente.

Tiene cabida en aplicaciones sencillas como focos de teatros y cines, o en domótica en el hogar ya que su funcionamiento es únicamente unidireccional. Al igual que la tecnología DALI, para su uso dentro del control de luminarias precisería grandes obras para introducir el cableado necesario y es por ello que se reserva su uso a lo citado al comienzo de este párrafo.

Cabe destacar que esta tecnología puede ser utilizada en el interior de las luminarias de alumbrado público como regulador de voltaje externo, y servir para la comunicación entre el dispositivo de telegestión y el driver de la luminaria.

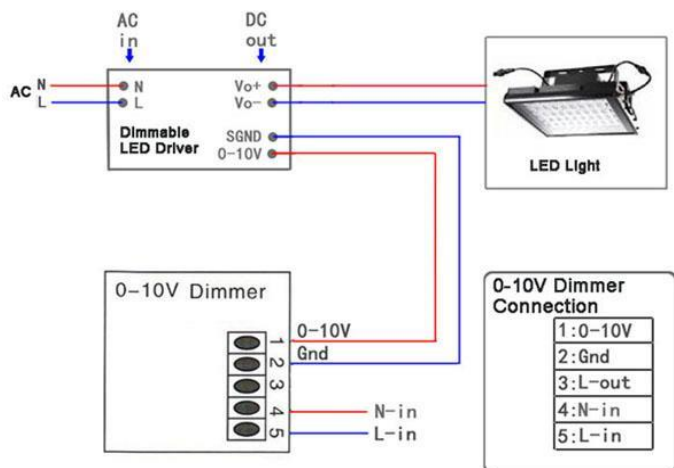


Ilustración 28. Esquema de control 0-10 V de lámpara LED [21].

### 2.3.2.3 PLC (Power Line Communication)

Es la tecnología cableada más avanzada en lo que concierne a la telegestión. Está basada en el envío de información a través de la red eléctrica por medio de pulsos electromagnéticos y la recepción de ellos por otro dispositivo conectado a la misma red eléctrica. Los dispositivos están equipados con una serie de filtros para poder aislar la señal PLC del resto de ondas de la red como la propia electricidad, ruido o interferencias de otros dispositivos.

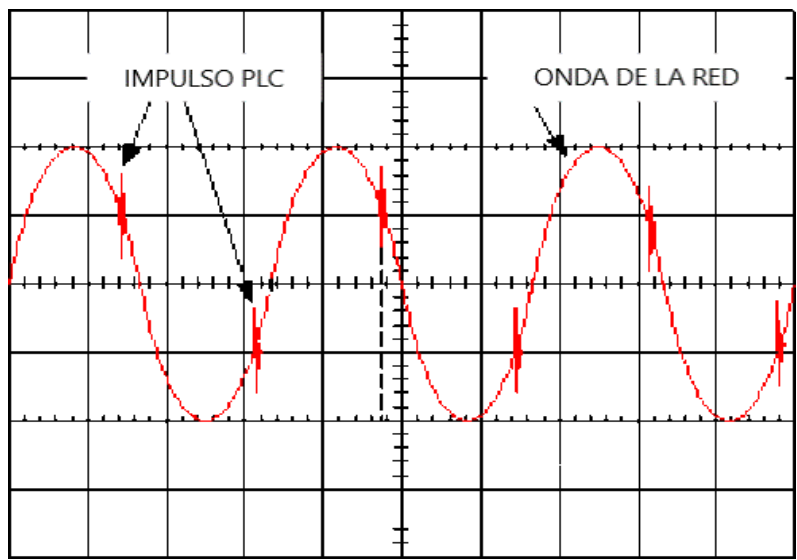


Ilustración 29. Detalle de onda de PLC sobre onda de la red eléctrica.

Existen dos tipos de tecnología PLC según la frecuencia y la tasa de transmisión a la que operan:

- **PLC de banda ancha:** Trabaja entre los 2 y los 250 MHz, con lo que consiguen altas tasas de datos, hasta los 100 Mb/s. Esto lleva a que su rango de distancia sea muy limitado, reduciendo su uso al doméstico. De hecho, esta tecnología se usa con mucha frecuencia para transmitir la línea de internet a través de la línea eléctrica de los hogares para tener acceso en cada enchufe.
- **PLC de banda estrecha:** Al contrario que el de banda ancha, este trabaja con frecuencias y tasas de datos muy bajas. Se consiguen con una frecuencia de 3 hasta 500 KHz, unas tasas de hasta 580 Kb/s y, por tanto, un rango de más de 1500 metros de cobertura a través de la red eléctrica. Como es lógico pensar, este tipo de PLC es usado en aplicaciones de mayor escala como el control de paneles solares o control del alumbrado público.

Estas diferencias también son producidas por la técnica de modulación utilizada, lo cual brinda una eficiencia de ancho de banda y una complejidad según la elección del método. Dentro de la telegestión de alumbrado público, el estándar más utilizado y comercializado es el llamado PLC PRIME, perteneciente al tipo banda estrecha, que ofrece unas tasas de datos de entre 20 y 130 Kb/s, cifra muy superior al resto de estándares del mercado. La frecuencia de operación difiere mucho respecto a la frecuencia de la red eléctrica, que suele ser 50 o 60Hz, según el país, para evitar interferencias y mejorar el envío y recepción de mensajes. En las siguientes ilustraciones podemos observar los dispositivos ofertados en el mercado basados en tecnología PLC por diferentes empresas de telegestión de alumbrado:



Ilustración 30. Dispositivo 0-10V.



Ilustración 31. Dispositivo de control de luminarias PLC.

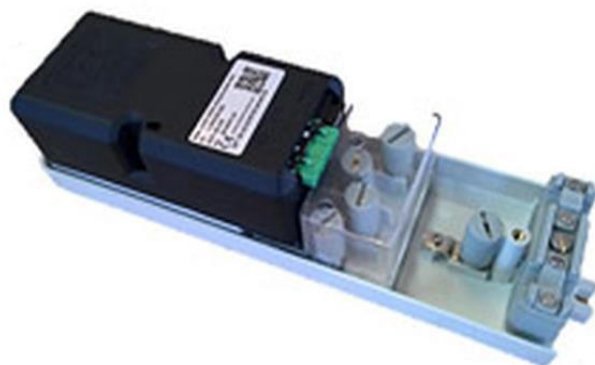


Ilustración 32. Dispositivo de control de luminarias PLC con driver de luminaria incluido.

## 3 ESCENARIO PARA LA PROYECCIÓN DEL SISTEMA DE TELEGESTIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO

En la ciudad de Úbeda y sus pedanías, existe un sistema de alumbrado público exterior organizado en cuadros de mando, según su suministro. En el año 2018, el Ayuntamiento licita un proyecto para la modernización de parte de este sistema de alumbrado y la implantación de un sistema de telegestión *IoT* con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y generar un ahorro, tanto energético como económico y de emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 3.1 Escenario inicial

Úbeda es una ciudad andaluza de poco más de 34.000 habitantes y una superficie del término municipal de en torno a 400 km<sup>2</sup>, perteneciente a la provincia de Jaén y situada en la comarca de La Loma. Su municipio está comprendido por la ciudad de Úbeda y sus pedanías. Entre estas pedanías, interesan las de Solana de Torralba y Veracruz, por motivos que se verán en los próximos apartados.



Ilustración 33 Encuadre territorial del escenario del proyecto.

En el municipio de Úbeda hay instalado un sistema de alumbrado público conformado por cuadros de mando conectados a la red de baja tensión, de los cuales parten los circuitos para la alimentación de cada punto de luz. La distribución de electricidad se produce a través de las líneas de alta tensión que desembocan en la subestación eléctrica situada al noroeste de la ciudad de Úbeda, junto a la A-32 y desde ahí se reparten las líneas de media tensión, de forma aérea a los polígonos industriales y agrícolas, y al resto de la población, de forma subterránea. Estas líneas subterráneas vierten en los centros de transformación de media a baja tensión que hay repartidos por el municipio (véase *Ilustración 34*).

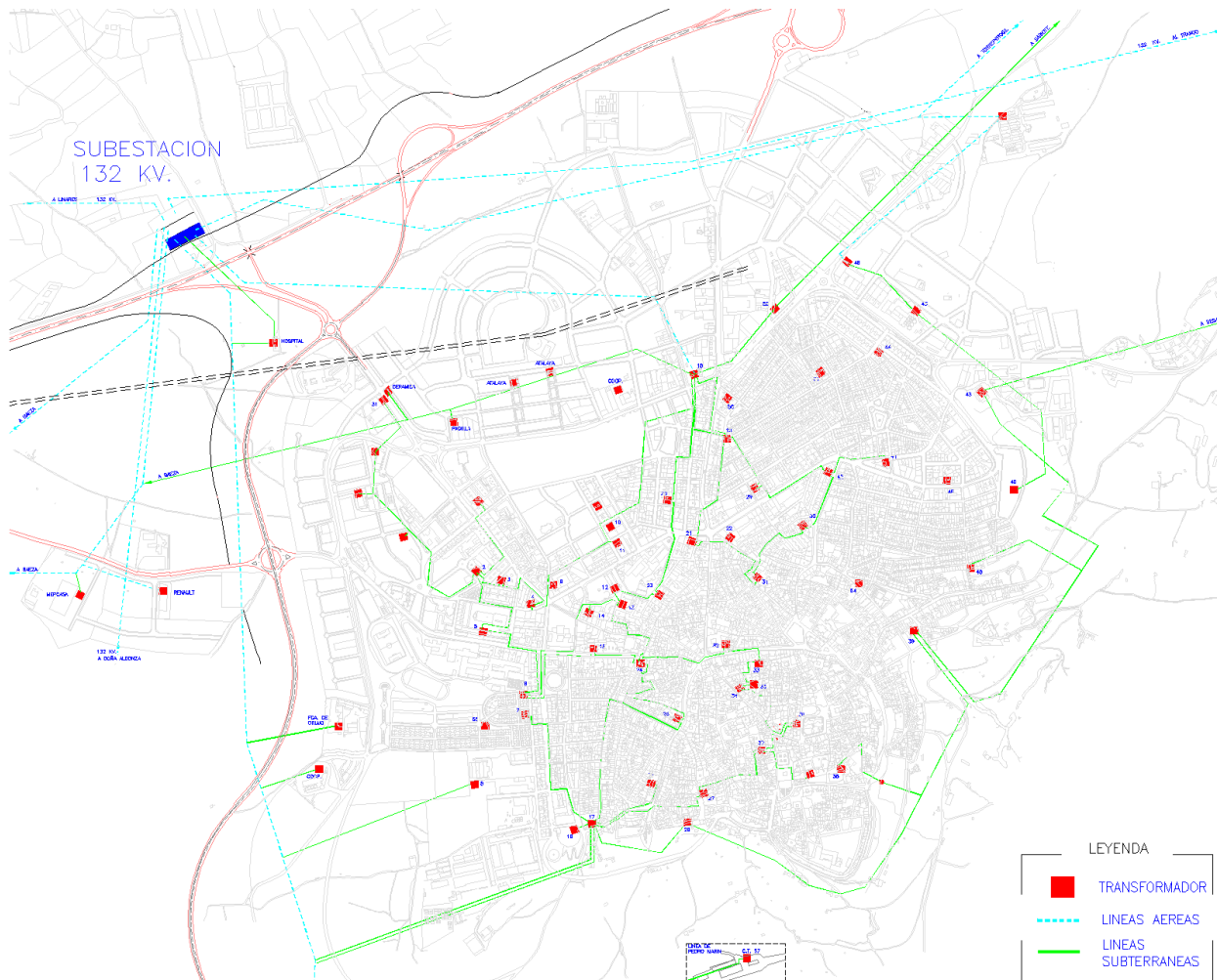


Ilustración 34. Red de distribución de Úbeda.



De los centros de transformación de media tensión a baja tensión salen las líneas en trifásica a 230V, las cuales alimentan los cuadros de mando de viviendas, edificios y por supuesto, los cuadros de mando de alumbrado público (véase *Ilustración 35*).



Ilustración 35. Detalle de distribución en zona central de la ciudad de Úbeda.

Los cuadros de mando de alumbrado público se sitúan en el interior de armarios metálicos, ya sean exentos o adosados, además de en cuartos interiores preparados y asegurados contra fallas eléctricas. (véase *ilustraciones 36, 37 y 38*)



Ilustración 36. Armario exento.



Ilustración 37. Armario adosado.



Ilustración 38. Armario en cuarto interior.

En estos armarios se sitúan el maxímetro, los sistemas de control de iluminación, las acometidas y derivaciones a los puntos de luz. Todo ello se detalla en el siguiente apartado.



### 3.1.1 Elementos del cuadro de mando

Dentro de los cuadros de mando podemos diferenciar diferentes elementos:

- Maxímetro: Instrumento de medida encargado de controlar la potencia absorbida por la instalación (véase *Ilustración 39*). Es propiedad de la compañía eléctrica y sirve para detectar potencias superiores a la contratada y así facturar penalizaciones, si es el caso.



Ilustración 39. Máximo.

- Regulador estabilizador de tensión y reducción de flujo luminoso : Dispositivo que se encarga de controlar la tensión a la que se somete la línea de alumbrado para así poder variar el flujo luminoso de las luminarias (véase *Ilustración 40*). Está diseñado para su utilización con lámparas de vapor de sodio, vapor de mercurio y halogenuro metálico y su precio suele ser muy elevado.



Ilustración 40. Regulador de tensión.

- Cuadro de mando:

Es el elemento principal del armario eléctrico. Dentro contiene varios elementos (*véase Ilustración 41*):

1. Acometida de baja tensión
2. Derivaciones a los circuitos de alumbrado
3. Interruptor general y contactores de sección
4. Elementos de protección (interruptores magnetotérmicos y diferenciales)
5. Sistema de telegestión



Ilustración 41. Cuadro de mando.

### 3.1.1.1 Descripción del sistema de telegestión

En la mayor parte de los cuadros de mando se encuentra instalado un sistema de control de la iluminación conformado por un reloj astronómico, que dicta las horas de encendido y apagado del cuadro eléctrico, un autómata programable, que enciende y apaga dicho cuadro según la orden del reloj y que además tiene en memoria los perfiles de iluminación, y un regulador de tensión para ejecutar dichos perfiles en las luminarias pertenecientes al cuadro eléctrico. Esos perfiles venían preinstalados a petición y existía la posibilidad de que un técnico de la empresa instaladora modificara el programa manualmente en cada cuadro.

Los elementos del sistema de telegestión son los siguientes:

- **Reloj astronómico:** Interruptor horario para gestionar sistemas eléctricos según el ocaso y orto del sol, es decir, según el horario de amanecer y atardecer (*véase Ilustración 42 y 43*). Esto lo calcula por la ubicación geográfica y tiene una precisión de  $\pm 1$  minuto.



Ilustración 42. Reloj astronómico de catálogo.



Ilustración 43. Reloj astronómico instalado.

- **Autómata:** Dispositivo encargado de controlar el encendido y apagado de las luminarias (*véase Ilustración 44 y 45*). Lleva incorporados programas preinstalados por el fabricante o el técnico



Ilustración 44. Autómata modelo Orbis Orbilux.

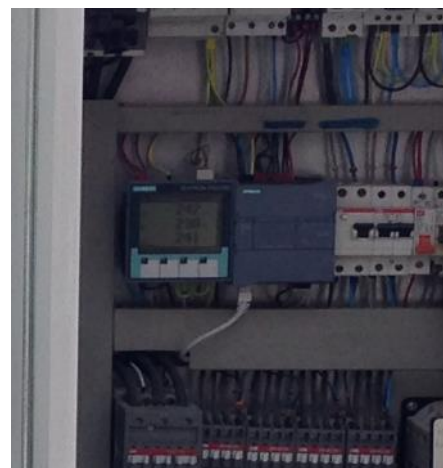


Ilustración 45. Autómata modelo Siemens Sentron.

instalador según se desee y ofrece varias opciones de horarios e intensidades lumínicas. Tiene entradas como la alimentación, el módem y una para la señal del reloj astronómico. También posee salidas para accionar los conmutadores que alternan el encendido y apagado del circuito y una salida para controlar el regulador de tensión.

- Módem: Dispositivo de comunicación inalámbrica, en concreto tecnología GPRS, para la transferencia de datos entre el autómata programable y la plataforma del fabricante (véase *Ilustración 46*). Dispone de una antena externa y conexiones de datos y alimentación. Con este sistema se puede programar un servicio de alarmas y configurador de iluminación sms. Este sistema se antojaba complicado y poco intuitivo para los técnicos municipales y por esa razón, el sistema anterior se encontraba en completo desuso.



Ilustración 46. Módem marca Siemens con antena.

### 3.1.1.2 Modo de funcionamiento

El modo de funcionamiento del sistema de telegestión del alumbrado público es el siguiente (véase *Ilustración 47*):

- El reloj astronómico da al anochecer la señal de encendido de la alimentación de luminarias al autómata conectado a él.
- El autómata programable tiene una curva de voltaje guardada y seleccionada para enviar al regulador de voltaje, el cual limitará la tensión que habrá entre fases, es decir, la tensión a la que estará alimentada cada luminaria conectada al cuadro de mando con regulación.
- El regulador de voltaje fija la tensión marcada por el autómata y así se obtiene el nivel de iluminación deseado.
- En el amanecer, el reloj astronómico dará la señal de apagado de la alimentación de luminarias.
- El autómata programable recibe la señal y detiene el regulador de voltaje y posteriormente desconecta la alimentación de las luminarias y el sistema de telegestión.

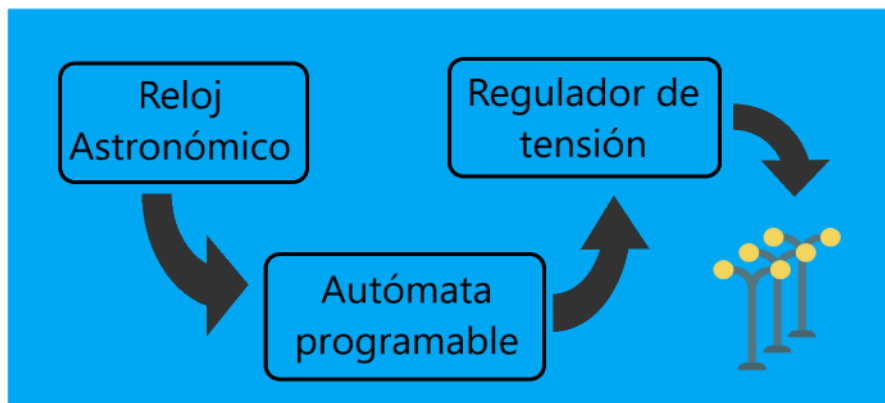


Ilustración 47. Funcionamiento sistema de alumbrado.

### 3.1.2 Elementos de iluminación

Para terminar la presentación del sistema instalado en el escenario inicial se debe hablar sobre las luminarias. En este caso se trata de un conjunto de puntos de luz basados en la tecnología de vapor de sodio y de halogenuro metálico. Ambas funcionan con gas en su interior a una alta presión y posee un tiempo de encendido y apagado de alrededor de 5 minutos. Su vida útil se encuentra en torno a las 20.000 horas de trabajo en el caso del vapor de sodio y unas 23.000 horas de trabajo, en las lámparas de halogenuro metálico. También existen ciertas luminarias antiguas de vapor de mercurio de color corregido. En las Ilustraciones 48, 49, 50 y 51 pueden verse algunos ejemplos de las luminarias instaladas en la ciudad de Úbeda.



Ilustración 48. Luminaria Halogenuro Metálico.



Ilustración 49. Luminaria Vapor de sodio.





Ilustración 50. Farol Halogenuro.



Ilustración 51. Luminaria Vapor de sodio.

### 3.1.3 Reglamento y recomendaciones

El sistema de alumbrado público descrito anteriormente no se ajusta a los requerimientos de eficiencia energética, contaminación lumínica y nivel de iluminación que nos sugieren las instrucciones aportadas por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, dictadas en el *ITC EA* [7]. Además de cumplirse la *Ley 7/2007, de 9 de Julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental* [8], “*GICA*” a partir de ahora. Estas instrucciones se concretan a continuación:

1. La aparición de la tecnología LED en luminarias, con un consumo muy inferior a las existentes, tal como vapor de sodio y halogenuros metálicos, hacen que surja la necesidad de la sustitución de las lámparas con objeto de minimizar los costes y aumentar la eficiencia energética. Estos objetivos vienen determinados en la *Ley 7/2007 de GICA, Título III, Capítulo II, artículo 21* y en el *apartado 01 del ITC EA* vienen indicados los requisitos de eficiencia energética, donde tenemos unos valores que solo se pueden lograr con la tecnología LED.
2. Por otro lado, en referencia a la prohibición por parte de la *Ley de GICA, Título IV, Cap. II, art. 62* de contaminación del cielo nocturno, que es originada por la reflexión de la luz emitida por la luminaria en el pavimento y por la emisión directa en dirección por encima de la horizontal, se hace necesario renovar la tecnología instalada por una que cumpla dichas prescripciones. En el *apartado 02 del ITC EA* encontramos los valores necesarios a cumplir, los cuales no se respetan en la instalación expuesta anteriormente.

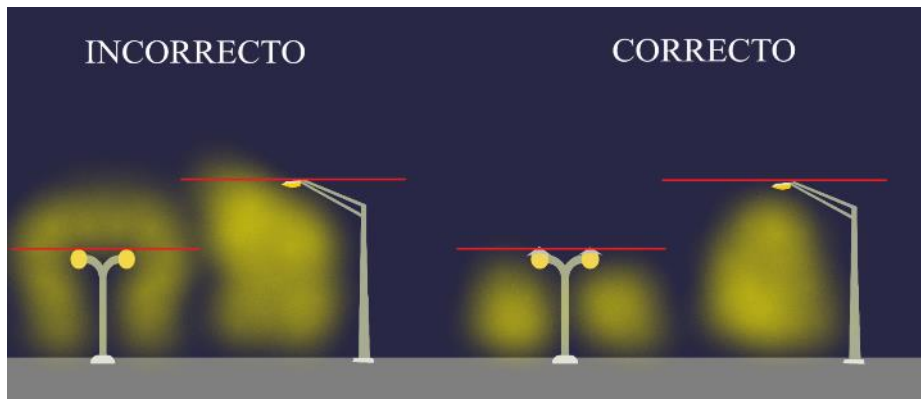


Ilustración 52. Contaminación en el hemisferio superior.

3. Relacionado con la contaminación lumínica por reflexión, es preciso el uso de una tecnología que nos brinde unos niveles de iluminación más uniformes en las vías y espacios públicos, y que no produzcan reflejos al cielo. Cuestiones éstas que dan respuesta a los actuales criterios de iluminación que, en el caso de los abundantes monumentos de la ciudad de Úbeda, es básico actualizar de modo que se imponga la uniformidad en ellos también. Como en el punto anterior, nos remitimos al *apartado 02 del ITC* para encontrar los valores de uniformidad exigidos.
4. Por último, se veía necesario un nuevo sistema de telegestión para el control remoto del consumo y demás parámetros de las luminarias del que adolece el sistema instalado. Con ello se conseguiría una reducción mayor del consumo energético debido al control absoluto de las horas de encendido y a los niveles de iluminación de cada punto de luz.

## 3.2 Proyecto de mejora

En 2016 se realizó por el Ayuntamiento de Úbeda un proyecto de *Mejora de la eficiencia energética del alumbrado público* de la ciudad basado entre otros objetivos en los cuatro descritos en el punto anterior y que incluía el cambio de tecnología de una parte de las luminarias de vapor de sodio, halogenuro metálico y vapor de mercurio a tecnología LED (1.134 unidades) y la instalación de un sistema de telegestión punto a punto en 313 puntos de luz de ellos. Este proyecto fue objeto de licitación mediante Edicto publicado en el Boletín Oficial de la Provincia de Jaén (BOP) núm. 14 de 19 de enero de 2018, bajo el título *Licitación para la adjudicación de la ejecución de las obras de "Mejora de la Eficiencia Energética del alumbrado exterior municipal de Úbeda", mediante procedimiento abierto y trámite ordinario* [9].

El proyecto requería el cumplimiento de diversos requisitos para la adjudicación del mismo:

- Sustitución de luminaria existente por luminaria LED de 3000K ( $\pm 200$ K) con conexión *NEMA 7* pines para telegestión y lúmenes del orden de 3000, 6000, 9000, 12000 y 15000 lúmenes, según las características de la vía y el entorno.
- Controlador de luminaria externo *IoT* punto a punto compatible con ipv6 con conector *NEMA 7* pines, con comunicación híbrida 3G y radiofrecuencia además de comunicación GPS.
- Software compatible con el sistema de telegestión y basado en web. Interfaz de usuario con acceso a cada punto de luz y sus características, posibilidad de programación horaria y por niveles de intensidad lumínica, aviso por alerta y visualización de consumos, corrientes, tensiones, horas de funcionamiento, etc.

### 3.2.1 Objeto del proyecto

En la memoria del proyecto de licitación vienen redactadas las actuaciones previstas y especificadas las zonas donde se va a acometer. También se encuentra un inventario de los sistemas intervenidos y, finalmente, un breve estudio de ahorro energético y económico que justifica entre otros motivos, este proyecto.

A título informativo, hay que remarcar que el proyecto contiene 21 planos donde se identifican las luminarias objeto del mismo. A su vez, señalamos la nomenclatura utilizada en los planos de inventario de alumbrado público de Úbeda, que se corresponden con cada cuadro de mando, la cual se exhibe de la siguiente manera:

NÚMERO DE PLANO	CUADRO DE MANDO
X	UBE-YY

Ilustración 53. Ejemplo de nomenclatura.

### 3.2.1.1 Características de la nueva instalación

Se dividirá en dos fases:

1. Sustitución de luminarias de vapor de sodio, vapor de mercurio y halogenuro metálico por luminarias de tecnología LED, que acarrea un mayor rendimiento energético y menor consumo en la zona de actuación que afecta a 21 cuadros de mando del municipio.
2. Instalación del nuevo sistema de telegestión punto a punto con tecnología inalámbrica encriptada en los puntos a sustituir la luminaria para aumentar la eficiencia energética y posibilitar la regulación de luminosidad para teatralizaciones que se puedan organizar en días festivos.

### 3.2.1.2 Inventario de puntos de luz a sustituir

En la memoria del proyecto se cuantifican los puntos de luz que son objeto de intervención y se muestra también el tipo de luminaria, tipo de lámpara, potencia nominal de la lámpara y del equipo auxiliar y la potencia total. El tipo de lámpara viene indicado por la siguiente nomenclatura:

VSAP: Vapor de Sodio de Alta Presión
HM: Halogenuro Metálico
VMCC: Vapor de Mercurio de Color Corregido

Ilustración 54. Nomenclatura de tipos de lámpara.

Además de la clasificación por tipo de lámpara es necesaria la clasificación según su fin, y se pueden distinguir viales funcionales y viales decorativos. Los funcionales reúnen a la mayoría de las luminarias y solo tienen el objetivo de alumbrar, con una mínima importancia de impacto de su diseño. Por otra parte, los viales decorativos son faroles de hierro forjado, donde si tiene significación la decoración y el diseño de la luminaria, destinada a las zonas del centro histórico y zonas monumentales de Úbeda.

Es necesario aclarar que, en los faroles decorativos, solo se sustituirá la lámpara o bombilla, dejando intacta la estructura de hierro. Para llevar a cabo la implantación de la tecnología LED en estas luminarias, es necesario el uso de bloques ópticos, los cuales están compuestos por una estructura rectangular de aluminio con un controlador integrado y una placa de LED's con su óptica.





Ilustración 55. Bloque óptico para vial decorativo.



Ilustración 56. Vial decorativo o farol, con bloque óptico LED instalado.



Ilustración 57. Detalle de instalación de bloque óptico en farol.

Después de la descripción de la nomenclatura y de los tipos de lámparas y puntos de luz, se muestran las tablas de inventario facilitadas por el Ayuntamiento en la memoria del proyecto.

INVENTARIO DE LOS PUNTOS DE LUZ (PL)					
Nº Puntos de luz	Tipo de luminaria	Tipo de lámpara	Potencia lámpara (W)	Potencia equipo auxiliar (W)	Potencia total (W)
70	Vial Funcional	VSAP	250	37,5	20.126
179	Vial Funcional	VSAP	150	22,5	30.870
46	Vial Decorativo	HM	150	22,5	7.935
332	Vial Funcional	VSAP	100	15	49.680
129	Vial Decorativo	VSAP	100	15	24150
165	Vial Decorativo	VMCC	80	12	15.180
213	Vial Decorativo	VSAP	70	10,5	25.199
1134					173.140

Tabla 1. Características de los puntos de luz en un sistema de alumbrado público

A su vez, podemos encontrar la enumeración de los puntos de luz según los planos aportados en el proyecto y la correspondencia con el plano del inventario de alumbrado público del Ayuntamiento de Úbeda:

Nº Plano	Cuadro Nº	Nº PL
1	UBE-1	73
2	UBE-23	107
3	UBE-24	83
4	UBE-28	84
5	UBE-31	19
6	UBE-33	34
7	UBE-34	35
8	UBE-35	99
9	UBE-36	24
10	UBE-44	13
11	UBE-48	76
12	UBE-49	7
13	UBE-56	87
14	UBE-57	53
15	UBE-77	39
16	UBE-79	57
17	UBE-80	20
18	UBE-88	72
19	UBE-89	60
20	UBE-8	26
21	UBE-14	66
		1134

Tabla 2. Correspondencia puntos de luz, planimetría y cuadros de mando.

### 3.2.1.3 Estudio de eficiencia energética y ahorro económico

Para la realización de este proyecto de modernización de alumbrado elaborado por el Ayuntamiento de Úbeda, se utiliza un estudio de eficiencia energética y ahorro económico realizado por el propio Ayuntamiento. Este estudio queda recogido en el *Proyecto de optimización energética municipal, del año 2015* [10] en el cual se evalúa el ahorro económico, el ahorro energético y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> generado por el cambio de sistema de alumbrado.

Ahorro energético Kwh/año	444.199
% Ahorro económico	58,87%
Ahorro económico total €/ Año	36.289,96 €
Reducción KG CO2	499.182

Tabla 3. Ahorro energético, económico y de emisiones según estudio.

Como podemos observar en la tabla anterior, el ahorro teórico tanto energético como económico, es bastante notable, además de una contribución sustancial a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

### 3.2.2 Luminarias

Respecto a las luminarias, se elige en el proyecto la tecnología de iluminación LED para todos los puntos de luz y se basa en el “Manual de requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología led de alumbrado exterior” [11] de la plataforma oficial IDAE para obtener la clase de alumbrado según la geometría de la vía urbana y cumplir así el REEIAE (Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior [12]).

El proyecto redactado por el Ayuntamiento que ahora se analiza, incluye un estudio luminotécnico con los requisitos teóricos a cumplir por cada punto de luz. Dentro del estudio se tiene una tabla con las clases de luminaria que se proponen a sustituir, en correspondencia con el cuadro de mando al que pertenece y con el plano respectivo.

NÚMERO DE PLANO	CUADRO DE MANDO	CLASE DE ALUMBRADO FUTURO	MEDIDAS CORRECTORAS
1	UBE-1	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
1	UBE-1	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
2	UBE-23	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
3	UBE-24	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
3	UBE-24	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
4	UBE-28	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
4	UBE-28	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
5	UBE-31	ME3C	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
6	UBE-33	ME3C	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
6	UBE-33	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
7	UBE-34	-	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
8	UBE-35	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
8	UBE-35	2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
8	UBE-35	ME4B	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
8	UBE-35	ME3C	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
9	UBE-36	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
9	UBE-36	S3	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
10	UBE-44	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
11	UBE-48	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
11	UBE-48	ME4B	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
12	UBE-49	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
13	UBE-56	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
14	UBE-30	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
15	UBE-77	S1	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
15	UBE-77	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
15	UBE-77	ME4B	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
15	UBE-77	ME3C	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
16	UBE-79	ME4B	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
16	UBE-79	ME3C	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
17	UBE-80	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
17	UBE-80	ME4B	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
18	UBE-88	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
19	UBE-89	S2	SUSTITUCION A LUMINARIA LED
20	UBE-8	S1	SUSTITUCION A BLOQUE ÓPTICO LED
21	UBE-14	S1	SUSTITUCION A BLOQUE ÓPTICO LED
22	UBE-16	S1	SUSTITUCION A BLOQUE ÓPTICO LED
23	UBE-20	S1	SUSTITUCION A BLOQUE ÓPTICO LED
24	UBE-42	S1	SUSTITUCION A BLOQUE ÓPTICO LED

Tabla 4. Tabla de clases de alumbrado de estudio luminotécnico del proyecto [4].

Para clasificar las vías se utiliza la Tabla 2.5 correspondiente del REEIAE, donde diferenciamos las luminarias según el tipo de vía y la velocidad del tráfico en ellas.

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 5. Tabla de clasificación de vías según el REEIAE [5].

Una vez clasificadas por tipo y velocidad de tráfico, se agrupan por términos de luminancia media, uniformidad y demás parámetros del REEIAE:

CLASE DE ALUMBRADO $L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )	LUMINANCIA MEDIA $U_0$	UNIFORMIDAD GLOBAL $U_L$	UNIFORMIDAD LONGITUDINAL
ME3c	1,00	0,40	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50

Tabla 6. Requisitos mínimos para viales tipo A y B.

CLASE DE ALUMBRADO	ILUMINANCIA MEDIA $E_m$ (lux)	ILUMINANCIA MÍNIMA $E_{\min}$ (lux)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5

Tabla 7. Requisitos mínimos para viales tipo C, D y E.

En estas tablas se han señalado las clases de luminaria existentes en el Municipio de Úbeda según el propio reglamento y con la ayuda del Manual de IDAE, donde se especifican las dimensiones de las vías públicas, la altura y ángulo del punto de luz así como la distribución de los puntos a lo largo de la vía.

Una vez clasificadas se definen 4 tipos de luminarias diferentes:

- Luminaria vial funcional 1 para calzadas y potencias menores a 100 W.
- Luminaria vial funcional 2 para calzadas y potencias mayores a 100 W.
- Luminaria ambiental para zonas verdes y espacios peatonales.
- Luminaria bloque óptico para los faroles ornamentales.

En el *Pliego de prescripciones técnicas* de la licitación, además de lo anterior, se exigen una serie de requisitos que deben cumplir los suministros, entre los que destacan los mostrados en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICA	VIAL FUNCIONAL 1	VIAL FUNCIONAL 2	AMBIENTAL	BLOQUE ÓPTICO
Material cuerpo	Fundición de aluminio inyectado	Fundición de aluminio inyectado	Fundición de aluminio inyectado	Marco de chapa de acero y cuerpo de Fundición de aluminio inyectado
Dimensiones máximas				Mínimo: 315x315mm y máximo: 415x415mm
Vida útil	L90>100.000h hasta 500mA y L80>100.000h hasta 700mA	L80>80.000h	L90>100.000h	L90>100.000h
Grado de protección IP	>65	>65	>65	>65
Grado de protección IK	08	10	06	08
Temperatura de color	3000K (+-5%)	3000K (+-5%)	3000K (+-5%)	3000K (+-5%)
Eficacia	>115lm/W	>120lm/W	>100lm/W	>90lm/W
protección frente a sobrecorrientes	hasta 10kV	hasta 10kV	hasta 10kV	hasta 10kV
Posibilidad de control	1-10 V, DALI, Hilo de mando, sensor presencia	1-10 V, DALI, Hilo de mando, sensor presencia	1-10 V, DALI, Hilo de mando, sensor presencia	1-10 V, DALI, Hilo de mando, sensor presencia
Certificación	ENEC, CE, Rohs y Weee	ENEC, CE, Rohs y Weee	ENEC, CE, Rohs y Weee	ENEC, CE, Rohs y Weee
Proceso de fabricación	ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001	ISO 9001 y ISO 14001	ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001	ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001

Tabla 8. Requisitos luminarias pliego prescripciones técnicas.

Además de los requisitos mostrados en la tabla anterior, se exige el cumplimiento de una serie de normativas, directivas y decretos que se detallan en mayor profundidad en el *Pliego de prescripciones técnicas de la licitación*, que, por su extensión, aquí no exponemos.

### 3.2.3 Telegestión

Si nos centramos en lo que atañe a la telegestión, en el proyecto se exige un dispositivo del tipo punto a punto para el control individual de cada luminaria y poder supervisar, controlar, medir y gestionar la red de alumbrado. Este dispositivo deberá enmarcarse en los principios y requisitos del *IoT* y deberá poder ser integrado en otros sistemas de terceros que puedan existir en la ciudad.

En el *Pliego de prescripciones técnicas* tenemos listados los requisitos de funcionamiento que debe cumplir el dispositivo de telegestión :

- Cada luminaria tendrá una etiqueta de RFID (Radiofrecuencia) que contenga la información propia, para su inmediata configuración en el momento de su instalación. Esta etiqueta será escaneada por el técnico instalador y descargará la configuración prevista con anterioridad dentro de la memoria del dispositivo de telegestión y quedará instalada lista para su uso.
- Poseerá tecnología GPS para su posicionamiento automático en los planos del software. El objetivo es agilizar la puesta en marcha y la evasión de errores humanos. Además, podrá detectar cambios de ubicación de luminarias por futuros reemplazos o sustituciones.
- Integrará tecnología de comunicación híbrida (Radiofrecuencia y 3G) para optimizar las comunicaciones y mediante un algoritmo, elegirá la manera de comunicación, ya sea mallada o directamente al servidor en la nube. Esta tecnología debe permitir el acceso y la interacción instantánea con el sistema de alumbrado público.
- El sistema dispondrá de un software cuya interfaz albergará los planos del municipio y mostrará en ellos cada punto de luz. Deberá ser interactivo y se podrá observar, manipular y extraer toda la información de cada punto de luz instantáneamente, ya sea estado de la luminaria, tensión, intensidad, modelo, curva lumínica instalada y consumo detallado.

Permitirá también la agrupación de puntos de luz según cuadro de mando, barrio o método deseado. A su vez, permitirá la creación de alarmas por desconexión o rotura de una luminaria.

### 3.2.4 Resto de requisitos

Además de requisitos luminotécnicos y del sistema de telegestión, la empresa que se presente a la licitación de este proyecto tendrá la obligación del cumplimiento de ciertos requisitos entre los que destacan:

- Estar clasificado como instalador autorizado en baja tensión en categoría IBTE, de acuerdo con la *ITC-BT-03* [7] apartado 3.2 del *Real Decreto 842/2002* [13] y figurar en el *Listado de proveedores de servicios energéticos del ministerio de energía, turismo y agenda digital* [14].
- Poseer las certificaciones *ISO 9000*, *ISO 14001* e *ISO 18001* [15] referentes a la propia empresa.
- Cumplimiento del *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior* (REEIAE) cumpliendo así la ITC-EA-01, ITC-EA-02, ITC-EA-04 e ITC-EA-05 del ministerio de industria.
- Cumplimiento de la *Ley 31/1995, de 8 de noviembre* [16], sobre prevención de riesgos laborales, así como sus modificaciones posteriores.
- Plazo máximo de ejecución de la obra igual a 10 meses.



### 3.2.5 Presupuesto

En los precios unitarios va incluida la mano de obra en horas de operario, el alquiler de maquinaria por hora y los costes indirectos.

	N.º de unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Luminaria Vial funcional 1	613,00	325,91	199.782,83
Luminaria Vial funcional 2	92,00	500,10	46.009,20
Luminaria Ambiente	66,00	433,85	28.634,10
Luminaria Bloque Óptico	313,00	245,12	76.722,56
Dispositivo de telegestión	313,00	140,64	44.020,32
Legalización de instalaciones	21,00	190,80	4.006,80
Gestión de residuos	1,00	370,00	370,00
Total ejecución material			399.545,81
Gastos generales (13%)			51.940,96
Beneficio industrial (6%)			23.972,75
Total presupuesto			475.459,51
I.V.A. (21%)			99.846,50
Total presupuesto con I.V.A.			<b>575.306,01</b>

Tabla 9. Presupuesto del proyecto de modernización del alumbrado.

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de **QUINIENTOS SETENTA Y CINCO MIL TRESCIENTOS SEIS EUROS CON UN CÉNTIMO (575.306,01 €)**.

El precio final difiere ligeramente del ofrecido por el proyecto del Ayuntamiento de Úbeda debido a un error de cálculo por parte de este último en una de las partidas. Posteriormente, cuando se ejecutó la obra, el error quedó advertido e inmediatamente subsanado por parte del Ayuntamiento, mediante una modificación de la mejora ofertada por la empresa adjudicataria de la licitación.

### 3.2.6 Mejora del proyecto de licitación

Las empresas que se presentan a la licitación podrán adjuntar una mejora que, en este caso, no será una rebaja económica del presupuesto del proyecto sino una mejora por incremento del número de unidades de puntos de luz y de dispositivos de telegestión punto a punto suministrados.

Los nuevos puntos de luz y dispositivos de telegestión se distribuirán según convenga y prevea los técnicos del Ayuntamiento de Úbeda. Este requisito viene recogido en el *Pliego de prescripciones técnicas* del proyecto.

### **3.2.7 Planos del proyecto**

Se facilitan un total de 21 planos, correspondientes a los 21 cuadros de mando del municipio de Úbeda en los que se va a acometer el proyecto de mejora de eficiencia del alumbrado público. En estos planos se señalan las luminarias afectadas mediante un rayado de la zona y como podremos observar en los siguientes planos, hay cuadros de mando en los que se actúa únicamente sobre parte de las luminarias y otros cuadros en los que se actúa en su totalidad.

Se muestran a continuación varios planos de ejemplo de todos los suministrados:



Ilustración 58. Plano 11 correspondiente al cuadro de mando UBE-12 (Zona Suroeste).

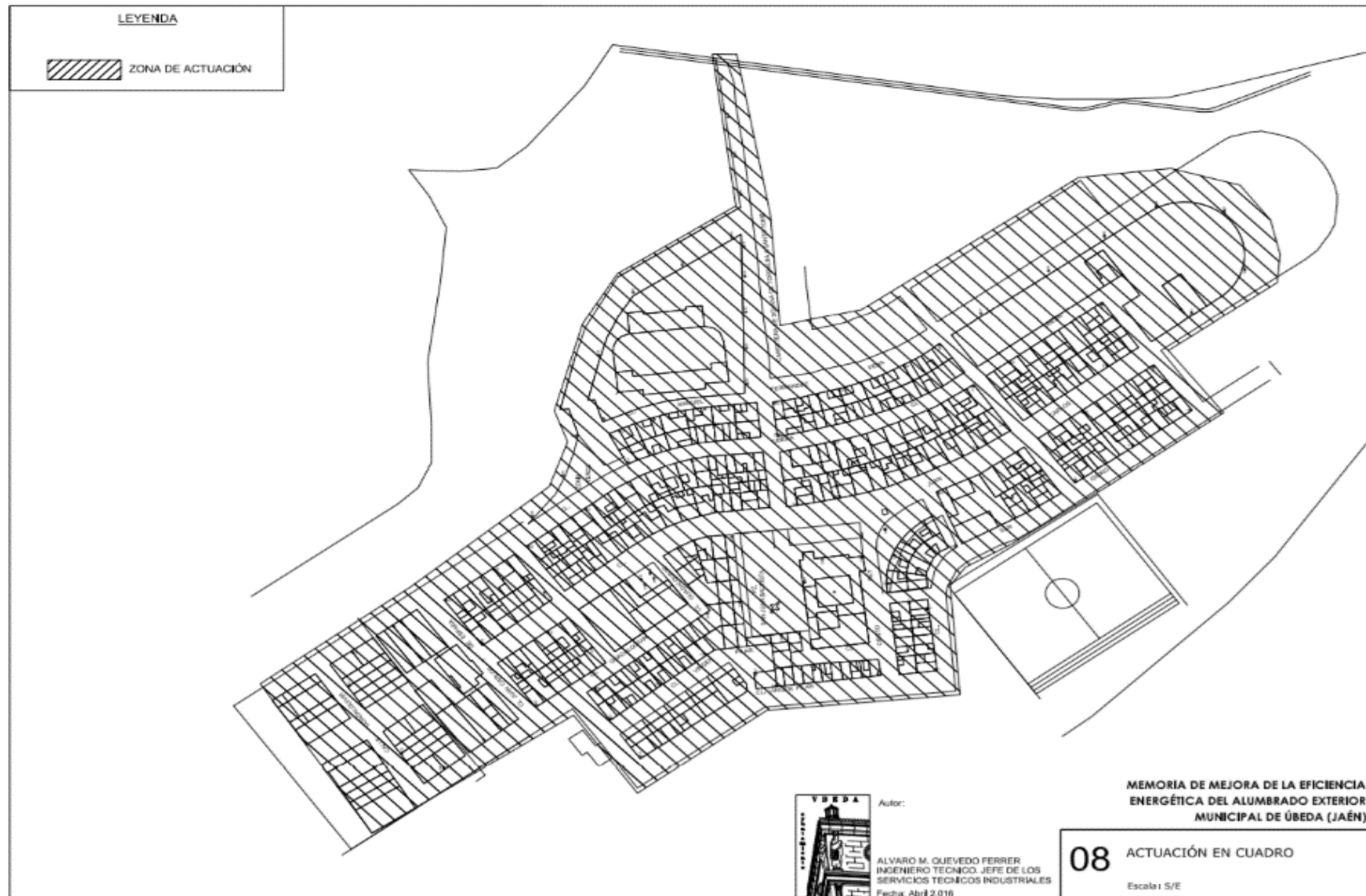


Ilustración 59. Plano 08 correspondiente a cuadro de mando UBE-88 (Solana de Torralba).



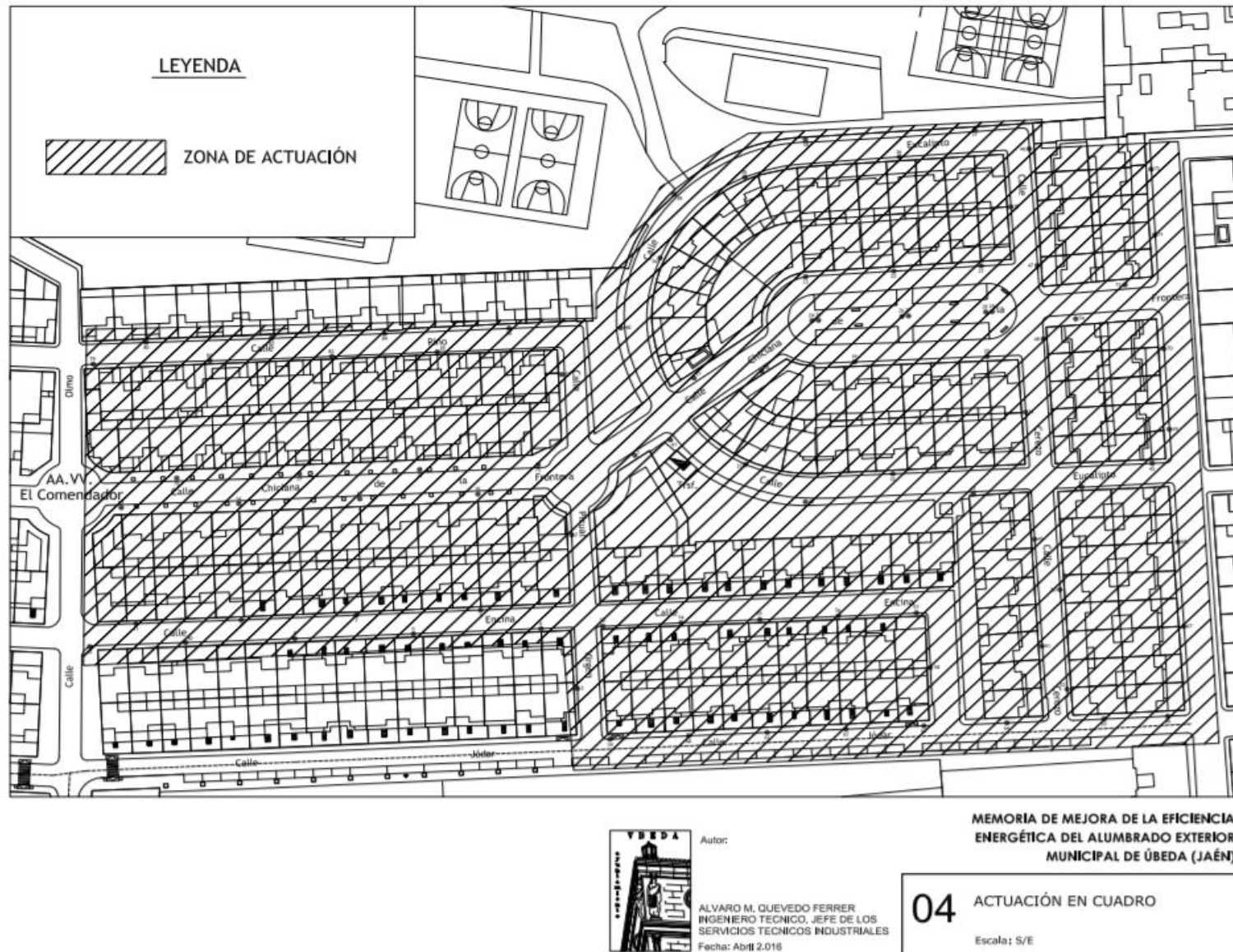


Ilustración 60. Plano 04 correspondiente con cuadro de mando UBE-55 (barrio El Comendador).



## 4 SOLUCIÓN APROBADA POR EL AYUNTAMIENTO

El lunes, 25 de junio de 2018, se publica en el *BOP (Boletín Oficial de la Provincia)* [17] de Jaén, la adjudicación por procedimiento abierto para la ejecución del *Proyecto de Mejora de la eficiencia energética del alumbrado exterior de Úbeda*, en concordancia con el *art. 54 del Real decreto legislativo 3/2011, de 14 de noviembre* [18], publicado en el BOE, sobre las condiciones de aptitud en el ámbito de contratación pública.

La empresa adjudicataria se trata de ELECTROMUR, S.A., cuya propuesta presentada coincidía con el proyecto redactado por el Ayuntamiento de Úbeda y que, además, ofertó la mejora más alta en cantidad de suministros, sin entrar en baja temeraria, en la cual tendría que justificar esa diferencia respecto a las demás empresas presentadas a la licitación. La mejora fue, concretamente, de 365 luminarias del tipo vial funcional 1 y 502 dispositivos de telegestión, sobre el número concretado en el proyecto original.

A continuación, vamos a describir las actuaciones que llevó a cabo el contratista adjudicatario, los dispositivos y luminarias elegidos por el mismo y el resultado de la ejecución de dicho proyecto.

### 4.1 Luminarias instaladas

La empresa adjudicataria presentó un sistema de alumbrado LED en su totalidad, con su propio sistema de telegestión punto a punto *Owlet*, todo ello de la marca *Schreder* a excepción de un pequeño número de luminarias de la marca *Simon*. Para cumplir las especificaciones requeridas en el pliego de prescripciones técnicas del proyecto del Ayuntamiento de Úbeda, se eligieron varios modelos diferentes de luminarias sobre báculo y un modelo de bloque óptico para incorporar a los faroles ornamentales:

Luminaria vial funcional 1	- Luminaria marca <i>SCHREDER</i> , modelo <i>TECEO 1</i> de 16 a 48 LED's y 20W a 51W. - Luminaria marca <i>SCHREDER</i> , modelo <i>TECEO S</i> de 24 LED's y 26W a 63W. -Luminaria marca <i>SIMON</i> , modelo <i>NATH</i> de 32 a 48 LED's y 47 a 77 W.
Luminaria vial funcional 2	-Luminaria marca <i>SCHREDER</i> , modelo <i>TECEO 2</i> de 24 a 48 LED's y 28 a 51W. -Luminaria marca <i>SCHREDER</i> , modelo <i>TECEO 1</i> de 40 a 48 LED's y 63W a 107W.
Luminaria ambiental	-Luminaria marca <i>SCHREDER</i> , modelo <i>KIO</i> de 24 a 32 LED's y 38 a 75W.
Luminaria bloque óptico	-Luminaria marca <i>SCHREDER</i> , de 24 y 48 LED's y 46W.

Tabla 10. Luminarias instaladas.

Aquí se observan imágenes de las luminarias instaladas:



Ilustración 61. Luminaria vial funcional *Schreder* TECEO.



Ilustración 62. Luminaria ambiental *KIO*.



Ilustración 63. Luminaria Vial funcional *NATH SIMON*.



Ilustración 64. Bloque óptico.

El uso de una marca diferente (*Simon*) a la predominante (*Schreder*) por una cantidad de 132 luminarias, se explica por la existencia previa al proyecto, de diez luminarias ya instaladas de la primera marca, adquiridas por el servicio de mantenimiento municipal para el reemplazo de luminarias, en dos cuadros de mando particulares (UBE-56 y UBE-57). Para completar con la uniformidad de las luminarias en ese sector, se pactó usar ese modelo (*Simon Nath*) solo en esos cuadros de mando.

En las siguientes ilustraciones se mostrará el estado final de las nuevas luminarias instaladas, algunas de ellas con el sistema de telegestión instalado, y también los bloques ópticos instalados en los faroles ornamentales:





Ilustración 65. Luminaria de vapor de sodio *PHILIPS* ajena al proyecto, para comparación estética.



Ilustración 66. Luminaria *Teceo S* sobre brazo con dispositivo de telegestión.



Ilustración 67. Luminaria *TECEO 2* sobre báculo sin dispositivo de telegestión.



Ilustración 68. Luminaria *TECEO 2* sobre báculo sin dispositivo de telegestión.



Ilustración 69. Faroles ornamentales con bloques ópticos instalados.



Ilustración 70. Farol ornamental con bloque óptico instalado.





Ilustración 71. Detalle placa LED de bloque óptico en farol.

En la instalación de bloques ópticos se produjo un problema de dimensiones debido a un error de redacción del proyecto original y del pliego de prescripciones técnicas, lo que resultó en la instalación de solo bloques ópticos de 24 LED's, que eran los de menor tamaño. Para suplir aquellos destinados a ser de 48 LED, se permitió el uso de una herramienta de modificación de la corriente suministrada, para poder equiparar los requisitos de iluminancia media y mínima. En algunos de los casos, debido a las pequeñas dimensiones, ninguno de los dos tipos de bloques ópticos podía ser albergado dentro del farol (*véase Ilustración 72*) por lo que se llevó a cabo la decisión de no instalarlos y replantear los puntos de luz a reemplazar por bloques ópticos.

A su vez, se generaron problemas derivados de báculos en mal estado o con diámetros inferiores a los descritos en el proyecto municipal. Esto unido a varios errores en la planimetría, obligaron al Ayuntamiento a la modificación del proyecto original para incluir los costes adicionales y reubicar las luminarias afectadas por dichos errores.



Ilustración 72. Farol ornamental sin instalación de bloque óptico.

## 4.2 Sistema de telegestión instalado

Para la telegestión punto a punto de luminarias se utilizó el sistema *IoT Owllet*, propiedad de la marca *Schreder*, el cual está basado en la tecnología *ZIGBEE* para comunicación entre dispositivos de cada luminaria y tecnología *3G*, para la comunicación con el servidor ubicado en *la nube*, donde se conectará con el software de telegestión (véase ilustración 73).

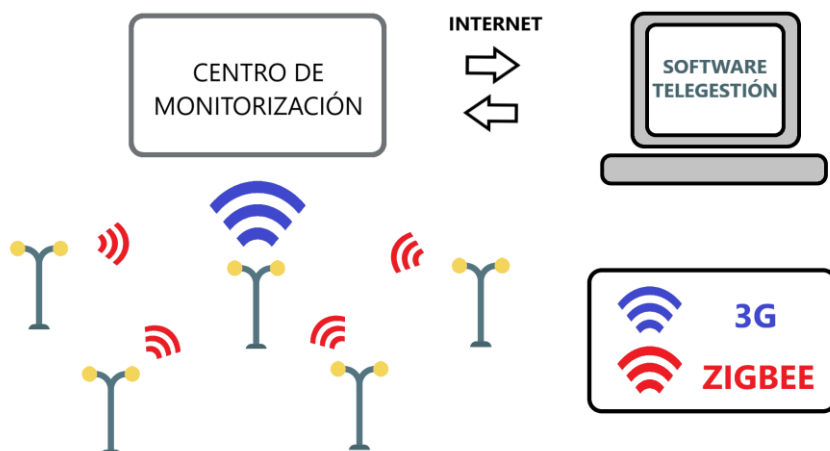


Ilustración 73. Esquema general de sistema Owlet.

Este sistema de telegestión no interviene en los cuadros de mando de alumbrado ya que está constituido por una red de nodos de telegestión instalados en cada luminaria LED. Por lo tanto, solo es necesaria la actuación en los puntos de luz objeto de la telegestión, en el mismo momento de la sustitución de la luminaria anterior, de vapor de sodio, de mercurio o de halogenuro metálico, por la nueva luminaria de tecnología LED.

#### 4.2.1 Dispositivos

Los dispositivos de control de luminaria, llamados *Luco*, se instalan mediante la conexión *NEMA* de 7 pines, sobre las luminarias modelo *teceo*, que están preparadas para alojar el dispositivo, lo cual veremos en las Ilustraciones 74, 75 y 76:



Ilustración 74. Dispositivo de telegestión Luco exterior.



Ilustración 75. Luminaria Teceo con Luco instalado.



Ilustración 76. Instalación de Luco sobre luminaria Teceo.

Al tratarse de un dispositivo Plug&Play, en el momento de la conexión de la luminaria con la alimentación, se inicializará automáticamente y se comunicará con el resto de las luminarias e internet para la finalización de su puesta en marcha, así como su geolocalización dentro del software de telegestión.

Este dispositivo es el encargado de comunicarse con el controlador integrado en cada luminaria para el cambio de nivel de iluminación. Dicha comunicación se realiza mediante una conexión por tecnología DALI o 0/10 V (véase Ilustración 77). A su vez, tiene incorporada varias tecnologías inalámbricas para diversos usos:

- *RFID*: Tecnología inalámbrica pasiva, usada para la identificación unívoca de cada luminaria y extracción y suministro de información in situ, en el momento de la instalación del dispositivo de telegestión.
- Tecnología móvil 3G: Integrada en cada uno de los dispositivos y usada para las comunicaciones con el centro de monitorización de la empresa propietaria del software, en este caso, *Schreder*. Se compone de una antena para amplificar la señal y permitir la recepción de información y una tarjeta SIM para el acceso a la red.
- *Zigbee*: Tecnología inalámbrica de corto y medio alcance utilizada para la comunicación entre dispositivos *Luco* instalados en cada luminaria. Crean una red mallada para la conexión de nodos cercanos entre sí, para la posterior comunicación con internet.
- *GPS*: Utilización del sistema de posicionamiento para la ubicación automática de cada luminaria en el plano proporcionado por el software de telegestión.

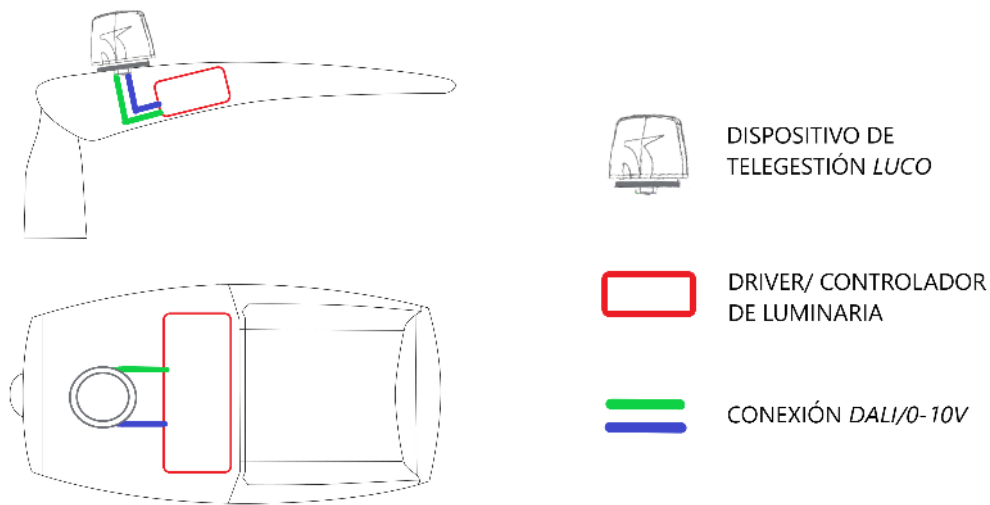


Ilustración 77. Esquema de conexión dentro de luminaria.

Además de las conexiones de control por cable y las conexiones inalámbricas, posee una entrada para un sensor. Esta entrada puede aprovecharse con sensores fotoluminosos para dotar al punto de luz de información sobre la luminosidad ambiental o con sensores de proximidad infrarrojos, para la detección de personas o vehículos. A través de la última opción, podemos generar un ahorro energético mediante la reducción de luminosidad cuando los sensores no detecten nada.

#### 4.2.1.1 Modo de funcionamiento

La organización de las comunicaciones se produce de manera sencilla, aprovechando las capacidades de la tecnología Zigbee para realizar redes malladas de intercambio de datos. El hecho de que cada dispositivo de telegestión posea una antena 3G, hace que el sistema sea más versátil y prevenga ciertos errores o situaciones no deseadas. El esquema de funcionamiento es el siguiente (véase *Ilustración 78*):

- Cada dispositivo está enlazado con los de su alrededor mediante conexiones Zigbee dentro del rango de distancia que la tecnología permite.
- Mediante un algoritmo interno, uno de los nodos de la red mallada se convierte en el coordinador y se encargará de recoger la información de los dispositivos conectados a esa red mallada.
- Una vez obtenidos los datos de cada punto de luz, el coordinador se conecta, mediante tecnología 3G, con el centro de monitorización.
- Toda la información que llega al centro de monitorización se trata y se lleva a la plataforma online del software de telegestión para ser utilizada y consultada.
- Para la realización de maniobras en los puntos de luz se procede de manera inversa a la anterior tal que, desde el software se conecta con el centro de monitorización, que a su vez se comunica con todos los nodos coordinadores, los cuales transmiten la acción o mensaje a todos los puntos de luz.



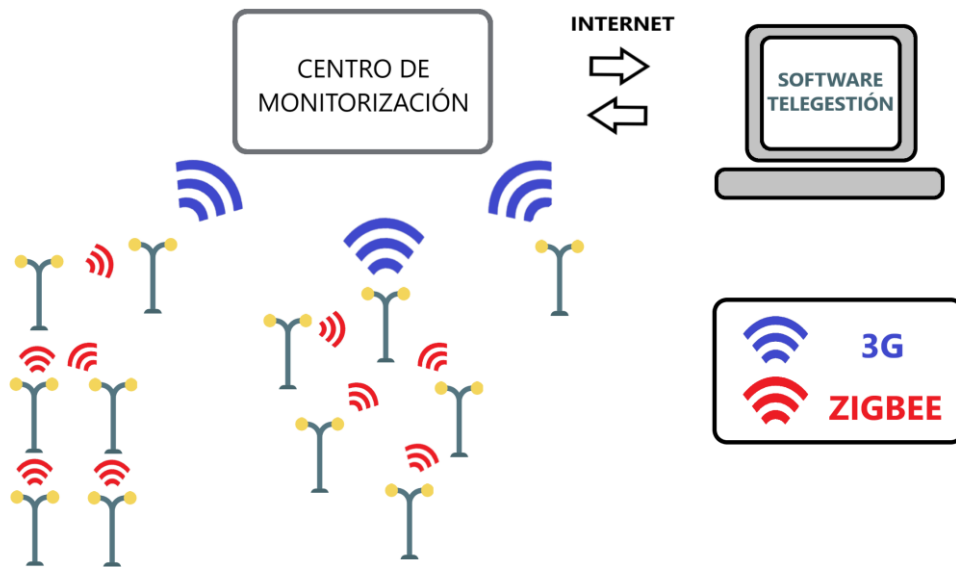


Ilustración 78. Esquema de comunicación en sistema Owlet.

Este sistema de red mallada está regido por un algoritmo, como hemos remarcado anteriormente, y está diseñado para que cualquiera de los nodos pueda ser en algún momento el nodo coordinador. Esto último explica la necesidad de conectividad 3G en cada uno de los dispositivos de telegestión instalados en los puntos de luz. Cabe destacar que este método de comunicación y conexión de dispositivos tiene ciertas ventajas y desventajas. La ventaja más clara y motivo principal de la existencia de un módulo 3G en cada punto de luz es por la posibilidad de incomunicación de alguna luminaria, ya sea por distancia respecto a las otras luminarias próximas o a interferencias y pérdidas de señal Zigbee. En este caso, los puntos aislados tendrán la posibilidad de convertirse en nodos coordinadores y así comunicarse de forma particular con el centro de monitorización, sin necesidad de la pertenencia a una red mallada (véase Ilustración 79).

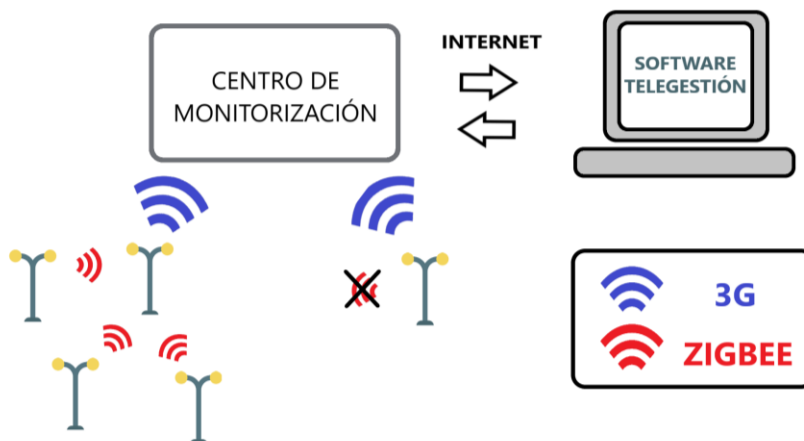


Ilustración 79. Comunicación de nodo aislado en sistema Owlet.

Por contrapartida, la necesidad de un módulo de comunicación 3G hace aumentar el coste de cada elemento de telegestión hasta el punto de la necesidad de plantear otro método más económico aunque con menos

funcionalidades o el uso otra tecnología.

Uno de los problemas presentados por este dispositivo se descubrió después de la instalación, en la plataforma de telegestión. Se trataba de la ubicación de los puntos de luz en el plano de la interfaz web y consistía en un mal posicionamiento de los puntos de luz respecto a su ubicación real. El error radicaba en la precisión el módulo GPS incorporado en los dispositivos Luco en cada luminaria ya que, a posteriori se supo que la precisión era de  $\pm 20$  metros, con lo que se obtenían ubicaciones de luminarias dentro de la calzada o de edificios y podía dar lugar a error de confusión entre dos puntos de luz cercanos (véase *Ilustración 80*). En las especificaciones técnicas del aparato se detallaba una precisión de hasta 2,5 metros con más de 6 satélites enlazados.

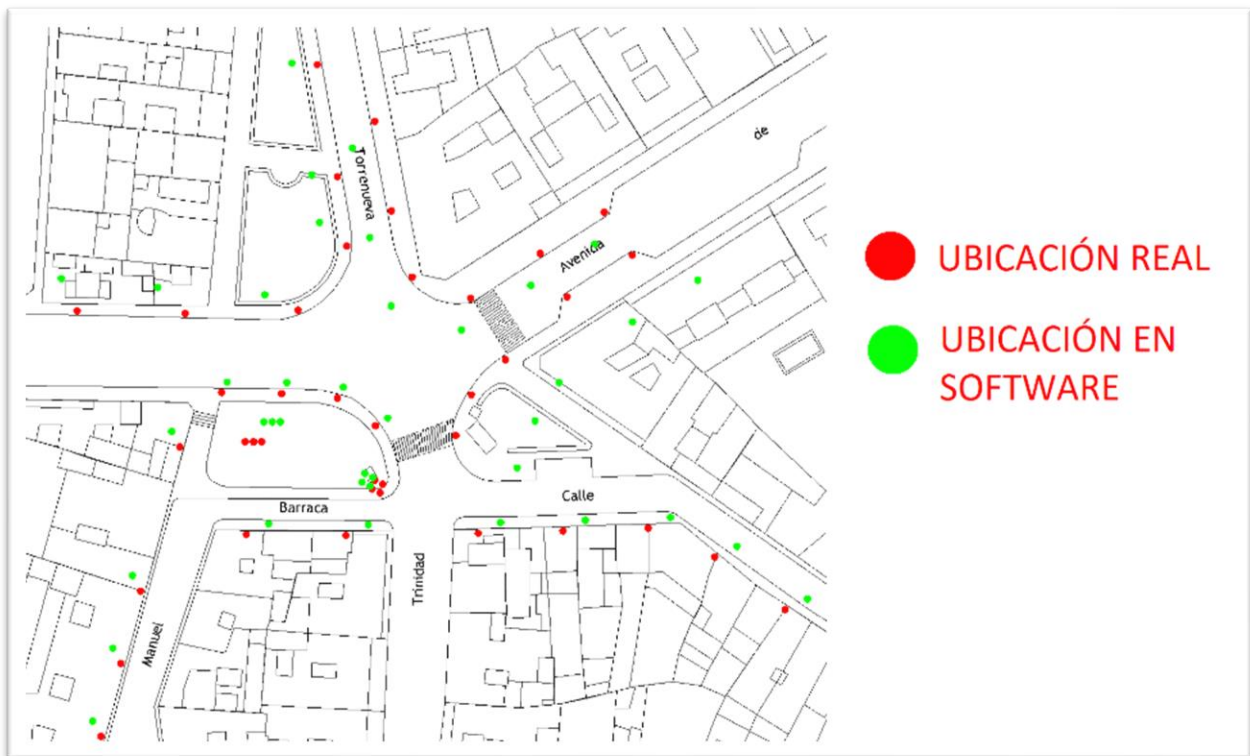


Ilustración 80. Ejemplo de problema de ubicación de puntos de luz.

Este problema se comunicó por parte del Ayuntamiento a la empresa *Schreder* y la solución tomada por su parte fue reubicar los puntos de luz manualmente, uno a uno, por un empleado suyo, siguiendo los planos de inventario de puntos de luz aportados por el Ayuntamiento de Úbeda. Dicho problema planteó la utilidad y beneficio del módulo GPS en cada dispositivo, ya que podría ser un gasto económico eludible.

#### 4.2.2 Software de telegestión

Por último, se hablará sobre el software proporcionado por la empresa *Schreder*, llamado *Owlet* (véase *Ilustración 81*). Se proporcionó al Ayuntamiento el acceso a un servidor donde se encontraba la interfaz web donde se permitía realizar todos los requisitos plasmados en el proyecto. Entre ellos estaba el del encendido y apagado de cada punto de luz individualmente o en grupo, el de servicio de alarmas o el de visionado de informes de consumo, estado etc., que detallaremos a continuación:

- Interfaz principal: La primera pantalla que se observa es el plano de la ciudad con los distintos puntos de luz distribuidos según su ubicación (véase *Ilustración 81*). Estos puntos de luz muestran un color según su estado y se puede acceder a su información básica seleccionándolo (véase *Ilustración 82*). Como se puede observar en observar en la parte inferior de las dos ilustraciones citadas, se puede ver el estado de cada punto de luz en vivo, o en cualquier fecha de la cual se disponga registro.

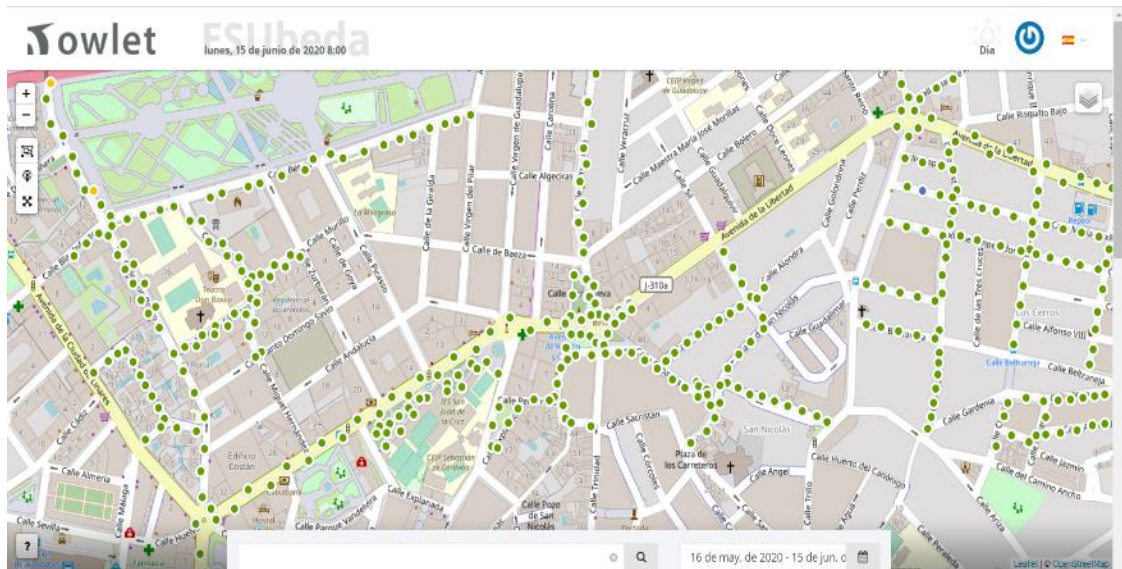


Ilustración 81. Plano de puntos de luz de la ciudad de Úbeda en software Owlet.

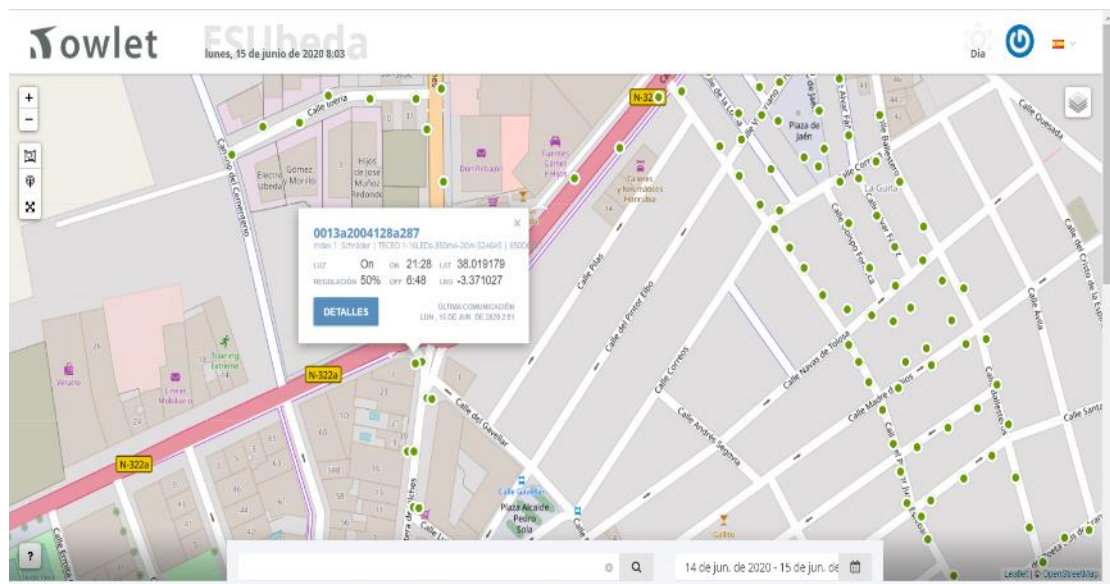


Ilustración 82. Detalle de información de punto de luz en software Owlet.

La información básica a la que podemos acceder en cada de punto de luz se trata del modelo de luminaria y su estado, nivel de iluminación, horas de apagado y encendido y coordenadas de ubicación. Aparece en el mismo cuadro de información un botón “Detalles” el cual lleva a un apartado con toda la información relacionada con ese punto de luz (véase *Ilustración 83*).

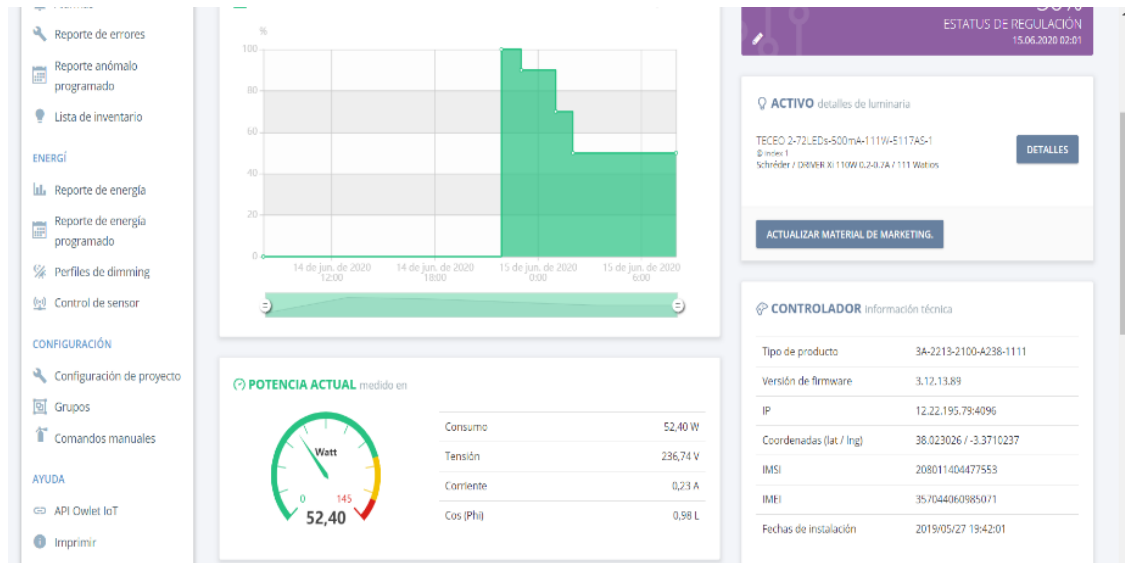


Ilustración 83. Información detallada de punto de luz en software Owl.

En este apartado más detallado de cada punto de luz se tiene, en la parte superior, la curva de iluminación que ha seguido el punto en las últimas 24 horas. Se observa cómo en las horas de mayor tránsito, el nivel es del 100% y a medida que avanza la noche se va reduciendo hasta un 50% de nivel de iluminación, previo a su apagado a la salida del sol. En la parte inferior se muestra el consumo actual del punto de luz así como su tensión, corriente y factor de potencia. Por último, en el margen derecho se vuelve a mostrar la información básica del punto de luz, ampliada con datos como la versión del software, la dirección IP asignada, el IMEI de la tarjeta SIM integrada en el dispositivo de telegestión, etc.

En caso de desear un informe del consumo de un punto de luz, se puede seleccionar en el propio gráfico la cantidad de días mostrados o se puede acceder siguiendo el panel de la izquierda, en la opción “Reporte de energía”. De la misma manera, si desde el plano principal de puntos de luz seleccionamos varias luminarias y seleccionamos la opción de reporte de energía, obtendremos el informe de consumo del conjunto elegido.

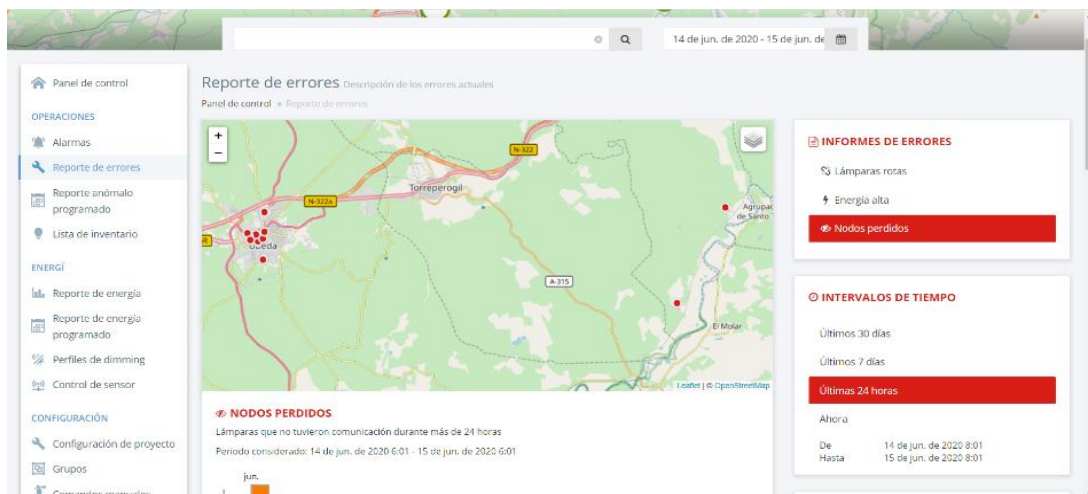


Ilustración 84. Plano de puntos de luz de la ciudad de Úbeda y sus pedanías en software Owl.



- Alarmas y fallos: En este apartado, al cual se accede desde la barra lateral del menú, se pueden observar todas las alarmas, que avisan de posibles fallos o errores que se detecten en el sistema de alumbrado (véase Ilustración 85). En este caso se muestra una alarma por posible fusible roto en la pedanía de Veracruz y en caso de pulsar en el botón “detalles”, se nos mostraría el punto de luz en concreto el cual detecta el posible error. En el menú lateral podremos generar un reporte de errores seleccionando el botón con el mismo nombre, y se abrirá una pantalla con el plano del sistema de alumbrado con todos los puntos de luz afectados por posibles errores señalados en color rojo. En la Ilustración 84 se muestran los errores en la ciudad de Úbeda y en el margen derecho, en las dos pedanías donde se existe este sistema de telegestión, que son Veracruz y Solana de Torralba. En este informe podemos seleccionar el rango de tiempo del informe (Últimas 24 horas, últimos 7 días o últimos 30 días) además de discernir el tipo de fallo, ya sea por lámpara rota, sobreintensidad o sobretensión o por pérdida de comunicación con el dispositivo.

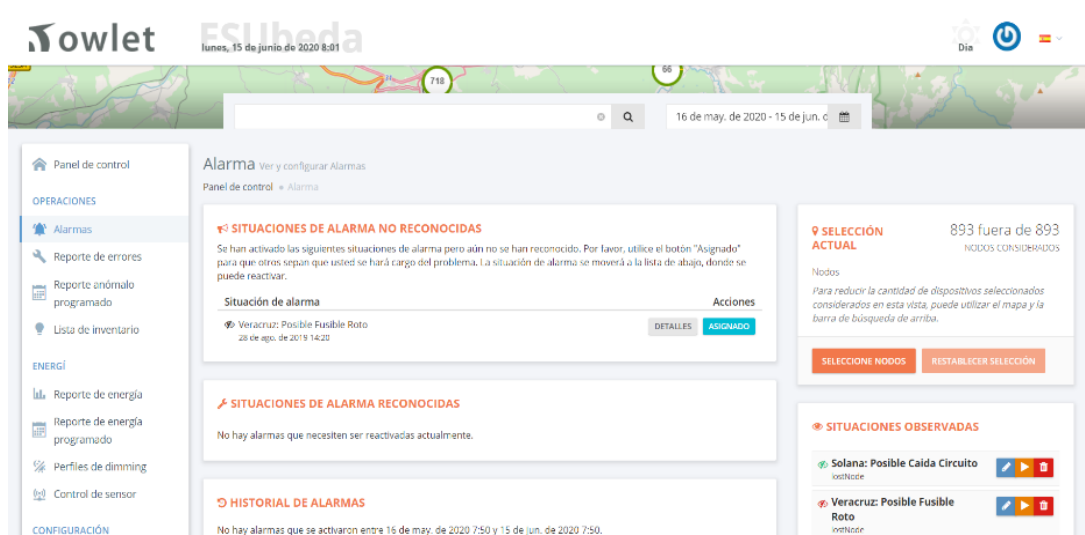


Ilustración 85. Apartado de alarmas en software Owllet.

- Curvas de iluminación: otro de los apartados ofrecidos por la plataforma de telegestión es la selección, creación y edición de perfiles o curvas de iluminación (véase Ilustración 86). La empresa aporta dos perfiles por defecto, según la estación del año pero tiene la opción de añadir todos los deseados, y dentro de ellos, hasta 7 subperfiles. Desde este mismo apartado podremos cargar los perfiles deseados a los puntos de luz que hayamos seleccionado en el plano o a conjuntos de puntos de luz que hayan sido designados previamente.

Si seleccionamos el botón “Perfiles de dimming” del menú lateral se accederá a la interfaz de edición y creación de curvas de iluminación (véase Ilustración 87), donde podremos elegir el porcentaje de potencia del punto de luz en cada hora del día, con una resolución máxima de 30 minutos. En la última ilustración citada se observa que los niveles de iluminación cuando la luminaria debería estar apagada es de 100% y se explica ya que, como se explicó en anteriores apartados, el cuadro de mando cierra la alimentación del circuito de alumbrado para evitar posibles accidentes eléctricos por contacto directo con los báculos de las luminarias, en horario de luz solar. Por ello, aunque el perfil marque el 100% de iluminación, al estar apagado el sistema de alimentación, el punto de luz permanece apagado.

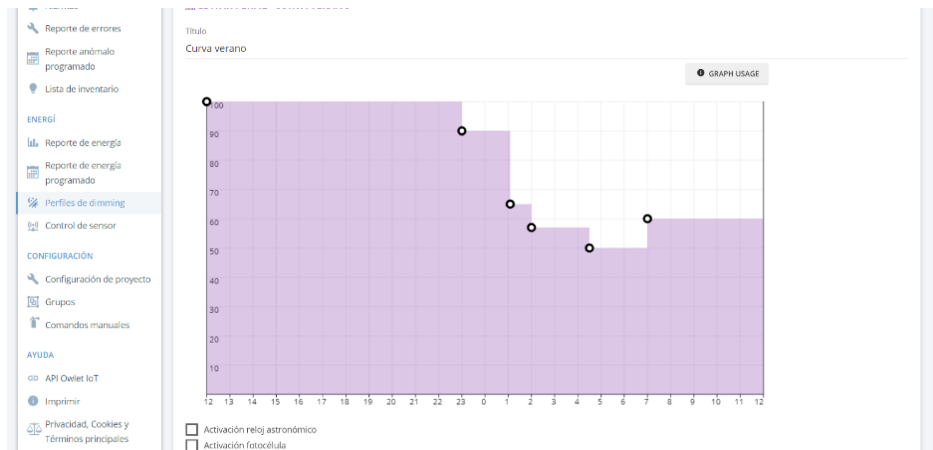


Ilustración 86. Edición de curva de iluminación en software Owlet.

Nombre de perfil	Acciones
Perfil por defecto	[EDITAR] [DUPLICAR]
<input type="checkbox"/> Básico (Ubeda)	[EDITAR] [DUPLICAR] [BORRAR] [SELECCIONAR]
<input type="checkbox"/> Curva invierno	[EDITAR] [DUPLICAR] [BORRAR] [SELECCIONAR]
<input type="checkbox"/> Curva verano	[EDITAR] [DUPLICAR] [BORRAR] [SELECCIONAR]
<input type="checkbox"/> Demo	[EDITAR] [DUPLICAR] [BORRAR] [SELECCIONAR]
<input type="checkbox"/> Especial molestias	[EDITAR] [DUPLICAR] [BORRAR] [SELECCIONAR]
<input type="checkbox"/> Monumentos	[EDITAR] [DUPLICAR] [BORRAR] [SELECCIONAR]

Ilustración 87. Apartado de perfiles en software Owlet.

- Configuración del sensor: En este apartado, accesible desde el menú lateral, se podrá configurar el sensor infrarrojo de detección de personas o vehículos, en caso de que esté instalado (véase Ilustración 88). En este caso, en el proyecto no se estipuló la incorporación de presencia por lo que este apartado se encuentra en total desuso aunque presenta la posibilidad de utilización en caso de adición de un sensor de presencia.



Ilustración 88. Apartado de sensores en software Owlet.

# 5 SOLUCIÓN ALTERNATIVA

---

**E**n este apartado se detalla y discute una solución alternativa a la aprobada por el Ayuntamiento de Úbeda, basándose en la posibilidad de la utilización de otra tecnología o tipo de telegestión diferente a la que se requería en la licitación publicada.

## 5.1 Introducción

Motivado por los requisitos tan concretos del pliego de prescripciones técnicas, donde se especificaba el uso de tecnología inalámbrica Zigbee y 3G para las comunicaciones entre los nodos de telegestión y el centro de monitorización, se quiere comprobar la viabilidad, tanto económica, como técnica, del uso de otra tecnología o sistema de telegestión diferente al citado con anterioridad. Dicha tecnología es la cableada y, en concreto, la tecnología de comunicación mediante impulsos PLC. Por motivos de infraestructura, se necesitará de una tecnología inalámbrica, además de la cableada, para la comunicación con el centro de monitorización ya que para el uso completo de la tecnología por cable, se necesitaría de la creación de un centro propio para el procesamiento de las señales de cada punto de telegestión, lo cual sería totalmente inviable.

Por todo ello se elige la tecnología alternativa disponible en el mercado, basada en la comunicación por la red de distribución eléctrica, es decir, la tecnología PLC. Como se ha explicado en anteriores capítulos, la estructura de dicha tecnología se basa en la comunicación entre un concentrador instalado en los cuadros de mando y unos nodos ubicados en cada punto de luz a telegestionar.

## 5.2 Descripción de solución alternativa

Como se ha comentado anteriormente, se propone un sistema híbrido de tecnología 3G y PLC, para la telegestión del alumbrado público en la ciudad de Úbeda, como alternativa a la tecnología inalámbrica propuesta en la licitación presentada por el mismo Ayuntamiento. Los siguientes apartados tratarán sobre los dispositivos del sistema elegido, su instalación y su esquema de comunicación, así como las capacidades que ofrece y el cumplimiento de los requisitos plasmados en el pliego de prescripciones técnicas del proyecto licitado.

Para la elección de una solución alternativa a la instalada por la empresa adjudicataria de la licitación, se realiza una búsqueda en el mercado que ofrezca la tecnología de telegestión PLC. Debido a la alta competitividad en el mercado, hallar un catálogo con precios de mercado se hizo una tarea complicada aunque, finalmente, se pudo obtener la información de los dispositivos requeridos y sus precios, ya que, para una comparación completa, se hace necesaria la comparativa económica. Se eligen dos sistemas PLC similares, uno de la marca *Uvax* y otro de la marca *AirisLed*.

## 5.2.1 Sistema PLC *Uvax*

Se describirán los elementos que conforman el sistema de telegestión de alumbrado público por PLC de la marca *Uvax*. Este sistema utiliza el modelo de comunicaciones explicado en apartados anteriores y su mayor peculiaridad es el uso de la tecnología B-PLC o PLC de banda ancha, que permite una mayor tasa de datos en sus comunicaciones.

### 5.2.1.1 Elementos de sistema *Uvax*

Este sistema se compone de un concentrador y un actuador instalados en cuadro y un nodo en cada punto de luz a controlar:

- Concentrador Serie CA-13: Dispositivo encargado de la conexión de otros equipos a la red de internet. En este caso, conecta cada nodo instalado en los puntos de luz con el servidor en internet, para su acceso y consulta en el software de telegestión. Está conformado en su interior por un módem B-PLC, un procesador y un contador de energía eléctrica. El módem utiliza la tecnología PLC *Broadband* o banda ancha, la cual permite velocidades de transmisión de hasta 50 Mb/s a un ancho de banda en torno a los 10 MHz, y es el encargado de la comunicación del procesador interno del concentrador con los nodos de cada punto de luz. El procesador está basado en el sistema operativo Linux y es el encargado de tratar la información de los sensores y actuadores del cuadro de mando y a su vez, de transmitir la información entre la plataforma de internet y los nodos de manera bidireccional. Cuenta con un reloj en tiempo real y una memoria de 64 GB para el almacenamiento de datos. Por último, cuenta con un contador trifásico para la generación de informes de consumo y el control del balanceo de las fases de alimentación. Cabe destacar la presencia de una batería en caso de fallo en la alimentación, y así poder enviar las alarmas pertinentes sobre el error ocurrido, además de permitir proseguir el funcionamiento durante un tiempo limitado.



Ilustración 89. Concentrador PLC CA-13 Nodo PLC *Uvax*.

- Actuador Multifunción MR-4859: Dispositivo con la función principal de controlar la alimentación a las derivaciones de red de alumbrado público del cuadro de mando. Está conectado a la unidad concentradora y abre o cierra la alimentación en los circuitos de alumbrado según dicte dicha unidad concentradora. También realiza labores de sensorización ya que puede detectar fallos en el suministro, desconexiones en líneas independientes y, en el caso de existir tal sensor, detección de puerta abierta del armario eléctrico. Toda esta información es trasladada a la unidad concentradora y la transmitirá al servidor para su tratamiento y será mostrada en el software.



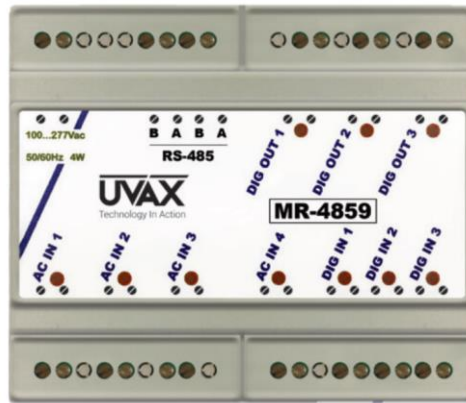


Ilustración 90. Actuador MR-4859 Uvax.

- Nodo NX-80 / NX-92 : Dispositivo instalado en el punto de luz, encargado del control del nivel de iluminación y de la transmisión de información a la unidad concentradora en cuadro de mando, mediante la red eléctrica. Existen dos series de modelos diferenciados solamente en el método de conexión cableada con el controlador de la luminaria: NX-80 tiene conexión 0-10 Voltios y la serie NX-92 utiliza la tecnología DALI, ambas expuestas en anteriores apartados.



Ilustración 91. Nodo PLC Uvax con conexión dentro de báculo.



Ilustración 92. Nodo PLC Uvax con conexión NEMA.

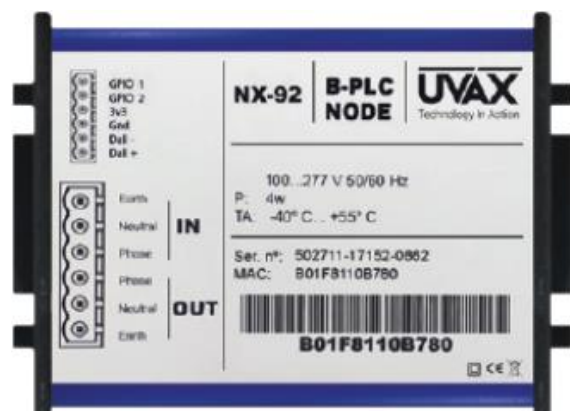


Ilustración 93. Nodo PLC Uvax con conexión dentro de luminaria.

### 5.2.1.2 Instalación de sistema *Uvax*

Este sistema necesita de la actuación en cada cuadro de mando que se desee actuar y la instalación de dos de los dispositivos citados en el apartado anterior, el concentrador y el actuador. La instalación de este último elemento puede ser prescindible si existe ya un actuador instalado en el cuadro de mando debido a otro sistema de gestión o controlador anterior. Tanto el concentrador como el actuador se rigen por la norma DIN de instalación en carriles normalizados para cuadros eléctricos aunque pueden ser montados en cuadros a medida (véase *Ilustración 94*).



Ilustración 94. Instalación en cuadro de mando de sistema *Uvax*.

El esquema de conexiones de los elementos del cuadro de mando con las protecciones y la línea eléctrica es el siguiente:

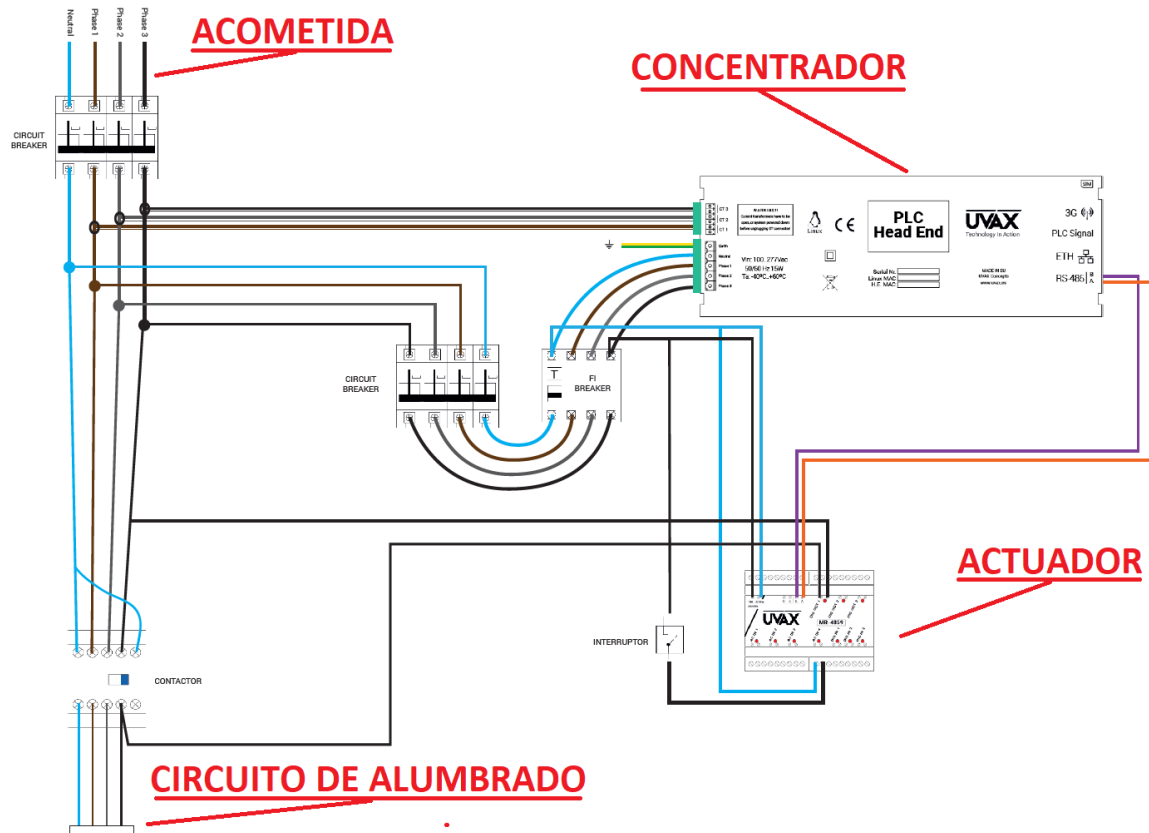


Ilustración 95. Esquema de conexiones en cuadro de sistema *Uvax*.

Para la instalación de los nodos tenemos tres opciones ofrecidas por el fabricante:

- Nodo sobre luminaria con conexión NEMA.
- Nodo dentro de carcasa de luminaria.
- Nodo dentro de báculo de luminaria.

La elección dependerá del espacio disponible dentro de la luminaria, de la existencia de conexión NEMA en las luminarias y del espacio disponible dentro de báculo o el estado de éste (véase *Ilustración 96*).

El esquema de conexiones del dispositivo dentro de báculo es el mismo, ya sea dentro de báculo o dentro de luminaria (véase *Ilustración 97*). En ella se observa como el nodo toma la alimentación y la distribuye a la luminaria a la vez que se comunica mediante 0-10V o DALI para la regulación lumínica.



Ilustración 96. Nodo PLC de *Uvax* instalado en báculo.

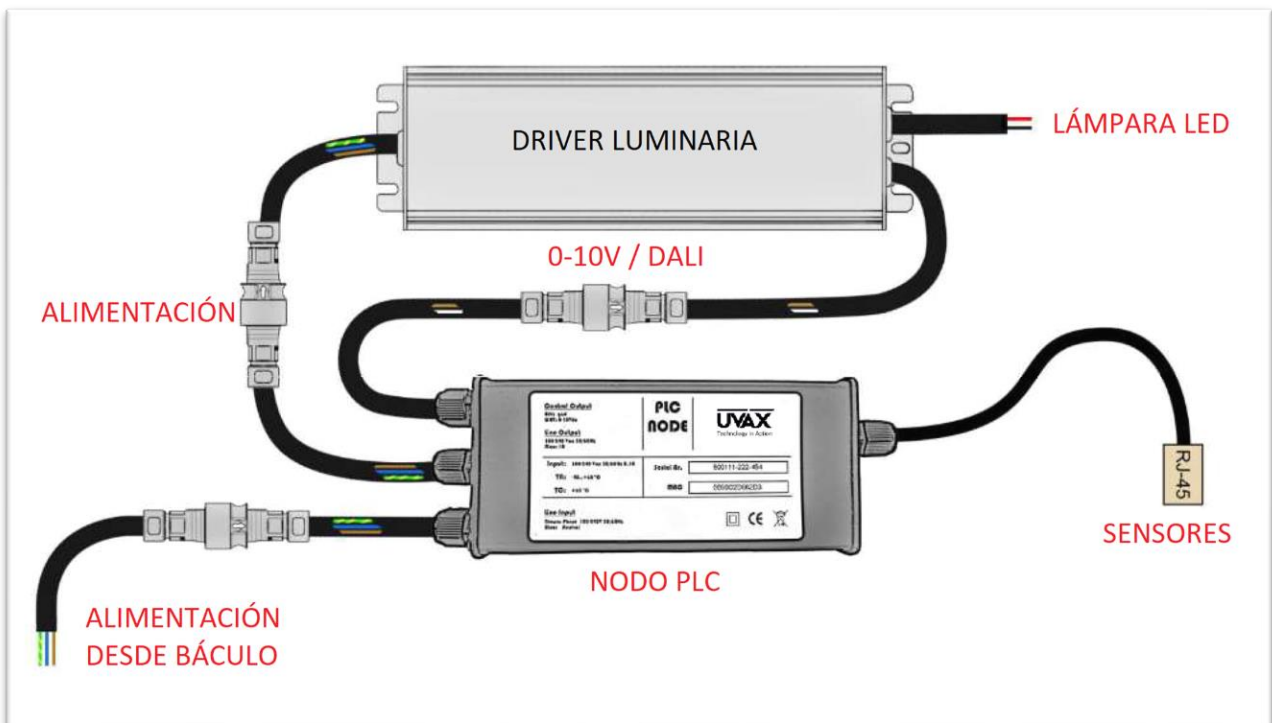


Ilustración 97. Esquema de conexiones de nodo PLC *Uvax*.

### 5.2.1.3 Software sistema *Uvax*

La empresa *Uvax* ofrece un software propio llamado *SmartFirefly* basado en la nube, y el cual permite la gestión en tiempo real y desde cualquier ubicación del sistema de alumbrado público. Se explica a continuación, acompañado de imágenes para ilustrar su funcionamiento.

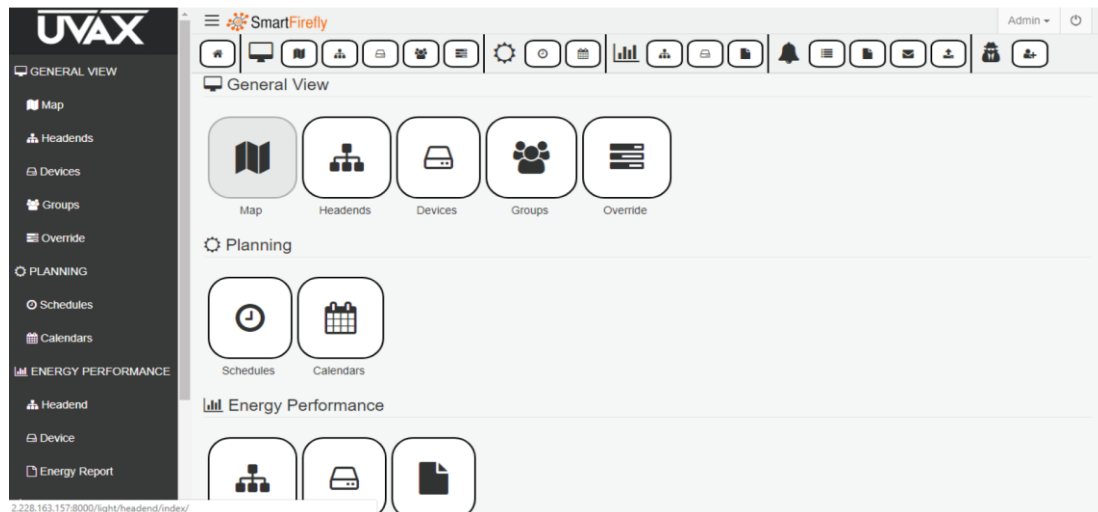


Ilustración 98. Página principal del software *SmartFirefly*.

Mediante un dispositivo móvil o un ordenador se accede a la plataforma online a través de internet , donde se encuentra la página principal de la interfaz. En ella, como se puede observar (véase ilustración 98.), se tiene acceso a todas las funcionalidades ofrecidas entre las que se encuentra un plano con los puntos de luz, la información de cada dispositivo del sistema y demás acciones.

Si se accede al apartado *Map* , se visualizará el plano de la ciudad con los puntos de luz ubicados en él (véase ilustración 99.). Estos puntos serán ubicados automáticamente en el caso de la existencia de sensor GPS en los nodos PLC instalados. En caso contrario, serán ubicados por un técnico de la compañía, con ayuda de planimetría de los puntos de luz. Al seleccionar alguno de estos puntos, se podrá acceder a la información de dicho punto en tiempo real como el porcentaje de regulación de iluminación, la corriente instantánea o la potencia consumida. A su vez, se podrá acceder a los dispositivos instalados en el punto de luz, como pueden ser cámaras o sensores de presencia (véase ilustración 100).

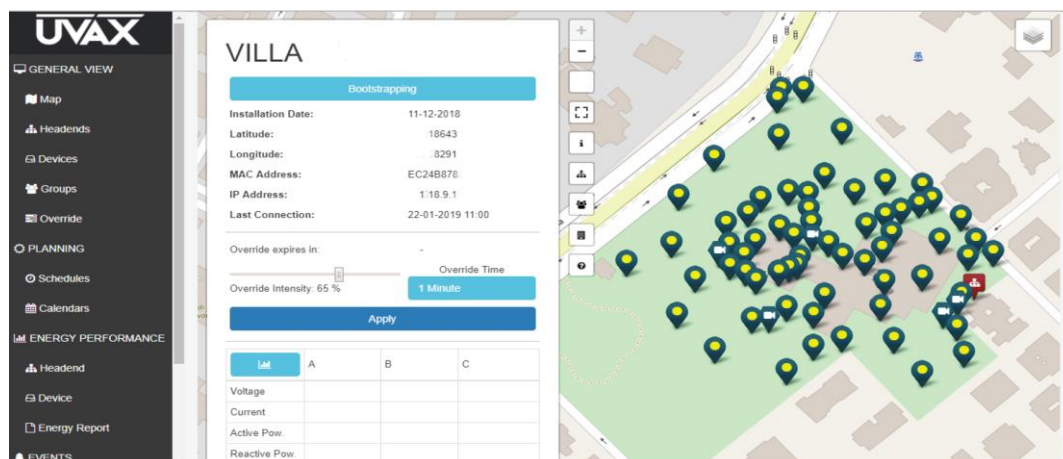


Ilustración 99. Plano de puntos de luz en software *SmartFirefly*.



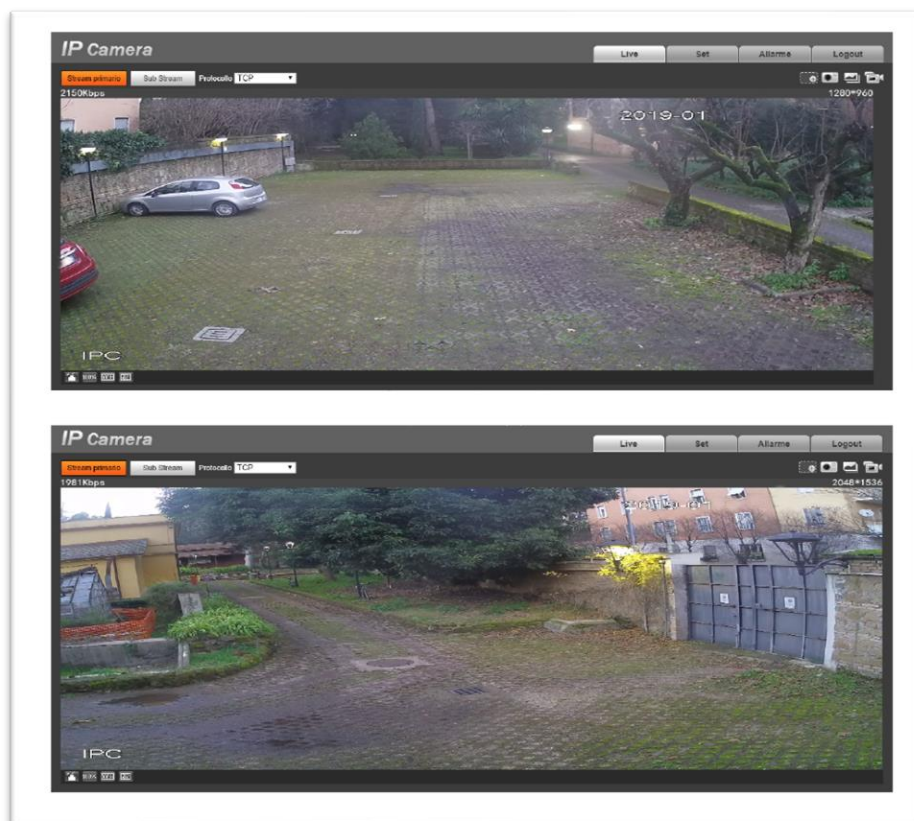


Ilustración 100. Cámaras instaladas en luminaria conectadas con nodo PLC.

En este mismo apartado se podrán seleccionar varios puntos de luz y generar grupos o sectores para una regulación conjunta de la iluminación (véase Ilustración 101).

Desde el menú contextual se podrá acceder a otras secciones como la de planificación y calendario, donde se podrán asignar perfiles de iluminación durante las fechas seleccionadas o durante tiempos determinados (véase Ilustración 102).

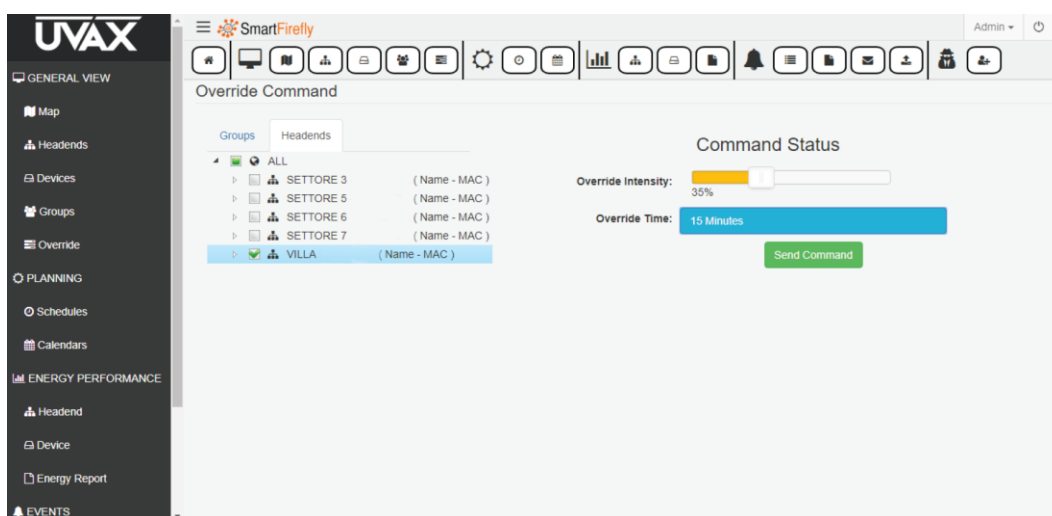


Ilustración 101. Apartado de grupos de luminarias.



Ilustración 102. Sección de calendario en software SmartFirefly.

También se tendrá acceso a la información detallada de los consumos en los cuadros de mando y se podrá generar informes de ellos (véase Ilustración 103). Estos informes podrán ser exportables para su posterior tratado y revisión.



Ilustración 103. Consumo de energía en un día y en una semana en software Owllet.

Por último, se tiene un apartado reservado a las alertas y alarmas que avisarán de cualquier error o fallo en un sector o en un punto de luz en concreto (véase Ilustración 104). Estas alertas serán notificadas vía email, sms o aviso en la propia plataforma online.

Events						
<div style="display: flex; justify-content: center; gap: 10px;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">2</span> </div>						
Headend	Device	Alarm	Start At	Restored At	Notified	
SETTORE 5	1F81101D7B	communicationFailure	22/01/2019 07:30:29	-		
SETTORE 6	REDB01F8110924C	lampFailure	22/01/2019 07:29:27	22/01/2019 07:30:25		
SETTORE 6	REDB01F8110924C	lampFailure	22/01/2019 07:24:23	22/01/2019 07:28:26		
SETTORE 6	GREENB01F8110924F	lampFailure	22/01/2019 07:23:25	22/01/2019 07:24:25		
SETTORE 6	REDB01F8110924C	lampFailure	22/01/2019 07:17:17	22/01/2019 07:19:17		
SETTORE 6	REDB01F8110924C	lampFailure	22/01/2019 07:12:16	22/01/2019 07:13:16		

Ilustración 104. Apartado de alarmas en software Owlet.

## 5.2.2 Sistema PLC *AirisLed*

La empresa *AirisLed* ofrece un sistema de telegestión de alumbrado por PLC de banda estrecha, el cual ofrecerá una tasa de datos baja pero suficiente para el control en tiempo real del sistema de alumbrado.

### 5.2.2.1 Elementos de sistema *AirisLed* e instalación

Este sistema *AirisLed* tiene un funcionamiento similar al propuesto por la empresa *Uvax* aunque sus dispositivos no se encuentran integrados dentro de un único terminal, como es el caso del concentrador *Uvax*, si no que existen varios dispositivos según su función.

- **Unidad central:** Dispositivo principal encargado de controlar las comunicaciones con los nodos PLC y la plataforma online mediante comunicación GPRS. También desempeña la función de analizador de redes para la recogida de información del cuadro de mando. Posee un módulo de entrada y salida para la acción de relés, los cuales abrirán o cerrarán los circuitos pertinentes. Por último, posee un módem GPRS para el envío de la información del cuadro de mando y de los nodos a la plataforma online.

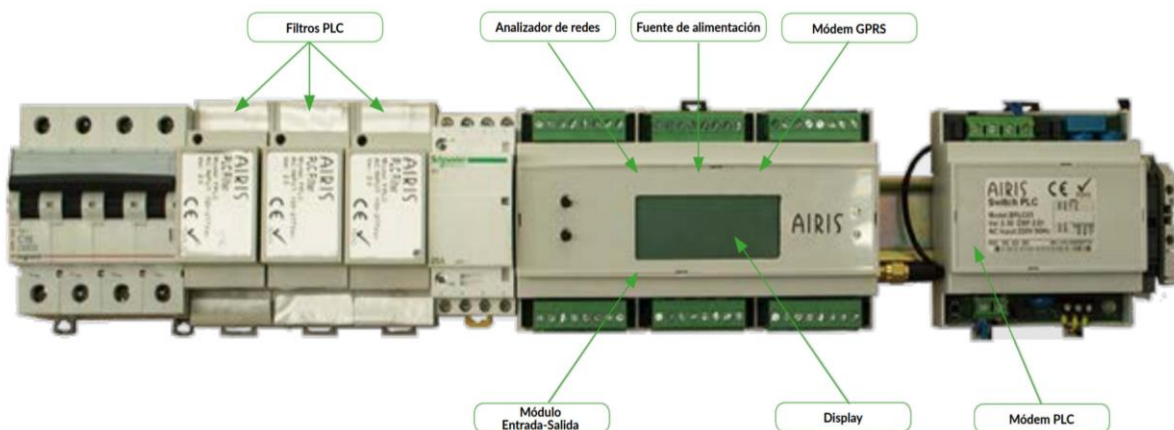


Ilustración 105. Instalación en cuadro de mando de sistema PLC *AirisLed*.



- **Módem PLC:** Dispositivo encargado de la transmisión y recepción de información a través de la red eléctrica. Su función es conectar los nodos PLC con la unidad central, a través de técnicas de modulación de onda PLC.
- **Filtros PLC:** Dispositivos encargados de mejorar las características de la línea y aislar del ruido las señales PLC transmitidas por la red eléctrica. Se conecta un dispositivo por fase.
- **Nodo PLC Exilis:** Dispositivo instalado dentro del báculo de la luminaria a controlar, con entrada para hasta dos sensores y un rango de distancia de hasta 100 metros entre nodo y nodo o entre nodo y cuadro de mando. Usa la tecnología PLC de banda estrecha que produce unas velocidades de transferencia de un máximo de 100 bits por segundo y puede controlar lámparas de hasta 60 W.

Ilustración 106. Nodo PLC *AirisLed* EXILIS.

### 5.2.2.2 Software de sistema *AirisLed*

Este software es análogo al expuesto anteriormente en *Uvax*, ya que cumple las mismas funciones que este (Plano de luminarias, control de consumos, alarmas y avisos, sensores, etc.). Por ello, solo se expondrán unas ilustraciones de tal software y sin adentrarse en las características, para evitar la reiteración:

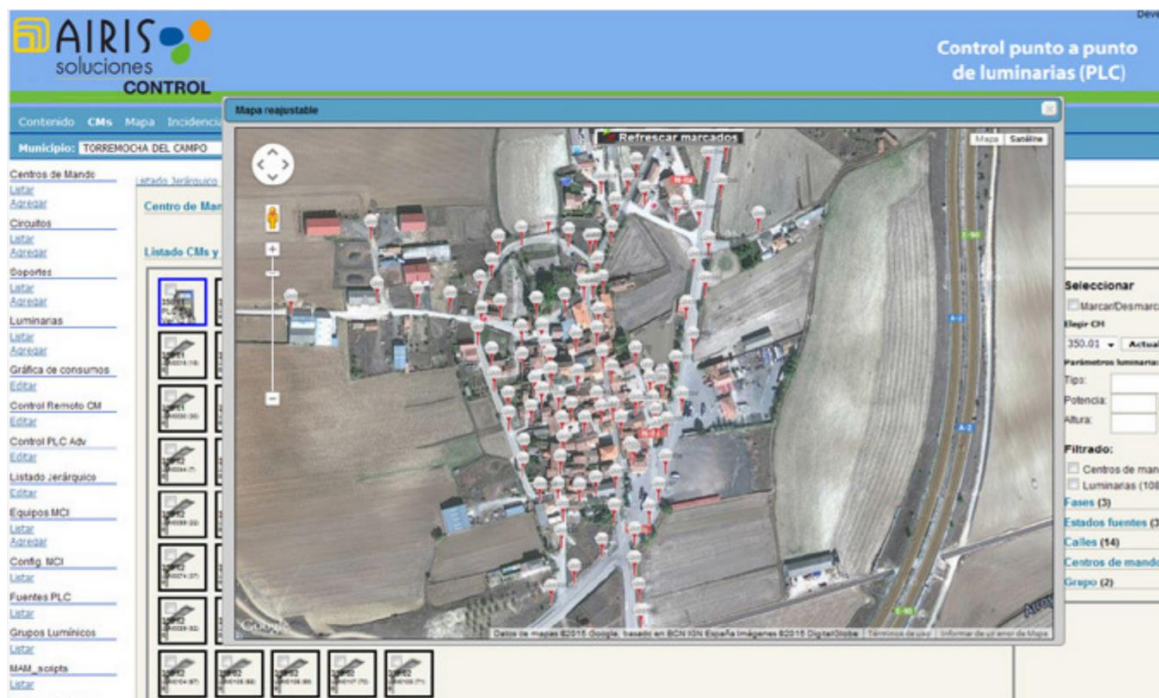


Ilustración 107. Página principal del software.

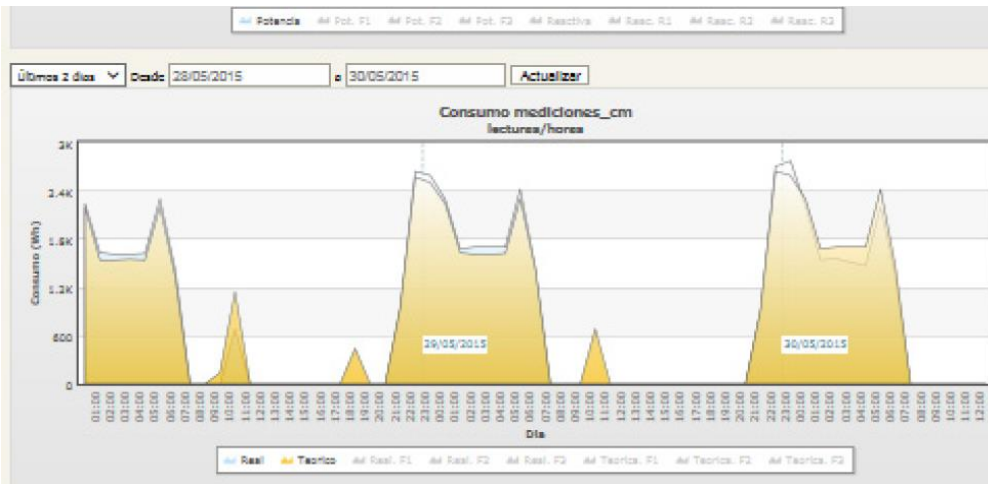


Ilustración 108. Consumo de punto de luz diario en software *AirisLed*.

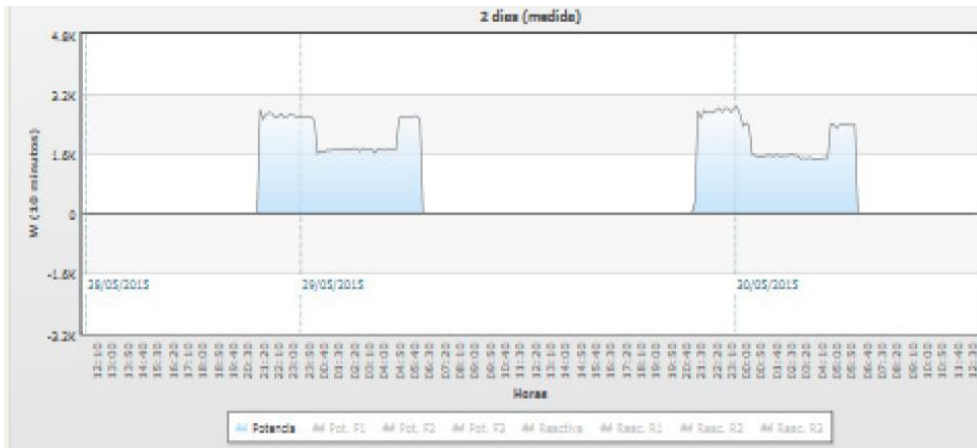


Ilustración 109. Regulación del nivel de luminosidad en software *AirisLed*.

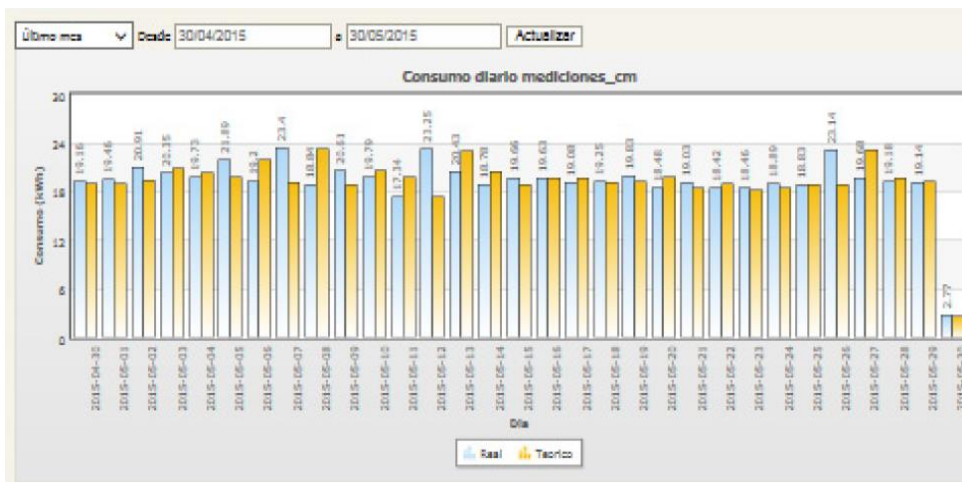


Ilustración 110. Informe de consumo mensual en software *AirisLed*.

### 5.3 Comparación de sistemas de telegestión de alumbrado público

En este apartado se lleva a cabo una comparación sobre los tres sistemas aludidos en este proyecto: el sistema instalado en la ciudad de Úbeda, de tecnología inalámbrica *Zigbee* más *3G*, llamado *Owlet*, de la marca *Schreder*, y los sistemas mixtos *PLC* más *3G* de *Uvax* y de *AirisLed*.

A continuación se analizarán los distintos parámetros de comparación, remarcando las ventajas y desventajas de cada sistema de telegestión de alumbrado:

#### 5.3.1 Tecnologías de comunicación

La empresa *Schreder* ofrece el sistema *Owlet* con tecnología *Zigbee* más *3G*, el cual brinda una comunicación inalámbrica sencilla y robusta, ya que cada punto posee un módem *3G* para su comunicación individual, dado el caso. Por contrapartida, la presencia de estos módems en cada luminaria hace que el coste por nodo sea superior si se compara con los otros sistemas. Asimismo, las tecnologías inalámbricas mantienen el espectro de frecuencia saturado, lo cual puede presentar problemas de interferencias o pérdida de datos. Otro punto en contra es la vulnerabilidad a delincuentes cibernéticos, debido a la exposición de las comunicaciones.

Las empresas *Uvax* y *AirisLed* por su parte, emplean la tecnología *PLC* junto a la *3G*, que no es afectada por interferencias inalámbricas y vulnerabilidades de ese tipo, sin embargo, presentan problemas a la hora de actuar en redes de distribución de alumbrado en mal estado, ya que puede producir la imposibilidad de una correcta transmisión de la información.

#### 5.3.2 Tasa de datos

El sistema *Owlet* de *Schreder* ofrece una tasa de datos inalámbrica de hasta 250 Kb/s lo cual permitiría un control y un acceso a la información de los dispositivos casi instantánea. La opción de *AirisLed* ofrece hasta 100 b/s al tratarse de *PLC* de banda estrecha, lo que aumentará la latencia por lo que se espera un control ligeramente más lento que con el sistema *Owlet*, aunque irrelevante en la necesidad real. Por su parte, *Uvax* ofrece una tasa de datos de hasta 50 Mb/s, infinitamente mayor que la del resto de los sistemas, lo cual brindará el control más rápido y ofrecerá la posibilidad de instalación de cámaras u otros sensores que necesitan una tasa de datos bastante alta para su correcto funcionamiento.

#### 5.3.3 Rango de señal

El sistema inalámbrico *Owlet* tiene una escasa cobertura entre nodos de hasta 50 metros, la cual es solucionada con el sistema de conexión individual por *3G* de cada nodo. En el caso *PLC*, la tasa de datos y el rango de señal cumplen una relación inversamente proporcional, por lo que, con *AirisLed* obtenemos un rango de hasta 500 metros y con *Uvax*, solo 100 metros.

Observando la geometría y la ubicación de los puntos de luz en la ciudad y sus pedanías, se comprende que cualquiera de los tres sistemas tiene un rango suficiente para cubrir la distancia máxima entre puntos de luz, aunque se valora la mayor capacidad de los sistemas *PLC*.

#### 5.3.4 Capacidad de control

El sistema *Owlet* se encuentra instalado en cada luminaria por lo que ofrecerá total control de ella. Sin embargo no se podrá acceder a ningún dato del cuadro de mando por la ausencia de dispositivos en él. Por su parte, ambos sistemas *PLC* ofrecen control más completo, actuando en puntos de luz y cuadros de mando. En consecuencia, la instalación del sistema inalámbrico será más rápida y el coste de mano de obra será menor mientras que en el caso *PLC*, conllevará un tiempo de instalación y un coste de mano de obra mayores.

### 5.3.5 Tipo de conexión de los nodos

El sistema *Owlet* se conecta al controlador de la luminaria led mediante el estándar NEMA, por lo tanto, aunque se trata de un estándar ampliamente utilizado, lo hace incompatible con ciertas luminarias, incluso algunas ya instaladas. El sistema de *AirisLed* ofrece una conexión dentro de luminaria, lo cual puede acarrear problemas si no existe espacio suficiente dentro de ella. Por último, el sistema *Uvax* ofrece el sistema más versátil ya que posibilita la instalación del nodo mediante conexión NEMA, dentro de luminaria o dentro de báculo, según necesidad.

Los tres sistemas ofrecen la conexión cableada DALI y 0-10V para la transmisión de información con el controlador de luminaria por lo que no es necesaria la comparación.

### 5.3.6 Sensor GPS

Tanto el sistema *Owlet* de *Schreder*, y el sistema *Uvax* ofrecen sensor GPS para sus dispositivos en puntos de luz pero ello no describe fielmente su correcto funcionamiento. Se ha comprobado en el sistema instalado *Owlet*, que los sensores eran incapaces de proporcionar una ubicación con una precisión menor a 20 metros, por lo que el uso de estos sensores se compromete. Se puede achacar este problema al pequeño tamaño de la población o a su ubicación geográfica.

Cabe destacar que los sistemas PLC, tienen la posibilidad de reconocer el orden de los puntos de luz consecutivos, por lo que, con ayuda de los planos de la instalación, se puede ubicar cada luminaria en su punto exacto. Para el caso inalámbrico, habría que reconocer in situ cada luminaria y trasladarla al plano para su ubicación exacta en los casos en los que la precisión haya sido inaceptable.

### 5.3.7 Entrada de otros sensores

Los tres sistemas ofrecen entrada para sensores en sus dispositivos, ya sean detectores de presencia, cámaras de vigilancia, etc. Una clara ventaja de los sistemas basados en PLC es la posibilidad de ubicación de sensores dentro del armario del cuadro de mando, permitiendo el control de consumo, de robo de cable o de apertura de armario eléctrico.

Por otro lado, las empresas *Schreder* y *Uvax* pertenecen al consorcio de alumbrado *IoT TalQ*, con compromisos con empresas que comercializan sensores y abre la puerta en el ámbito del control y, en general, del desarrollo de la Smart City.

### 5.3.8 Software de telegestión

Tal y como se requería en el pliego de prescripciones técnicas del proyecto realizado por el Ayuntamiento de Úbeda, los tres sistemas ofrecen un software basado en la nube que cumple con los parámetros solicitados como la existencia de un plano con la ubicación de los puntos de luz, avisos y alarmas, control de luminarias en tiempo real, y obtención de consumos e informes detallados y la creación de perfiles de regulación y su planificación.

Por todo ello, se consideran los tres software como válidos para este proyecto de telegestión de alumbrado.

### 5.3.9 Coste del proyecto

Un punto importante de la comparación será el coste económico de cada sistema, por lo que se realizará un presupuesto en cada caso, utilizando los precios obtenidos en los catálogos de precios de cada marca.

Para la obtención del presupuesto del sistema inalámbrico *Owlet* de *Schreder*, se toma el mismo coste que figura en el presupuesto del proyecto licitado por el Ayuntamiento, ya que fue este sistema el escogido como ejemplo y modelo para fijar un coste del sistema a instalar. El coste marcado en dicho presupuesto era de **44.020,32€** e incluía todos los costes de operarios y material, excluyendo el I.V.A. y los gastos generales y beneficio industrial.

Descripción	Uds.	Precio (€)	Total (€)
<b>Partida 14</b>		<b>Telegestión</b>	
Ud. Suministro de Controlador de luminaria externo PD, IP54, con banda de frecuencia 2,4 GHz de Schreder o similar, con p.p. de controlador de segmento, programación y puesta en marcha. Totalmente suministrado.	<b>313</b>	140,64 €	<b>44.020,32 €</b>
<b>TOTAL PARTIDA 14.....</b>			<b>44.020,32 €</b>

Ilustración 111. Detalle de la partida correspondiente al sistema *Owlet*.

El número de puntos de luz elegidos en el proyecto licitado para su telegestión fue de 313 y debido a que el Ayuntamiento declaró unas pautas para la intervención en cuadros de mando, completando en su totalidad la telegestión en todos sus puntos de luz, llevó a la elección de **cuatro** cuadros de mando, cuyos puntos de luz suman los 313 puntos requeridos. Esto explica el número de unidades en los presupuestos de sistemas PLC, ya que necesitarán instalaciones en cuadro de mando, al contrario que el sistema inalámbrico.

Presupuesto sistema PLC <i>AirisLed</i>	N.º de unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Horas Oficial electricista	160	17,62	2819,20
Analizador de redes <i>AirisLed</i>	4	250,00	1.000,00
Módem PLC <i>AirisLed</i>	4	400,00	1.600,00
Módem GPRS <i>AirisLed</i>	4	350,00	1.400,00
Módulo entrada-salida <i>AirisLed</i>	4	250,00	1.000,00
Filtro PLC <i>AirisLed</i>	12	30,00	360,00
Nodo PLC <i>AirisLed</i>	313	44,00	13.772,00
Protección contra sobretensiones	313	15,00	4695,00
<b>PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>			<b>26.646,20</b>

Tabla 11. Presupuesto de ejecución material de sistema de telegestión de alumbrado *AirisLed*.

Presupuesto sistema PLC <i>Uvax</i>	N.º de unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Horas Oficial electricista	160	17,62	2819,20
Concentrador CA-13 <i>Uvax</i>	4	1200,00	4.800,00
Actuador multifunción MR-4859 <i>Uvax</i>	4	180,00	720,00
Nodo NX-92 <i>Uvax</i>	313	85,00	26605,00
<b>PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>			<b>34.944,20</b>

Tabla 12. Presupuesto de ejecución material de sistema de telegestión de alumbrado *Uvax*.

Como podemos observar y como cabía esperar, los sistemas de telegestión basados en tecnología PLC son más económicos que los basados en tecnología inalámbrica. El coste tan elevado de los nodos de *Schreder*, en torno a un 100% más caro, radican en la cantidad de sensores GPS, 3G y Zigbee instalados, ya que existen uno de cada por nodo de telegestión.

En el caso del presupuesto de *AirisLed* observamos un precio más bajo que su análoga de tecnología, *Uvax*. Es comprensible debido al uso del PLC de banda estrecha, que ofrece un ancho de banda cientos de veces menor y, además, una presentación de los dispositivos con menor integración.

Hay que tener en cuenta que, en vista de futuras ampliaciones, el sistema *Owlet* de *Schreder* permite la agregación de nuevos nodos sin la necesidad de ninguna actuación en cuadro de mando u otra operación adicional, que sí que precisarían los sistemas PLC ya que tiene elementos instalados en cuadro de mando. Esta gran ventaja pierde fuerza al comprobar que la amplia mayoría de los cuadros de alumbrado público de la ciudad de Úbeda superan el número mínimo de luminarias para que la instalación *Owlet* sea rentable frente al sistema PLC.

Esto último es fácilmente detectable si tenemos en cuenta que la media de luminarias por cuadro de mando en Úbeda es de 62. En este caso, el coste de instalación en un cuadro de 62 luminarias con cada sistema sería de **5.443,84€** con el sistema de *AirisLed*, de **7.286,72€** con el sistema de *Uvax*; y **8.400,00 €** para el sistema de telegestión *Owlet* de *Schreder*:

Presupuesto sistema <i>AirisLed</i>	N.º de unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Horas Oficial electricista	32	17,62	563,84
Analizador de redes <i>AirisLed</i>	1	250,00	250,00
Módem PLC <i>AirisLed</i>	1	400,00	400,00
Módem GPRS <i>AirisLed</i>	1	350,00	350,00
Módulo entrada-salida <i>AirisLed</i>	1	250,00	250,00
Filtro PLC <i>AirisLed</i>	3	30,00	90,00
Nodo PLC <i>AirisLed</i>	60	44,00	2640,00
Protección contra sobretensiones	60	15,00	900,00
<b>PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>			<b>5.443,84</b>

Tabla 13. Presupuesto de ejecución material para un cuadro tipo con sistema *AirisLed*.

Presupuesto sistema <i>Uvax</i>	N.º de unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Horas Oficial electricista	32	17,62	563,84
Concentrador CA-13 <i>Uvax</i>	1	1200,00	1.200,00
Actuador multifunción MR-4859 <i>Uvax</i>	1	180,00	422,88
Nodo NX-92 <i>Uvax</i>	60	85,00	5.100,00
<b>PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>			<b>7.286,72</b>

Tabla 14. Presupuesto de ejecución material para un cuadro tipo con sistema *Uvax*.

Presupuesto sistema <i>Owlet</i> de <i>Schreder</i>	N.º de unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Nodo <i>Owlet</i> incluida mano de obra*	60	140,00	8.400,00
<b>PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>			<b>8.400,00</b>

Tabla 15. Presupuesto de ejecución material para un cuadro tipo con sistema *Owlet*.

\*coste total extraído del proyecto



### 5.3.10 Síntesis de la comparación

A continuación se expone una tabla con un resumen de la comparación entre los sistemas de telegestión:

CARACTERÍSTICAS	ZIGBEE <i>Schreder</i>	PLC <i>Uvax</i>	PLC <i>AirisLed</i>
TECNOLOGÍA DE COMUNICACION	ZIGBEE + 3G	BroadBand-PLC + 3G	NarrowBand-PLC + 3G
TASA DE DATOS	250 Kb/s	50 Mb/s	100 b/s
RANGO DE SEÑAL	50 m	100 m	500 m
CONTROL DE PUNTOS DE LUZ	✓	✓	✓
CONTROL DE CUADRO DE MANDO	✗	✓	✓
TIPO DE CONEXIÓN DE NODOS	NEMA (0-10V,DALI)	NEMA, luminaria o báculo (0-10V,DALI)	Luminaria (0-10V,DALI)
GPS	✓ (Impreciso)	✓ (Opcional)	✗
ENTRADA PARA SENSORES	✓ (nodo)	✓ (nodo y concentrador)	✓ (nodo y concentrador)
SOFTWARE CON ALARMAS, INFORMES DE CONSUMO Y PLANO DE PUNTOS DE LUZ	✓	✓	✓
COSTE PROYECTO	<b>44.020,32€</b>	<b>34.944,20€</b>	<b>26.646,20€</b>

Tabla 16. Comparación de sistemas de telegestión de alumbrado público.

### 5.3.11 Solución alternativa mejorada

Uno de los problemas que presentan los tres sistemas de telegestión de alumbrado público, incluso el instalado en la ciudad de Úbeda, es la ausencia de sensores para el control del nivel de iluminación y así utilizar la información que puedan captar dichos sensores del ambiente para conseguir un control más eficiente y lograr una reducción de consumo energético y económico mayor. El método que siguen estos sistemas para calcular el nivel de iluminación se basa en seguir unos perfiles automáticamente creados según la ubicación ciudad para las horas de encendido y apagado de las luminarias, y perfiles editados por técnicos del Ayuntamiento, para la elección de niveles intermedios de iluminación a lo largo de la noche.

Se hace necesario incluir una propuesta donde se incluyan sensores que realimenten la información del entorno para el control del nivel de iluminación y así producir un mayor ahorro energético. Uno de los métodos existentes



es el de la utilización de detectores de presencia para mantener un nivel de iluminación bajo, hasta la detección de un peatón, bicicleta o vehículo, que activará la luminaria donde está instalado el sensor y se comunicará con el resto de luminarias consecutivas, según la velocidad y el sentido de la marcha.

El sistema se sirve de sensores de radar Doppler [5] instalados en el báculo de la luminaria, cuyo objetivo es detectar y cuantificar la presencia de un peatón o vehículo, su velocidad, dirección y sentido. Con estos parámetros, se ajustará el nivel de iluminación de las luminarias correspondientes, las cuales se encuentran en estado de espera con un nivel de iluminación bajo, próximo al apagado, hasta que se produzca una detección, donde entonces, el nivel de iluminación se incrementará hasta el nivel óptimo de funcionamiento. Posteriormente, estas luminarias vuelven al citado estado de espera hasta la próxima detección. En el intervalo de nivel bajo de iluminación, es donde se produce el mayor ahorro en el consumo ya que el consumo de la luminaria es proporcional al nivel de iluminación ofrecido.



Ilustración 112. Vía con sensores de presencia en luminaria, inactivos.

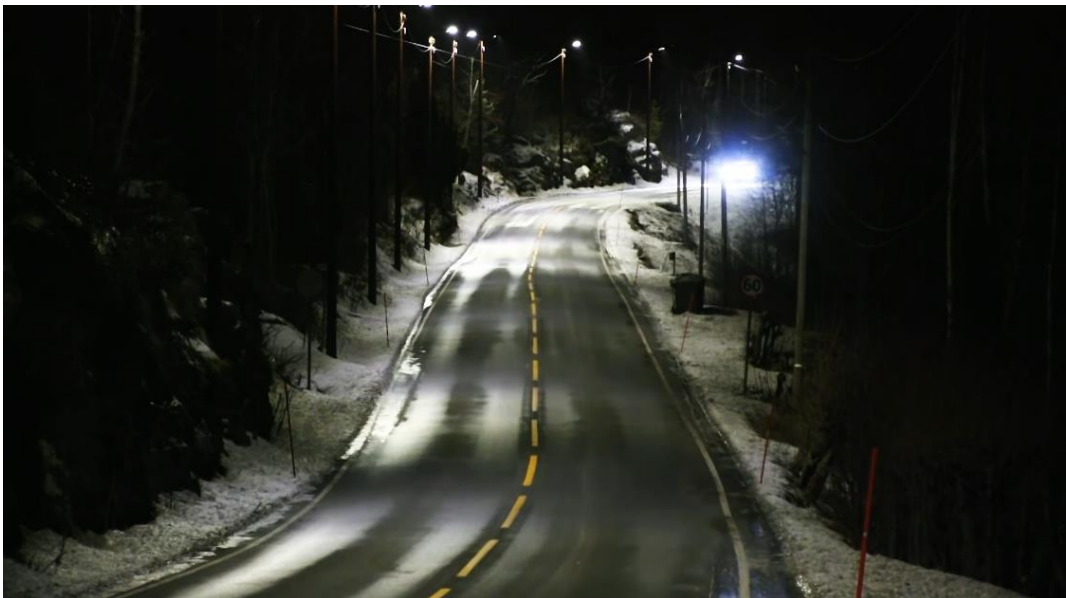


Ilustración 113. Vía con sensores de presencia en luminaria, activándose por presencia de vehículo.

La implementación de estos sensores y un sistema adaptativo de control del nivel de iluminación puede reducir el consumo en torno a un 12% [19], pero presentan dos grandes obstáculos que, actualmente, hacen inviable esta propuesta:

1. En primer lugar, el coste de los sensores necesarios para implementar esta tecnología es tan grande comparado con el ahorro económico que genera, que hace que la amortización de la inversión supere los doce años, lo cual resta interés a la propuesta. En un futuro a medio/largo plazo, si el mercado de sensores se ampliara y disminuyera el coste de los dispositivos, este problema estaría solventado.
2. En segundo lugar, los métodos de control de iluminación nombrados obtienen la reducción de consumo frente a los métodos estáticos, reduciendo la iluminación por debajo de los niveles mínimos obligatorios establecidos en el *Reglamento De Eficiencia Energética En Instalaciones De Alumbrado Exterior* [12]. En este reglamento figuran unos valores iluminancia mínimos en función del tipo de vía y tráfico, como se explica en apartados anteriores. Para hacer viable esta propuesta de control con sensores en luminaria, se hace indispensable la modificación de esta normativa vigente en España, algo que ya ha sucedido en algún país escandinavo.

# 6 CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

## 6.1 Conclusiones del Trabajo Fin de Grado

Se expondrán las conclusiones obtenidas tras la investigación y comparación de los distintos sistemas de telegestión de alumbrado público, en el caso particular del proyecto licitado en la ciudad de Úbeda y sus pedanías. La premisa inicial era comprobar si el requisito incluido en el pliego de prescripciones técnicas del proyecto realizado por el Ayuntamiento, sobre la instalación de un sistema de telegestión con tecnología inalámbrica específicamente, era un requisito fundamentado e ineludible o si existían otros sistemas alternativos que cumplieran el resto de los requisitos, aun difiriendo en la tecnología utilizada.

Por todo lo expresado en los capítulos anteriores, en mi opinión, el mejor sistema de telegestión de alumbrado es el ofrecido por la empresa *Uvax*. Proporciona una comunicación de banda ancha capaz de transmitir una gran cantidad de información en poco tiempo, proporcionando así la posibilidad de instalación de múltiples sensores tal y como sensores de presencia, cámaras de videovigilancia, punto de acceso Wifi públicos, opción de instalación de tecnología mixta inalámbrica para integración con otros sensores de residuos o de parking que estén dispuestos en otros puntos de la ciudad, etc.

El mayor control ofrecido por los sistemas PLC instalados en cuadro de mando y la versatilidad, en concreto, del sistema *Uvax*, que permite la conexión de sus nodos mediante el estándar NEMA, dentro de luminaria o dentro del báculo de la misma, corroboran este argumento. El incremento de precio del sistema *Uvax* respecto al sistema *AirisLed*, se ve compensado con la membresía de *Uvax* en el consorcio TalQ, el cual enfoca directamente este sistema al futuro de las ciudades inteligentes y el internet de las cosas.

En lo que concierne a la escalabilidad, el sistema de *Schreder* ofrece la ventaja de poder añadir cualquier puntos de luz de forma Plug&Play, sin importar el número o al circuito de alumbrado al que pertenezca. Los sistemas híbridos de *AirisLed* y *Uvax* necesitan de la existencia de instalación en cuadro, por lo que la ampliación en pequeña escala sería más cara y compleja. Como vimos en las *tablas 13, 14 y 15*, en un cuadro de mando medio, el ahorro económico por parte de los sistemas de *AirisLed* y *Uvax* hace que esa ventaja del sistema inalámbrico cobre menor importancia. Hay que recalcar un detalle en lo que refiere a la escalabilidad del sistema de *Schreder*, el cual necesita conexiones NEMA en las luminarias a telegestionar, por lo que no sería compatible con cualquier otra luminaria sin ese estándar de conexión. Por su parte, los sistemas con tecnología PLC, pueden instalar sus nodos tanto en el báculo, como en el interior de la luminaria, según sea necesario.

## 6.2 Líneas futuras

En este momento, el mundo de la telegestión de alumbrado está en auge y en continuo crecimiento, ya que pertenece a dos corrientes muy importantes y con mucha proyección como son las *Smart cities* y el *Internet of Things*. Sin embargo, dentro de la telegestión de alumbrado público, existe un apartado muy importante, el cual está todavía en desarrollo y se trata del control del nivel de iluminación o *dimming*.

El *dimming* consiste en el control del nivel de iluminación de la luminaria LED mediante la regulación de voltaje suministrado a las mismas. Actualmente, los sistemas de telegestión no cuentan con sistemas robustos de realimentación de información proveniente de sensores de proximidad o detectores de movimiento, ya que aún se están investigando diferentes métodos para un control eficiente de la iluminación, que genere ahorro energético y económico sustancial.

Una de las líneas de investigación que más destaca en este momento, utiliza los algoritmos basados en redes neuronales (véase ilustración 114) para el control inteligente de alumbrado público [19]. El método se basa en un modelo matemático cuyas variables de entrada son la luz ambiental, el flujo de tráfico rodado, la velocidad de los vehículos y el flujo peatonal, para obtener una única variable de salida que es el nivel porcentual de iluminación de la luminaria. Se afirma que el ahorro con este algoritmo de control puede llegar hasta el 12% del consumo, comparado con un estado del 50% de nivel de iluminación durante la noche.

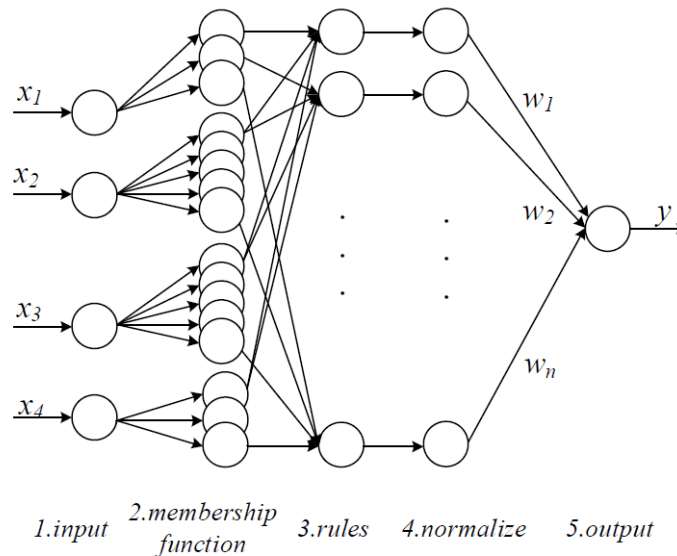


Ilustración 114. Estructura de la red neuronal para el algoritmo de control. [19]

Otra línea más de investigación versa sobre sistemas de control del nivel de iluminación mixtos, basados en el uso de información estática, como perfiles de luminosidad base, y el uso de información en tiempo real, como el tráfico, horario de amanecer y anochecer, intensidad lumínica de la luna, etc. [20]. Estos parámetros en tiempo real se adquieren mediante sensores de tipo fotoeléctrico o detectores de presencia.

Queda claro que las líneas futuras vendrán marcadas por la mejora del control del nivel de iluminación y los algoritmos que lo determinan y, por la adquisición de información del entorno mediante diversos sensores conectados a la luminaria y a la nube.

En cualquier caso, el vertiginoso avance de la tecnología sobre la que ha versado este trabajo nos procurará nuevas líneas de investigación y nuevos descubrimientos que, a fecha de hoy, se hace imposible predecir.



# BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. H. Miraz, M. Ali, P. S. Excell y R. Picking, «A Review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT),» de *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, Wrexham, UK, 2015.
- [2] K. Chopra, K. Gupta y A. Lambora, «Future Internet: The Internet of Things- A Literature Review,» de *2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (Com-IT-Con)*, Faridabad, India, 14-16 Feb 2019.
- [3] M. Limon-Ruiz, V. M. Larios-Rosillo, R. Maciel, R. Beltran, J. A. Orizaga-Trejo y G. R. Ceballos, «User-oriented representation of Smart Cities indicators to support citizens & governments decision-making processes,» de *5th IEEE International Smart Cities Conference (ISC2 2019)*, Casablanca, Marruecos, 14-17 Oct. 2019.
- [4] IEEE Internet Initiative, «IEEE Internet of Things,» 27 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://iot.ieee.org/definition.html>.
- [5] M. Mahoor, Z. S. Hosseini, A. Khodaei, A. Paaso y D. Kushner, «State-of-the-art in smart streetlight systems: a review,» *IET Smart Cities*, vol. 2, nº 1, pp. 24-33, 2020.
- [6] IEEE, 802.15.4-2015 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks, 2015.
- [7] Ministerio de Ciencia y Tecnología, Reglamento ITC-BT-03, 2018.
- [8] Comunidad Autónoma de Andalucía, Ley 7/2007, de 9 de Julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, 2007.
- [9] Ayuntamiento de Úbeda, Mejora de la Eficiencia Energética del alumbrado exterior municipal de Úbeda, 2018.
- [10] Ayuntamiento de Úbeda, Proyecto de optimización energética municipal, 2015.
- [11] IDAE, Manual de requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología led de alumbrado exterior, 2015.
- [12] Ministerio de industria, comercio y turismo, Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, 2017.
- [13] Ministerio de Ciencia y Tecnología, Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto., 2002.
- [14] Ministerio de energía, turismo y agenda digital, Listado de proveedores de servicios energéticos, 2012.
- [15] ISO Organización Internacional de Normalización, Normas ISO 9000, 14001 y 18001., 2015.
- [16] Jefatura del Estado, Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales., 1995.

- [17] Diputación de Jaén, Boletín Oficial de la Provincia de Jaén, 2018.
- [18] Ayuntamiento de Úbeda, art. 54 del Real decreto legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, 2011.
- [19] Y. Xue, Y. Zhang y P. Shuxue, «An Intelligent Dimming Algorithm of Streetlight Based on Fuzzy Neural Network,» de *2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, Limassol, Chipre, 2020.
- [20] Z. Perko, D. Topić y J. Perko, «Standardized System for Monitoring and Control of Public Lighting Networks,» de *2017 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)*, Osijek, Croacia, 2017.
- [21] LedBox, «Regulador dimmer led 0-10v.,» 2020. [En línea]. Available: [www.ledbox.es/regulacion-led-0-10vregulador-dimmer-led-1-10v](http://www.ledbox.es/regulacion-led-0-10vregulador-dimmer-led-1-10v). [Último acceso: 2020].
- [22] D. Evans, «The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything,» Abril 2011. [En línea]. Available: [www.cisco.com](http://www.cisco.com).
- [23] L. Frenzel, «What's the Difference Between IEEE 802.11ah and 802.11af in the IoT?,» 17 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.electronicdesign.com/>.
- [24] P. Ram, «LPWAN, LoRa, LoRaWAN and the Internet of Things.,» 7 Agosto 2018. [En línea].

# GLOSARIO

---

PLC: Power Line Communitation	x
<i>IoT</i> : Internet of Things, Internet de las cosas	1
BOE: Boletín Oficial del Estado	4
BOP: Boletín Oficial de la Provincia	4
GPRS: General Packet Radio Service	5
2G: Segunda generación de telefonía móvil	5
3G: Tercera generación de telefonía móvil	5
LED: Light Emitting Diode	11
NEMA: National Electrical Manufacturers Association	13
IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía	40
REEIAE: Reglamentación relativa a Instrucciones Técnicas Complementarias	40
ISO: International Organization for Standardization	43
TalQ: Smart city consortium	80



