

Universidad de Alcalá

Escuela Politécnica Superior

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



Trabajo Fin de Máster

Diseño de metodologías y herramientas de comparación,
evaluación y asistencia técnica para la redacción de proyectos de
eficiencia energética de instalaciones de alumbrado público

ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR

Autor: Sergio Sánchez Barahona

Tutor: Ricardo Mallol Poyato

2022

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior
Máster Universitario en Ingeniería Industrial



Trabajo Fin de Máster

**“Diseño de metodologías y herramientas de comparación,
evaluación y asistencia técnica para la redacción de
proyectos de eficiencia energética de instalaciones de
alumbrado público”**

Autor: Sergio Sánchez Barahona

Director: Ricardo Mallol Poyato

TRIBUNAL:

Presidente: Pablo Luis López Espí

Vocal 1º: José María Gutiérrez Martínez

Vocal 2º: Ricardo Mallol Poyato

Calificación:.....

Fecha:

“Dar ejemplo no es la principal manera de influir en los demás, es la única”

Albert Einstein

“Somos lo que hacemos día a día; de modo que la excelencia no es un acto, sino un hábito”

Aristóteles

Agradecimientos

A Irene y Maria. Hubiese sido imposible llegar hasta aquí sin ellas.

A mis padres, por su apoyo incondicional.

A mis compañeros de Máster que, pese a la diferencia generacional, me han hecho sentir parte del grupo, especialmente a Jesús, un ejemplo de compañerismo.

A mi tutor y al equipo docente que imparte clases en el Máster, excelentes profesionales sin excepción que han conseguido que mis ganas de aprender sean mayores si cabe. Quiero mencionar a Paco Álvarez, su vocación y dedicación me han dejado huella.

A todos aquellos que han intervenido en el proceso de creación de la metodología y herramientas expuestas en este trabajo.

Resumen

Este Trabajo Final de Máster se centra en proponer una metodología que permita que el proceso de redacción de proyectos de eficiencia energética de instalaciones de alumbrado público, así como el control de sus ejecuciones de obra, sea lo más ágil y sencillo posible.

Paralelamente, se presenta una serie de herramientas de asistencia técnica que facilitarán la labor de los actores intervinientes en este proceso, principalmente ingenieros. Estas herramientas permitirán, de manera automatizada, extraer, manipular, estandarizar y unificar información que sirva como base para la redacción de proyectos y certificados de dirección técnica de este tipo de instalaciones.

Para ello, se aborda el estudio del método tradicional que es seguido por la mayoría de ingenieros y técnicos a la hora de redactar y ejecutar este tipo de proyectos. Se comenzará identificando y analizando los problemas que surgen habitualmente y que suelen introducir errores que podrían ser fácilmente evitables. Posteriormente, se propondrán soluciones alternativas para facilitar su labor, eliminando tareas repetitivas, mejorando la calidad general de la documentación generada y reduciendo considerablemente el tiempo necesario para su preparación.

Para terminar, se analizan los parámetros lumínicos característicos de luminarias utilizadas en este tipo de instalaciones y se incluye una herramienta que permite comparar de manera sencilla y rápida los motores fotométricos de diversos fabricantes en distintas situaciones; de esta manera se facilita la elección de los equipos que optimicen la eficiencia energética de la instalación.

Palabras clave: Eficiencia energética, alumbrado público, parámetros fotométricos e inventario.

Abstract

This work focuses on proposing a methodology that allows the drafting process of energy efficiency projects for public lighting installations, as well as, the control of their workmanship, to be as agile and simple as possible.

At the same time, a series of technical assistance tools are presented. They will ease the work of the players involved in this process, mainly engineers. These tools will allow, in an automated way, to extract, manipulate, standardize and unify information that serves as a basis for drafting projects and technical management certificates.

Hence, the study of traditional methods followed by most engineers are shown. It will begin identifying and analysing the problems that usually appear, introducing errors that could be easily avoided. Subsequently, alternative solutions will be proposed to facilitate this sort of work, eliminating repetitive tasks and improving the general quality of the documentation generated. It will also reduce the time required for its preparation. All at no cost.

Finally, lighting parameters of luminaires used in this type of installation are analysed. A little tool will be introduced; it is designed to easily compare the photometric engines of several manufacturers in different situations. Doing this, the choice of equipment that optimizes the energy efficiency of the installation is highly improve.

Keywords: Energy efficiency, public lighting, photometric parameters and inventory.

Resumen extendido

La aparición de equipos informáticos de uso doméstico supuso un gran avance en la preparación y redacción de todo tipo de proyectos técnicos y de instalaciones, especialmente gracias a las herramientas ofimáticas y CAD (Computer Aided Design) que se han ido perfeccionando y mejorando a lo largo de los años. Sin embargo, si bien suponen una ayuda inestimable a la hora de preparar todo tipo de documentación, en la mayoría de casos no se suele hacer uso de todo su potencial.

En este trabajo se realiza un estudio exhaustivo del Estado del Arte actual, entendiendo como tal, las estrategias a seguir por la mayoría de los técnicos proyectistas de este tipo de instalaciones. Para ello, se analizan, estudian y valoran sus ventajas e inconvenientes, así como los problemas más comunes que surgen durante todo el proceso.

En concreto, se centra en instalaciones de alumbrado público, enfocando sus esfuerzos en el estudio de instalaciones existentes, planificando su renovación de manera que redunde en una mayor eficiencia energética, especialmente en la reducción de costes derivados de la facturación eléctrica, pero también en su gestión, operación y mantenimiento. Persigue también abaratar el coste de la obra asociada al proyecto, facilitando la planificación y gestión de equipos y material propios de este tipo de instalaciones.

Para conseguir sus objetivos, se propone una metodología propia de trabajo que facilite la labor del técnico a la hora de redactar este tipo de proyectos. Se hace uso de herramientas y librerías específicas incluidas o facilitadas por los principales programas de software ofimático y CAD. Mediante su empleo, el objetivo es conseguir cierto grado de automatización a la hora de ejecutar tareas repetitivas y monótonas, haciendo uso de recursos básicos de programación fácilmente asimilables por parte del técnico.

La metodología propuesta está basada en el uso de la librería para módulos VBA [1] del programa AutoCAD, en cualquiera de sus versiones, y proporcionada por la empresa Autodesk. Dicha librería sirve de conexión con los módulos de programación orientada a objetos mediante el lenguaje de programación *"Visual Basic para Aplicaciones"* [2], VBA de aquí en adelante, integrado en todos los programas ofimáticos proporcionados por Microsoft, especialmente en Microsoft Excel (software de hojas de cálculo de datos) y Word (procesador de textos). De esta manera, el técnico redactor puede desarrollar sus propios módulos o funcionalidades, automatizando tareas y tratamientos de datos repetitivos, permitiéndole centrar sus esfuerzos en el diseño de la instalación.

Este trabajo abarca todo el proceso seguido para la redacción y confección de este tipo de proyectos: captura de datos y conformación del inventario, cálculo y dimensionado de puntos de alumbrado, estudio de costes de instalación y mantenimiento, justificación de la eficiencia energética y ahorro de costes por operación y mantenimiento, etc. También contempla la dirección de la ejecución de obra facilitando la labor, tanto al instalador, como a la dirección facultativa para su control de calidad y certificación de los trabajos ejecutados.

Propone una serie de herramientas de asistencia técnica y funcionalidades que permiten generar fácilmente y de manera automática la documentación necesaria para la legalización de este tipo de

instalaciones: memoria técnica, anexos de cálculos justificativos, pliegos de condiciones, estudios de seguridad y salud, mediciones, planos, hojas de control de obra, etc.

Además, las plantillas que sirven como base para generar toda la documentación, se han diseñado siguiendo el formato oficial establecido por la Comisión Europea para la solicitud de ayudas y subvenciones provenientes de fondos FEDER¹.

Por último, se ha incluido una herramienta que, de manera intuitiva, posibilita la descarga de información de las características de las luminarias de cualquier fabricante, especialmente la información relativa a sus matrices fotométricas. Obtenida esta información, se trata y organiza de manera que permita comparar parámetros lumínicos antes de elegir la luminaria más adecuada al tipo de instalación tratada, teniendo en cuenta las características de su entorno.

Se demuestra que el uso de funciones avanzadas de las herramientas ofimáticas y CAD de uso general y que normalmente pasan desapercibidas para la inmensa mayoría de profesionales del sector de ingeniería de instalaciones y construcción, pueden prestar una ayuda inestimable, reduciendo tiempos de respuesta y errores. Permite, además, estandarizar la documentación generada en este tipo de instalaciones, facilitando a la propiedad de la instalación, conformar un inventario que sea útil y fiable durante el tiempo de vida de la instalación.

¹ Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Índice general

Resumen	1
Abstract	2
Resumen extendido.....	3
Índice general.....	5
Índice de ilustraciones.....	7
Índice de tablas	9
1. Introducción	11
1.1. Motivación	11
1.2. Objetivos	13
1.3. Estructura de la memoria.....	13
2. Estudio teórico.....	15
2.1. Campo de aplicación y conceptos básicos	15
2.2. Análisis de la situación actual en España	18
2.3. Estado del Arte	19
2.3.1. Redacción de proyectos de eficiencia energética de instalaciones de alumbrado público	20
2.3.2. Control de la Ejecución de obras de proyectos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público	24
2.3.3. Selección de luminarias y motores fotométricos para instalaciones de alumbrado público	24
3. Desarrollo, herramientas y librerías empleadas	27
3.1. Redacción de proyectos de eficiencia energética de instalaciones de alumbrado público.....	27
3.1.1. Adquisición de datos.....	27
3.1.2. Estudio de la situación actual y normalización de los datos adquiridos	31
3.1.3. Conformación del inventario. Diseño de la instalación. Selección de equipos y material.....	33
3.1.4. Estudio de la facturación eléctrica de la instalación.....	42
3.1.5. Estimación de costes de mantenimiento. Justificación de la eficiencia energética. retorno de la inversión	46
3.1.6. Mediciones e inventariado de elementos	48
3.1.7. Elaboración de la documentación gráfica y escrita. Elaboración de la documentación gráfica y escrita. Justificación de normativa sectorial y bases de elementos subvencionables	52
3.2. Control de la Ejecución de obras de proyectos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público	57
3.3. Selección de luminarias y motores fotométricos para instalaciones de alumbrado público	59
3.3.1. Selección de luminarias mediante el programa Excel.....	59
3.3.2. Justificación normativa de las secciones viales con el programa DIALux.....	63
3.3.3. Mejora: Incorporación de secciones tipo en Pliegos de Condiciones Técnicas.	64
4. Análisis de resultados.....	66
4.1. Casos prácticos y análisis de resultados.....	66
4.1.1. Definiciones y condicionantes previos para el análisis cuantitativo	66
4.1.2. Estudio cuantitativo.....	67

4.1.3.	<i>Estudio cualitativo</i>	68
4.1.4.	<i>Conclusiones</i>	70
4.2.	Definición de un modelo de consumo y su efecto sobre la facturación eléctrica	70
5.	Conclusiones y trabajos futuros.....	74
5.1.	Conclusiones	74
5.2.	Trabajos futuros	75
6.	Bibliografía	77
Apéndice A. Manual de Usuario.....		79
A.1.	Introducción.....	79
A.2.	Guía de instalación	79
A.3.	Guía de Ejecución	82
Apéndice B. Pliego de Condiciones.....		85
Apéndice C. Presupuesto		87
C.1.	Introducción.....	87
C.2.	Equipo de trabajo	87
C.3.	Planificación	87
C.4.	Costes	88
Apéndice D. EULUMDAT File Format Specification		90
Apéndice E. Secciones tipo alumbrado.....		91

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.- Detalle fabricación luminaria. Fuente: Seminario Alumbrado SOCELEC	16
Ilustración 2.- Ejemplo Luminaria. Fuente: catálogo SOCELEC, Mod. Ampera	16
Ilustración 3.- Motor fotométrico de tecnología LED. Fuente: Catálogo General de SOCELEC	17
Ilustración 4.- Diagrama fotométrico polar de la luminaria SIMON Instanium 36LED 54W RA	17
Ilustración 5.- Detalles del Equipo de adquisición de datos JUNO series de la Marca Trimble	29
Ilustración 6.- Detalle del editor de diccionarios que ofrece el software Terrasync donde se pueden apreciar los puntos creados (CALUMBRADO y PALUMBRADO) y sus respectivos atributos	30
Ilustración 7.- Sistema de Coordenadas y Datum utilizados para la base cartográfica	30
Ilustración 8.- Ejemplo de la interfaz de usuario del programa GPS Pathfinder Office suministrado con el equipo de adquisición de datos TRIMBLE	31
Ilustración 9.- Detalle del menú contextual desplegable insertado en el programa Excel	34
Ilustración 10.- Ejemplo donde se aprecian las capas existentes en el programa AutoCAD para conformar el inventario de Alumbrado Público, según lo expuesto en este apartado	35
Ilustración 11.- Definición del bloque "P_ALUMBRADO" y sus atributos	36
Ilustración 12.- Símbolo gráfico que se representa en el espacio de trabajo del bloque P_ALUMBRADO	36
Ilustración 13.- Definición del bloque "C_ALUMBRADO" y sus atributos	36
Ilustración 14.- Símbolo gráfico que se representa en el espacio de trabajo del bloque C_ALUMBRADO	36
Ilustración 15.- Descarga de los datos adquiridos en campo en la hoja "ACTUAL"	37
Ilustración 16.- Menú desplegable que permite exportar los puntos existentes de la hoja "ACTUAL" en cualquier capa un plano de AutoCAD	39
Ilustración 17.- Menú desplegable que permite exportar los centros de mando existentes de la hoja "ACTUAL" en cualquier capa un plano de AutoCAD	39
Ilustración 18.- Menús contextuales que facilitan la selección y creación de capas de AutoCAD con el formato adecuado	39
Ilustración 19.- Ejemplo de Leyenda generada para la identificación de las características de los puntos de luz	40
Ilustración 20.- Algunas de las herramientas facilitadas para el diseño de la instalación	40
Ilustración 21.- Ejemplo del uso de las herramientas de existencia técnica para modificar la instalación actual. Muestra en distintos códigos de colores los puntos desplazados, eliminados y creados. Además, facilita la identificación de números duplicados y que su numeración sea correlativa	41
Ilustración 22.- Menú contextual que da acceso a las funcionalidades facilitadas para hacer un análisis de ahorros energéticos	43
Ilustración 23.- Ejemplo de la información sobre la facturación que debe facilitar el propietario de la instalación	44
Ilustración 24.- Estudio de la facturación y energético generado por la aplicación en función de la información facilitada	45
Ilustración 25.- Tabla resumen de costes por reposición y mantenimiento para distintas lámparas típicas de alumbrado público	47

Índice de ilustraciones	
Ilustración 26.- Ejemplo de cálculo y comparativa de costes asimilables a mantenimiento en una instalación real donde se sustituyen 91 puntos de luz por tecnología LED sobre un total de 1034 puntos	47
Ilustración 27.- Ejemplo de cálculo de plazo de amortización para una instalación real realizada por la herramienta desarrollada	48
Ilustración 28.- Función que permite conformar el inventario actual y futuro, así como sus mediciones, accesible desde la hoja mediciones	50
Ilustración 29.- Ejemplo de tabla de datos creada para conformar el inventario, mostrando el número de luminarias instaladas en cada Centro de Mando.	51
Ilustración 30.- Tabla que recoge el inventario de instalaciones actual y futura. Permite manipular la fila totales para obtener información adicional de manera sencilla.....	51
Ilustración 31.- Ejemplo de listado de mediciones de unidades de obra creada automáticamente ...	52
Ilustración 32.- Menú contextual que permite autocompletar la información correspondiente en la documentación escrita y gráfica	55
Ilustración 33.- Menú contextual que permite generar la "Hoja de Trabajo"	58
Ilustración 34.- Ejemplo de una Hoja de Trabajo diseñada durante la realización de este Trabajo Final de Máster	58
Ilustración 35.- Ejemplo de información extraída de un fichero LDT del fabricante Novatilu.....	60
Ilustración 36.- Definición de alcance de una luminaria.....	61
Ilustración 37.- Definición de dispersión de una luminaria	61
Ilustración 38.- Ejemplo de los parámetros calculados por la macro desarrollada	62
Ilustración 39.- Ejemplo de hoja resumen de luminarias descargadas de distintos fabricantes y agrupadas por su potencia en Watios	63
Ilustración 40. Tarifas horarias consideradas. FUENTE: Iberdrola, S.A.....	71
Ilustración 41.- Patrón de Consumo de una instalación de alumbrado público con tarifa de tres periodos.....	72
Ilustración 42.- Patrón de Consumo de una instalación de alumbrado público con tarifa de dos periodos.....	72
Ilustración 43.- Bloque con formato línea propuesto que representa la inserción de una línea eléctrica junto a sus principales características y longitud	76
Ilustración 44.- Opción que permite habilitar el modo Desarrollador en el programa Excel	80
Ilustración 45.- Herramientas incluidas en la pestaña desarrollador de la cinta de opciones de Excel, incluido el acceso al editor VBA	80
Ilustración 46.- Habilitar la ejecución de macros en el programa Excel	81
Ilustración 47.- Importación de la Librería VBA de AutoCAD en el IDLE de programación del programa Office	82
Ilustración 48.- Menú contextual "DIBUJO" que permite acceder a las funcionalidades de información de la memoria y planos del Proyecto	82
Ilustración 49.- Menú contextual "ALUMBRADO" que permite acceder a las funcionalidades de inserción, creación y modificación de los puntos de alumbrado de la instalación.....	83
Ilustración 50.- Menú contextual "CENTROS DE MANDO" que permite acceder a las funcionalidades de inserción, creación y modificación de los Centros de Mando de la instalación.....	83
Ilustración 51.- Menú contextual "ANÁLISIS DE DATOS" que permite acceder a las funcionalidades de cálculo y estudio de la eficiencia energética de la instalación.....	83

Ilustración 52.- Editor xml incluido en la aplicación que permite personalizar los menús contextuales de cualquier fichero creado con el paquete Office de Microsoft	84
--	----

Índice de tablas

Tabla 1.- Atributos que definen una luminaria y que permiten estandarizar cualquier instalación de alumbrado público	32
Tabla 2.- Información descriptiva del proyecto, de la instalación y del técnico autor del proyecto en la hoja "INFO"	53
Tabla 3.- Ejemplo de la información disponible en la base de datos descargada a través del INE modificada para que incluya información relativa a la planificación de proyectos	56
Tabla 4.- Ejemplo de la información disponible en la base de datos descargada a través del INE relativa a los datos identificativos de la población y direcciones de contacto.....	56
Tabla 5.- Planificación y estimación de tiempo para la confección de un proyecto de eficiencia energética de alumbrado público en una instalación con 50 puntos de luz y un centro de mando ...	67
Tabla 6.- Horarios anuales que permiten contextualizar la curva de funcionamiento de una instalación de alumbrado público.....	70
Tabla 7.- Patrones de consumo para una instalación de alumbrado público en tarifas de dos y tres periodos. FUENTE: elaboración propia.....	71
Tabla 8.- Costes por mano de obra	88
Tabla 9.- Costes por recursos hardware	89
Tabla 10.- Costes por recursos software	89
Tabla 11.- Presupuesto TOTAL	89

1. Introducción

A lo largo de los últimos años, han aparecido diversos programas de software especializados en el diseño y cálculo de todo tipo de edificaciones e instalaciones. Estas aplicaciones pueden suponer una ayuda inestimable a la hora de redactar un proyecto por parte de un ingeniero, incluso sin conocimientos previos. Sin embargo, presentan algunos inconvenientes: el alto precio de las licencias de uso; una curva de aprendizaje pronunciada; son aplicaciones cerradas y rígidas, que no suelen permitir ajustarse a las necesidades personalizadas, ya sea del proyectista, ya sea de la instalación; tampoco es posible conocer su funcionamiento interno ni cuáles son sus algoritmos de cálculo; ni el proceso interno para justificar normativa, actuando como *“cajas negras”*. En muchos casos, estos suelen ser motivos bastantes para descartar su utilización.

Este Trabajo Final de Máster se centra en el ámbito de la eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado público. Pretende proponer una solución de compromiso que, a través de una Metodología de trabajo y una serie de herramientas de asistencia técnica, permitan confeccionar un inventario de calidad, así como la redacción de proyectos que definan las actuaciones a llevar a cabo, adaptándose a las necesidades de la instalación y del técnico proyectista. Todo ello, sin contar con costosas licencias de software especializado.

1.1. Motivación

Durante los últimos años, con el impulso de la Unión Europea a través, principalmente, de fondos FEDER gestionados por el Instituto para la Diversificación del Ahorro de Energía (IDAE), se ha fomentado la realización de actuaciones orientadas a reducir el consumo energético. En este aspecto, las principales líneas de actuación tienen como eje fundamental las instalaciones de alumbrado público. Así, dado que la mayoría de este tipo de instalaciones son de propiedad pública, se vienen destinado cuantiosas ayudas económicas dirigidas a Entidades Locales: Ayuntamientos y Diputaciones Provinciales, tendentes a facilitar su renovación que, en la mayoría de casos, hacen uso de tecnologías obsoletas de equipos y luminarias que presentan consumos energéticos elevados.

De esta manera, durante los últimos años se vienen promoviendo distintos programas y convocatorias a las que puede optar cualquier Administración Local de este país. Así, por ejemplo, durante los años 2015 a 2018 se habilitó una primera convocatoria dotada con un presupuesto de 65.000.000 €; entre los años 2018 y 2020, una segunda, dotada con 48.791.000 €; todas ellas destinadas a la renovación

de este tipo de instalaciones.² Dichas convocatorias subvencionables, estaban dirigidas principalmente a la sustitución de puntos de luz e implantación de sistemas de regulación y gestión, así como a su telegestión.

El objetivo de estas ayudas se centra principalmente en:

- Reducir el consumo de energía, al menos un 30%,
- Regular los niveles de iluminación según diferentes horarios, ajustándose a las necesidades de cada momento, y
- Adecuar las instalaciones existentes a los preceptos establecidos en el Reglamento de Eficiencia Energética [3].

Según los datos facilitados por el IDAE, estas convocatorias han supuesto actuaciones que afectan a casi 7.000.000 de habitantes, actuando sobre 378.707 puntos de luz de un total de 1.1150.194 puntos existentes y 17.535 cuadros eléctricos con una potencia instalada de 192.922MW y un consumo eléctrico de 639.392MWh/año. Estas reformas han supuesto un ahorro energético del 65%, dicho de otra forma, se ha reducido el consumo desde los 639.392 MWh/año a 72.933 MWh/año.

Estas cifras son excepcionales, pero como el propio IDAE indica en su memoria anual, todavía resta un alto porcentaje de puntos de luz poco eficientes, lo que permite hacerse una idea del trabajo que queda por hacer en este aspecto. Dada su buena acogida, está previsto que en los próximos meses se habrán nuevas ayudas que den continuidad a las ya concluidas.

Así mismo, existen otras muchas líneas de actuación y convocatorias que en la actualidad se vienen publicando, financiadas también con fondos FEDER, como, por ejemplo, a través de los objetivos temáticos incluidos en Estrategias de Desarrollo Urbano Sostenible e Integrado (EDUSI) de municipios con población superior a 20.000 habitantes.

Un denominador común, no sólo de este tipo de convocatorias, sino de cualquier actuación prevista sobre instalaciones de alumbrado público en el ámbito de la eficiencia energética, es la absoluta necesidad de contar con documentación técnica que describa fielmente la realidad de la instalación e identifique adecuadamente sus carencias. De esta manera, el ingeniero o proyectista, podrá planificar adecuadamente los trabajos tendentes a conseguir reducir su consumo, consiguiendo, disminuir sus costes de explotación. También servirán como base para su legalización ante los distintos organismos con competencias en esta materia.

Con lo expuesto, creemos que la Metodología propuesta y las herramientas de asistencia desarrolladas, pueden tener un enorme futuro y un gran potencial, no sólo por la gran cantidad de instalaciones de alumbrado público existentes poco eficientes, también porque las Administraciones Públicas, conscientes de este hecho, siguen promoviendo este tipo de actuaciones.

Resulta, por tanto, sumamente interesante contar medios que permitan conformar un inventario fiable; también generar todo tipo de documentación justificativa de calidad de una manera ágil y que permita a los despachos de servicios profesionales reducir tiempos y costes de desarrollo.

² <https://www.idae.es/publication-category/alumbrado-publico>

1.2. Objetivos

El objetivo de este Trabajo Final del Máster es presentar una Metodología y una serie de estrategias que permitan facilitar al técnico proyectista la redacción y elaboración de proyectos de eficiencia energética de alumbrado público. Y no sólo su redacción, también el control de su ejecución de la obra y la conformación de un inventario útil para su posterior gestión y conservación, redundando en la calidad del servicio público que prestan este tipo de instalaciones.

Este trabajo también se centra en proporcionar al proyectista una herramienta que facilite la selección de luminarias y, más en concreto, la elección de motores fotométricos ofrecidos por los fabricantes de estos equipos.

Para realizar ambas tareas, se utilizarán aplicaciones software ofimáticas y CAD de uso general, aprovechando toda la potencia que ofrecen a través de distintas funcionalidades avanzadas que integran. Principalmente se hace uso de la librería para módulos VBA [1] del programa AutoCAD sirviendo de conexión con los módulos de programación orientada a objetos mediante el lenguaje de programación “*Visual Basic para Aplicaciones*” [2], VBA, incluidos en los programas Word y Excel de la empresa Microsoft en su suite ofimática Office.

1.3. Estructura de la memoria

Los contenidos de este Trabajo Fin de Máster se encuentran organizados en los siguientes apartados:

- **Introducción:** Se expone la motivación para realizar este trabajo, citando someramente los principales problemas que plantea el método clásico para la redacción de proyectos de eficiencia energética de instalaciones de alumbrado público; se detalla también las últimas actuaciones promovidas por distintos organismos públicos en este campo y que supone la necesidad de establecer una metodología común que facilite la preparación de la documentación y su tramitación.
- **Estudio teórico:** Se incluye un completo análisis del Estado de Arte actual en lo referente a la redacción de este tipo de proyectos y sus direcciones técnicas de obras y se describen las principales líneas de actuación que se desarrollarán en el apartado Desarrollo.
- **Desarrollo, herramientas y librerías empleadas:** Se incluye una completa descripción de la Metodología seguida para la redacción de proyectos, proponiendo diversas fórmulas y herramientas de programación para facilitar la labor al técnico redactor. Se describe el funcionamiento de la herramienta desarrollar para comparar luminarias de distintos fabricantes.
- **Resultados:** Se analizan los resultados obtenidos en base a criterios de calidad y eficiencia, preparando la documentación necesaria para tramitar este tipo de proyectos.
- **Conclusiones generales y líneas futuras:** Se enumeran y analizan las ventajas de la metodología planteada; identificación y descripción de las posibles limitaciones que se plantean; análisis de las posibles mejoras y vías de desarrollo derivadas de la metodología propuesta, así como trabajos futuros y propuesta de futuras funcionalidades que podrían mejorar la metodología o su campo de aplicación.

- **Bibliografía:** Enumeración de la documentación consultada para realizar este trabajo.
- **Apéndice A. Manual de usuario:** Descripción de los principales pasos a seguir para la obtención de un proyecto detallando el funcionamiento general de las distintas herramientas que se proponen.
- **Apéndice B. Pliego de Condiciones:** Incluye las condiciones, criterios de calidad mínimo y especificaciones del equipamiento, equipos y material a utilizar para la correcta ejecución de un proyecto de este tipo de instalaciones y que se propone como parte integrante del mismo.
- **Apéndice C. Presupuesto:** valoración económica de lo que implicaría implantar este tipo de metodología en una empresa o despacho profesional.
- **Apéndice D. EULUMDAT File Format Specificación:** formato de datos de los ficheros LTD destinados a contener la información fotométrica de las luminarias.
- **Apéndice E. Secciones tipo de alumbrado.**

2. Estudio teórico

Primeramente, se hace una pequeña introducción de los conceptos básicos relacionados con el alumbrado público. Esto, nos permitirá comprender el proceso de diseño tradicional de este tipo de instalaciones desde el punto de vista de la eficiencia energética.

Posteriormente, se hace un análisis que se centra en la manera en que actualmente afrontan la mayoría de técnicos e ingenieros este proceso, cuyo fin es la elaboración de la documentación que conforma el proyecto técnico y que servirá como base para la ejecución de las actuaciones necesarias para su puesta en funcionamiento y su legalización.

Por último, se hace una breve descripción y análisis de los métodos más comunes utilizados para la selección de sus luminarias.

2.1. Campo de aplicación y conceptos básicos

Cómo introducción, es necesario conocer algunos conceptos básicos³ [4] que se enumeran a continuación:

Alumbrado exterior y alumbrado público: se denomina alumbrado exterior a toda aquella iluminación expuesta a inclemencias meteorológicas y que se destina a cubrir las necesidades lumínicas de espacios abiertos.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, de obligado cumplimiento en todo tipo de instalaciones eléctricas dentro del territorio nacional, y, en concreto su Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-09, denomina alumbrado exterior a las instalaciones destinadas a iluminar zonas de dominio público o privado, tales como autopistas, carreteras, calles plazas, parques, jardines, pasos elevados, caminos, etc., entre otras.

Este estudio se centra en la redacción de proyectos de alumbrado público, entendiéndolo como alumbrado exterior destinado a iluminar zonas de dominio público con finalidades funcionales y

³ Para hacer esta descripción se ha recopilado gran parte de los contenidos del libro *Curso de iluminación integrado en la Arquitectura*.

ambientales, excluyendo las instalaciones ornamentales. No obstante, podría asimilarse fácilmente al resto de instalaciones propias del alumbrado exterior. Asimismo, se pone especial énfasis en el ámbito de la eficiencia energética, dejando en segundo lugar, el cálculo de las instalaciones eléctricas propiamente dichas.

Las instalaciones de alumbrado público se destinan principalmente a:

- Poder distinguir la existencia de personas y todo tipo de edificios y objetos cercanos, como viales y calzadas, mobiliario urbano, vehículos, etc.
- Orientar a las personas durante las horas nocturnas proporcionando mayor seguridad.
- Permitir el desarrollo de actividades nocturnas.

Luminarias: el elemento fundamental del alumbrado público es la luminaria, entendiendo como tal el conjunto de elementos y equipos destinados a emitir un flujo luminoso que permite iluminar un determinado espacio.

La luminaria está formada por las siguientes partes: Cuerpo o soporte, lámpara, bloque óptico y componentes electrónicos y de potencia y conexiones eléctricas.

En la actualidad, la inmensa mayoría de las luminarias utilizan lámparas de tecnología LED, siendo la tecnología que se utilizará en este trabajo como base para conseguir aumentar la eficiencia energética de la instalación. No obstante, es necesario considerar las lámparas que hacen uso de tecnologías menos recientes como Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP), Vapor de Mercurio (VM), Halogenuros Metálicos (HM), etc., dado que han sido utilizadas durante muchos años y siguen existiendo en gran parte de las instalaciones existentes.

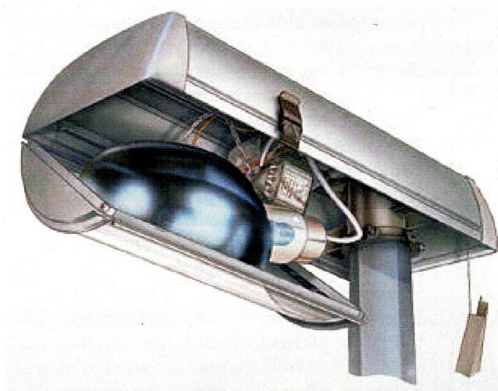


Ilustración 1.- Detalle fabricación luminaria. FUENTE: Seminario Alumbrado SOCELEC



Ilustración 2.- Ejemplo Luminaria de tecnología LED. FUENTE: catálogo SOCELEC, Mod. Ampera

Motor fotométrico: el bloque óptico, también llamado motor fotométrico es, después de la lámpara, el elemento fundamental de luminaria y tiene como misión fundamental orientar el haz luminoso emitido por ésta.

Tanto el bloque óptico, como la lámpara, son elementos fundamentales, cuyas características y propiedades, el técnico proyectista debe conocer en profundidad atendiendo principalmente a sus curvas fotométricas. Entender el funcionamiento de las curvas fotométricas es imprescindible. No obstante, está fuera del objeto de este trabajo, remitiéndose al lector a la distinta bibliografía para profundizar en el tema.



Ilustración 3.- Motor fotométrico de tecnología LED. FUENTE: Catálogo General de SOCELEC

Curvas fotométricas y diagrama polar de intensidad lumínica: las curvas fotométricas se refieren a la representación de la distribución de la intensidad de luz emitida por las luminarias. Uno de los tipos de curvas fotométricas más utilizados es el diagrama polar de intensidad luminosa que representa dicha intensidad en planos C predefinidos para distintos ángulos de apertura de luminaria y que van desde la vertical superior de la luminaria hasta la inferior. Normalmente los planos C representados son los ángulos 0° y 180°, paralelos al eje de la calzada y 270°, perpendicular. Opcionalmente se pueden mostrar también los dos planos verticales principales que contienen la intensidad máxima.

El diagrama polar será el utilizado para comparar luminarias, tema tratado en los apartados siguientes.

A modo de ejemplo, en la siguiente ilustración se muestra un diagrama polar de una luminaria típica para alumbrado público con tecnología LED:

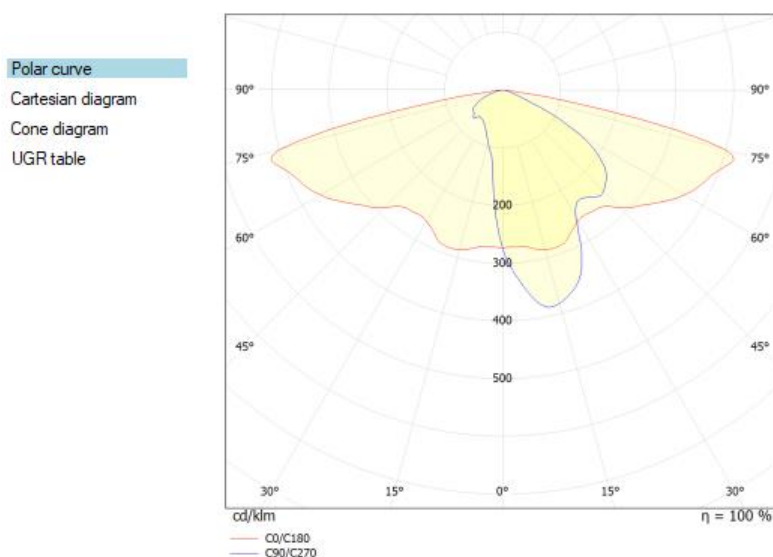


Ilustración 4.- Diagrama fotométrico polar de la luminaria SIMON Instanium 36LED 54W RA

2.2. Análisis de la situación actual en España

A continuación, se analiza el número de instalaciones de alumbrado público de diversos municipios y sus principales características. Esta información tiene como base los datos que han sido recopilados por el IDAE después de analizar las auditorías energéticas realizadas por diversos Ayuntamientos solicitantes de ayudas para la renovación de estas instalaciones. Aunque se refiere a la información recopilada durante los años 2015 y 2017, pueden ofrecer una idea general sobre el camino que queda por recorrer en orden a conseguir instalaciones de alumbrado público más eficientes; lo anterior, redundará en nuevas convocatorias y, por ende, en el incremento de documentación y proyectos a redactar por parte de los distintos actores intervinientes, principalmente ingenieros industriales, que participan en este proceso. Esto pone en evidencia el enorme potencial que puede tener la Metodología planteada, en aras a facilitar la labor de los técnicos, así como su utilidad en el ámbito de la ingeniería.

Año: 2015	Ratios IDAE		Censo		Resultados	
Tamaño del Municipio	kWh/hab/a	W/PL	Municipios	Población	GWh/a	PL
> 75.000 habitantes	81	182	88	20.399.147	1.653	2.209.135
40.001 a 75.000 hab	118	176	76	4.239.453	501	663.381
10.000 a 40.000 hab	133	163	557	10.702.913	1.429	2.237.499
< 10.000 hab	169	140	7391	9.859.224	1.668	2.934.665
Conjunto de España	116,10	161,10	8.112,00	45.200.737	5.247	8.044.680

Fuente: IDAE 2015

Año: 2017	Ratios IDAE		Censo		Resultados	
Tamaño del Municipio	kWh/hab/a	W/PL	Municipios	Población	GWh/a	PL
> 75.000 habitantes	82	179	97	21.525.605	1.760	2.588.324
40.001 a 75.000 hab	112	172	77	4.204.804	471	642.952
20.001 a 40.000 hab	114	161	227	6.248.522	713	1.183.382
10.001 a 20.000 hab	139	155	347	4.914.991	682	1.124.529
5.000 a 10.000 hab	151	137	551	3.869.029	586	1.084.126
< 5.000 hab	187	131	6825	5.794.057	1.085	2.226.526
Conjunto de España	114,00	156,00	8.125,00	46.557.008	5.296	8.849.839

Fuente: IDAE 2017

Observando los datos anteriores, tal y cómo indica el IDAE en su “*inventario, consumo de energía y potencial de ahorro del alumbrado exterior municipal en España (2017)*”:

- En relación con el uso de estas instalaciones, en las auditorías que dispusimos para la elaboración del inventario 2015/2017 el promedio del nº de horas equivalentes de iluminación anual, resultado de dividir el consumo anual de electricidad de cada municipio por su potencia instalada, fue de 4.098 horas mientras que el promedio resultante de las auditorías presentadas en este último año al programa de ayudas con cargo al FNEE ha resultado de 3.511 horas, lo que significa una reducción del consumo del 14,3%.*

- b. *En relación con la fuente de luz, es evidente que en estos últimos años se han acometido multitud de reformas de alumbrado en muchos municipios, totales o parciales, siendo mayoritariamente a LED, y estos cambios representan ahorros que estarán en una horquilla entre el 65% y el 80%, reformas que en IDAE no conocemos al llevarse a cabo sin necesidad de ayudas al ser actuaciones directas de los propios ayuntamientos vía recursos propios o por financiación de terceros.*

Aunque ambas consideraciones impiden conocer el consumo determinado en el inventario de 5.296 GWh/año como resultado de proyectar para todo el conjunto nacional las ratios de las auditorías, auditorías que abarcan el 21% del alumbrado de España que para otros estudios de mercado serían extraordinariamente suficientes, en este caso puede ser o no ajustado a la realidad. Queda a la consideración y criterio del lector valorar con la suficiente aproximación el valor de esta cifra de consumo.

Lo que desde luego es incuestionable es el potencial de ahorro para estas instalaciones. Por un lado, los distintos solicitantes de las ayudas de este programa han presentado reformas que les van a permitir obtener ahorros mínimos del 65%. Por otro, los distintos proyectos acometidos con participación del IDAE, así como otros ejecutados por terceros y publicitados en los medios de comunicación, constatan ahorros superiores al 80% al combinar el LED con la regulación horaria de flujos. Estas cifras, totalmente fuera de lo común para otro tipo de reformas de instalaciones consumidoras de energía hacen que este sector, inmerso actualmente en un cambio tecnológico, varíe en muy poco tiempo hacia valores de consumo de energía difíciles de determinar en este momento.⁴

Lo que este estudio pone absolutamente de manifiesto es el enorme potencial de ahorro energético que queda por conseguir en España, unido a la gran cantidad de instalaciones y de municipios de este país, hace pensar el ingente trabajo que todavía queda por hacer. Es de suponer que en los próximos años se convoquen nuevas ayudas, ya sea por el IDAE o por otros organismos públicos.

Se puede asegurar, que la metodología de trabajo que se propone y el uso de las distintas herramientas y utilidades incluidas, tienen un enorme futuro y campo de aplicación, lo que justifica sobradamente el trabajo presentado y su viabilidad en el mercado español actual.

2.3. Estado del Arte

Este apartado trata de analizar los métodos de trabajo que suelen utilizar la mayor parte de técnicos redactores de proyectos y despachos profesionales en la actualidad. Una vez descrita la situación, se puede analizar y estudiar cuales son las principales desventajas que presentan, para posteriormente proponer distintas alternativas que se concretarán en la Metodología propuesta en este trabajo.

⁴https://www.idae.es/sites/default/files/inventario_consumo_y_potencial_ahorro_alumbrado_exterior_2017_v2.pdf

2.3.1. Redacción de proyectos de eficiencia energética de instalaciones de alumbrado público

Como regla general, el proceso de estudio, diseño, planificación y renovación de una instalación de alumbrado público para conseguir aumentar su eficiencia energética puede dividirse en FASES bien diferenciadas que pasan a describirse a continuación:

2.3.1.1. Adquisición de datos:

En la mayoría de casos, la toma de datos para recopilar la información relativa a la instalación de alumbrado público se hace de manera manual.

Grosso modo, el proceso se subdivide en las siguientes tareas:

- Impresión de una base cartográfica del municipio, zona o calles donde se sitúa la instalación en papel,
- Toma de datos sobre campo, normalmente por parte de un electricista o del propio técnico, anotando sobre la base cartográfica los puntos a considerar y la información que define cada luminaria o centro de mando,
- Una vez terminado el trabajo de campo, ya en oficina, se traspasará la información de manera manual a un programa de diseño gráfico, normalmente AutoCAD. Para cada punto distinto se suele utilizar un símbolo o icono distinto. La posición de los puntos se hace de forma aproximada.
- Contaje de puntos y, en algunos casos, listado de los puntos afectados y sus características, ya sea en una hoja de cálculo o, directamente en el procesador de textos.

Cómo se verá en la siguiente sección, este es un proceso laborioso y arduo, donde suelen intervenir distintos técnicos y muy propenso a errores, duplicación u omisión de datos. Además, en muchos casos, es necesario una revisión de todo el trabajo realizado.

2.3.1.2. Estudio de la situación actual y normalización de los datos adquiridos:

Normalmente, las especificaciones y características que definen una luminaria se toman tal como son. Esto quiere decir, que la posibilidad de introducir información distinta se incrementa resultando en decenas de posibilidades que, tanto la persona que adquiere los datos, como el técnico proyectista, si no son la misma persona, tienen que valorar antes de introducir y plasmarla en el proyecto, lo que aumenta la complejidad en el tratamiento posterior de la información.

Así, por ejemplo, a la hora de describir el tipo de cuerpo de una luminaria éste podría tratarse de: un aplique, cónico, Villa (en sus distintos tamaños), Fernandino, Globo, proyector, cazoleta, etc. lo que incluye decenas y decenas de modelos que cada fabricante denomina de maneras distintas, muchas de cierta antigüedad y descatalogadas. Lo mismo podríamos decir si lo que se pretende es describir el tipo de lámpara: VSAP, VM, LED, HM, etc.

2.3.1.3. Conformación del inventario. Diseño de la instalación. Selección de equipos y material:

Una vez que se han anotado en papel todos los componentes que forman la instalación de alumbrado y sus características, el siguiente paso, por norma general, consiste en traspasar la información a un programa CAD, usualmente AutoCAD. Esta tarea vuelve a tratarse de un proceso manual, donde la persona que realiza esta función debe, principalmente, representar estos puntos sobre la base cartográfica digitalizada uno por uno. Por otro lado, a la hora de introducir la información de cada punto, existen dos opciones:

- 1.- Los puntos grafiados planos se numeran y, posteriormente, en una hoja de cálculo o base de datos se introduce la información teniendo como denominador común la numeración en plano;
- 2.- A los puntos introducidos en CAD se les asignan atributos donde se introduce directamente esta información.

En cualquier caso, suele ser necesario el uso de hojas de cálculo para poder hacer los cálculos necesarios ya sea para inventariar el estado actual, ya sea para el diseño de la nueva instalación (por ejemplo, para saber el número total de puntos afectados o la potencia total de la instalación actual y futura).

Una vez que se cuenta con los planos digitalizados y toda la información adecuadamente representada en formato informático, se puede empezar a diseñar la renovación de la instalación seleccionando los nuevos equipos a instalar en base a criterios de eficiencia energética.

2.3.1.4. Estudio de la facturación eléctrica de la instalación:

Otro de los aspectos fundamental es el estudio de la facturación. Resulta imprescindible conocer los consumos energéticos actuales y previstos y, en base a ellos, hacer una estimación de la reducción de consumos eléctricos y sus costes. Esto no sólo nos permitirá conocer la eficiencia energética conseguida, también nos permite justificar económicamente la inversión necesaria para renovar la instalación; por otro lado, justificar adecuadamente que las mejoras propuestas son económicamente rentables, es un requisito *sine qua non* para poder acceder a financiación y a la inmensa mayoría de subvenciones públicas.

El método seguido habitualmente para estudiar y comparar la facturación se basa, una vez más, en un proceso manual. Es muy común solicitar al propietario de la instalación una o varias facturas por cada contrato de suministro eléctrico existente que dé servicio a la instalación. La facturación nos ayudará a conocer la tarifa o tarifas eléctricas contratadas, los precios aplicables a cada término y los consumos, que suelen ser, en principio, valores reales.

El técnico encargado de esta tarea tiene, por tanto, primero que recopilar la facturación energética de cada instalación y, segundo, analizar y extraer la información necesaria, además de hacer un análisis de la reducción de costes futuros una vez aplicadas las reformas propuestas.

Recopilar la facturación energética muchas veces es complicado. Por la tipología de este tipo de instalaciones, normalmente la facturación es facilitada por los propios ayuntamientos por tratarse de un servicio público. Si bien en municipios grandes la obtención de esta información no suele ser un problema más allá del gran tamaño de las instalaciones y del volumen de la información facilitada, en los municipios pequeños, no suele ser fácil conseguirla. Esto es debido a que, si bien tienen registrada la facturación a nivel contable, por falta de medios, el acceso a la propia factura física no siempre es posible, al menos de manera directa. Esto, multitud de ocasiones, desemboca en que el técnico no dispone de este tipo de información, al menos bajo nuestra experiencia.

Una vez que se ha recopilado toda la facturación posible, el siguiente paso es estudiar y analizar cada una de estas facturas. Nuevamente, es un proceso largo y tedioso e implica relacionar cada factura con el suministro que corresponda y su contrato, analizar potencias y consumos en función de la tarifa. Por último, hay que mecanizar la información de manera lo más estructurada posible, normalmente en una hoja de cálculo Excel para que, posteriormente, nos permita hacer los cálculos precisos para calcular los consumos previstos una vez se ha diseñado la nueva instalación.

Este estudio es necesario por cada contrato de suministro, es decir, por cada centro de mando de cabecera desde donde se abastece de energía eléctrica a la instalación. Si el proyecto incluye un único contrato, el proceso es, en mayor o menor grado, relativamente sencillo. La cuestión se complica si aumenta el número de contratos, pudiendo tratarse en algunos proyectos de decenas. Es necesario tener este aspecto en cuenta a la hora de planificar la redacción del proyecto, puesto que puede implicar una inversión de tiempo considerable. Cuando esto ocurre, en la mayoría de las ocasiones se opta por hacer una estimación somera y muy aproximada de los supuestos ahorros energéticos, lo que excluye la posibilidad de estudiar la instalación de manera individual y detallada, redundando en pérdida de información valiosa para conocer la viabilidad de la inversión.

2.3.1.5. Estimación de costes de mantenimiento. Justificación de la eficiencia energética. Retorno de la inversión:

Tradicionalmente son aspectos que NO suelen contemplarse en la mayoría de proyectos de este tipo de instalaciones. Sin embargo, según nuestro criterio, la estimación del ahorro de costes una vez renovada la instalación, es una cuestión que debería tenerse en cuenta. Un buen diseño de una instalación de alumbrado público no sólo puede suponer un ahorro de costes por reducción de consumo eléctrico, también puede implicar un importante ahorro de costes en operaciones de mantenimiento.

Las labores de mantenimiento suponen un coste considerable, sobre todo en instalaciones con gran número de puntos o incluso en instalaciones pequeñas pero muy alejadas de las grandes capitales de provincia debido a los costes por desplazamiento.

Entendemos por tanto que, para poder estimar adecuadamente el retorno de la inversión propuesta, requisito imprescindible si lo que se desea es acceder a financiación externa, es absolutamente necesario diseñar la instalación teniendo en cuenta los costes imputables al mantenimiento de la instalación durante toda su vida útil.

2.3.1.6. Mediciones e inventariado de elementos:

Uno de los elementos clave si se pretende justificar adecuadamente la eficiencia energética, es la conformación de un inventario de todos los elementos que forman parte de la instalación, estando además clasificados convenientemente. De esta manera, por un lado, se podrá apreciar fácilmente cuales son las modificaciones y mejoras propuestas y, por otro, servirá como base para posteriores cálculos justificativos.

Una vez más, este proceso suele ser manual, lo que supone una gran pérdida de tiempo y una continua fuente de errores, más si cabe, teniendo en cuenta que su diseño implica un proceso iterativo hasta conseguir “ajustar” nuestra instalación para que sea lo más eficiente posible.

Normalmente, la conformación del inventario se hace mediante un conteo y listado de equipos y componentes a partir de los planos de la instalación, de manera visual y totalmente manual. Esto suele ser una continua fuente de errores y omisiones; el problema se agrava cuanto más grande y compleja es la instalación; otro gran inconveniente que presenta es la gran cantidad de tiempo necesario para realizar esta serie de tareas, más si lo que se pretende es reducir errores, puesto que obliga a su revisión continua incluso por parte de distintos técnicos a modo de doble comprobación.

El problema de la existencia de errores es doble, puesto que la mayoría son detectados durante la fase de ejecución de las obras, una vez que se ha aprobado el presupuesto del proyecto. Esto da lugar a

continuas modificaciones, precios contradictorios, ampliaciones y modificaciones presupuestarias, etc. La dificultad se multiplica si, como ocurre en la mayoría de los casos, la obra se licita mediante contratación pública, dado el rígido y complejo procedimiento administrativo y de fiscalización al que obligatoriamente están sujetas todas las obras promovidas por las Administraciones Públicas.

Siguiendo la metodología propuesta hasta ahora, este proceso puede automatizarse completamente agilizando sobremanera los tiempos de redacción de proyecto y mejorando su calidad. Redundará también en la calidad de la obra ejecutada y reducirá la dificultad de su control, tanto a nivel administrativo como de obra.

2.3.1.7. Elaboración de la documentación gráfica y escrita. Justificación de normativa sectorial y bases de elementos subvencionables:

La realización de cualquier proyecto de obra supone generar gran cantidad de documentación escrita y gráfica que posteriormente conformarán la memoria, anexos, pliegos y planos, contenido mínimo con el que debe contar cualquier proyecto según la legislación vigente.

Para la confección de la documentación escrita, principalmente la memoria del proyecto, la inmensa mayoría de los técnicos redactores conforman una plantilla donde se refleja su estructura y el contenido típico mínimo que debe contener en función de la obra proyectada. Posteriormente, comienza a redactarse y a incluir cálculos justificativos que tienen como fin describir lo más detalladamente posible la instalación y poner de manifiesto que se ajustará a la normativa sectorial vigente.

Este proceso no conlleva complejidad, sin embargo, suele ser un proceso monótono y largo. En muchos casos, se suele hacer un uso amplio de comandos tipo “corta y pega” que, si bien facilitan y agilizan el proceso, en la mayoría de ocasiones suele ser fuente de pequeños errores y provocar incoherencias. Además, en muchos casos, esta labor se delega en personal menos especializado para ser supervisado con posterioridad, lo que aumenta los costes de redacción.

Aunque existen varias opciones, la herramienta más extendida para realizar esta labor es el procesador de textos Word de Microsoft.

Por otro lado, es necesario incluir documentación gráfica: planos de situación, de planta, de detalle, etc. En el caso concreto de proyectos de eficiencia energética para alumbrado público los planos principales que se incluyen en el proyecto suelen referirse a planos de situación, de planta de la instalación existente y de la instalación proyectada, haciendo uso de una base cartográfica más o menos actualizada.

Para la conformación de planos se suele utilizar el programa de diseño gráfico AutoCAD de AutoDesk. Si bien, existen otras opciones estas son de uso muy minoritario.

Hay que añadir que tradicionalmente la conformación de planos suele hacerse por técnicos especializados en la realización de la documentación gráfica para ser revisados posteriormente por el técnico firmante. Una vez más se incrementan los costes de redacción del proyecto.

Conviene prestar especial atención al proceso de completar la información referente al lugar donde se emplaza la instalación, municipio, situación, información y claves identificativas del proyecto o expediente, etc. Tarea en principio sencilla pero que suele conllevar un proceso redundante y laborioso que desemboca de nuevo en pequeños errores materiales.

En este Trabajo Final de Máster, haciendo uso de la idiosincrasia de la Metodología, se vuelve a proponer un método que permita automatizar en la medida de lo posible estos aspectos, liberando de esta labor al técnico redactor, reduciendo tiempos de desarrollo, costes y minimizando la posibilidad de cometer errores materiales.

2.3.2. Control de la Ejecución de obras de proyectos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público

Si bien el control de ejecución de obra es una parte esencial, no sólo dentro del proceso de la renovación de una instalación de alumbrado público para conseguir aumentar su eficiencia energética de la instalación, sino también en cualquier proyecto, a menudo se descuida por completo. No es inusual no encontrar ninguna información relativa a este aspecto que ayude de alguna manera a hacer el seguimiento de la obra durante la fase de ejecución.

Lo más habitual es, simplemente, hacer uso de la documentación gráfica, de las mediciones y presupuesto incluidos en el proyecto. Si bien es una opción totalmente válida, desde luego también desde el punto de vista legal, en muchas ocasiones es difícil de interpretar o incluso de manipular, especialmente para los técnicos que realmente ejecutan la obra, típicamente instaladores electricistas.

Hacer uso exclusivamente de planos y mediciones, por experiencia, supone una continua fuente de distintas interpretaciones y dudas. El resultado es que esta problemática suele materializarse en decenas de llamadas solicitando aclaraciones a la dirección facultativa, así como en visitas de obra que permitan unificar criterios. Esto es el mejor de los casos. En otras ocasiones, por diversos motivos, el técnico que se encuentra en la obra interpreta unilateralmente la información, desembocando frecuentemente en errores y defectos de obra que repercuten negativamente, no sólo en la calidad de la instalación realmente ejecutada, también en el consiguiente incremento presupuestario. Esto implica perjuicios, y no sólo a nivel económico, también administrativamente.

Por otro lado, suelen ser necesarias más visitas de obra, repercutiendo en el tiempo invertido por todos los actores intervinientes, especialmente si la instalación se encuentra situada lejos de los principales núcleos de población puesto que se aumenta el tiempo y el coste en desplazamientos.

Asimismo, una vez terminada la obra, la preparación de certificaciones y planos "*as built*" que reflejen la obra realmente ejecutada suele convertirse en un trabajo arduo que implica revisar toda la instalación para posteriormente representarla convenientemente en la documentación final de obra.

2.3.3. Selección de luminarias y motores fotométricos para instalaciones de alumbrado público

El objetivo de este apartado es hacer una descripción de los métodos clásicos utilizados a la hora de seleccionar uno o varios modelos de luminarias para la futura instalación de alumbrado público.

Cuando se selecciona una luminaria, salvo aplicaciones específicas, el técnico proyectista tiene que elegir entre decenas, sino cientos, de modelos existentes en el mercado. Se añade, además, que la inmensa mayoría de fabricantes ofrecen decenas de motores fotométricos para cada modelo de

luminaria. Esto hace evidente la dificultad de elección de luminaria y un motor fotométrico adecuado. Y eso si nos referimos únicamente a criterios estrictamente lumínicos, complicándose la elección, si se pretende también seleccionar la luminaria siguiendo otros criterios: calidad de los equipos y materiales, tamaños, estética, etc.

Este apartado se refiere única y exclusivamente a la elección de luminaria en función de sus parámetros lumínicos. Aun en este caso, una acertada elección exige un conocimiento alto de las características propias y parámetros lumínicos de las luminarias de los distintos fabricantes a través del estudio de sus curvas fotométricas.

El método clásico de elección de la luminaria dependía de la pericia y experiencia del técnico proyectista, haciéndose uso de métodos de cálculo más o menos manuales como el método de lúmenes o el método de nueve puntos⁵. Dichos métodos suponen un proceso de diseño, cálculo y comprobación iterativo para cada tipo de luminaria empleado, teniendo que considerarse varios parámetros simultáneamente (distancias, distribución, número de luminarias, flujos lumínicos, factores de corrección, etc.). Dado que se trata de un proceso manual y laborioso, suele repercutir en una gran cantidad de errores, que en muchas ocasiones desemboca en una elección de luminaria poco acertada. Además, hace muy difícil poder ampliar el abanico de lámparas consideradas dado que, cada tipo considerado, supone repetir el proceso. Esto aumentaba considerablemente los tiempos de diseño de la instalación. Esta situación facilitaba que el técnico se remitiera a los estudios facilitados por un fabricante, a lo sumo dos, perdiendo toda visión objetiva de los criterios lumínicos considerados para su elección, dependiendo únicamente de la honradez del fabricante.

Con el desarrollo de la informática, aparecieron distintos programas software que permitían calcular los niveles lumínicos bajo distintas circunstancias y condiciones y en distintos entornos, haciendo uso de ficheros en formatos estandarizados que contienen los valores luminotécnicos de luminarias comerciales obtenidos en condiciones de laboratorio.

Hoy en día, uno de los programas de reconocido prestigio mundial que más ha evolucionado y de uso más extendido, es “*DialLux*”⁶ en el que participan decenas de fabricantes del mundo de la iluminación. Este programa ha ido evolucionando con el paso de los años, permitiendo incluso descargarse e incluir los datos fotométricos de una cantidad ingente de equipos de iluminación sin salir de la propia aplicación.

Aunque “*DialLux*” es un programa completísimo que satisface cualquier necesidad relacionada con el mundo de la iluminación en función de la normativa nacional para cualquier tipo de luminaria, únicamente con que disponga información de sus curvas fotométricas en formatos preestablecidos, el proyectista está obligado a hacer el estudio de manera individual. Es decir, está obligado a realizar un estudio por cada tipo de luminaria a analizar antes de decantarse por una que se ajuste a las necesidades del proyecto que esté tratando en cada momento.

Por otro lado, algunos grandes fabricantes de luminarias han desarrollado su propio software específico para este tipo de tareas, cuyo nivel de detalle y funcionalidades está cuidado al mínimo

⁵ Para más detalle sobre los métodos clásicos de cálculo referirse al apartado 9.3 del libro Curso de Iluminación integrada en la arquitectura [4] y al resto de la Bibliografía enumerada en este trabajo.

⁶ <https://www.dialux.com/es-ES/>

detalle. Sin embargo, suelen estar limitados en cuanto a que sólo permiten hacer estudios con las luminarias del propio fabricante.

Otra posibilidad, es facilitar al propio fabricante de luminarias las condiciones de nuestros proyectos para que ellos mismos realicen distintos estudios proponiendo luminarias específicas de entre las existentes en su propio catálogo. Sin embargo, esta posibilidad hace que muchos aspectos queden fuera del control del proyectista.

Por otro lado, aunque se disponga de estudios específicos de varios fabricantes, en la mayoría de las ocasiones es difícil comparar luminarias, dado que la información se da en distintos formatos u omitiendo en muchos casos ciertos parámetros. Esto obligaría a introducir criterios interpretativos subjetivos para comparar las luminarias.

Como veremos en la siguiente sección, en este trabajo se propone una Metodología y se presenta una herramienta sencilla que puede ser un complemento ideal para combinar, en mayor o menor grado, los métodos que se acaban de exponer, facilitando al técnico la elección de luminaria de una forma objetiva.

3. Desarrollo, herramientas y librerías empleadas

En esta sección se pretende describir, con el mayor detalle posible, las distintas metodologías propuestas para la realización de proyectos de eficiencia energética de alumbrado público y se presentan las herramientas de asistencia técnica desarrolladas para facilitar esta labor.

Se seguirá el mismo orden y estructura utilizada en la sección 2, *Estudio teórico*, de manera que se pueda comparar fácilmente el estado del arte en cada una de las fases en las que puede dividirse el proceso de redacción de proyectos con la Metodología propuesta, analizando de manera individual las ventajas que conlleva cada caso.

3.1. Redacción de proyectos de eficiencia energética de instalaciones de alumbrado público

3.1.1. Adquisición de datos

Análisis de la situación actual:

En la sección anterior, se describía de manera somera el proceso seguido para la recopilación de datos que consiste, básicamente, en un proceso manual, tanto en trabajo de campo, como a la hora de introducir esa información en programas ofimáticos y de CAD. Este procedimiento supone un proceso farragoso, dado que conlleva duplicar el trabajo realizado; por un lado es necesario recopilar los datos en papel; después, se necesita traspasar la información a un programa CAD para conformar los planos de la instalación; además, en la mayoría de casos, también se lista dicha información en una hoja de cálculo para, en fases posteriores, poder diseñar y calcular la instalación; todos estos pasos tienen como objetivo principal, justificar la reducción de consumo y, por tanto, el aumento de eficiencia energética.

Toma de datos de campo: para realizar esta labor con un mínimo de garantías, es necesario disponer de una base cartográfica convenientemente actualizada. En muchos casos esto no es posible, lo que

dificulta enormemente la labor; muchas veces es difícil situar geográficamente los puntos de luz a anotar. Por descontado, es necesario imprimir la base cartográfica en papel, lo que muchas veces, debido al tamaño de la instalación, requiere una impresión en formatos de tamaño considerable, incluso fraccionarla en varios documentos, lo que dificulta su manipulación. Hay que tener en cuenta que, en instalaciones de cierto tamaño, es difícil orientarse para situar en el plano el punto de luz que queremos anotar en cada momento; esto supone una pérdida de tiempo considerable.

Además, normalmente se opta por la representación de un símbolo distinto para cada tipo de luminaria; si bien en un principio esto puede ser una buena idea para agilizar la labor, no permite anotar con el suficiente detalle toda la información necesaria; en un intento de mejorar la claridad de la presentación es necesario cambiar constantemente la orientación de los símbolos. Esto, facilita cometer errores al insertar cada punto en el sitio que debería corresponderle. Como veremos, para mejorar este aspecto se propone la creación de bloques totalmente simétricos en cualquier orientación.

Traspaso de datos al software informático: Después de la toma de datos, el siguiente paso es traspasar esa información para su estudio a un programa CAD creando los planos de la instalación. La toma manual de datos nos lleva irremisiblemente a la necesidad de hacer este traspaso, otra vez, de forma manual, “copiando” puntos de luz en papel al programa CAD. Este trabajo vuelve a ser un trabajo, no solo redundante, sino arduo y muy propenso a errores, duplicando e incluso omitiendo puntos de luz. Para ello, es necesario situar individualmente estos puntos, lo que suele acarrear numerosas imprecisiones.

Por último, es necesario volver a introducir manualmente una relación de puntos y sus características en una hoja de cálculo. Una vez hecho el diseño de la instalación, muy probablemente, será necesario volver a introducir los puntos de luz y una nueva distribución, en su caso, en el programa CAD siguiendo un proceso iterativo que nos obliga a repetir muchos de los pasos.

Metodología y herramientas propuestas:

Para facilitar la toma de datos en campo, se propone el uso de equipos electrónicos de adquisición de datos. Estos facilitan enormemente la labor; además, permite automatizar la manipulación de datos en las siguientes fases. Como complemento, se propone una metodología que permita estandarizar y tabular la información introducida, así como facilitar el futuro diseño de la instalación a renovar.

Existen muchos equipos de adquisición de datos profesionales específicamente diseñados para recogida de datos de instalaciones con tipologías similares: instalaciones eléctricas, de agua, de saneamiento, señalización vial, inventariado de todo tipo, etc.

El equipo elegido se trata del Modelo JUNO SC de la Marca Trimble Navigation Limited⁷. Es un equipo específico de adquisición de datos en campo muy robusto y preparado para ser utilizado en el exterior. Permite una gran versatilidad ya que permite inventariar todo tipo de instalaciones y geo-posicionar toda la información, dado que dispone de módulo GPS de gran precisión. Aunque su pantalla es táctil preparada para visualizarse correctamente a plena luz del sol, dispone también de botones físicos;

⁷ www.trimble.com

asimismo dispone de cámara de manera que se puedan insertar imágenes de los puntos que se consideren necesarios, lo que posibilita crear un registro de incidencias y averías.



Ilustración 5.- Detalles del Equipo de adquisición de datos JUNO series de la Marca Trimble

La compañía facilita software específico para configurar y usar sus productos fácilmente. Para la realización de este trabajo se ha utilizado el programa TerraSync Studio v5.60, que permite configurar la interfaz de usuario mostrada en el equipo, y el programa GPS Pathfinder Office, que permite descargar y tratar los datos adquiridos en cualquier equipo con Windows.

Mediante el Programa TerraSync Studio v5.60 se ha creado una interfaz sencilla donde el personal que recoge los datos de la instalación existente, para cada punto seleccionado, ya sea un centro de mando o una luminaria, puede seleccionar la información previamente definida.

Para ello, se hace uso del denominado, *diccionario de datos*, donde se introducen los tipos de puntos que se deben adquirir y los campos o atributos de información que se deseen. De esta manera, el operario, una vez situado junto al punto de que se trate, sólo tiene que ir introduciendo la información que se le va solicitando a través de la interfaz de usuario. El programa guarda la información del punto previo cada vez que se cambia de registro y añade los campos que se hayan definido como automáticos, por lo que sólo es necesario que el operario cambie los atributos que sean distintos en cada punto, lo que agiliza mucho el proceso de toma de datos.

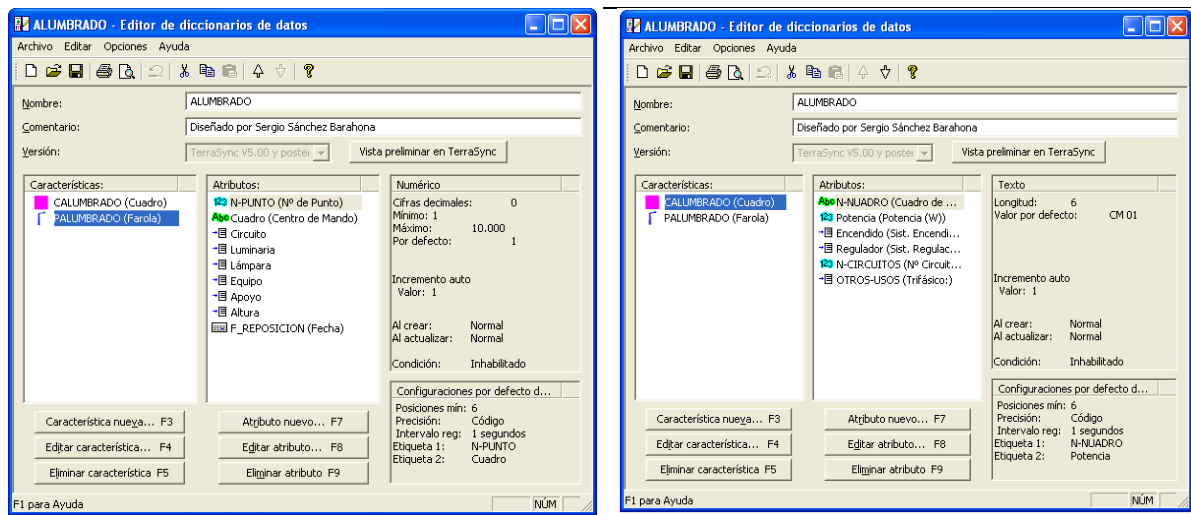


Ilustración 6.- Detalle del editor de diccionarios que ofrece el software Terrasync donde se pueden apreciar los puntos creados (CALUMBRADO y PALUMBRADO) y sus respectivos atributos

Por otro lado, el operario no necesita conocer el municipio donde se están tomando datos; sólo tiene que ir recorriendo las distintas calles y posicionándose junto a cada punto para introducir los datos que le sean requeridos.

Una pequeña desventaja que presenta este proceso es que el sistema no facilita ningún sistema para saber qué puntos de luz se han tomado ya, por lo que la persona encargada de registrar los datos debe tener la precaución de ir anotando las calles por las que ya ha pasado.

Posteriormente, la toma de datos y su información asociada se puede descargar fácilmente en el programa *GPS Pathfinder Office*.

La aplicación permite seleccionar los datos en el sistema de coordenadas que se desee. Para este trabajo se ha elegido el sistema de coordenadas U.T.M. con datum ETRS89, ya que la cartografía Catastral oficial utilizada se facilita en este sistema de coordenadas.

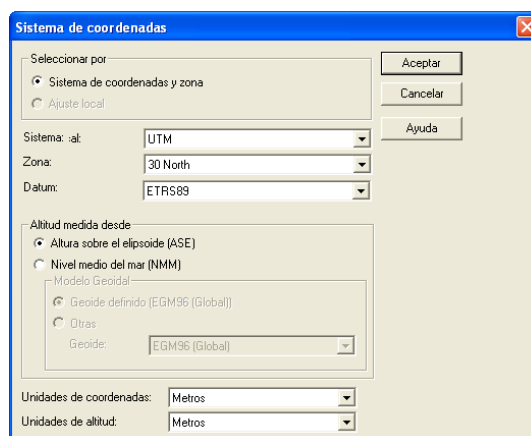


Ilustración 7.- Sistema de Coordenadas y Datum utilizados para la base cartográfica

Después, fácilmente se pueden exportar en distintos formatos ya sea en formato vectorial (shapefile) o en formato de base de datos (mdb). En este trabajo se ha elegido un fichero con formato base de datos de Microsoft Access dado que es muy fácil de manipular.

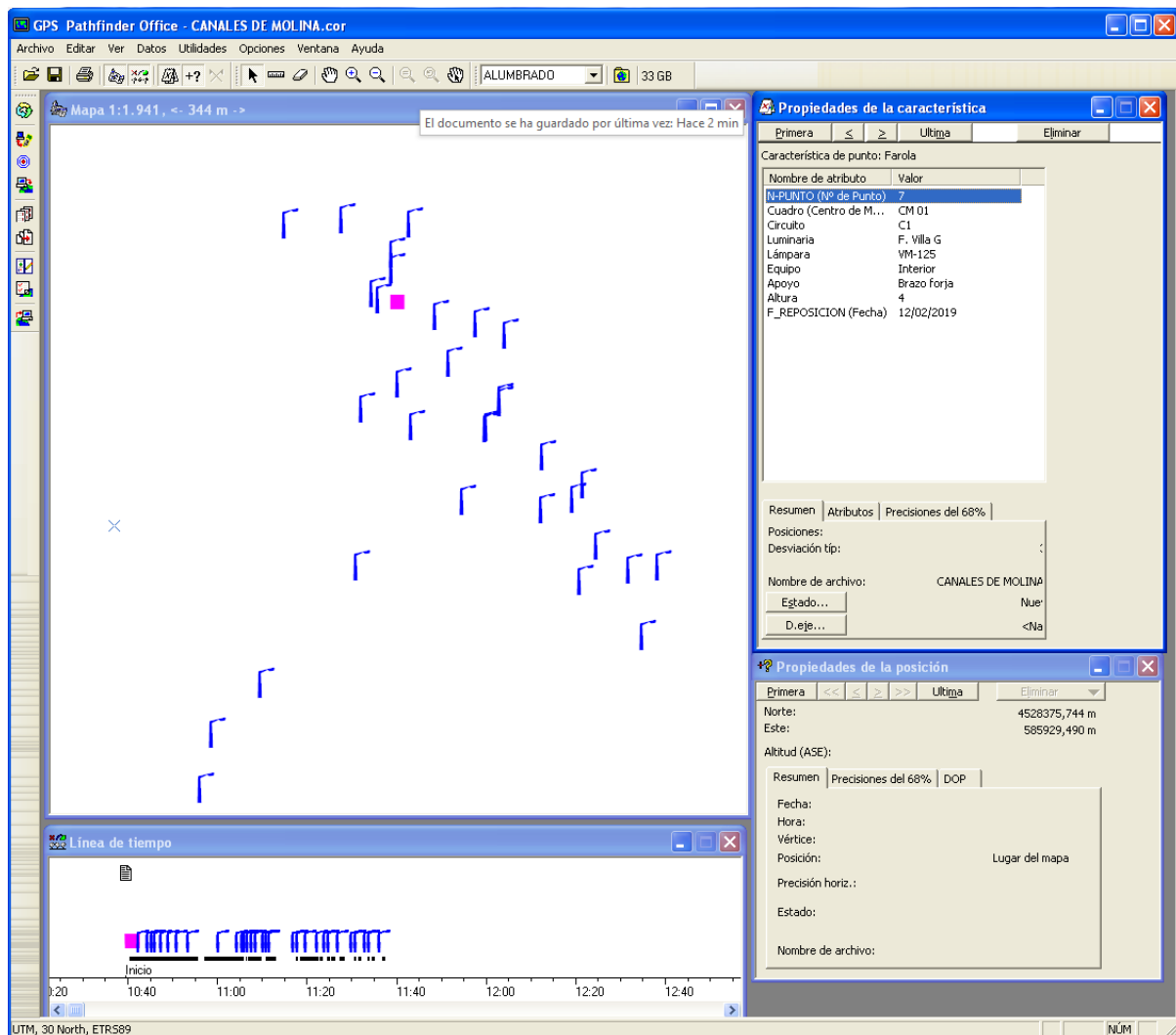


Ilustración 8.- Ejemplo de la interfaz de usuario del programa GPS Pathfinder Office suministrado con el equipo de adquisición de datos TRIMBLE

Una ventaja adicional a la hora de adquirir datos con estos equipos, en función del volumen de información y la dispersión geográfica de las instalaciones a inventariar, es que se pueden adquirir varios equipos. Esto, si bien incrementa el coste, permite la toma de datos de manera paralela por varias personas a la vez lo que reduce el tiempo de preparación del proyecto.

3.1.2. Estudio de la situación actual y normalización de los datos adquiridos

Hasta ahora nos hemos centrado sólo en la adquisición de un equipo específico para la toma de datos. No obstante, una buena planificación del tipo de información que se va a introducir y de su formato, puede contribuir a reducir el tiempo necesario de trabajo de campo y a facilitar considerablemente el trabajo al técnico que diseña la instalación.

Mientras se hacían pruebas para la adquisición de datos durante la realización de este trabajo, llegamos a la conclusión de que la casuística de este tipo de instalaciones era enorme. Esto no sólo dificultaba enormemente el proceso de toma de datos, sino también la representación de estos en el programa CAD y su posterior estudio para el diseño de la nueva instalación.

Estudiando minuciosamente toda la información a recopilar relacionada con los puntos de luz, se pudieron establecer 9 campos o atributos de datos distintos. A su vez, cada atributo podía acotarse y limitarse a una serie de datos previamente definidos. Esta estandarización, no supone una pérdida relevante de información; sin embargo, facilita mucho su adquisición y su posterior tratamiento.

La persona que introduce los datos en el equipo de adquisición debe elegir la información a recopilar de cada punto de entre unos campos predefinidos que se muestran en forma de lista desplegable. Si bien es cierto, que en ciertos casos el operario debe decidir a qué campo hay que asignar una determinada especificación de los equipos cuando la descripción no se ajusta exactamente a una de las opciones establecidas, introduciendo cierto nivel de complejidad, se ha comprobado que las ventajas que presenta superan con creces los inconvenientes de esta elección. Asimismo, se habilita una opción para que el usuario pueda introducir nuevos campos descriptivos en el caso de que sea absolutamente necesario.

A continuación, se muestra el listado de campos y atributos creados para definir por completo todo tipo de luminarias de alumbrado público, desde el punto de vista de realización de proyectos de eficiencia energética, así como las distintas opciones de cada campo de manera que se estandarice la información.

Tabla 1.- Atributos que definen una luminaria y que permiten estandarizar cualquier instalación de alumbrado público

Luminarias	Lámparas	Equipos	Apoyos
Aplique	VSAP-70-Tu	Interior	Báculo
F. Casco	VSAP-70-Ov	Programado	Báculo doble
F. Cónica	VSAP-70	Doble nivel	Báculo galvanizado
F. Fernandino G	VSAP-250-Tu	Exterior	Brazo chapa
F. Fernandino	VSAP-250-Ov	T PLC	Brazo forja
F. Fernandino CBO	VSAP-250	Regulable	Brazo fundición
F. Globo	VSAP-150-Tu	T RADIO	Brazo mural
F. Nano	VSAP-150-Ov		Brazo tubular fino
F. Romantico G	VSAP-150		Brazo tubular grueso
F. Villa	VSAP-100-Tu		Columna
F. Villa CBO	VSAP-100-Ov		Columna chapa
F. Villa G	VSAP-100		Columna fundición
L. Básica	VM-80		Columna fundición doble
L. Cazoleta	VM-250		Columna galvanizada
L. Vial	VM-125		Columna galvanizada cuádruple
Proyector	LED-70		Columna galvanizada doble
Mod X	LED-60		Columna galvanizada triple
Mod Y	LED-50		Poste hormigón
	LED-40		Poste madera
	LED-30		En soporte
	HM-70		
	HM-50		
	HM-400		
	HM-40		
	HM-150		
	FC-16		
	5xVSAP-150		
	5xLED-40		
	4xLED-70		
	3xVSAP-250		
	3xVSAP-150		

3xLED-70
2xVSAP-250-Tu
2xVSAP-150
2xLED-70
2xHM-250
3xLED-40
4xLED-40
5xVM-125
4xVM-125
3xVM-125

3.1.3. Conformación del inventario. Diseño de la instalación. Selección de equipos y material

En esta fase, tal y como se adelantaba en puntos anteriores, se pretende que toda la información introducida esté normalizada y estandarizada y que, además, la manera en que se introduce siga unas pautas preestablecidas que puedan ser fácilmente reproducibles en el futuro.

Este apartado se ha dividido en cuatro grandes bloques que faciliten su lectura y su asimilación: consideraciones generales, conformación del inventario, diseño de la instalación y selección de equipos y material.

3.1.3.1. Consideraciones generales

Para entender la Metodología planteada hay que tener en cuenta una serie de consideraciones generales.

Estas consideraciones se han dividido en tres bloques:

1. Metodología de trabajo para conformar el inventario
2. Metodología para la representación gráfica del inventario
3. Representación y formato de los elementos de una instalación de alumbrado público

Pasamos ahora a describir detalladamente cada uno de estos tres bloques:

1. Metodología de trabajo para conformar el inventario.

La Metodología propuesta se basa en trabajar una única vez, automatizando en la medida de lo posible todo el proceso de conformación del inventario.

Teniendo siempre en cuenta esta premisa, se han valorado las distintas herramientas existentes en el mercado y se ha optado por el uso de:

- Microsoft Excel, como hoja de cálculo, donde, primero se introducirá toda la información y, segundo, será modificada y tratada,
- AutoCAD, como herramienta de diseño gráfico, donde se grafiará y representará toda la información para la posterior confección de los planos que forman parte del proyecto.

La elección de este software se justifica debido a que facilita el desarrollo de las herramientas de asistencia técnica mediante un lenguaje de programación sencillo, como es Visual Basic,

además de facilitar librerías de conexión de datos que se integran dentro del propio software. Por otro lado, es el software de uso más extendido para la realización de todo tipo de proyectos técnicos, conocido por la inmensa mayoría de usuarios.

Es importante destacar que la hoja de cálculo en formato Excel es el punto central de todo el proceso. Siempre que sea posible, toda la información disponible se tratará y manipulará desde la hoja de cálculo con ayuda de las herramientas que se han diseñado, incluso la manipulación de los planos.

Para ello, se han insertado una serie de menús contextuales accesibles pulsando sobre el botón derecho del ratón en cualquier punto de la hoja de cálculo y organizados siguiendo una estructura lógica.

En ocasiones muy limitadas, como la colocación de nuevos puntos de luz o su desplazamiento, y aunque sería posible desde la hoja de cálculo, se hará uso del programa AutoCAD.

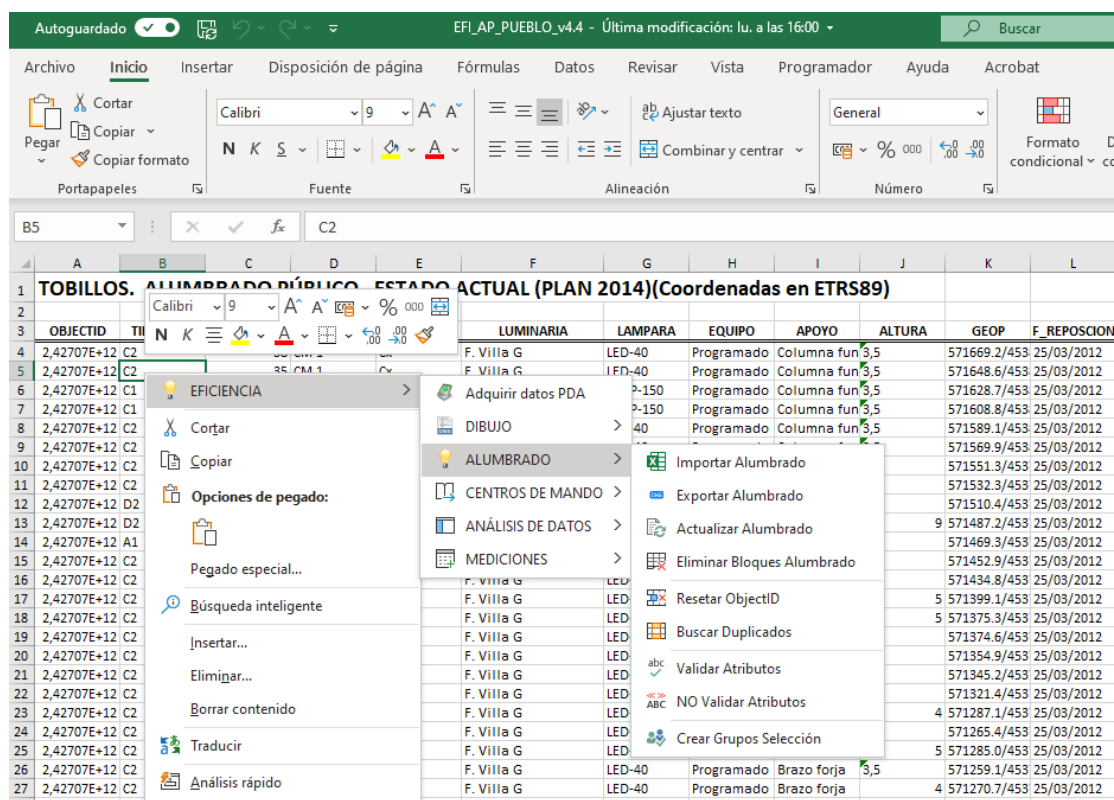


Ilustración 9.- Detalle del menú contextual desplegable insertado en el programa Excel

Las herramientas insertadas en el fichero Excel se han diseñado para que exista una comunicación bidireccional entre la hoja de cálculo y el programa AutoCAD utilizando la librería para módulos VBA de AutoCAD facilitada por Autodesk.

Por otro lado, es necesario tener presente que la hoja de cálculo se ha diseñado para que cada funcionalidad se ejecute en una hoja de Excel diferente en función del resultado que se pretende. Así, la descarga de los datos tomados *in situ* deberá hacerse en la hoja "ACTUAL". Los distintos estudios de consumo en la hoja "Consumos", etc.

2. Metodología para la representación gráfica del inventario

Para la representación gráfica de la información se ha elegido el programa AutoCAD. En este trabajo se ha utilizado la versión 2018, no obstante, todo lo planteado puede extenderse a cualquier versión, incluido las más actuales.

La Metodología planteada desde el punto vista gráfico es muy sencilla. Se basa en, haciendo uso de las capas de AutoCAD, representar cada tipo de información en una capa distinta, así como su subdivisión en distintos años. De esta manera podremos consultar en cualquier momento el histórico de actuaciones que ha sufrido la instalación a lo largo de los años.

Este tipo de instalaciones, desde el punto de vista del inventario, puede dividirse en dos tipos:

- Puntos de luz, que incluyen la luminaria y su soporte
- Centros de Mando desde donde se suministra energía eléctrica y donde se instalan los componentes de medida, protección y mando de los puntos de luz que tienen su origen en el mismo.

Teniendo en cuenta lo anterior, cada uno de estos dos tipos se insertarán en una capa distinta. Cada una de estas capas, además, se dividirán en el año en el que se adquirieron los datos. Para facilitar su representación y su interpretación, cada una de estas capas se representarán en un color diferente.

Se ha estandarizado el formato con el que denominar cada una de estas capas como sigue:

- Puntos de Alumbrado: “XXX[espacio]ALUMBRADO P”
- Centros de Mando: “XXX[espacio]ALUMBRADO C”

donde “XXX” representan las tres últimas cifras numéricas del año de la instalación.

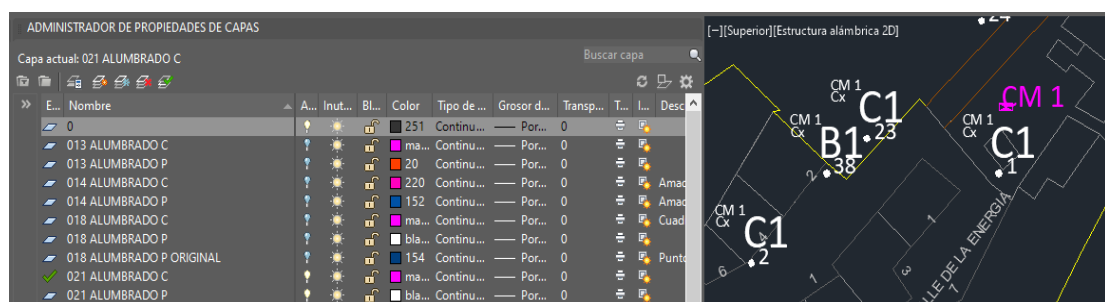


Ilustración 10.- Ejemplo donde se aprecian las capas existentes en el programa AutoCAD para conformar el inventario de Alumbrado Público, según lo expuesto en este apartado

Esta manera de estructurar la información habrá que tenerla siempre en cuenta para que la Metodología propuesta facilite realmente la labor del técnico.

3. Representación y formato de los elementos de una instalación de alumbrado público

La representación gráfica de información se basa en la inserción de bloques a los que se les ha asignado unos atributos específicos que contienen la información que permite describir adecuadamente el objeto al que pretenden representar. Si bien la inserción de bloques con atributos es una característica del programa AutoCAD ampliamente utilizada y no es ninguna

novedad, si lo es en cuanto a que no se suelen aprovechar todas posibilidades que ofrece, esto es, haciendo uso de la librería de conexión con programas del paquete Office de Microsoft mediante el lenguaje VBA.

Así pues, análogamente a la clasificación de capas ya descrita, se han diseñado dos bloques distintos con sus correspondientes atributos. Un bloque que representa los puntos de alumbrado denominado “P_ALUMBRADO” y otro bloque que representa los centros de mando, “C_ALUMBRADO”. Dentro de cada uno de estos bloques se han definido distintos atributos que coinciden con la información recogida durante el proceso de adquisición de datos en campo y algunos campos adicionales que permitan introducir información adicional que facilite la descripción y el diseño de la instalación.

En las siguientes ilustraciones se puede observar el diseño del bloque “P_ALUMBRADO” y sus atributos. Observar que en la representación gráfica del bloque sólo se hacen visibles los atributos más representativos:

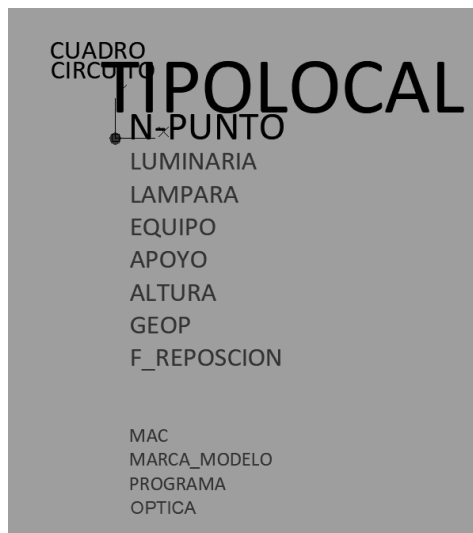


Ilustración 11.- Definición del bloque “P_ALUMBRADO” y sus atributos



Ilustración 12.- Símbolo gráfico que se representa en el espacio de trabajo del bloque P_ALUMBRADO

Análogamente, se diseña un bloque “C_ALUMBRADO” con los atributos que se pueden apreciar en las siguientes ilustraciones:

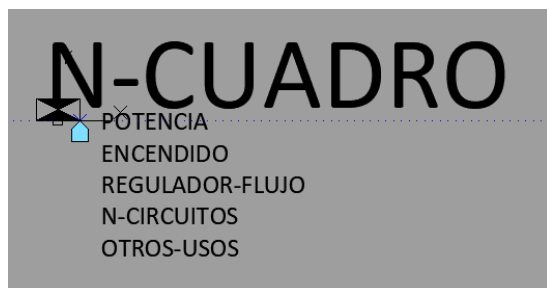


Ilustración 13.- Definición del bloque “C_ALUMBRADO” y sus atributos



Ilustración 14.- Símbolo gráfico que se representa en el espacio de trabajo del bloque C_ALUMBRADO

3.1.3.2. Conformación del inventario

Por conformación del inventario, nos referimos a todas las actuaciones necesarias para que, una vez adquiridos los datos, estos se recojan y reflejen, tanto en soporte gráfico como alfanumérico, de la manera más simple posible. De esta forma, la información pueda ser manipulada en el futuro, cualquiera que sea la finalidad que se pretende.

Como ya se ha comentado, la mayoría de las funcionalidades desarrolladas giran en torno al uso de una hoja Excel. A partir de un menú contextual denominado “EFICIENCIA” accesible desde cualquier punto de la aplicación pulsando el botón derecho del ratón, podemos acceder a las distintas herramientas creadas.

Una vez que se ha hecho la toma de datos de la instalación y se ha exportado a un fichero en formato Access, el primer paso es importarla. Se ha creado una función, “Adquirir datos PDA”, accesible desde el menú contextual, que permite seleccionar el fichero Access que contenga la información que queremos descargar. Esta función descarga todos los puntos de luz anotados, así como los centros de mano y los muestra en formato lista con cada campo en una columna, tal y como se puede apreciar en la siguiente figura:

AutoguardadoEFL_AP_PUEBLO_V4.4 - Guardado...Buscar

ArchivoInicioInsertarDisposición de páginaFórmulasDatosRevisarVistaProgramadorAyudaAcrobat

Cortar

Copiar

Copiar formato

Portapapeles

Calibri

9

A

A

Ilustración 15.- Descarga de los datos adquiridos en campo en la hoja "ACTUAL"

Descargados los datos, se pueden estudiar y, en su caso manipular, con las propias funcionalidades que facilita Excel. Como complemento, en el menú contextual “ALUMBRADO”, se han incluido herramientas que facilitan la labor. Éstas pueden ser útiles en el caso de que se quieran cambiar campos, ya sea de manera individual o masiva. Así, se pueden comprobar si existen números de

puntos duplicados, comprobación del texto de los campos, restringir características a las previamente establecidas, resaltar en plano ciertos puntos, etc.

Una vez que el técnico ha revisado la información adquirida, se puede exportar al programa de edición gráfica AutoCAD. Una vez abierta la cartografía catastral de la instalación en AutoCAD, se puede hacer uso de la rutina “Exportar Alumbrado” (en el menú contextual). Ésta crea y posiciona automáticamente todos los puntos de luz y centros de mandos existentes en la hoja “ACTUAL” o “FUTURO” en la capa de AutoCAD previamente seleccionada.

Si se ejecuta esta rutina, se observará que, como por arte de magia, se han insertado en el plano automáticamente todos los puntos y su respectiva información en cuestión de segundos haciendo uso de los bloques previamente definidos en función de si se trata de puntos de luz o centros de mando.

Por el contrario, si se hubiese realizado de manera individual siguiendo el método clásico, la cantidad de tiempo invertido para esta labor se hubiese incrementado considerablemente; más cuanto más grande es la instalación. Y no sólo eso, no hay posibilidad de errores, que por otro lado son muy comunes cuando se hace esta labor manualmente.

3.1.3.3. Diseño de la instalación

En este punto disponemos de todos los puntos que conforman la instalación actual en la hoja de Excel “ACTUAL” y en sendas capas de un plano de AutoCAD. El siguiente paso es diseñar la instalación para conseguir que sea energéticamente más eficiente.

Una vez que tenemos el inventario de la instalación que se quiere reformar en la hoja “ACTUAL” de la hoja de cálculo Excel facilitado, el elemento central para el diseño de la instalación pasa a ser ahora la hoja “FUTURO”. La estructura y funcionamiento es exactamente igual para ambas hojas. La diferencia radica en la información que contienen: mientras que la hoja “ACTUAL” contendría la instalación existente, en la Hoja “FUTURO” servirá como base para diseñar la nueva instalación.

Para ello, hay que tener en cuenta una serie de consideraciones: el diseño de la nueva instalación parte de la información de la instalación actual; el nuevo diseño se representará en el programa AutoCAD en sendas nuevas capas, una para puntos de alumbrado y otra para centros de mando, diferenciada de las anteriores en la denominación del año.

El proceso para diseñar la instalación se basa en: primero, trabajar sobre el plano de AutoCAD añadiendo puntos nuevos y desplazándolos si es necesario; segundo, diseño de la instalación sobre la hoja “FUTURO” haciendo uso de las herramientas facilitadas a través del menú contextual.

Tal y cómo se han desarrollado las herramientas que ayudan a diseñar la instalación es recomendable seguir el siguiente procedimiento que facilitará la labor:

1. Exportar la información contenido en la hoja “ACTUAL” a una nueva capa de AutoCAD.

Diseño de metodologías y herramientas de comparación, evaluación Desarrollo, herramientas y asistencia técnica para la redacción de proyectos de eficiencia y librerías empleadas energética de instalaciones de alumbrado público

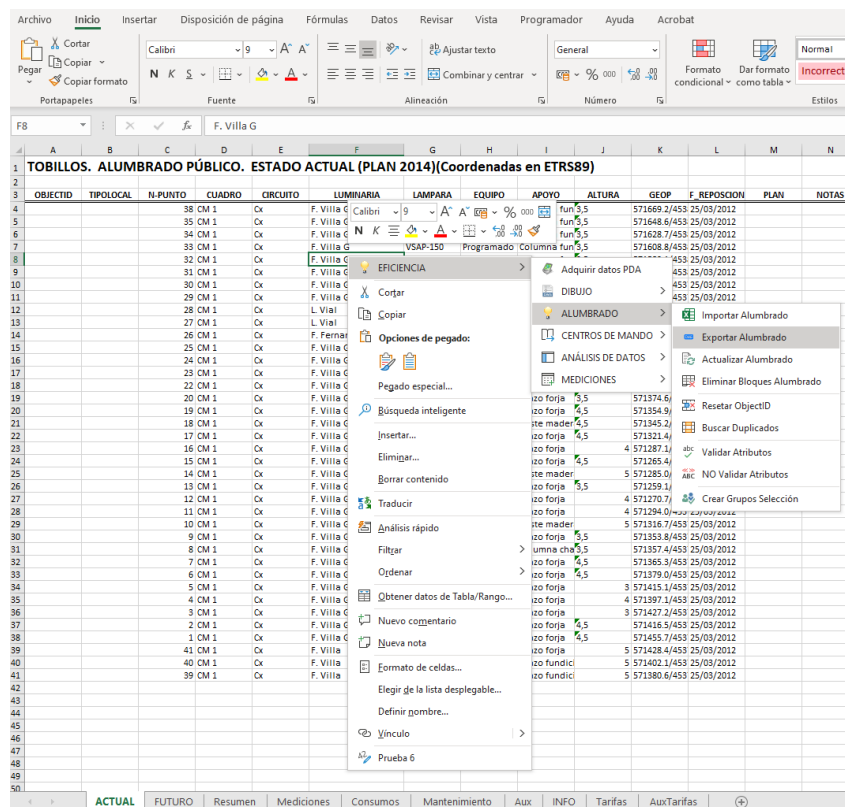


Ilustración 16.- Menú desplegable que permite exportar los puntos existentes de la hoja "ACTUAL" en cualquier capa un plano de AutoCAD

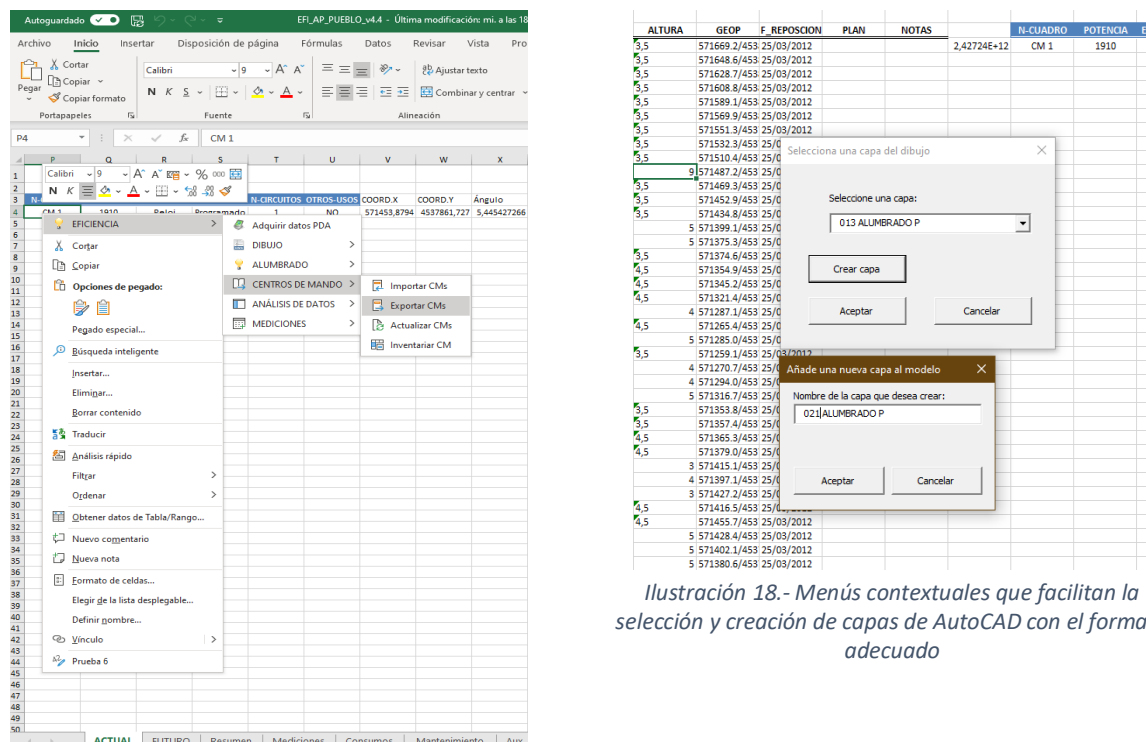


Ilustración 18.- Menús contextuales que facilitan la selección y creación de capas de AutoCAD con el formato adecuado

Ilustración 17.- Menú desplegable que permite exportar los centros de mando existentes de la hoja "ACTUAL" en cualquier capa un plano de AutoCAD

2. Hecho el paso anterior, dispondremos de los puntos de luz y centros de mando actuales en sendas nuevas capas de AutoCAD. Es decir, disponemos de la misma información en capas distintas. El siguiente paso, es volver a importar la información contenida en estas dos nuevas capas, esta vez en la hoja "FUTURO". Una vez que tenemos tanto los puntos de luz, como los centros de mando y sus características en esta hoja, podemos comenzar a diseñar la nueva instalación. Este diseño se basa en modificar los distintos campos existentes para que en ellos aparezcan los nuevos equipos seleccionados. Así, por ejemplo, podemos cambiar las luminarias existentes por otras de nuevo diseño y más eficiente o cambiar la tecnología de la lámpara, normalmente a tipo LED. Si es necesario, también podemos cambiar la numeración de los puntos de luz, los centros de mando desde los que se alimentan de corriente, el circuito, etc.

Destacar que el campo "TIPOLOCAL". Es un campo que se ha diseñado para facilitar en plano la identificación de las características de cada punto de luz. Este campo consta de una primera letra que identifica el tipo de luminaria y un segundo carácter numérico que identifica el tipo de lámpara. De esta manera, no es necesario crear un símbolo distinto para cada tipo de luminaria y lámpara que, dado el número de combinaciones, dificultaría, no sólo la confección de los planos, sino también su comprensión e identificación. Si bien el programa permite asignar el campo "TIPOLOCAL" de manera manual, se facilita una herramienta, que se ejecuta automáticamente antes de actualizar la información en el plano, que identifica y clasifica la información existente para asignar a cada punto la identificación que corresponda; también crea la leyenda que ayuda a identificar cada punto de luz.

Leyenda TipoLocal en función del tipo de LUMINARIA y del tipo de LAMPARA			
F. Fernandín	A	LED-40	1
F. Villa	B		
F. Villa G	C		
L. Vial	D		

Ilustración 19.- Ejemplo de Leyenda generada para la identificación de las características de los puntos de luz

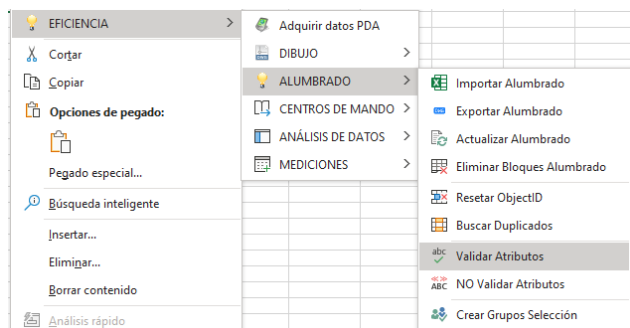


Ilustración 20.- Algunas de las herramientas facilitadas para el diseño de la instalación

También se incluyen herramientas de asistencia para diseñar la instalación: Búsqueda de números de luminaria duplicados, borrado de distinta información, validación de campos para evitar errores de mecanografiado y estandarización de la información y creación de grupos de selección que ayuden a identificar los puntos que se deseen, ya sea incluyéndolos en distintas fases, resaltándolos en colores, etc.

Destacar que, en relación a los centros de mando, el proyectista sólo tiene que preocuparse de la inserción de nuevos centros y su denominación. El resto de los campos: potencia, encendido, regulador, número de circuitos y otros usos son completados automáticamente por una rutina creada para ello en función de los puntos de luz que dependen de cada centro de mando.

- Una vez que hemos modificado la instalación existente hasta alcanzar el diseño que pretendemos, el siguiente paso es actualizar la información en las capas correspondientes de AutoCAD a través de los menús contextuales. Este proceso se hará de manera independiente para puntos de luz y para centros de mando. Con ello, ya tendremos actualizado nuestro plano.
 - Si por los motivos que sea, el diseñador considera necesario la inserción de nuevos puntos de luz, dado que los existentes, no cubren las necesidades futuras o el desplazamiento de ciertos puntos existentes para que, por ejemplo, queden equidistantes, o cambiar su tipología de distribución (tresbolillo, simple, paralela, etc.) este puede hacerlo directamente en AutoCAD con ayuda de las distintas opciones existentes en AutoCAD para ello, como copiar bloque, desplazar, matriz, etc.
- Una vez modificados los elementos que se deseen, habría que actualizar de nuevo la hoja de Excel "FUTURO"; el programa detecta que puntos se han desplazado y cuales se han creado nuevos resaltándolos para que el proyectista pueda identificar perfectamente los nuevos cambios.

OBJETO	TIPO	N. PUNTO	COORDENADAS	CIRCUITO	LUMINARIA	EQUIPO	APOYO	ALTURA	GEOP	REPOSICION	PLAN	NOTAS
2,37943E+12	C1	1	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571455.7/453 25/03/2012		2,37943E+12
2,37943E+12	C1	2	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571416.5/453 25/03/2012	PLAN 2021	
2,37943E+12	C1	3	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	3	571427.2/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	4	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4	571397.1/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	5	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	3	571415.1/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	6	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571379.0/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	7	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571365.3/453 25/03/2012	PLAN 2021	
2,37943E+12	C1	8	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna chapa	3,5	571357.4/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	9	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	3,5	571353.8/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	10	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo tubular grueso	5	571316.7/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	11	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4	571294.0/453 25/03/2012	PLAN 2021	El punto se ha desplazado
2,37943E+12	C1	12	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4	571270.7/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	13	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	3,5	571259.1/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	14	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	5	571285.0/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	15	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571265.4/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	16	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4	571287.1/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	17	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571321.4/453 25/03/2012	PLAN 2021	
2,37943E+12	C1	18	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571345.2/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	19	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571354.9/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	20	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	3,5	571374.6/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	21	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	5	571375.3/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	22	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	5	571399.1/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	23	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	3,5	571434.8/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	24	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	3,5	571452.9/453 25/03/2012		
2,37943E+12	A1	25	CM 1	Cx	F. Fernando	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571469.3/453 25/03/2012		
2,37943E+12	D1	26	CM 1	Cx	L. Vial	LED-40	T PLC	Columna fundición	9	571487.2/453 25/03/2012		El punto se ha eliminado
2,37943E+12	D1	27	CM 1	Cx	L. Vial	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571510.3/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	28	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571532.3/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	29	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571551.3/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	30	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571569.9/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	31	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571589.1/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	32	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571608.8/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	33	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571628.7/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	34	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571648.6/453 25/03/2012		
2,37943E+12	C1	35	CM 1	Cx	F. Villa G	LED-40	T PLC	Columna fundición	3,5	571669.2/453 25/03/2012		
2,37943E+12	B1	36	CM 1	Cx	F. Villa	LED-40	T PLC	Brazo fundición	5	571380.6/453 25/03/2012		
2,37943E+12	B1	37	CM 1	Cx	F. Villa	LED-40	T PLC	Brazo fundición	5	571402.1/453 25/03/2012		
2,37943E+12	B1	38	CM 1	Cx	F. Villa	LED-40	T PLC	Brazo forja	5	571428.4/453 25/03/2012		
2,37965E+12	C1	40	CM 1	C1	F. Villa G	LED-40	T PLC	Brazo forja	4,5	571401.2/453 25/03/2012		Nuevo!!!

Ilustración 21.- Ejemplo del uso de las herramientas de existencia técnica para modificar la instalación actual. Muestra en distintos códigos de colores los puntos desplazados, eliminados y creados. Además, facilita la identificación de números duplicados y que su numeración sea correlativa

5. Los puntos 1 a 4, pueden repetirse tantas veces como se desee hasta que la nueva instalación quede totalmente definida.

Aunque es aconsejable que se siga el orden en el procedimiento propuesto, el proyectista puede saltarse los pasos que desee, así como alterar su orden cuando se considere necesario. La herramienta se ha diseñado para que la información se transmita de manera bidireccional entre el libro de Excel y el programa AutoCAD incluyendo funcionalidades que permiten saber al final del cada proceso que es lo que acaba de hacerse y si éste ha sido correcto y sus errores.

3.1.3.4. Selección de equipos y material

Paralelamente al proceso de diseño, se han desarrollado diversas herramientas que permiten al proyectista elegir entre los distintos equipos y material que previamente se ha definido durante la conformación del inventario. De esta manera se evitan errores a la hora de asignar este tipo de características a cada luminaria. El programa, si se habilita la opción correspondiente, muestra mediante menús desplegables las opciones disponibles para su selección.

Estas opciones están contenidas en la hoja “Aux” de la hoja de cálculo Excel facilitada. Las herramientas facilitadas, implementan rutinas que ayudan a mantener actualizadas, ampliar o reducir las opciones disponibles mostrando cuadros de diálogo, calculando automáticamente las potencias totales en el caso de apoyos con varios puntos de luz y resaltando en distintos colores la inserción de nuevos campos. De esta manera el ingeniero puede decidir en cada momento si incorpora nueva información a la instalación o incluso la reduce, en el caso de que se crea conveniente por resultar más sencillo para su diseño.

Por otro lado, se facilita una nueva hoja de Excel que permite la comparación y selección de luminarias de distintos fabricantes. Para facilitar su descripción, dado lo extenso de esta nueva herramienta, se remite al lector al apartada 3.3 de esta sección.

3.1.4. Estudio de la facturación eléctrica de la instalación

Como ya se ha comentado, el estudio de la facturación, siguiendo el método tradicional, sigue siendo un proceso manual. Este estudio, en instalaciones grandes con gran número de contratos de suministro, suele hacerse de manera global, sin analizar detalladamente de cada suministro. Esto reduce considerablemente la capacidad de conocer con detalle la eficiencia energética de la instalación, algo que, en nuestra opinión, no es conveniente, puesto que puede resultar estimaciones engañosas que finalmente no suelen cumplirse y que desembocan en un aumento de los costes y tiempos de retorno de la inversión.

El primer paso para el estudio de la facturación es tener acceso a las propias facturas, al menos una por cada contrato de suministro eléctrico con que cuenta la instalación, normalmente asociada al cuadro de cabecera o centro de mando. Tradicionalmente, este paso implica que el propio proyectista extraiga la información de manera manual de cada factura, un trabajo largo y tedioso, propenso a errores y a omitir información clave. En muchos casos no era posible tener acceso a la facturación, al menos de manera directa. Esto resultaba en estimaciones muy generales, ya sea por falta de información, ya sea para reducir tiempo invertido a la hora de redactar el proyecto.

Para facilitar la labor al proyectista la metodología propuesta se basa en los siguientes pasos:

1. Se facilita al propietario de la instalación una hoja de Excel lo más sencilla posible y fácil de entender, donde se debe introducir la información de la facturación.
2. Automatizar completamente el proceso para estimar la reducción de consumos de la manera más completa posible.
3. Mostrar de la manera detallada toda la información contemplada. Mostrar los resultados en el formato más sencillo posible que permita comparar los resultados e interpretarlos.

Dentro del archivo Excel facilitado se ha creado una hoja denominada “Consumos” donde, de manera centralizada, se puede realizar todo el proceso a través de los menús contextuales accesibles pulsando el botón derecho del ratón en cualquier lugar de la hoja.

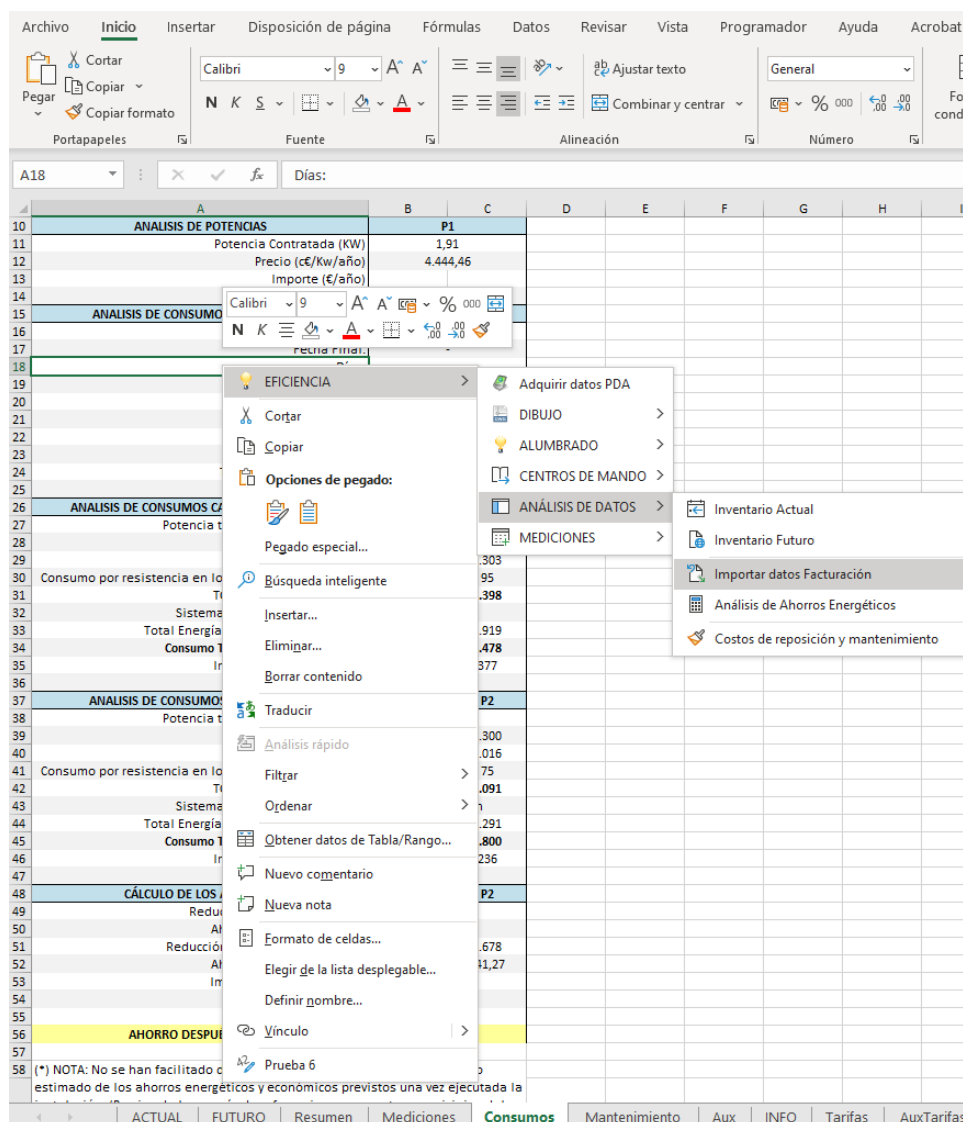


Ilustración 22.- Menú contextual que da acceso a las funcionalidades facilitadas para hacer un análisis de ahorros energéticos

El primer paso consiste en conseguir la facturación energética de cada contrato para el suministro de energía eléctrica de las instalaciones de alumbrado público. Para este objetivo se ha diseñado una

hoja de Excel sencilla que se debe facilitar al propietario de la instalación. Cada interesado tendrá que rellenar la información incluida en el formulario que tiene el siguiente aspecto:

Centro de Mando:	CMX	Fecha Factura:	16/11/2018
Compañía Comercializadora:			
CUPS:			
Ref. Contrato:			
Dirección de suministro:			
Tarifa:			
Periodo:	P1	P2	P3
Pc(KW):			
Periodo:	P1	P2	P3
Potencia (c€/Kw/año)			
Energía (c€/Kwh):			
Número Contador:			
Fecha Primera Lectura:			
	P1	P2	P3
Lectura Anterior			
Fecha Última Lectura			
	P1	P2	P3
Lectura Actual			
CONSUMO TOTAL:	0	0	0

Ilustración 23.- Ejemplo de la información sobre la facturación que debe facilitar el propietario de la instalación

Es necesario rellenar un cuadro por cada centro de mando incluido en el proyecto dentro de la misma hoja del Excel facilitada. Cuanta más información relativa a la tarifa, los precios unitarios de los términos fijos y variables y la lectura del contador se faciliten, más ajustada será la estimación a la realidad. El consumo total se hace de forma automática.

Se facilita a cada titular un fichero Excel con la siguiente denominación: “*Datos Consumo [PUEBLO].xlsx*”, donde “*PUEBLO*” se sustituye por el nombre del municipio donde radica la instalación. El programa selecciona automáticamente el fichero necesario para realizar los cálculos en función del municipio donde radique la instalación que se está proyectando.

Una vez recopilada la información de facturación a través del fichero facilitado, situándonos en la hoja “*Consumo*” podemos hacer uso del menú contextual para que, con un simple clic calcule automáticamente la reducción de consumos previstos y el ahorro económico que supone para cada centro de mando incluido en el proyecto.

Esto ahorra una enorme cantidad de tiempo y libera al proyectista de esta labor, pudiéndose centrar únicamente en el estudio y valoración de los datos obtenidos y tomar las decisiones que correspondan. Este proceso se puede realizar las veces que se desee de manera que en función de los resultados se pueda ajustar la instalación a proyectar y comprobar el efecto que tiene sobre las previsiones.

Si bien la rutina que implementa todo el proceso de cálculo y representación de la información del estudio de la facturación se ha diseñado de manera que sea totalmente transparente al usuario, se puede modificar de acuerdo con las necesidades concretas de cada instalación.

Adicionalmente, se ha incluido una hoja de cálculo del fichero Excel facilitado denominada “AuxTarifas” donde el técnico, sin necesidad de conocimientos de programación, puede modificar los parámetros más representativos y que considere necesarios, para ajustarse a sus propias necesidades. Así, por ejemplo, se pueden cambiar las tarifas, los ahorros contemplados en función del tipo de telegestión prevista, las pérdidas por caídas de tensión en la red de distribución, la forma en que se visualizan los resultados etc.

Durante el desarrollo de la metodología y las herramientas propuestas, cómo ya se ha adelantado, se ha detectado que, en municipios pequeños, en la mayoría de los casos, no era posible obtener información sobre la facturación; al menos de forma directa. Previendo esta casuística, el programa permite realizar los cálculos y estudios necesarios sin esta información. Para ello, si no existe la hoja de Excel donde se introduce la información de la facturación, hace uso de unos precios genéricos para cada tipo de tarifa y que pueden ser modificados en cualquier momento a través de la hoja “AuxTarifas”. Por otro lado, estima el consumo de cada instalación en función de la potencia contratada y prevista y la curva típica de consumo de este tipo de instalaciones. Este hecho es puesto de manifiesto por la propia aplicación mediante anotaciones al margen de la propia tabla mostrada, de manera que quede constancia del método utilizado⁸.

Una vez expuesta la metodología y las herramientas desarrolladas en este sentido, es fácil imaginar la enorme ayuda que aportan al técnico redactor, en un aspecto imprescindible para la viabilidad del proyecto planteado, teniendo siempre como objetivo la máxima eficiencia energética de la instalación. Por otro lado, reduce de manera exponencial el tiempo destinado tradicionalmente a esta labor, de manera además mucho más detallada, y anulando la posibilidad de los típicos errores de cálculo inherentes, cuando se están tratando gran cantidad de datos, no siempre fácilmente entendibles.

3.1.5. Estimación de costes de mantenimiento. Justificación de la eficiencia energética. retorno de la inversión

Cómo ya se ha comentado, la estimación de los costes de mantenimiento inherentes a una instalación de alumbrado público es un aspecto que suele omitirse cuando se diseñan este tipo de instalaciones.

La valoración y estudio de los costes asociados al mantenimiento de la instalación no presenta una complejidad especial, sin embargo, puede implicar un ahorro de costes considerable. Para ello, se ha desarrollado un módulo que ayuda a estimar el ahorro de costes por mantenimiento de la instalación, de manera completamente transparente al técnico redactor.

Se ha habilitado una nueva hoja de Excel denominada “Mantenimiento” donde, a través del menú contextual “Costos de reposición y mantenimiento”, se realizan las operaciones necesarias para que

⁸ Para más detalles sobre la curva de consumo de instalaciones de alumbrado público ver la sección Resultados

se muestre con detalle una comparativa entre los costes actuales y los futuros, cuantificando económicamente el ahorro estimado.

El método propuesto, se basa en estimar el coste aparejado al mantenimiento mínimo obligatorio establecido por el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de alumbrado público y se hace teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Las distintas tecnologías de lámparas,
- Las potencias más usadas en este tipo de instalación,
- Equipos electrónicos,
- Vida útil según las especificaciones del fabricante de la lámpara, hasta un máximo de 20 años,
- Precio de venta al público de las lámparas,
- Número de horas anuales de funcionamiento,
- Coste horario de la mano de obra, y
- El intervalo de limpieza necesario según normativa vigente.

En la siguiente figura se muestran los aspectos considerados y el coste por reposición y mantenimiento en función de la tecnología de lámpara durante una vida útil de la instalación máxima de 20 años:

Tipo	Potencia (W)	Flujo (lm)	Eficacia(lm/w)	Vida útil (h)	Vida útil (años)	Costo Material (€)	Costes reposición y mantenimiento vida útil LED (€)
VM	139	6.500	47	10.000	2,37	12,51	120,92
VSAP	170	17.500	103	20.000	4,73	39,90	159,92
VSAP	277	31.000	112	20.000	4,73	42,80	169,27
HM	84	7.500	89	16.000	3,79	66,30	396,03
LED	40	4.400	110	100.000	20,00	240,00	143,60
Equipo Electromagnético	0	0			20,00	24,20	--
Equipo Electrónico	0	0			5,00	36,20	--

Ilustración 25.- Tabla resumen de costes por reposición y mantenimiento para distintas lámparas típicas de alumbrado público

La funcionalidad desarrollada, haciendo uso del inventario de equipos existentes en la instalación, actual y proyectada, de forma completamente automática, calcula los costes totales atribuibles a un correcto mantenimiento durante la vida útil de la instalación. Este cálculo se muestra pormenorizadamente de manera que sea totalmente justificable si lo que se pretende es solicitar algún tipo de subvención pública.

Comparativa Costo TOTAL reposiciones de Mantenimiento durante la vida útil respecto una luminaria con tecnología LED						
Tecnología	nº puntos	ACTUAL		nº puntos	FUTURO	
		Ud (€)	TOTAL (€)		Ud (€)	TOTAL (€)
VM	131	120,92	15.841,11	128	120,92	15.478,34
VSAP	631	159,92	100.907,88	537	159,92	85.875,64
HM	47	396,03	18.613,40	47	396,03	18.613,40
LED	225	143,60	32.310,00	316	143,60	45.377,60
		TOTAL:	167.672,39		TOTAL:	165.344,98

Ilustración 26.- Ejemplo de cálculo y comparativa de costes asimilables a mantenimiento en una instalación real donde se sustituyen 91 puntos de luz por tecnología LED sobre un total de 1034 puntos

Como se puede observar en la figura anterior, una simple sustitución de 91 lámparas con tecnologías poco eficientes (vapor de mercurio y vapor de sodio) supone un ahorro considerable durante la vida útil de la instalación. En concreto sustituir sólo 8,8% de las lámparas de la instalación supone un ahorro de 2.237,41 €, lo pone de manifiesto la importancia de contemplar este tipo de costes, que no suelen ser considerados.

Para terminar, el programa justifica de manera autónoma la eficiencia energética de la instalación, incluyendo costes derivados del mantenimiento, y en función del presupuesto disponible para reformarla, facilita el plazo de amortización de la inversión, requisito imprescindible si se prevé hacer uso de financiación externa.

AHORRO MANTENIMIENTO:	2.327,41 €	PLAZO DE AMORTIZACIÓN INCLUIDOS AHORROS	
AHORRO ANUAL:	116,37 €		
AHORRO POR CONSUMO ANUAL:	2.768,79 €	Ahorro total Anual (€):	2.885,16 €
AHORRO TOTAL ANUAL:	2.885,16 €	Inversión (€):	7.550,00 €
		Incremento anual precio energía:	7%
		Amortización bruta años:	2,45
		Amortización neta años:	2,62
		Aportación municipal (20%):	1.510,00 €
		Amortización aportación años:	0,49

Ilustración 27.- Ejemplo de cálculo de plazo de amortización para una instalación real realizada por la herramienta desarrollada

Cómo se puede comprobar, la herramienta supone una gran ayuda al técnico que proyecta la instalación, pudiendo, en cuestión de segundos, justificar adecuadamente la inversión a realizar en cualquier instalación para mejorarla energéticamente. Si se hiciese de forma manual sería un proceso costoso muy susceptible a introducir errores, sobre todo si posteriormente se modifica cualquier aspecto de la instalación por los motivos que sean. Por todo ello, se suele omitir este tipo de información en el Proyecto.

3.1.6. Mediciones e inventariado de elementos

Una vez más, el objetivo es liberar al técnico redactor de esta tediosa tarea, tarea que, de otro modo, irremisiblemente, obliga a un conteo manual, no sólo de los equipos existentes, también de los proyectados.

En este sentido, la Metodología propuesta implica la conformación de un inventario, tanto de la instalación actual como de la futura, representado de manera que permita fácilmente su comparación poniendo de manifiesto la reducción de potencia instalada y, por tanto, la reducción de consumos eléctricos. Se conforman también las distintas mediciones de la obra. Todo este proceso ayudará a la realización del presupuesto de ejecución de la obra proyectada, requisito indispensable en cualquier proyecto de obra. Por su puesto, se propone automatizar todo este proceso liberando de esta labor al proyectista.

Para ello, se han añadido al fichero Excel proporcionado, dos hojas:

- Una denominada *“Resumen”*, donde se conformará un inventario de las instalaciones actual y futura y donde se podrá conseguir una fila de totales que permita mostrar la entidad del proyecto que se está redactando.
- Otra hoja denominada *“Mediciones”* donde se reflejarán las mediciones de las distintas unidades de obra. Conformará también la hoja de control de obra que, dada su importancia, se describirá en un apartado propio.

Adicionalmente y con el objeto de recopilar información que sirva, no sólo para poder estudiar y valorar la instalación, sino para conformar información que permita justificar documentalmente la obra proyectada, nos podemos remitir nuevamente a las hojas *“ACTUAL”* Y *“FUTURO”*, donde se conforman diversas tablas que permiten consultar y valorar diversos aspectos de la instalación.

Realizar todas estas tareas es tan sencillo como desplegar el menú contextual, remitirnos a la primera sección del menú análisis de datos.

La rutina diseñada para esta función itera sobre la información existente sobre las hojas *“ACTUAL”* Y *“FUTURO”* para enumerar y listar la información de manera ordenada y con el formato adecuado. Además, toda la información es creada en forma de tabla y se habilitan todas las funciones de Excel para poder manipular la llamada *“fila de totales”* donde se pueden aplicar multitud de funciones predefinidas en el propio programa Excel: conteo de puntos, suma de valores, cálculos estadísticos, etc.

Por otro lado, se realiza una tabla donde se reflejan las mediciones de unidades de obra que después servirá de base para la realización del presupuesto, facilitando enormemente la labor al proyectista.

Por último, se insertan tablas donde se pueden inventariar el número de puntos de luz por Centro de mando, potencias instaladas, números de circuitos y tipos de regulación y/o telegestión.

Nuevamente, todo este proceso se realiza con un solo clic por parte del usuario, liberando al técnico de esta labor y reduciendo enormemente el tiempo destinado a esta labor de hacerse de forma manual.

En las siguientes ilustraciones se muestran ejemplos de la información obtenida con las funcionalidades expuestas en este apartado:

Diseño de metodologías y herramientas de comparación, evaluación Desarrollo, herramientas y asistencia técnica para la redacción de proyectos de eficiencia y librerías empleadas energética de instalaciones de alumbrado público

Autoguardado EFLAP_PUEBLO_v4.4.1 - Última modificación: Ayer a las 10:35

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda Acrobat

Calibri 9 A⁺ A⁻ General Formato condicional Dar formato como tabla Normal Bueno Incorrecto Neutral

J22

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
7	17	L Vial	VSAP-150-Ov	5	1	150	20	170	850		D11	F. Villa G	VSAP-100	55	1	100	16	116	6.380	
8	110	L Vial	VSAP-100-Ov	7	1	100	16	116	812		F18	F. Villa G	LED-40	1	1	40	0	40	40	
9	G2	L Basica 3	VSAP-70-Ov	4	1	70	14	84	336		H2	L Basica 3	VSAP-70-Ov	4	1	70	14	84	336	
10	D12	F. Villa G	VM-80	2	1	80	12	92	184		L20	Proyector	HM-400	45	1	400	25	425	19.125	
11	C14	F. Fernadino G	VM-125	16	1	125	14	139	2.224		C18	Fernadino G	LED-40	2	1	40	0	40	80	
12	14	L Vial	VSAP-250-Tu	3	1	250	27	277	831		D18	F. Villa G	LED-40	32	1	40	0	40	1.280	
13	19	L Vial	VSAP-100-Tu	54	1	100	16	116	6.264		D10	F. Villa G	VSAP-100-Ov	84	1	100	16	116	9.744	
14	15	L Vial	VSAP-250-Ov	23	1	250	27	277	6.371		H14	L Basica 3	VM-125	12	1	125	14	139	1.668	
15	D14	F. Villa G	VM-125	17	1	125	14	139	2.363		A22	Aplicque	FC-16	13	1	16	0	16	208	
16	K6	Proyector	VSAP-150-Tu	6	1	150	20	170	1.020		D3	F. Villa G	VSAP-70	11	1	70	14	84	924	
17	D18	F. Villa G	LED-30	42	1	30	0	30	1.260					1	1	100	16	116	812	
18	D16	F. Villa G	LED-50	27	1	50	0	50	1.350					1	1	100	16	116	1.392	
19	H17	L Casco	LED-40	14	1	40	0	40	560					1	1	125	14	139	2.224	
20	J15	L Vial Led	LED-70	72	1	70	0	70	5.040					1	1	80	12	92	5.612	
21	J17	L Vial Led	LED-40	2	1	40	0	40	80					1	1	100	20	270	810	
22	J16	L Vial Led	LED-50	24	1	50	0	50	1.200					1	1	100	14	84	21.000	
23	D17	F. Villa G	LED-40	16	1	40	0	40	640					1	1	100	20	170	680	
24	H16	L Casco	LED-50	5	1	50	0	50	250					1	1	100	14	84	168	
25	B2	Conica	VSAP-70-Ov	24	1	70	14	84	2.016					1	1	100	20	170	510	
26	J22	L Vial Led	2xLED-70	1	2	70	0	140	140					1	1	100	12	92	184	
27	C12	F. Fernadino G	VM-80	63	1	80	12	92	5.796					1	1	100	20	170	2.720	
28	K19	Proyector	HM-400	45	1	400	25	425	19.125					1	1	100	20	170	1.000	
29	I6	L Vial	VSAP-150-Tu	4	1	150	20	170	680					1	1	100	20	170	1.000	
30	D9	F. Villa G	VSAP-100-Tu	6	1	100	16	116	696					1	1	100	20	170	1.000	
31	C6	F. Fernadino G	VSAP-150-Tu	3	1	150	20	170	510					1	1	100	20	170	1.000	
32	F7	Globo	VSAP-150-Ov	2	1	150	20	170	340					1	1	100	20	170	1.000	
33	D6	F. Villa G	VSAP-150-Tu	1	1	150	20	170	170					1	1	100	20	170	1.000	
34	D7	F. Villa G	VSAP-150-Ov	16	1	150	20	170	2.720					1	1	100	20	170	1.000	
35	C7	F. Fernadino G	VSAP-150-Ov	17	1	150	20	170	2.890					1	1	100	20	170	1.000	
36	E5	F. Romantico G	VSAP-250-Ov	1	1	250	27	277	277					1	1	100	20	170	1.000	
37	E6	F. Romantico G	VSAP-150-Tu	1	1	150	20	170	170					1	1	100	20	170	1.000	
38	E7	F. Romantico G	VSAP-150-Ov	2	1	150	20	170	340					1	1	100	20	170	1.000	
39	I11	L Vial	VSAP-100	18	1	100	16	116	2.088					1	1	100	20	170	1.000	
40	D11	F. Villa G	VSAP-100	71	1	100	16	116	8.236					1	1	100	20	170	1.000	
41	F12	Globo	VM-80	1	1	80	12	92	92					1	1	100	20	170	1.000	
42	K20	Proyector	HM-150	2	1	150	21	171	342					1	1	100	20	170	1.000	
43	A21	Aplicque	FC-16	13	1	16	0	16	208					1	1	100	20	170	1.000	
44	K9	Proyector	VSAP-100-Tu	3	1	100	16	116	348					1	1	100	20	170	1.000	
45	H18	L Casco	LED-30	22	1	30	0	30	660					1	1	100	20	170	1.000	
46	D8	F. Villa G	VSAP-150	3	1	150	20	170	510					1	1	100	20	170	1.000	
47	C1	F. Fernadino G	VSAP-70-Tu	2	1	70	14	84	168					1	1	100	20	170	1.000	
48	K7	Proyector	VSAP-150-Ov	4	1	150	20	170	680					1	1	100	20	170	1.000	
49	C13	F. Fernadino G	VM-250	3	1	250	20	270	810					1	1	100	20	170	1.000	
50	D3	F. Villa G	VSAP-70	11	1	70	14	84	924					1	1	100	20	170	1.000	
51	F2	Globo	VSAP-70-Ov	6	1	70	14	84	504					1	1	100	20	170	1.000	
52	Total			1034					115.902											
53																				
54																				
55																				
56																				

Resumen Mediciones Consumos Mantenimiento

Ilustración 28.- Función que permite conformar el inventario actual y futuro, así como sus mediciones, accesible desde la hoja mediciones

A continuación se muestran ejemplos de tablas creadas de manera totalmente automática. El lector puede hacerse una idea del esfuerzo que supondría la realización de esta tabla de forma manual a través de la información gráfica de la instalación:

Diseño de metodologías y herramientas de comparación, evaluación
Desarrollo, herramientas y asistencia técnica para la redacción de proyectos de eficiencia
y librerías empleadas energética de instalaciones de alumbrado público

	PUNTOS:																
	CUADROS:	CM 1	CM 11	CM 12	CM 13	CM 14	CM 16	CM 2	CM 3	CM 4	CM 5	CM 6	CM 7	CM 8			
VSAP-70-Tu	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
VSAP-70-Ov	2	78	105	67	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0			1
VSAP-70	3	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
VSAP-250-Tu	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0			0
VSAP-250-Ov	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0			1
VSAP-150-Tu	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			9
VSAP-150-Ov	7	2	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			28
VSAP-150	8	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
VSAP-100-Tu	9	11	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0			1
VSAP-100-Ov	10	34	17	25	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0			0
VSAP-100	11	0	0	0	26	0	47	0	0	0	0	0	0	0			0
VM-80	12	65	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0			0
VM-250	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
VM-125	14	34	0	0	1	0	0	0	0	0	10	0	0	0			0
LED-70	15	0	0	0	0	0	0	30	0	5	0	14	3	20			0
LED-60	16	0	0	0	0	65	0	0	7	0	0	0	0	0			0
LED-50	17	0	0	0	0	5	0	20	0	0	0	0	28	3			0
LED-40	18	0	0	0	0	22	0	0	0	2	0	8	16	3			0
LED-30	19	0	0	0	0	22	0	42	0	0	0	0	0	0			0
HM-400	20	0	4	25	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
HM-150	21	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
FC-16	22	0	8	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
2xLED-70	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			1
Total Puntos:	230	161	128	73	118	50	92	7	7	26	22	47	67				
Potencia (W):	24459	16780	20773	12583	6026	5776	4360	420	430	5822	1300	2250	8577				
Nº circuitos:	1	1	2	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1				
Regulación:	VARIOS	interior	VARIOS	VARIOS	VARIOS	VARIOS	T PLC	T PLC	T PLC	VARIOS	T PLC	T PLC	VARIOS				

Ilustración 29.- Ejemplo de tabla de datos creada para conformar el inventario, mostrando el número de luminarias instaladas en cada Centro de Mando.

RECUEENTO TIPO DE LUMINARIAS Y LÁMPARAS EN SIGUENZA. ESTADO ACTUAL. 2016								RECUEENTO TIPO DE LUMINARIAS Y LÁMPARAS EN SIGUENZA. ESTADO FUTURO. 2018									
TIPO	Luminaria	Lámpara	Núm. Lámp.	W Lámp	W Equip	W Lum	W TOTAL	TIPO	Luminaria	Lámpara	Núm. Lámp.	W Lámp	W Equip	W Lum	W TOTAL		
G14	L Basica 3	VM-125	13	1	125	14	139	1.807	I19	L Casco	LED-30	22	1	30	0	30	660
D10	F. Villa G	VSAP-100-Ov	84	1	100	16	116	9.744	I17	L Casco	LED-50	5	1	50	0	50	250
D2	F. Villa G	VSAP-70-Ov	250	1	70	14	84	21.000	K16	L Vial Led	LED-60	72	1	60	0	60	4.320
G12	L Basica 3	VM-80	3	1	80	12	92	276	B2	Conica	VSAP-70-Ov	1	1	70	14	84	84
I7	L Vial	VSAP-150-Ov	5	1	150	20	170	850	D11	F. Villa G	VSAP-100	55	1	100	16	116	6.380
I10	L Vial	VSAP-100-Ov	7	1	100	16	116	812	F18	Farol Villa	LED-40	1	1	40	0	40	40
G2	L Basica 3	VSAP-70-Ov	4	1	70	14	84	336	H2	L Basica 3	VSAP-70-Ov	4	1	70	14	84	336
D12	F. Villa G	VM-80	2	1	80	12	92	184	L20	Projector	HM-400	45	1	400	25	425	19.125
C14	F. Fernadino G	VM-125	16	1	125	14	139	2.224	C18	F. Fernadino G	LED-40	2	1	40	0	40	80
I4	L Vial	VSAP-250-Tu	3	1	250	27	277	831	D18	F. Villa G	LED-40	32	1	40	0	40	1.280
I9	L Vial	VSAP-100-Tu	54	1	100	16	116	6.264	D10	F. Villa G	VSAP-100-Ov	84	1	100	16	116	9.744
I5	L Vial	VSAP-250-Ov	23	1	250	27	277	6.371	H14	L Basica 3	VM-125	12	1	125	14	139	1.668
D14	F. Villa G	VM-125	17	1	125	14	139	2.363	A22	Aplique	FC-16	13	1	16	0	16	208
K6	Projector	VSAP-150-Tu	6	1	150	20	170	1.020	D3	F. Villa G	VSAP-70	11	1	70	14	84	924
D18	F. Villa G	LED-30	42	1	30	0	30	1.260	J10	L Vial	VSAP-100-Ov	7	1	100	16	116	812
D16	F. Villa G	LED-50	27	1	50	0	50	1.350	J9	L Vial	VSAP-100-Tu	12	1	100	16	116	1.392
H17	L Casco	LED-40	14	1	40	0	40	560	C14	F. Fernadino G	VM-125	16	1	125	14	139	2.224
J15	L Vial Led	LED-70	72	1	70	0	70	5.040	C12	F. Fernadino G	VM-80	61	1	80	12	92	5.612
J17	L Vial Led	LED-40	2	1	40	0	40	80	C13	F. Fernadino G	VM-250	3	1	250	20	270	810
J16	L Vial Led	LED-50	24	1	50	0	50	1.200	D2	F. Villa G	VSAP-70-Ov	250	1	70	14	84	21.000
D17	F. Villa G	LED-40	16	1	40	0	40	640	L7	Projector	VSAP-150-Ov	4	1	150	20	170	680
H16	L Casco	LED-50	5	1	50	0	50	250	C1	F. Fernadino G	VSAP-70-Tu	2	1	70	14	84	168
B2	Conica	VSAP-70-Ov	24	1	70	14	84	2.016	D8	F. Villa G	VSAP-150	3	1	150	20	170	510
J22	L Vial Led	2xLED-70	1	2	70	0	140	140	D12	F. Villa G	VM-80	2	1	80	12	92	184
C12	F. Fernadino G	VM-80	63	1	80	12	92	5.796	D7	F. Villa G	VSAP-150-Ov	16	1	150	20	170	2.720
K19	Projector	HM-400	45	1	400	25	425	19.125	L6	Projector	VSAP-150-Tu	6	1	150	20	170	1.020
I6	L Vial	VSAP-150-Tu	4	1	150	20	170	680	D9	F. Villa G	VSAP-100-Tu	6	1	100	16	116	696
D9	F. Villa G	VSAP-100-Tu	6	1	100	16	116	696	I9	Projector	VSAP-100-Tu	3	1	100	16	116	348
C6	F. Fernadino G	VSAP-150-Tu	3	1	150	20	170	510	L21	Projector	HM-150	2	1	150	21	171	342
F7	Globo	VSAP-150-Ov	2	1	150	20	170	340	G12	Globo	VM-80	1	1	80	12	92	92
D6	F. Villa G	VSAP-150-Tu	1	1	150	20	170	170	J11	L Vial	VSAP-100	18	1	100	16	116	2.088
D7	F. Villa G	VSAP-150-Ov	16	1	150	20	170	2.720	C7	F. Fernadino G	VSAP-150-Ov	17	1	150	20	170	2.890
C7	F. Fernadino G	VSAP-150-Ov	17	1	150	20	170	2.890	J6	L Vial	VSAP-150-Tu	4	1	150	20	170	680
E5	F. Romantico G	VSAP-250-Ov	1	1	250	27	277	277	E7	F. Romantico G	VSAP-150-Ov	2	1	150	20	170	340
E6	F. Romantico G	VSAP-150-Tu	1	1	150	20	170	170	E6	F. Romantico G	VSAP-150-Tu	1	1	150	20	170	170
E7	F. Romantico G	VSAP-150-Ov	2	1	150	20	170	340	E5	F. Romantico G	VSAP-250-Ov	1	1	250	27	277	277
I11	L Vial	VSAP-100	18	1	100	16	116	2.088	D6	F. Villa G	VSAP-150-Tu	1	1	150	20	170	170
D11	F. Villa G	VSAP-100	71	1	100	16	116	8.236	G7	Globo	VSAP-150-Ov	2	1	150	20	170	340
F12	Globo	VM-80	1	1	80	12	92	92	J7	L Vial	VSAP-150-Ov	5	1	150	20	170	850
K20	Projector	HM-150	2	1	150	21	171	342	C6	F. Fernadino G	VSAP-150-Tu	3	1	150	20	170	510
A21	Aplique	FC-16	13	1	16	0	16	208	I18	L Casco	LED-40	14	1	40	0	40	560
K9	Projector	VSAP-100-Tu	3	1	100	16	116	348	D17	F. Villa G	LED-50	27	1	50	0	50	1.350
H18	L Casco	LED-30	22	1	30	0	30	660	K23	L Vial Led	2xLED-70	1	2	70	0	140	140
D8	F. Villa G	VSAP-150	3	1	150	20	170	510	K15	L Vial Led	LED-70	72	1	70	0	70	5.040
C1	F. Fernadino G	VSAP-70-Tu	2	1	70	14	84	168	K17	L Vial Led	LED-50	24	1	50	0	50	1.200
K7	Projector	VSAP-150-Ov	4	1	150	20	170	680	J5	L Vial	VSAP-250-Ov	16	1	250	27	277	4.432
C13	F. Fernadino G	VM-250	3	1	250	20	270	810	K18	L Vial Led	LED-40	2	1	40	0	40	80
D3	F. Villa G	VSAP-70	11	1	70	14	84	924	D19	F. Villa G	LED-30	42	1	30	0	30	1.260
F2	Globo	VSAP-70-Ov	6	1	70	14	84	504	J4	L Vial	VSAP-250-Tu	3	1	250	27	277	831
Total			1034				115.902	D14	F. Villa G	VM-125	17	1	125	14	139	2.363	
								H12	L Basica 3	VM-80	3	1	80	12	92	276	
								Total								109.556	

Ilustración 30.- Tabla que recoge el inventario de instalaciones actual y futura. Permite manipular la fila totales para obtener información adicional de manera sencilla

Listado de medición de unidades de obra:	
Desmontaje Columna.	18
F. Fernandino LED-40	1
L. Vial LED-40	1
F. Villa G LED-40	1
Adaptación F. Villa G. Desplaza. LED-40	2
F. Villa LED-40	1
Punto de Telegestión PLC.	21
Central Telegestión PLC	1
Brazo forja hasta 5 metros	2
Brazo fundición hasta 5 metros	2
Brazo tubular grueso hasta 5 metros	2
Brazo tubular grueso hasta 4,5 metros	1
Columna fundición hasta 3,5 metros	2
Columna fundición hasta 9 metros	1

Ilustración 31.- Ejemplo de listado de mediciones de unidades de obra creada automáticamente

3.1.7. Elaboración de la documentación gráfica y escrita. Elaboración de la documentación gráfica y escrita. Justificación de normativa sectorial y bases de elementos subvencionables

La base de la metodología para la elaboración de la documentación escrita y gráfica presentada en este Trabajo Final de Máster se basa en la creación de plantillas para posteriormente tratar de automatizar la inserción de información redundante y cálculos justificativos y descriptivos previamente generados. Para ello, se hace uso de las funcionalidades avanzadas que facilitan los programas Word, Excel y AutoCAD.

3.1.7.1. Creación de plantillas de documentación escrita:

Normalmente la documentación escrita de un proyecto está compuesta por una memoria justificativa, anexos de cálculos, pliegos de prescripciones técnicas y estudios de seguridad y salud o estudio básico de seguridad y salud, en su caso.

Es importante resaltar que la normativa sectorial vigente⁹ relativa a instalaciones de alumbrado público establece que es necesario un proyecto técnico si la potencia instalada de la instalación es superior a 5 kW y una memoria técnica si la potencia es inferior. El contenido mínimo, tanto de un proyecto como de una memoria, también se estipula reglamentariamente. Ambos documentos presentan contenidos similares, la diferencia radica en el procedimiento a seguir para legalizar la instalación y la documentación final de obra y certificaciones a presentar ante el órgano competente.

Con la experiencia adquirida a lo largo de los años, en este trabajo se incluyen y proponen dos modelos distintos, para proyecto y memoria, si bien con contenidos muy similares. Ambos modelos incluyen justificación detallada de la normativa vigentes, especialmente del Reglamento Electrotécnico en Baja Tensión y el Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior.

⁹ Todo ello según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto. Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT 04, Documentación y Puesta en Servicio de las Instalaciones

Asimismo, se adapta al contenido mínimo a incluir en este tipo de proyectos según las prescripciones establecidas por el IDAE en la siguiente documentación publicada en su página web:

- Guía técnica de eficiencia energética en iluminación: alumbrado público [5].
- Protocolo de Auditoría Energética de las Instalaciones de Alumbrado Público Exterior [6].
- Relación de Anexos a Pliegos [7].
- Requerimientos técnicos exigibles para luminarias LED de alumbrado exterior [8].
- Iluminación LED exterior. Guía Práctica: diseño y criterios de compra. PremiumLight Pro, proyecto financiado por el programa H2020 UE [9].

La herramienta desarrollada es capaz de generar uno u otro documento en función de la potencia instalada de la nueva instalación e inserta, donde corresponda, la información previamente generada y que se considera más relevante para definir adecuadamente la instalación.

El procedimiento se basa en hacer uso de las distintas tablas y cálculos generados mediante las herramientas de asistencia insertadas en el fichero Excel facilitado. Para ello, se utilizan las funcionalidades “*administrador de nombres y rangos accesibles*” desde la etiqueta “*fórmulas*” de la barra de herramientas del programa Excel; en las plantillas Word creadas, en el lugar que corresponde, se han insertado distintos marcadores de posición donde se insertará el campo o tabla que corresponda, haciendo uso de un macro específicamente diseñado para este fin. Este macro también se encarga de dar el formato adecuado a cada campo de información de manera que se visualice adecuadamente.

3.1.7.2. Creación de plantillas de documentación gráfica:

Las plantillas creadas y facilitadas no presentan ninguna novedad con respecto a lo que la mayoría de técnicos suelen utilizar. Se basa en la creación de un cajetín y cartela a modo de plantilla donde se incluya la información descriptiva del proyecto, la instalación incluida en cada plano, y la información relativa al técnico redactor del proyecto.

La novedad estriba en que la inmensa mayoría de la información incluida en la cartela se completa de forma completamente automática a través de la información obtenida en la hoja de cálculo Excel facilitada haciendo uso del menú contextual insertado en el propio archivo. Esto reduce considerablemente el tiempo invertido en esta serie de labores evitando errores.

3.1.7.3. Inserción de información descriptiva del proyecto:

Se ha añadido una hoja denominada “*INFO*” dentro del fichero de Excel desarrollado, desde donde el usuario puede introducir información relativa al proyecto, el promotor, situación y el técnico autor. De esta manera, de manera centralizada, desde un único lugar, se puede completar este tipo de información.

Tabla 2.- Información descriptiva del proyecto, de la instalación y del técnico autor del proyecto en la hoja “INFO”

Entidad:	Año:
SIGÜENZA	2018

Propiedades dibujo	
Título:	ALUMBRADO PÚBLICO
Asunto:	SERVICIOS BÁSICOS MUNICIPALES
Autor:	Sergio Sánchez Barahona
Comentarios:	Diputación Provincial de Guadalajara. PROHIBIDA COPIA O CESIÓN DE DERECHOS A TERCEROS
PROYECTO TIPO	MEMORIA EFICIENCIA ENERGÉTICA
PROMOTOR	DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE GUADALAJARA
SITUACION	Pz. Mayor. 4
TECNICO	Ingeniero Industrial
NOM TECNICO	Sergio Sánchez Barahona
FECHA	09/07/2021
CLAVE	PEAM-2018/21
MUNICIPIO	Sigüenza
COD MUNICIPIO	19257
LOCALIDAD	Sigüenza
COD LOCALIDAD	19257002500
COORDENADAS	UTM-30 ETRS89
Habitantes:	4.842
NIF:	P1931000B
Domicilio:	Pz. Mayor. 4
CP:	19250
Teléfono	949347003
Superficie (Km2):	386,87
Presupuesto:	60.000,00
CENTRO COMARCAL:	Sigüenza
Superf. Calles (m2):	2.153,12

Una vez introducidos los datos, cuando sea necesario y a través del menú contextual del archivo Excel, podrán exportarse los distintos campos de información a los lugares correspondiente de la documentación escrita y gráfica según los criterios que marque el técnico. Así, mediante un simple clic, es fácil completar las cartelas de los distintos planos, o la inserción de información identificativa del proyecto en los distintos apartados de la memoria técnica (título, autor, denominación, situación, presupuesto, etc.).

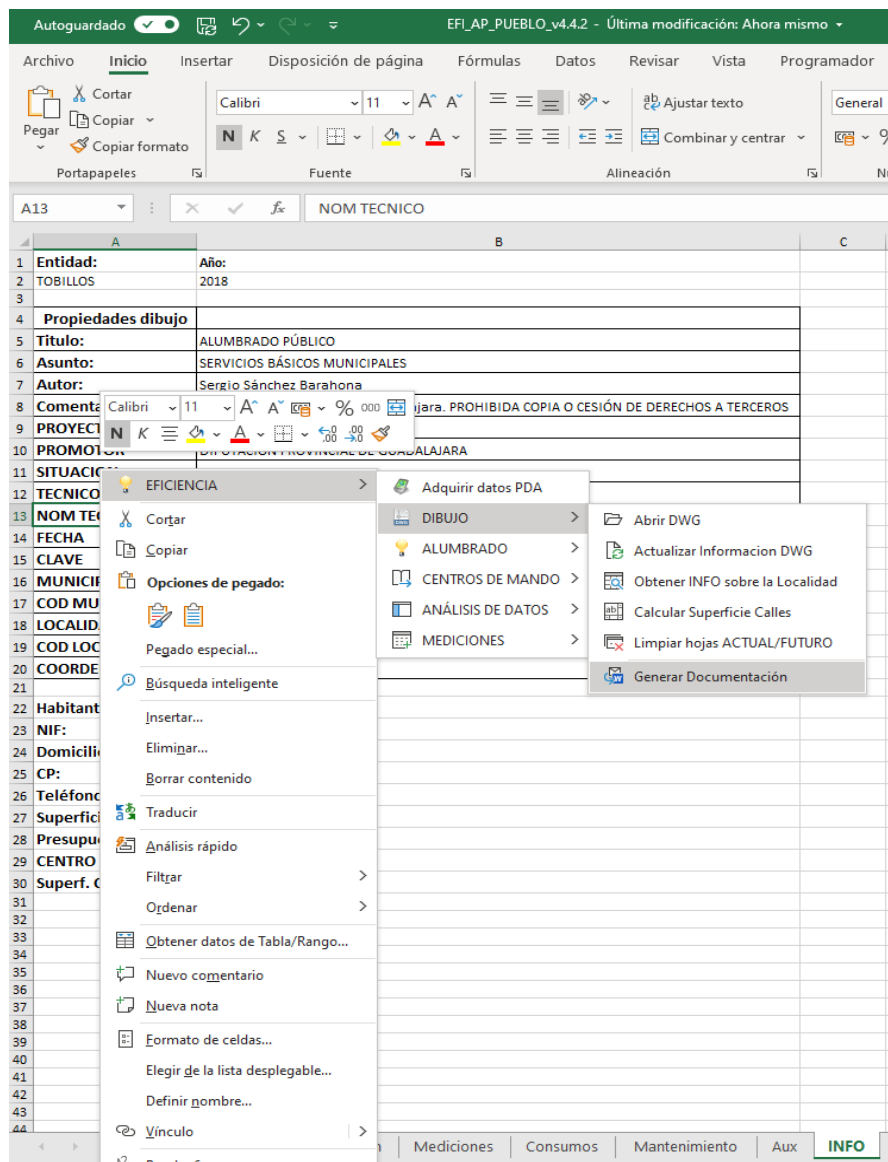


Ilustración 32.- Menú contextual que permite autocompletar la información correspondiente en la documentación escrita y gráfica

Si bien toda esta información se puede rellenar de forma manual, se ha querido ir un paso más allá; el programa permite completar dicha información de forma completamente autónoma a partir de una base de datos propia.

Si bien, según la idiosincrasia de este Trabajo Final de Máster, se puede crear una base de datos adaptada a las necesidades propias del técnico en cada momento, en este documento se facilita una base de datos tipo. Dicha base de datos se basa en una hoja Excel descargada desde el sitio web del Instituto Nacional de Estadística (INE¹⁰) a la que se le ha añadido información relativa a la planificación de proyectos y el presupuesto disponible en función del año. Este libro de Excel contiene varias hojas con información de todos los municipios de la provincia de Guadalajara, ámbito territorial al que se ha suscrito este trabajo para su desarrollo.

¹⁰ https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254734710990

Diseño de metodologías y herramientas de comparación, evaluación
Desarrollo, herramientas y asistencia técnica para la redacción de proyectos de eficiencia
y librerías empleadas energética de instalaciones de alumbrado público

Una vez que se ejecuta la funcionalidad que permite extraer este tipo de información, la rutina muestra un cuadro de diálogo desde donde el usuario puede seleccionar la base de datos, si previamente no se ha definido cual es; después, automáticamente se busca en la base de datos el municipio donde se está haciendo el proyecto y extrae la información necesaria para completar la hoja “INFO”, lo que ahorra una gran cantidad de tiempo.

Tabla 3.- Ejemplo de la información disponible en la base de datos descargada a través del INE modificada para que incluya información relativa a la planificación de proyectos

C-INE	LOCALIDAD MIN	Municipio min	CENTRO	LOCALIDAD	TOMA	Población	Homb	Mujeres 201	C INE	INDICE	20	
19001000100	Abánades	Abánades	Cfuentes	ABANADES	SI	70	38	32	19001	1		
19002000100	Ablanque	Ablanque	Molina	ABLANQUE	SI	100	59	41	19002	2		
19003000100	Adobes	Adobes	Molina	ADOBES	SI	53	27	26	19003	3		
19032000100	Aguita de Anguita	Aguita	Sigüenza	AGUITA DE ANGUITA	SI	12	5	7	19032	4		
19004000100	Alaminos	Alaminos	Cfuentes	ALAMINOS	SI	70	35	35	19004	5		
19005000100	Alarilla	Alarilla	Cogolludo	ALARILLA	SI	123	75	48	19005	6		
19006000100	Albatal de Zorita	Albatal de Zorita	Guadalajara- Sur	ALBALATE DE ZORITA		822	441	381	19006	7	FA-M-2012/01	40000
19007000100	Albares	Albares	Guadalajara- Sur	ALBARES		551	282	269	19007	8	FA-M-2012/02	40000
19008000100	Albendiego	Albendiego	Sigüenza	ALBENDIEGO	SI	42	30	12	19008	9		
19105000100	Albolleque	Chiloeches	Guadalajara- Sur	ALBOLLEQUE		6	3	3	19105	10		
19257000100	Alboreca	Sigüenza	Sigüenza	ALBORECA	SI	17	7	10	19257	11		
19009000100	Alcocer	Alcocer	Cfuentes	ALCOECER	SI	334	171	163	19009	12	FA-M-2012/03	36000
19010000100	Alcolea de las Peñas	Alcolea de las Peñas	Sigüenza	ALCOLEA DE LAS PEÑAS	SI	15	11	4	19010	13		
19011000100	Alcolea del Pinar	Alcolea del Pinar	Sigüenza	ALCOLEA DEL PINAR	SI	291	158	133	19011	14	R FA-M-2012/04	52800
19013000100	Alcoroches	Alcoroches	Molina	ALCOROCHES	SI	162	93	69	19013	15		
19013000200	Alcunza	Sigüenza	Sigüenza	ALCUNZA	SI	36	20	16	19257	16	SI	
19006000100	Aldeanueva de Atienza	Condemios de Arriba	Sigüenza	ALDEANUEVA DE ATIENZA	SI	31	18	13	19006	17		
19015000100	Aldeanueva de Guadalajara	Aldeanueva de Guadalajara	Guadalajara- Sur	ALDEANUEVA DE GUADALAJARA	SI	104	55	49	19015	18		
19227000100	Aldehuela	Prados Redondos	Molina	ALDEHUELA		3	1	2	19227	19		
19009200100	Aleas	Cogolludo	Cogolludo	ALEAS	SI	8	5	3	19002	20		
19016000100	Algar de Mesa	Molina	Algar de Mesa	ALGAR DE MESA	SI	68	36	32	19016	21	FA-M-2012/88	14634,54
19152000100	Algarga	Illana	Guadalajara- Sur	ALGARGA		353	222	131	19152	22		
19017000100	Algora	Sigüenza	Algora	ALGORA	SI	103	58	45	19017	23		
19018000100	Alhóndiga	Alhóndiga	Guadalajara- Sur	ALHONDIGA	SI	205	110	95	19018	24	FA-M-2012/05	21280
19019000100	Alique	Alique	Cfuentes	ALIQUE	SI	23	9	14	19019	25		
19020000100	Almadrones	Almadrones	Sigüenza	ALMADRONES	SI	90	54	36	19020	26	FA-M-2012/88	17128,97
19262000100	Almiruete	Tamajón	Cogolludo	ALMIRUETE	SI	20	8	12	19262	27		
19021000100	Almoguera	Almoguera	Guadalajara- Sur	ALMOGUERA	SI	1411	743	668	19021	28	FA-M-2012/06	40000
19022000100	Almonacid de Zorita	Almonacid de Zorita	Guadalajara- Sur	ALMONACID DE ZORITA	SI-NO	768	362	406	19022	29	FA-M-2012/07	40000
19023000100	Alócén	Alócén	Guadalajara- Sur	ALOCEN	SI	173	91	82	19023	30		
19024000100	Alovera	Alovera	Guadalajara- Sur	ALOVERA	SI-NO	12150	6251	5899	19024	31	FA-M-2012/08	40000
19305000100	Alpedrete de La Sierra	Valdepeñas de La Sierra	Cogolludo	ALPEDRETE DE LA SIERRA	SI	37	21	16	19305	32		
19044000100	Alpedroches	Atienza	Sigüenza	ALPEDROCHES		7	4	3	19044	33		
19027000100	Alustante	Alustante	Molina	ALUSTANTE	SI	212	130	82	19027	34	FA-M-2012/09	20800
19265000100	Amayas	Tartanedo	Molina	AMAYAS	SI	21	9	12	19265	35		
19115000100	Anchuela del Campo	Establés	Molina	ANCHUELA DEL CAMPO	SI	2	1	1	19115	36		
19190000100	Anchuela del Pedregal	Molina de Aragón	Molina	ANCHUELA DEL PEDREGAL		8	6	2	19190	37		
190211000100	Anclas Las	Pareja	Cfuentes	ANCLAS LAS		25	18	7	19211	38		
19031000100	Angón	Angón	Sigüenza	ANGON	SI	17	12	5	19031	39		
19032000200	Anguita	Anguita	Sigüenza	ANGUITA	SI	137	72	65	19032	40	FA-M-2012/10	37600
19252000100	Anguix	Sayatón	Guadalajara- Sur	ANGUIX		7	6	1	19252	41		

Tabla 4.- Ejemplo de la información disponible en la base de datos descargada a través del INE relativa a los datos identificativos de la población y direcciones de contacto

C INE	MUNICIPIO	Población T	Hombres 20	Mujeres 201	C INE	Municipio min	C COMARCAL	NIF	Correo E	Domicilio	CP	Telefono	Superficie
19001	ABANADES	70	38	32	19001	Abánades	Cfuentes	P190010006	abanades.ayuntamiento@gmail.com	C. Real 1.	19432	949814693	36,08
19002	ABLANQUE	100	59	41	19002	Ablanque	Molina	P190020006		O C. Concejo 1	19442	949838142	51,4
19003	ADOBES	53	27	26	19003	Adobes	Molina	P19003000C	ayuntamientoadobes@hotmail.es	Pz. Ayuntamiento. S/N	19325	949841335	32,66
19004	ALAMINOS	70	35	35	19004	Alaminos	Cfuentes	P1900500H	conchalop@terra.com	Pz. Mayor. S/N	19490	949828564	19,5
19005	ALARILLA	123	75	48	19005	Alarilla	Cogolludo	P1900600F	aytoalarilla@gmail.com	Pz. Mayor. 1	19227	949813501	22,14
19006	ALBALATE DE ZORITA	1089	612	477	19006	Albatal de Zorita	Guadalajara- Sur	P19007000	ayuntamiento@albalatedezorita.es	Pz. Fray Martín. 1	19117	949376001	53,32
19007	ALBARES	551	282	269	19007	Albares	Guadalajara- Sur	P1900800B	ayto.albares@hotmail.com	Pz. de la Iglesia. 1	19112	949380101	29,44
19008	ALBENDIEGO	42	30	12	19008	Albendiego	Sigüenza	P19007000	aecondemios@ereases.com	Pz. Alejandro Alonso Núñez S/N	19275	949307608	22,91
19009	ALCOECER	334	171	163	19009	Alcocer	Cfuentes	P1901100F	ayuntamiento@ayuntamientoalcoec.es	C. Educación. S/N	19125	949355001	61,19
19010	ALCOLEA DE LAS PEÑAS	15	11	4	19010	Alcolea de las Peñas	Sigüenza	P19012000		O Pz del Ayuntamiento. S/N	19277	949399528	16,66
19011	ALCOLEA DEL PINAR	397	220	177	19011	Alcolea del Pinar	Sigüenza	P1901300B	info@aytoalcoledeselpinar.com	Pz. Mayor. 1	19260	949300017	113,35
19013	ALCOROCHES	162	93	69	19013	Alcoroches	Molina	P1901500G	aytoalcoroches@hotmail.com	Pz. de la Fuente. S/N	19310	949836051	32,25
19015	ALDEANUEVA DE GUADALAJARA	104	55	49	19015	Aldeanueva de Guadalajara	Guadalajara- Sur	P1901800A	aytoaldeanueva@gmail.com	Pz. de la Constitución. 1	19152	949252606	16,15
19016	ALGAR DE MESA	68	36	32	19016	Algar de Mesa	Molina	P1901800A	aytovillel@hotmail.com	C. Real. S/N	19332	949834586	23,83
19017	ALGORA	103	58	45	19017	Algora	Sigüenza	P1902100E	algora.ayuntamiento@gmail.com	C. las Peñas. S/N	19368	949399284	46,95
19018	ALHONDIGA	205	110	95	19018	Alhóndiga	Guadalajara- Sur	P1902200C	ayto.alhondiga@gmail.com	Pz. España. 1	19132	949284001	19,26
19019	ALIQUE	23	9	14	19019	Alique	Cfuentes	P1902300A	aytoalique@yahoo.es	C. Iglesia. S/N	19129	949827120	10,92
19020	ALMADRONES	90	54	36	19020	Almadrones	Sigüenza	P1902400I	almadrones.ayuntamiento@gmail.com	Pz. Mª Cristina. S/N	19490	949285594	21,03
19021	ALMOGUERA	1471	771	700	19021	Almoguera	Guadalajara- Sur	P19026000	almoguera@local.jccm.es	Pz. de España. 1	19115	949380001	119,42
19022	ALMONACID DE ZORITA	789	377	412	19022	Almonacid de Zorita	Guadalajara- Sur	P1902700B	almonacidz@gmail.com	Pz. José Antonio. 1	19118	949376201	44,9
19023	ALOCÉN	173	91	82	19023	Alócén	Guadalajara- Sur	P1902800I	lauragarciamoreno100@hotmail.com	Pz. Mayor. 1	19133	949284986	17,88
19024	ALOVERA	12150	6251	5899	19024	Alovera	Guadalajara- Sur	P1902900V	aytoalovera@aytoalovera.es	Pz. Generalísimo. 1	19308	949275260	13,65
19027	ALUSTANTE	225	139	86	19027	Alustante	Molina	P1903300B	ayuntamientodealustante@gmail.com	C. la Lonja. 29	19320	949714100	93,04
19031	ANGÓN	17	12	5	19031	Angón	Sigüenza	P1903600C	ayuntamientoangon@gmail.com	Pz. del Ayuntamiento. S/N	19245	949828079	20,41
19032	ANGUITA	215	115	100	19032	Anguita	Sigüenza	P1903700A	ayuntamientoanguita@gmail.com	Pz. Mayor. 1	19283	949304417	127,22
19033	ANQUELA DEL DUCADO	85	48	37	19033	Anqueña del Ducado	Molina	P1903800I	ayuntamiento@anquela del ducado.com	C. la Iglesia. 9	19287	949838245	25,66
19034	ANQUELA DEL PEDREGAL	23	17	6	19034	Anqueña del Pedregal	Molina	P1903900G		O C. la Plaza. S/N	19357	949831271	38,23
19036	ARANZUEQUE	463	246	217	19036	Aranzueque	Guadalajara- Sur	P1904100C	ayuntamientooaranzueque@gmail.com	Pz. Mayor. 1	19141	949292001	21,42
19037	ARBANCÓN	181	110	71	19037	Arbancón	Cogolludo	P1904200A	ayuntamientodearbancon@hotmail.com	Pz. Constitución. 1	19239	949855192	34,93
19038	ARBETETA	46	26	20	19038	Arbeteta	Cfuentes	P1904300I	clopeguerra@yahoo.es	Pz. Mayor. 12	19492	949810816	63
19039	ARGECILLA	77	51	26	19039	Argecilla	Sigüenza	P19045000	ayuntamientodeargecilla@gmail.com	Pz. Constitución. 2	19196	949828220	40,67
19040	ARMALLONES	69	40	29	19040	Armallones	Cfuentes	P1904600B	aytoarmallones@hotmail.com	Pz. de D. Diego García. 1	19461	949816275	77,75
19041	ARMAÑA DE TAJUÑA	252	130	122	19041	Armaña de Tajuña	Guadalajara- Sur	P1904700I	armunadetajuna@gmail.com	Pz. Mayor. 1	19135	949295020	20,67
19042	ARROYO DE LAS FRAGUAS	39	21	18	19042	Arroyo de las Fraguas	Cogolludo	P1904800F	arroyo-fraguas@local.jccm.es	C. Cogolludo. 1	19238	949262479	21,35
19043	ATANZÓN	102	64	38	19043	ABANADES Atanzón	Guadalajara- Sur	P19050000	aytoatanzon@gmail.com	Pz. Mayor. 1	19153	949252730	27,95
19044	ATIENZA	498	271	227	19044	Atienza	Sigüenza	P1905100B	aytoatiensa@hotmail.com	Pz. España. 11	19270	949399001	104,28
19045	AUÑÓN	206	116	90	19045	Auñón	Guadalajara- Sur	P1905200I	aytoaunon@gmail.com	Pz. José Antonio. 1	19130	949338432	52,71
19046	AZUQUECA DE HENARES	35146	18099	17047	19046	Azuqueca de Henares	Guadalajara- Sur	P1905400F	sac.azuqueca.net	Pz. Constitución. 1	19200	949348032	19,68
19047	BAIDES	91	44	47	19047	Baides	Sigüenza	P1905500C	ayuntamientodebaides@hotmail.com	C. Salda Jadraque. S/N	19295	949397639	29,74
19048	BAÑOS DE TAJO	19	14	5	19048	Baños de Tajo	Molina	P1905800G	bpuertav@hotmail.es	C. Puente. 1	19314	949832018	28,28
19049	BARAJALES	23	16	7	19049	Barajales	Sigüenza	P1905900E	j.garrir@yahoo.es	C. Real. 7	19276	949296614	18,77
19050	BARRIOPEÑO	23	13	10	19050	Barriopeño	Cfuentes	P1906000C	aytoamase@hotmail.com	Pz. Mayor. 1	19490	949821160	10,68
19051	BERNINCHES	76	43	33	19051	Berniches	Guadalajara- Sur	P1906200I	a19144@hotmail.com	Pz. Mayor. S/N	19133	949840800	35,36

Una funcionalidad muy útil incluida en esta hoja denominada “INFO”, se refiere al cálculo de la superficie total de viales públicos existentes en el municipio. Se ha implementado una rutina que, si

se dispone de una base cartográfica oficial facilitada por la Dirección General de Catastro y esta se encuentra abierta, a través de la manipulación de capas, se calcula de manera precisa esta superficie.

Esta información es imprescindible para, por ejemplo, para determinar la calificación energética de la instalación conforme a lo indicado en el Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior, Instrucción Técnica Complementaria EA-01, Eficiencia Energética, haciéndolo de la manera más precisa posible. Una vez más, esto puede suponer una enorme ayuda a la labor del técnico redactor impidiendo la posibilidad de errores e imprecisiones por cálculos a mano alzada.

3.2. Control de la Ejecución de obras de proyectos de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público

Como se expuso en el apartado estado del arte, la interpretación del proyecto redactado en obra suele ser relativamente compleja y fuente de discordias entre los actores intervinientes durante la ejecución de la instalación; esto se hace más evidente, especialmente interpretando los planos, dada su relativa dificultad para manejarlos (como regla general su tamaño tiende a ser grande, formatos DIN A2, incluso DIN A1) y debido también a la gran cantidad de información que contienen.

Para facilitar esta labor, especialmente a los técnicos instaladores electricistas, principales intervinientes en obras efectuadas en instalaciones de alumbrado público, se propone un método novedoso para facilitar la ejecución la obra, llevando, además, un plan de trabajo que permite también coordinar un adecuado control de obra, y que servirá como base para la redacción de la documentación final de obra.

Para conseguir este fin se ha creado una hoja a la que denominamos *“hoja de trabajo”*. Ésta se ha diseñado para que se pueda consultarse y entenderse fácilmente por parte del personal de obra, donde se describe en forma de lista, los trabajos a realizar en cada uno de los elementos y que componen la instalación clasificándolos en función de su naturaleza.

El diseño planteado, intenta ordenar los pasos a seguir para ejecutar la instalación haciendo uso de lo que podríamos llamar *comandos* que son fácilmente entendibles y que colocados secuencialmente permiten ejecutar la instalación siguiendo el documento como si fuese una de *“lista de control”*.

Esta *“hoja de trabajo”* utilizada coordinadamente con un plano de planta de la instalación que contenga únicamente información sobre la numeración de los puntos de luz, puede convertirse en la única documentación necesaria para ejecutar la instalación de manera fiel a lo que viene reflejado en el proyecto.

Este trabajo no sólo contempla el diseño de la *“hoja de trabajo”*, como se viene haciendo, se propone una herramienta que sea capaz de elaborarla de manera completamente autónoma. Se conseguirá así rápidamente un plan de trabajo que ahorrará enorme cantidad de tiempo redundando indirectamente en la calidad de la obra realmente ejecutada y de la documentación final de obra y certificaciones necesarias para su posterior legalización.

Para crearla es necesario dirigirse a la hoja *“Mediciones”* o añadir cualquier hoja en blanco en el archivo Excel facilitado y hacer uso del Menú desplegable.

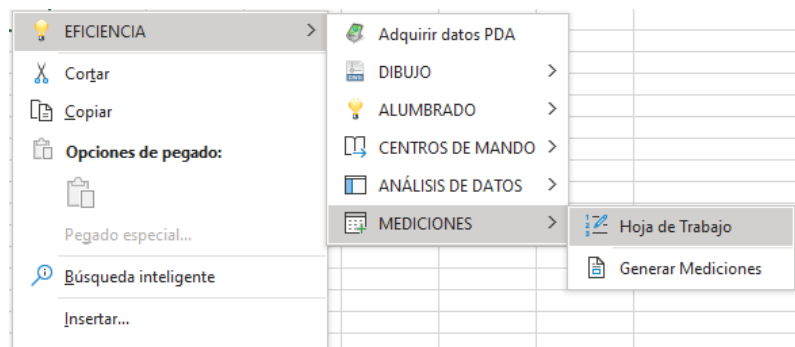


Ilustración 33.- Menú contextual que permite generar la "Hoja de Trabajo"

En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo típico de una hoja de trabajo creada con la herramienta en una instalación típica. Se puede apreciar que las actuaciones a realizar para la ejecución de la obra se presentan en forma de lista, mostrando cada actuación de manera descriptiva y ordenada en función del elemento o equipo sobre el que haya que actuar, y que permite ejecutar la obra de forma secuencial, como si estuviésemos ejecutando comandos de un programa informático, siendo fácilmente interpretable.

DIPUTACIÓN DE GUADALAJARA									
SERVICIO DE CENTROS COMARCALES					PEAM-2018/21				
CENTRO COMARCAL DE SIGÜENZA									
PUEBLO:		SIGÜENZA							
EMPRESA:									
E-mail:									
RELACION DE TRABAJOS A EJECUTAR EN EL ALUMBRADO PÚBLICO DE SIGÜENZA									
Nº	LUMINARIA	LÁMPARA	EQUIPO	APOYO	DESPLAZA	MAC	PROGRAMA	ÓPTICA	DESCRIPCIÓN
1507	Conica	VSAP-70-Ov	interior	Columna chapa 3m					Desmontar
1501	Conica	VSAP-70-Ov	interior	Columna chapa 3m					Desmontar
1500	Conica	VSAP-70-Ov	interior	Columna chapa 3m					Desmontar
705	Conica	VSAP-70-Ov	interior	Columna chapa 3m					Desmontar
1000	Conica	VSAP-70-Ov	interior	Columna chapa 3m					Desmontar
1023	L Basica 3	VM-125	exterior	Brazo tubular fino 5,5m					Desmontar
1021	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	24,96 m. h=8				Desplaza. Lumin. Apoyo.
1020	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	h=8				Lumin. Apoyo.
1014	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	h=3				Lumin. Apoyo.
1012	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	h=3				Lumin. Apoyo.
1011	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	h=3				Lumin. Apoyo.
1010	Farol Villa	LED-40	T PLC	B Fun. Villa 0.75	h=4				Lumin. Apoyo.
1009	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	h=8				Lumin. Apoyo.
1008	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	2,06 m. h=8				Desplaza. Lumin. Apoyo.
1007	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	8,28 m. h=8				Desplaza. Lumin. Apoyo.
1006	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	10,98 m. h=8				Desplaza. Lumin. Apoyo.
1005	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	h=8				Lumin. Apoyo.
1004	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	9,27 m. h=3				Desplaza. Lumin. Apoyo.
1003	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	h=3				Lumin. Apoyo.
1002	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	10,14 m. h=8				Desplaza. Lumin. Apoyo.
1001	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	16,05 m. h=8				Desplaza. Lumin. Apoyo.
999	L Vial Led	LED-60	T PLC	C Gal 8 m	7,08 m. h=8				Desplaza. Lumin. Apoyo.
996		VSAP-70-Ov	interior		0,1 m.				Desplaza.
994	F. Fernadino G	LED-40	T PLC						Lumin.
993	F. Fernadino G	LED-40	T PLC						Lumin.
989		LED-40	T PLC						Adaptación F. Villa G.
988		LED-40	T PLC						Adaptación F. Villa G.
987		LED-40	T PLC						Adaptación F. Villa G.
986		LED-40	T PLC						Adaptación F. Villa G.
985		LED-40	T PLC						Adaptación F. Villa G.
984		LED-40	T PLC						Adaptación F. Villa G.
983		LED-40	T PLC						Adaptación F. Villa G.
982		LED-40	T PLC						Adaptación F. Villa G.
981	L Vial Led	LED-60	T PLC						Lumin.
980	L Vial Led	LED-60	T PLC						Lumin.
979	L Vial Led	LED-60	T PLC						Lumin.
978	L Vial Led	LED-60	T PLC						Lumin.
977	L Vial Led	LED-60	T PLC						Lumin.

Ilustración 34.- Ejemplo de una Hoja de Trabajo diseñada durante la realización de este Trabajo Final de Máster

3.3. Selección de luminarias y motores fotométricos para instalaciones de alumbrado público

Cómo se expuso en el apartado correspondiente, el método clásico para la selección de luminarias que se incluirán en un proyecto de una instalación de alumbrado público se basa en solicitar información a los correspondientes fabricantes para después intentar comparar sus características de forma más o menos manual.

Adicionalmente, se suele utilizar el programa DIALux para diseñar secciones tipo de la instalación, que permitan ver con el suficiente detalle los niveles lumínicos alcanzados para una determinada luminaria, así como si se cumple las restricciones marcadas por la legislación vigente, especialmente el Reglamento de Eficiencia Energética.

El problema que presenta este sistema es que se trata de un trabajo laborioso que obliga al proyectista a comparar productos con características no siempre homogéneas, para posteriormente realizar un estudio individual por cada una de las luminarias en un software específico. Dado que, como ya se dijo, existen decenas de fabricantes, con decenas de luminarias y con decenas de motores fotométricos para cada una de ellas, la elección, no ya sólo de un modelo específico de un fabricante, si no de un motor fotométrico concreto, puede convertirse en una labor compleja.

En este trabajo se propone un método mixto: por un lado, se ha desarrollado una herramienta haciendo uso del programa *Excel* y su módulo de programación mediante el lenguaje VBA y que nos permitirá comparar fácilmente luminarias de distintos fabricantes, para posteriormente hacer los estudios que se estipulen mediante la aplicación software *DIALux*.

El objeto de la herramienta desarrollada no se centra en sustituir las excelentes funcionalidades que proporciona DIALux, labor que resultaría imposible, más bien complementarlo, actuando como una especie de “filtro”. De esta manera, se puede hacer una selección previa, con carácter general y de manera objetiva, de las luminarias que mejor se adaptan a nuestras necesidades. Además, se pretende que este proceso se realice de una manera totalmente transparente al proyectista.

Por tanto, la Metodología propuesta para la selección de luminarias consta de dos fases, a saber:

1. Uso del programa *Excel* donde se pueda comparar un número elevado de luminarias de manera fácil, para después de hacer una primera selección de dos o tres luminarias,
2. Hacer un estudio lumínico individual con el programa *DialLux* para cada una de estas dos o tres luminarias, donde, ahora sí, se pueda elegir la que más se adapte a nuestras necesidades.

3.3.1. Selección de luminarias mediante el programa *Excel*

Se ha desarrollado una herramienta que, haciendo uso de una macro incluida dentro del propio fichero en formato Excel (*.xlsx) permite visualizar en forma de listado unos parámetros específicos de cada luminaria, de manera que permita compararlas en un vistazo.

Extracción de datos:

Para ello, es necesario que los fabricantes de las luminarias que queremos valorar nos faciliten sus características técnicas y la matriz polar de intensidades. La mayor parte de los fabricantes del

mercado facilitan esta información a través de ficheros descargables. Aunque existen muchos formatos estandarizados, los dos más utilizados son:

- Archivos EULUMDAT (*.ldt)¹¹
- Archivos Illuminating Engineering Society (*.ies)¹²

Para este trabajo se ha elegido el formato de fichero EULUMDAT o LDT que, por su estructura, hace muy fácil la lectura de datos y su posterior tratamiento. Básicamente, se basa en un fichero de texto separado por líneas, por lo que, para descargar los distintos parámetros y niveles de intensidad, sólo es necesario ir recorriendo las líneas contenidas en el fichero. La especificación de este fichero se adjunta a esta memoria como Apéndice A.

De esta manera, se pueden descargar las características la y matriz polar de intensidades de cualquier luminaria, obtenidas mediante ensayo con goniómetro, facilitados por los fabricantes, para después tratar los datos según nuestras propias necesidades.

3	4	ALCANCE [C0]										65.44 (INTERMEDIO)										Ilum.: 2834,63										cd										DISPERSIÓN										42.59 (ESTRECHA)										Ilum.: 2101,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Nombre del Fichero:		Valor de la Intensidad Máxima (cd/km²) en la Matriz.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Versión:	Converted LDT Editor version 1.2.5.0 - DIAL GmbH (www.dial.de)	lmax: 611,91										Celda: 43										Fila: 43										Columna: 11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Fabricante:	NOVATILU	l(90%): 550,719																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Luminaria(Ref.):	MILAN M LED (ALML60AE4T3_32)	G(Sup): 63,93 Gmax: 66,76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Modelo LED:	7568 7 lum																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Flujo luminoso:	7568 7 lum																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Potencia:	60 W																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Tiempo de Color:	K																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Simetría:	Sin simetría																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Fu:	99,06 %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Ratio Flujo Lámpara y Luminaria:	100,00 %																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Eficiencia (lm/Wa):	126,15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		Unidades: Candela/1000 lúmenes																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		Ang.C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		Ang.G																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460	465	470	475	480	485	490	495	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595	600	605	610	615	620	625	630	635	640	645	650	655	660	665	670	675	680	685	690	695	700	705	710	715	720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770	775	780	785	790	795	800	805	810	815	820	825	830	835	840	845	850	855	860	865	870	875	880	885	890	895	900	905	910	915	920	925	930	935	940	945	950	955	960	965	970	975	980	985	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030	1035	1040	1045	1050	1055	1060	1065	1070	1075	1080	1085	1090	1095	1100	1105	1110	1115	1120	1125	1130	1135	1140	1145	1150	1155	1160	1165	1170	1175	1180	1185	1190	1195	1200	1205	1210	1215	1220	1225	1230	1235	1240	1245	1250	1255	1260	1265	1270	1275	1280	1285	1290	1295	1300	1305	1310	1315	1320	1325	1330	1335	1340	1345	1350	1355	1360	1365	1370	1375	1380	1385	1390																																																																																																																																																												
5	256,08	259,42	260,26	261,78	264,85	268,98	268,91	268,96	270,66	270,35	270,76	270,92	270,61	271,09	269,84	269,64	268,68	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81	269,89	269,81

Ilustración 35.- Ejemplo de información extraída de un fichero LDT del fabricante Novatilu

La macro de *Excel* está diseñada de manera que en cada hoja de del fichero se pueda descargar la información contenida en un fichero *LDT* de una luminaria específica.

Tratamiento de datos:

La macro, automáticamente y después de descargar los datos y la matriz fotométrica, calcula una serie de parámetros que pretenden definir el comportamiento lumínico de la luminaria, a saber:

- Alcance: Informa sobre la distancia que es capaz de iluminar la luminaria en la dirección longitudinal.
- Dispersión: Informa sobre la distancia que es capaz de iluminar la luminaria en la dirección transversal.

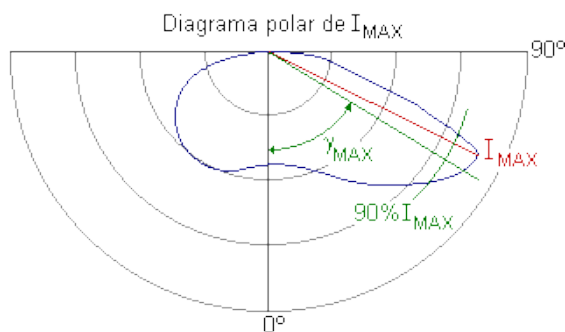
¹¹ <http://webstore.ansi.org/RecordDetail.aspx?sku=ANSI%2FIESNA+LM-63-02>

¹² <https://blog.ansi.org/2020/02/standard-file-photometric-data-ies-lm-63-19/#gref>

- Intensidad Máxima registrada en la matriz polar de intensidades.
- Control de Ángulos C y G de cada uno de los parámetros anteriores: da una idea del deslumbramiento que la luminaria produce en los usuarios.

En 1976, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE 1976) define los parámetros anteriores de la siguiente manera¹³:

Alcance: distancia, determinada por el ángulo G_{MAX} , en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de I_{MAX} que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa. En función del valor de este ángulo el alcance se tabula entre alcance corto, intermedio o largo.



Clasificación:

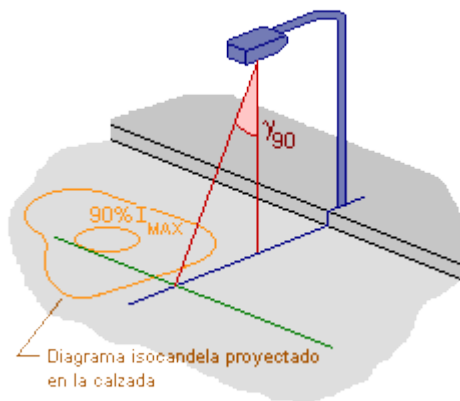
Alcance corto: $G_{MAX} < 60^\circ$

Alcance intermedio: $60^\circ \leq G_{MAX} \leq 70^\circ$

Alcance largo: $G_{MAX} > 70^\circ$

Ilustración 36.- Definición de alcance de una luminaria

Dispersión: distancia, determinada por el ángulo G_{90} , en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de I_{MAX} proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.



Clasificación:

Dispersión estrecha: $G_{90} < 45^\circ$

Dispersión media: $45^\circ \leq G_{90} \leq 55^\circ$

Dispersión ancha: $G_{90} > 55^\circ$

Ilustración 37.- Definición de dispersión de una luminaria

Entre otras funciones de la macro desarrollada, se ha diseñado un algoritmo que calcula dichos parámetros a partir de la matriz fotométrica de la luminaria. Para ajustar al máximo los valores y para

¹³ En la siguiente web se hace una buena descripción de los parámetros tratados siguiendo las definiciones establecidas en el CIE 1976: [Alumbrado de vías públicas \(upc.edu\)](http://Alumbrado de vías públicas (upc.edu))

calcular valores intermedios de ángulos, se hace uso de interpolación cuadrática, dando un valor exacto de los ángulos que definen el alcance y la dispersión. Posteriormente se clasifican en función del valor del ángulo según se muestra en las figuras anteriores.

Algunos fabricantes deciden omitir ciertos ángulos para abaratar costes en los ensayos lumínicos necesarios para obtener estos valores, ya sea porque existe simetría o porque extrapolan valores de ensayos con luminarias similares; el algoritmo es capaz de detectar este recorte de información adaptándose y advirtiéndole al usuario de que los parámetros calculados pueden resultar menos precisos. En cualquier caso, es una limitación impuesta por el fabricante, aunque conviene tenerla en cuenta.

ALCANCE (C0)	65,44 (INTERMEDIO)	Ilum:	2834,63	cd					DISPERSIÓN	42,59 (ESTRECHA)	Ilum:	2101,9	cd
Valor de la Intensidad Máxima (cd/Klm) en la Matriz.													
I _{max} :	611,91	Celda:	K43	Fila:	43	Columna:	11						
I(90%):	550,719												
G(Sup):	63,93	Gmax:	66,76										
G(Inf):	69,59												

Ilustración 38.- Ejemplo de los parámetros calculados por la macro desarrollada

Listado y comparativa de parámetros característicos de luminarias:

Para poder comparar luminarias fácilmente, se ha desarrollado un módulo que se ejecuta automáticamente al visualizarse en pantalla la hoja "RESUMEN" del Excel facilitado. De esta manera se crea un listado de las luminarias incorporadas en el resto de las hojas, junto a sus principales características y los parámetros calculados y que venimos aludiendo en este apartado.

Esta hoja permite seleccionar la altura de montaje y el tipo de instalación donde se prevé implantar, calculando en función de estos valores, la distancia al eje de la luminaria donde podemos encontrar la intensidad que define el ángulo de alcance; asimismo, calcula la iluminancia que proporciona en ese punto exacto. De esta manera podemos comparar fácilmente las diferencias entre distintos modelos de luminarias.

En este trabajo, el criterio seguido para poder agrupar luminarias con características similares es el de la potencia eléctrica, valor importante a la hora de calcular la reducción de consumo conseguido al renovar la instalación para justificar la eficiencia energética que es lo que se pretende. No obstante, dado que el código de las macros es accesible por el usuario, podría adaptarse a las necesidades específicas de cada usuario; por ejemplo, agrupándolas en función del flujo luminoso, o de la intensidad nominal necesaria para abastecer las placas LED.

[illegible]

Ilustración 39.- Ejemplo de hoja resumen de luminarias descargadas de distintos fabricantes y agrupadas por su potencia en Watios

Cómo se puede observar en la ilustración, para luminarias de distintos modelos y distintos fabricantes podemos comparar de un vistazo su alcance y dispersión máxima en metros, así como la iluminancia en luxes que se consiguen en ese punto; esta comparación cobra sentido si se comparan luminarias de potencias similares.

Así, por ejemplo, podemos observar que la luminaria PHILIPS BGP703 de 79W tiene un alcance de 13,22 m. proporcionando 8,91 lux; en contrapartida, una luminaria de características similares de la marca SOCELEC, modelo Ampera MIDI de 79W, consigue un alcance 4,52 m aportando una iluminancia mucho más alta en ese punto de 51,37 lux. Esto es debido a que la óptica de la luminaria SOCELEC está diseñada para iluminar priorizando la anchura de la calzada en contraposición con la óptica de la luminaria PHILIPS que persigue aumentar la equidistancia longitudinal entre puntos (observar las diferencias en el parámetro de dispersión).

Queda claro, por tanto, la enorme utilidad de la herramienta diseñada, facilitando al técnico la elección de luminarias que pretende implantar en su instalación, reduciendo considerablemente el tiempo destinado a su elección y aportando criterios objetivos fácilmente comparables y que permitan cuantificar parámetros que ayuden a su elección.

3.3.2. Justificación normativa de las secciones viales con el programa DIALux.

La elección de una o varias luminarias con la herramienta desarrollada no acaba aquí. Como ya se ha dicho en varias ocasiones, no se pretende presentar solamente una aplicación que permita calcular y diseñar una instalación de alumbrado público bajo criterios de eficiencia energética, se persigue

describir una metodología que permita al ingeniero ser más eficiente facilitando su labor. Así pues, una vez elegida la luminaria siguiendo las explicaciones indicadas en apartado anterior, se propone, hacer un estudio detallado y completo de las condiciones lumínicas que proporcionará a la instalación.

Para ello se propone el programa DIALux; no se busca hacer estudios lumínicos para comparar luminarias, sino para comprobar que nuestra instalación, una vez elegida la tipología, interdistancias y la sección tipo donde se pretenden instalar las luminarias, alcance los criterios lumínicos que hallamos establecidos en proyecto justificando, además, adecuadamente el Reglamento de Eficiencia Energética en cuanto a requerimientos lumínicos mínimos se refiere.

Esta diferencia de actuar con respecto al método clásico permite elegir las luminarias y diseñar la instalación de una manera más cómoda, más rápido, reduciendo errores y abriendo el abanico de posibilidades puesto que permite comparar varios tipos de luminarias, con sus diferentes ópticas de diversos fabricantes de una manera ágil y rápida. Esto redunda en la mejora de la calidad general de la instalación y, muy probablemente en la reducción de precios.

3.3.3. Mejora: Incorporación de secciones tipo en Pliegos de Condiciones Técnicas.

El Reglamento de Eficiencia Energética en las instalaciones de alumbrado público, tiene por objeto establecer las condiciones técnicas de proyecto que permitan la eficiencia y ahorro energético de la instalación. También establece los distintos parámetros lumínicos y criterios de calidad que limiten el resplandor luminoso nocturno reduciendo la luz intrusa o molesta. Para ello y una vez seleccionadas las distintas luminarias, es necesario incluir en proyecto un estudio lumínico que se incorporará como parte integrante del proyecto que justifique cada uno de estos aspectos.

Si bien es cierto que existen herramientas completísimas que permiten hacer un estudio lumínico en la totalidad de la superficie a tratar teniendo en cuenta su tipología y limitaciones inherentes, esto supone un esfuerzo considerable que, bajo nuestro punto de vista adquirido a través de la experiencia, es excesivo y no aporta mejoras sustanciales.

Normalmente, se suele optar por una solución intermedia, donde se estudien distintas secciones tipo de vías que recojan y acoten la casuística de cualquier instalación y que permitan describir de una manera aproximada, la realidad de espacios viales con circunstancias similares. De hecho, el Reglamento de Eficiencia Energética aboga por esta solución intermedia. La aplicación más utilizada y de reconocido prestigio es la ya mencionada Dialux que permite estudios exhaustivos de cualquier tipo de vial pudiendo establecer cientos de opciones que permitan describir y recrear cualquier situación real.

Como difícilmente se pueden superar las funcionalidades incluidas en el programa Dialux, en este trabajo, una vez seleccionadas las luminarias a utilizar en el proyecto con ayuda de la herramienta de selección desarrollada, se propone realizar los estudios lumínicos con el propio programa Dialux para distintas situaciones.

Con la experiencia adquirida durante la realización de varios proyectos de este tipo de instalaciones, se ha deducido que la mayoría de situaciones pueden acotarse en tres o cuatro secciones tipo y que pueden adaptarse perfectamente a la mayoría de calles existentes de cualquier población de tamaño medio.

En el presente trabajo se proponen tres secciones tipo:

1. Vial Comarcal: para calzadas de dos carriles de ancho de 8 metros y aceras en ambos sentidos con disposición unilateral, interdistancia de 28 metros y altura de montaje 9 metros.
2. Vial Urbana: para calzadas de dos carriles de ancho de 6 metros y aceras en ambos sentidos con disposición unilateral, interdistancia de 35 metros y altura de montaje 7 metros.
3. Zona recreativa Urbana: para calzadas de un carril de ancho 4 metros y aceras en ambos sentidos con disposición unilateral, interdistancia de 40 metros y altura de montaje 4,5 metros.

Las secciones tipo propuestas pretenden aumentar las interdistancias entre los puntos de luz, reduciendo su número total en la instalación, lo que redundará en la mejora de la eficiencia energética. Para ello, con ayuda de la herramienta facilitada, se han seleccionado las luminarias que creemos que mejor se adaptan a cada una de estas situaciones y que permiten alcanzar los requerimientos mínimos exigidos por el Reglamento de Eficiencia Energética entre decenas de modelos de distintos fabricantes, para después hacer un estudio exhaustivo en DialLux.

La novedad propuesta en este apartado radica en que, para facilitar su consulta y comprensión, se han diseñado unas hojas donde se muestran las principales características de las secciones tipo y los parámetros lumínicos conseguidos de una manera clara y normalizada. La información reflejada no es más que el resultado de trasladar los resultados obtenidos mediante el programa DialLux a una hoja de Excel que posteriormente se adjuntará como anexo en el proyecto técnico. La ventaja que presenta este método es que se puede evitar la referencia a marcas concretas, además de permitir comparar de manera fácil cualquier luminaria.

Por otro lado, si el órgano que pretende ejecutar el proyecto se trata de una Administración Pública, como es habitual, se pueden incluir dichas secciones tipo en los respectivos Pliegos de Prescripciones Técnicas de manera que se permita valorar cuantitativa y cualitativamente las distintas propuestas presentadas en concurso público de la manera más objetiva posible estableciendo como objetivos mínimos los incluídos en cada sección tipo sin hacer referencia a marcas.

En el Apéndice E de este Trabajo se incluyen las tres secciones tipo diseñadas de modo que puedan servir como referencia para las necesidades específicas de cualquier instalación.

4. Análisis de resultados

4.1. Casos prácticos y análisis de resultados

En esta sección se trata de ilustrar las ventajas que implica la aplicación del uso de la Metodología de trabajo y herramientas de asistencia técnica descritas en este trabajo. Se presentan dos casos reales y se intenta cuantificar el número de errores y el tiempo utilizado para la redacción de sendos proyectos utilizando las técnicas actuales, en contraposición con las técnicas descritas en la sección anterior. Asimismo, se hace un análisis cualitativo y cuantitativo que permita apreciar los enormes beneficios de aportan los métodos expuestos.

4.1.1. Definiciones y condicionantes previos para el análisis cuantitativo

Para entender los resultados obtenidos en esta sección hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El caso práctico planteado es un caso real. Se refiere a la renovación y reforma de la instalación de alumbrado público para mejorar su eficiencia energética en el municipio de Villaseca de Henares (Guadalajara).
2. Se pretende hacer un inventario de todas las instalaciones de alumbrado público de esta localidad. En total cuenta con 50 puntos de luz dependientes de un único centro de mando y un contrato de suministro.
3. Se sustituirán el máximo puntos de luz posibles hasta agotar presupuesto.
4. Se realizó un primer proyecto en 2012 con un presupuesto de 13.359,43 €.
5. En 2018 se realiza el proyecto utilizando una versión preliminar de la herramienta con un presupuesto de 27.674 €.
6. La instalación original era de Vapor de Mercurio; en 2012 se sustituyen las lámparas por Halogenuros metálicos; en 2018 se sustituyen por tecnología LED.
7. Se incluyen obras de sustitución de soportes y báculos cuando se considere necesario.
8. Existe un único técnico para realizar todo el proceso en jornada laboral de 8 horas.

4.1.2. Estudio cuantitativo

En este apartado se muestra una tabla que permite hacerse una idea de las tareas necesarias para la redacción de un proyecto de eficiencia energética de una instalación de alumbrado público típicas ordenadas cronológicamente. Dicha planificación temporal sirve como base para comparar el método tradicional con la Metodología desarrollada en este trabajo. La comparativa se basa en la descripción hecha en la sección 3 de este trabajo, “Desarrollo, herramientas y librerías empleadas”.

Hay que tener en cuenta que muchos de los pasos propuestos se pueden simplificar, mediante el uso de las herramientas facilitadas. Así, se considera que:

- Los pasos: 2,3 y 4; 8, 9 y 10; 13 y 14, se obtienen simultáneamente.
- En la planificación se ha incluido una sola iteración de los pasos 6 a 14. No obstante, es frecuente que se suela revisar todo el proceso más veces de manera que se llegue al diseño final, sobre todo en instalaciones más grandes, lo que implicaría incrementar considerablemente el tiempo de preparación del proyecto.

Tabla 5.- Planificación y estimación de tiempo para la confección de un proyecto de eficiencia energética de alumbrado público en una instalación con 50 puntos de luz y un centro de mando

Nº	Tareas/Procesos	Proyecto 2012 (Manual)			Proyecto 2018		
		nº Puntos	Tiempo (min)		nº Puntos	Tiempo (min)	
1	Adquisición de datos en campo	50	75		50	17	
2	Descarga de puntos a AutoCAD e introducción de información	50	33		50	1	
3	Descarga de datos CM a AutoCAD e introducción información	1	2		1	0	
4	Creación de listados de puntos e introducción de información	50	26		50	0	
5	Creación de listados de CM e introducción de información	1	2		1	0	
6	Selección de equipos y material	--	480		--	120	
7	Diseño de la instalación	--	180		--	180	
8	Creación de planos de puntos de la nueva instalación	50	52		50	1	
9	Creación de listados de nuevos puntos e introducción información	50	23		50	0	
10	Creación de planos de CM de la nueva instalación	1	4		1	0	
11	Creación de listados nuevos CM e introducción información	1	4		1	1	
12	Inventariado de elementos, cálculo y creación de tablas totales	--	60		--	1	
13	Estudio de la facturación eléctrica	1	30		1	1	
14	Estudio costes mantenimiento, justificación eficiencia e inversión	--	25		1	0	
15	Por cada iteración: Revisión resultados -modificación pasos 6 a 14-	1	86		1	31	

16	Elaboración de mediciones y presupuesto	1	30		1	10	
17	Elaboración memoria técnica y anexos justificativos (con plantilla)	1	60		1	2	
18	Preparación de documentación gráfica para integrar en proyecto	1	20		1	2	
19	Preparación hoja de control de obra	1	30		1	1	
Tiempo total de preparación de Proyecto:			1.222	min		368	min
			20,37	horas		6,13	horas
			2,79	Días		0,84	Días

Como se puede observar, el tiempo total empleado utilizando el método tradicional es considerablemente mayor que utilizando la metodología y herramientas propuestas. Para una instalación relativamente pequeña, serían necesarias al menos tres jornadas de trabajo de 8 horas; en contrapartida, siguiendo la metodología propuesta y usando las herramientas de asistencia técnica planteadas, podría terminarse todo el proyecto en menos de una jornada laboral.

Las diferencias se incrementarían considerablemente en instalaciones más grandes que además supondrían un proceso con más interacciones para mejorar y ajustar su diseño.

Hay que tener también en cuenta que para poder planificar la renovación de una instalación siguiendo criterios de eficiencia energética con un presupuesto limitado que no nos permita actuar sobre la totalidad de los puntos de luz, en cualquier caso, es necesario hacer una auditoría energética del total de los puntos de luz. De lo contrario, difícilmente podremos seleccionar cuales son las partes de la instalación que permiten maximizar la reducción de consumo. Esto implica aumentar considerablemente los tiempos, independientemente del tamaño de la instalación sobre la que finalmente se actúa.

4.1.3. Estudio cualitativo

Para tratar de comparar los resultados obtenidos desde el punto de vista de la calidad, al contrario que en apartado anterior, se contempla una instalación relativamente grande.

Dado que resulta complicado establecer indicadores objetivos, así como identificar los errores y deficiencias cometidos durante este proceso, se opta por acotar el estudio exclusivamente a la toma de datos de la instalación y la conformación del inventario. Si bien se omiten tareas que conforman el proceso total para la redacción de este tipo de proyectos, puede ofrecernos una idea general de las implicaciones que conlleva cada método.

La elección de una instalación mucho más grande, en concreto cuenta con 1030 puntos de luz y 21 centros de mando, implica que la toma de datos y la conformación del inventario de manera manual resulta mucho más laboriosa y repetitiva, lo que facilita cometer errores. El objetivo es que permita apreciar las ventajas que presentan las herramientas de asistencia técnica desarrolladas en este proyecto.

Consideraciones:

- El caso propuesto se refiere a una toma de datos real en el municipio de Sigüenza de la provincia de Guadalajara.
- El conteo de errores corresponde con una primera recogida de información durante el año 2012. Como consecuencia de los problemas acaecidos, se decide volver a realizar la toma de datos utilizando un equipo de adquisición de datos, realizando el resto de tareas con ayuda de las herramientas expuestas en este trabajo. Posteriormente se realizó una última revisión, lo que permite cuantificar los errores con la nueva metodología.
- Los errores mostrados en cada tarea no son acumulativos.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.- Análisis Cualitativo

		(1030 puntos de luz y 21 CM)	Proceso Manual				Utilizando Herramientas de Asistencia Técnica			
Nº		Tareas y procesos	Omitidos	Duplicados	Mal situados	Información deficiente	Omitidos	Duplicados	Mal situados	Información deficiente
1	Puntos de Luz	Adquisición información:	52	31	155	103	11	6	2	11
2		Introducción de la información en formato gráfico:	16	11	16	21	0	0	0	0
3		Creación de listados en hoja de cálculo:	9	6	0	11	0	0	0	0
4		TOTAL:	77	48	171	135	11	6	2	11
5	CMs	Adquisición información:	0	0	2	7	0	0	0	0
6		Introducción de la información en formato gráfico:	0	0	0	1	0	0	0	0
7		Creación de listados en hoja de cálculo:	0	0	0	1	0	0	0	0
8		TOTAL:	0	0	2	9	0	0	0	0
		TOTAL ERRORES:	77	48	173	144	11	6	2	11
		% de puntos con algún tipo de error:	42.06%			442	2.85%			30

De los resultados podemos concluir que el proceso manual, al menos en una instalación grande, es muy propenso a cometer errores, sobre todo durante la toma de datos manual. Esta toma de datos en este caso resulta especialmente compleja debido a tipología de calles del municipio: en el casco antiguo cuenta con calles y callejuelas desordenadas y desiguales; en la periferia cuenta con urbanizaciones muy extensas sin referencias que hacen difícil orientarse y con grandes desniveles. Esto hace que la toma de datos en papel resulte difícil, especialmente identificando los puntos de luz para después anotarlos en el lugar debido del plano.

Posteriormente, durante el traspaso de información del formato papel a formato electrónico, los errores se acentúan. Se requiere además una gran inversión de tiempo que facilita más aun la posibilidad de omitir información, duplicarla o anotarla de forma deficiente.

Como se puede observar en los resultados obtenidos, la toma de datos mediante un equipo profesional de datos facilita exponencialmente la labor. Dicho equipo libera al lector de datos de tener que orientarse, tanto *in situ* como en plano; no necesita tampoco pararse continuamente para hacer la respectiva anotación; además, dado que la introducción de datos se ha diseñado haciendo uso de menús desplegables, reduciendo la cantidad de información, la posibilidad de cometer errores disminuye considerablemente.

Durante el proceso de traspaso de información al formato definitivo para su posterior manipulación la posibilidad de cometer errores es nula dado que el proceso es completamente automático. Como podrá deducir el lector, es un proceso que se ejecuta en apenas unos segundos.

4.1.4. Conclusiones

El uso de una metodología y, sobre todo, el empleo de las herramientas y funcionalidades facilitadas que automaticen el trabajo susceptible de serlo reducen a la mínima expresión cometer errores. Por otro lado, el tiempo invertido en obtenerlos y manipularlos de manera que queden informatizarlos se reduce considerablemente por lo que su uso está sobradamente justificado.

Lo anterior redundará en la reducción de costes de obra y de explotación de la instalación. Y no sólo eso, facilitará enormemente las labores de ingeniería, aumentando la productividad y la competitividad del despacho profesional o del ingeniero proyectista.

4.2. Definición de un modelo de consumo y su efecto sobre la facturación eléctrica

Para hacer un estudio completo de la eficiencia energética de cualquier instalación eléctrica, ya sea para la ejecución de un proyecto o la realización de una auditoría energética, es imprescindible contrastar los datos de facturación con un patrón de consumo, así como las potencias eléctricas facturadas con las realmente instaladas.

Horarios y tarifas eléctricas:

Primeramente, conviene determinar el número de horas de funcionamiento mensual a lo largo del año por parte de la instalación de alumbrado público. Posteriormente, haciendo uso de las franjas horarias de facturación que establecen las compañías suministradoras, podemos deducir el porcentaje de horas dentro de cada una de las franjas. Esta información nos permite compararla con los datos facturados y prever, bastante fielmente, la futura facturación, al tiempo que recomendar la más adecuada.

En el siguiente cuadro se pueden apreciar los principales hitos horarios a lo largo de un periodo anual para una latitud como la capital de Guadalajara:

Tabla 7.- Horarios anuales que permiten contextualizar la curva de funcionamiento de una instalación de alumbrado público

	INVIERNO			VERANO							INVIERNO		Total
Días en el mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Amanece	7:32	8:26	7:49	7:59	7:15	6:47	6:48	7:12	7:42	8:11	7:44	8:18	
Ocaso	19:18	18:31	19:06	20:39	21:10	21:38	21:49	21:30	20:47	19:58	18:12	17:49	
de ocaso a 24h	4:42	5:29	4:54	3:21	2:50	2:22	2:11	2:30	3:13	4:02	5:48	6:11	
H. alumbrado/día	12:14	13:55	12:43	11:20	10:05	9:09	8:59	9:42	10:55	12:13	13:32	14:29	
Horas formato decimal	12.23	13.92	12.71	11.33	10.08	9.01	8.98	9.7	10.9	12.22	13.53	14.48	
Horas mensuales	379	390	394	340	312	270	278	301	328	379	406	449	4226

Se concluye que una instalación de alumbrado entra en funcionamiento durante 4.226 horas anuales para una latitud en el centro de la península Ibérica, aunque podemos considerar un número de horas inferior debido a los minutos de penumbra que, con los relojes astronómicos usados en la actualidad, en detrimento de células solares, no se producen. Por tanto, aproximaremos el dato a 4.200 horas al año.

Sin bien en la actualidad hay multitud de tarifas que establecen distintos periodos de facturación en función de las necesidades y patrones de consumo de la instalación, incluso horarias, en este trabajo

únicamente se considerarán tarifas de dos: punta y valle, y tres periodos: punta, llano y valle. Hay que tener en cuenta que estos tramos varían en invierno y verano coincidiendo con las fechas de cambio de horario de verano a invierno que para este estudio se han considerado que son el 31 de marzo y el 31 de octubre.

En la siguiente figura se describen las dos tarifas eléctricas consideradas:

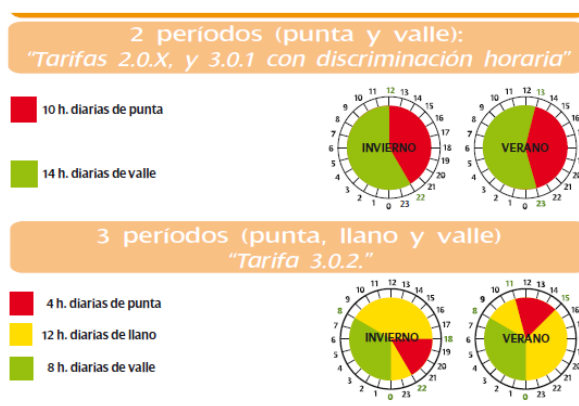


Ilustración 40. Tarifas horarias consideradas. FUENTE: Iberdrola, S.A.

Observando la información horaria de funcionamiento y los periodos de facturación expuestos. De dos y tres tramos, podemos llegar a la conclusión de que el alumbrado público en invierno se ve penalizado con facturación punta, ya que se encendería a las 18:30h y el periodo valle comienza a las 22:00 horas.

Patrones de consumo:

Con la información y conclusiones expuestas hasta ahora, podemos calcular fácilmente el número de horas de los distintos periodos de facturación por mes, estableciendo un patrón de consumo que es lo que se pretendía:

Tabla 8.- Patrones de consumo para una instalación de alumbrado público en tarifas de dos y tres periodos. FUENTE: elaboración propia

Tarifa 3.0.2 más de 15 kW		VERANO											
Horas día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
VALLE (0 a 8)	7:32	8:00	7:49	7:59	7:15	6:47	6:48	7:12	7:42	8:00	7:44	8:00	
LLANO (22 a 24)	2:00	2:26	2:00	3:21	2:50	2:22	2:11	2:30	3:13	4:13	2:00	2:18	
PUNTA (18 a 24)	2:42	3:29	2:54								3:48	4:11	
Horas mes	379	390	394	340	312	270	278	301	328	379	406	449	4231
VALLE (0 a 8)	233	236	242	239	225	203	211	223	231	248	232	257	2781
LLANO	62	56	62	100.5	88	71	68	78	96.5	131	60	62	935
PUNTA	84	98	90								114	130	515
													4226
Tarifas de menos de 15 Kw		VERANO											
Horas día													
VALLE	9:32	10:26	9:42	8:59	8:15	7:47	7:48	8:12	8:42	9:11	9:44	10:18	
PUNTA	2:42	3:29	2:54	2:21	1:50	1:22	1:11	1:30	2:13	3:02	3:48	4:11	
Horas mes	379	390	394	340	312	270	278	301	328	379	406	449	4226
VALLE	295	292	301	269	256	233	242	254	261	285	292	319	3300
PUNTA	84	98	90	71	56	37	36	47	67	94	114	130	927

Los siguientes gráficos permiten interpretar mejor los resultados obtenidos conforme a los patrones de consumo para ambas tarifas:

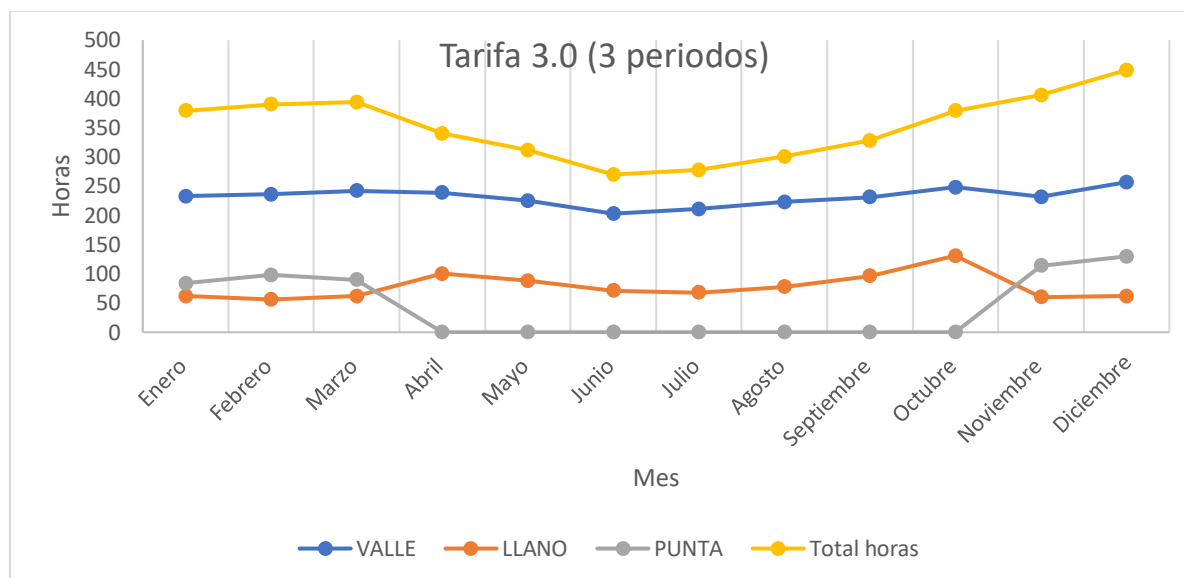


Ilustración 41.- Patrón de Consumo de una instalación de alumbrado público con tarifa de tres periodos

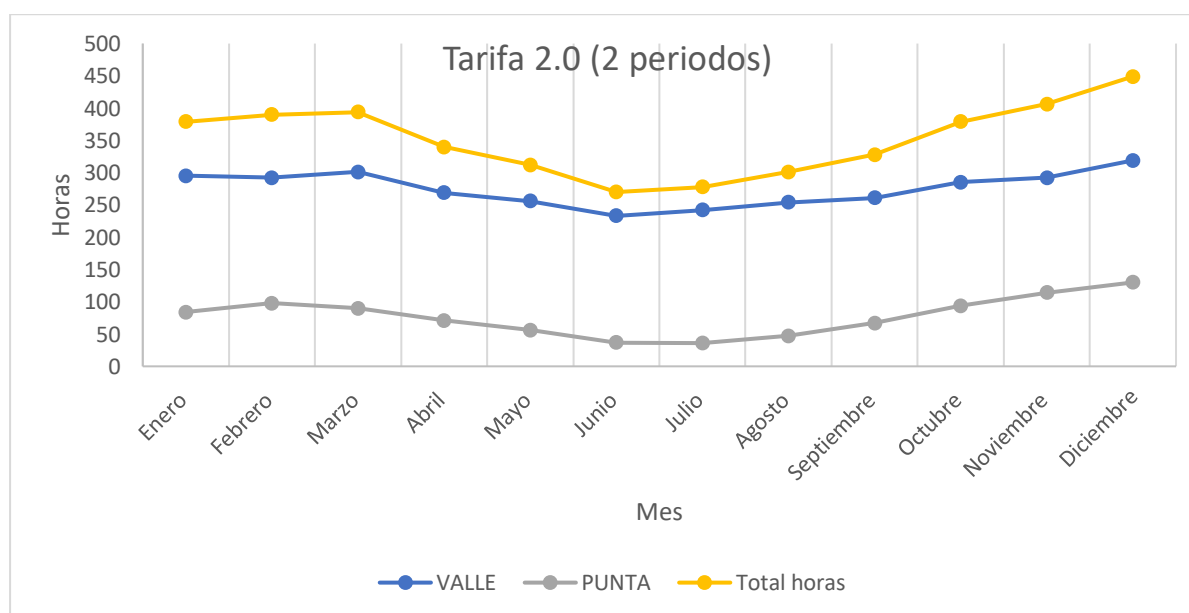


Ilustración 42.- Patrón de Consumo de una instalación de alumbrado público con tarifa de dos periodos

Atendiendo a la información contenida a la tabla calculamos el porcentaje de horas de funcionamiento en cada uno de los periodos:

- Para tres tramos: 2781 horas valle, 935 horas llano y 515 en punta: **65.7% Valle, 22% Llano; 12.3% Punta**
- Para dos tramos: 3300 horas valle y 927 horas en punta: **78.8% Valle y 21.2% Punta**

También podemos establecer, en función del total de horas al año por cada periodo y aplicando los costos de energía y potencia, el coste teórico anual por KW instalado.

Conviene tener en cuenta que el término de potencia es facturado a partir de la potencia contratada, si se registran consumos superiores al 5%, ese exceso de potencia se factura por importe doble. En la actualidad con la instalación de contadores inteligentes de energía en la mayoría de las instalaciones no generan recargo, simplemente se desconecta el suministro con un determinado margen.

Por otro lado, no se han considerado tarifa de un periodo porque es mucho menos ventajosa para una instalación de alumbrado público. Si se existiese alguna instalación contratada con este tipo de tarifa, se recomienda al titular su cambio a cualquiera de las tarifas de dos o tres periodos en función de los valores obtenidos haciendo uso de la herramienta facilitada para el estudio de la facturación.

Todo este escandallo de información sirve como base a la herramienta de asistencia para la evaluación de consumos de facturación incluidos en el archivo Excel facilitado que ha sido descrito en las secciones precedentes.

5. Conclusiones y trabajos futuros

5.1. Conclusiones

Las Metodologías propuestas en este TFM permiten facilitar enormemente la labor del ingeniero industrial en particular, y de cualquier proyectista en general, en el proceso del diseño de una instalación de alumbrado público para mejorar su eficiencia energética, especialmente en la confección del respectivo proyecto técnico justificativo.

Esto se consigue estableciendo Metodologías que, haciendo uso de técnicas de calidad, permita estandarizar los procesos y tareas necesarias para proyectar con éxito este tipo de instalaciones. Además, va un paso más allá y facilita una serie de herramientas de asistencia técnica que automatizan, en mayor o menor grado, todas las tareas susceptibles de serlo y que no requieren de ningún criterio de interpretación por parte del técnico. Como consecuencia, permite que se reduzcan considerablemente los tiempos de respuesta, reduciendo considerablemente los errores materiales que suelen darse en este tipo de trabajos.

A lo largo de este TFM, se han analizado las técnicas actuales o métodos tradicionales para el diseño de este tipo de instalaciones y la confección de documentación justificativa, valorando las distintas desventajas e inconvenientes que conlleva y proponiendo una serie de mejoras que permitan solventarlos.

Posteriormente, se han propuesto distintos aspectos que permitan mejorar la técnica actual, describiendo distintas actuaciones y desarrollando herramientas de asistencia que permitan facilitar cada una de ellas, a la vez que simplificar la obtención de información y cálculos justificativos.

Para terminar, se ha intentado justificar, mediante análisis cuantitativos y cualitativos, que los resultados obtenidos son los esperados; se han reducido considerablemente los tiempos de respuesta, a la vez que se minimizan los errores, redundando en una considerable reducción de costes que debería aumentar la satisfacción del cliente.

Hay que destacar que se mejorará considerablemente la calidad de los materiales y equipos que componen la instalación y facilitará su mantenimiento, lo que lleva aparejada una mejora considerable en su eficiencia energética, objeto último de este tipo de proyectos.

5.2. Trabajos futuros

A pesar de las mejoras incluidas en el presente trabajo, resulta evidente que es susceptible de ampliar en muchos aspectos sus funcionalidades automatizando otras muchas tareas y documentos que pueden formar parte del proyecto. El enorme potencial que creemos que tienen estas Metodologías y herramientas asociadas, creemos que puede justificar por sí sólo la inversión de tiempo requerida para darles forma.

Se plantean en este apartado posibles líneas futuras con las que poder completar y mejorar las metodologías y estrategias expuestas en este Trabajo Final de Máster y que pretender servir de base para continuar con los trabajos por cualquier ingeniero del sector interesado, con unos mínimos de programación básica:

- Ampliar la generación automática de la documentación gráfica del proyecto: el alcance de las herramientas desarrolladas en este proyecto es, en cierto aspecto, limitado. Dado que todos los elementos que forman parte de un dibujo de AutoCAD se basan en objetos, y por tanto son accesibles y manipulables mediante la librería VBA facilitada por la propia AutoDesk, podrían implementarse fácilmente rutinas que permitan automatizar la creación de cartelas, selección de tamaños de papel, escalas adecuadas, etc. Se podrían obtener todos los planos del proyecto mediante un simple clic ya que todas las tareas que en la actualidad se realizan manualmente son repetitivas y se reducen a pasos predefinidos. Incluso se podría generar toda la documentación, incluida la escrita, en formato pdf que permitiría reducir considerablemente el trabajo final antes de su impresión y, en su caso, visado.
- Generación automática del presupuesto de obra: Si bien en este trabajo se aportan herramientas que permiten generar el inventario y mediciones de equipos y materiales utilizados en la obra proyectada, haciendo uso del formato estándar de bases de precios ampliamente utilizado en el mercado actual (formato estándar de bases de datos para la construcción FIEBDC-3¹⁴) podrían generarse completamente las mediciones y presupuestos que deben formar parte de todos los proyectos de obra. Esto permitiría reducir, si no eliminar, la mayor parte de errores materiales típicos que suelen cometerse en este tipo de documentación y que pueden afectar a la viabilidad económica de la obra.

Las dos mejoras propuestas hasta ahora permitirán reducir aún más los tiempos de desarrollos mejorando y reduciendo las debilidades de la Metodología hasta ahora y que pueden deducirse de los análisis cuantitativos y cualitativos hechos en la sección correspondiente.

Si además nos centramos en ampliar las funcionalidades contempladas en este trabajo, una buena línea de desarrollo podría ser la siguiente:

- Creación de nuevos bloques del dibujo: En este trabajo, para la conformación del inventario y de la documentación gráfica, nos hemos limitado a la creación de bloques en forma de puntos. El punto es el elemento más simple, es fácil de manipular directamente en el dibujo y creemos que es suficiente para definir fielmente la realidad de la obra que se pretende.

¹⁴ <https://www.fiebdc.es/>

Sin embargo, se puede ir más allá, definiendo bloques en forma de línea, por ejemplo. Esto aumenta exponencialmente las posibilidades de la metodología planteada evitando muchas de las limitaciones que presentan los bloques en forma de punto.

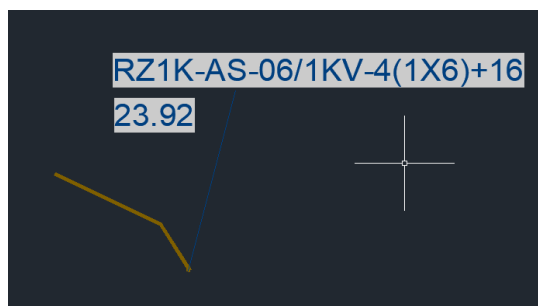


Ilustración 43.- Bloque con formato línea propuesto que representa la inserción de una línea eléctrica junto a sus principales características y longitud

Utilizando bloques en forma de línea se puede incluir la introducción de líneas de distribución de la corriente eléctrica que da suministro a los puntos de alumbrado público desde su origen o Centro de Mando. Añadiendo propiedades a las líneas, podríamos definir completamente las principales características que describan adecuadamente cualquier conductor (Material, aislamientos, secciones, longitudes, etc.).

Esto ampliaría considerablemente las funcionalidades de la aplicación habiéndose llevado a cabo algunos trabajos preliminares en este sentido con excelentes resultados.

Podría pensar el lector que otra aplicación de esta funcionalidad podría destinarse al cálculo de líneas eléctricas conforme a las indicaciones del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. En nuestra opinión, en este aspecto, sí existen diversas herramientas en el mercado que facilitan enormemente la labor y que facilitan innumerables funcionalidades que difícilmente podrían igualarse con el presente método.

Para finalizar, la aplicación de la metodología propuesta podría aplicarse a otro tipo de instalaciones. Así, sería relativamente sencillo adaptar las herramientas propuestas para realizar inventarios o proyectos de instalaciones de agua, señales de circulación, elementos semafóricos, mobiliario urbano, etc.

6. Bibliografía

- [1] Autodesk, Inc., «Microsoft VBA Module for AutoCAD,» 23 03 2021. [En línea]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/downloads/caas/downloads/content/download-the-microsoft-vba-module-for-autocad.html>.
- [2] Microsoft, Inc., «Referencia de VBA para Office,» 11 08 2021. [En línea]. Available: <https://docs.microsoft.com/es-es/office/vba/api/overview/>.
- [3] Boletín Oficial del Estado, «Real Decreto 1890,2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07,» 14 11 2008. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-18634>.
- [4] R. González González, J. M. de las Casas Ayala y R. Puente García, Curso de Iluminación integrada en la Arquitectura, Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 2008.
- [5] Ministerio de Ciencia y Tecnología, «Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación,» 01 Marzo 2001. [En línea]. Available: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_gt_ee_iluminacion_alumbrado_publico_9a40dc27.pdf.
- [6] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, «Protocolo de Auditoría Energética de las Instalaciones de Alumbrado Exterior,» 01 Abril 2018. [En línea]. Available: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/ahorro_y_eficiencia_energetica/alumbrado_exterior/protocolo_auditoria_energetica_instalaciones_ap_v_2018.pdf.
- [7] IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. , «Portal de transparencia del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico,» 1 Octubre 2021. [En línea]. Available: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/ahorro_y_eficiencia_energetica/alumbrado_exterior/documentos_anexos_a_los_pliegos_ese_v2016_42b2192c.doc. [Último acceso: 10 Noviembre 2021].
- [8] Comité Español de Iluminación, «Ministerio para la transición Ecológica y Reto Demográfico - IDAE,» 11 Octubre 2020. [En línea]. Available: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/idae/tecnologias/ahorro_y_eficiencia_energetica/alumbrado_exterior/requerimientos_tecnicos_exigibles_alumbrado_exterior_dic-2020.pdf. [Último acceso: 28 Noviembre 2021].

- [9] Consorcio PremiumLigth Pro, «www.premiumlightpro.es,» 1 junio 2018. [En línea]. Available: www.premiumlightpro.es. [Último acceso: 11 26 2021].
- [10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, «IDAE,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/servicios/alumbrado-exterior>.
- [11] Socolec, Schröder Group GIE, Seminario de Alumbrado. Alumbrado Urbano y Carretera, 2008.
- [12] Socolec, Schröder Group GIE, Seminario de Alumbrado. Nueva Visión Lumínica, 2019.
- [13] Instituto Alemán de Tecnología Aplicada a la Iluminación, «DialLux, software para el diseño de iluminación profesional,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.dialux.com/es-ES/soporte>.
- [14] P. Kelly, «Excel Macro Mastery, The Missing VBA Handbook,» 2021. [En línea]. Available: excelmacromastery.com.
- [15] L. Ambrosius, «Autodesk University,» 2013. [En línea]. Available: [https://www.autodesk.com/autodesk-university/es/forge-content/au_class-urn%3Aadsk.content%3Acontent%3A99acfa17-c2c0-4613-ad0e-44b55bce4971#:~:text=Visual%20Basic%20for%20Applications%20\(VBA,with%20the%20AutoCAD%20object%20model..](https://www.autodesk.com/autodesk-university/es/forge-content/au_class-urn%3Aadsk.content%3Acontent%3A99acfa17-c2c0-4613-ad0e-44b55bce4971#:~:text=Visual%20Basic%20for%20Applications%20(VBA,with%20the%20AutoCAD%20object%20model..)

Apéndice A. Manual de Usuario

A.1. Introducción

En este apéndice se incluye una breve descripción del proceso a seguir para instalar y usar las librerías y módulos necesarios que permiten hacer uso de las herramientas de asistencia técnica propuestas en este Trabajo Final de Máster.

Para facilitar su lectura se ha dividido en dos secciones: por un lado, se enumeran y explican someramente los pasos a seguir para habilitar e instalar los módulos y librerías necesarios para poder utilizar las herramientas desarrolladas; por otro lado, se hace una pequeña descripción de los menús contextuales integrados en la hoja de cálculo facilitada, así como la posibilidad de habilitar el modo de programación integrado en el paquete Office de Microsoft.

A.2. Guía de instalación

Instalación de la librería Microsoft VBA para AutoCAD

Con la instalación de esta librería se puede acceder desde cualquier aplicación del paquete Office de Microsoft a una biblioteca completísima de funciones que permiten acceder a cualquier comando de AutoCAD y, lo que es más importante, manipular cualquier objeto que forme parte de un dibujo (líneas, polilíneas, bloques, polígonos, capas, propiedades, etc.) y tener acceso a cualquiera de sus propiedades de manera totalmente bidireccional.

Su instalación es muy sencilla; basta con que descarguemos de la página web¹⁵ de Autodesk la versión de la librería que corresponda con la versión de AutoCAD que tenemos instalada en nuestro equipo, para una vez hayamos ejecutado el ejecutable facilitado, sigamos las instrucciones que se nos muestra en pantalla.

Instalación del programa Custom UI Editor (opcional)

Esta aplicación, creada en su día por Microsoft, permite personalizar la barra de herramientas y añadir menús contextuales personalizados en los programas que forman parte del paquete de Microsoft Office. Permite editar de manera fácil a través de lenguaje XML los componentes Open Office XML que forman parte los ficheros típicos de cada uno de los programas incluidos. En nuestro caso, se modifica el componente XML de la hoja de cálculo facilitada para hacer uso de las herramientas (fichero *.xlsx).

Para ello es necesario descargar el fichero OfficeCustomUIEditorFiles.zip, accesible desde la siguiente dirección web: <https://bettersolutions.com/vba/ribbon/custom-ui-editor.htm>

Una vez hayamos descargado y descomprimido el fichero basta con ejecutarlo, no necesita instalación, para hacer uso de todas sus funcionalidades.

¹⁵ <https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/downloads/caas/downloads/content/download-the-microsoft-vba-module-for-autocad.html>

Modo desarrollador del paquete Office (opcional)

Aunque esta opción no es necesaria, es muy conveniente habilitar el modo desarrollador, al menos en el programa Office, puesto que el usuario puede acceder a toda la programación VBA organizada mediante distintos módulos que implementan las herramientas y funcionalidades facilitadas. Esto puede servir para comprender en detalle cómo se realizan los diversos cálculos de la información mostrada, o incluso implementar nuevas funcionalidades o modificar las existentes de manera que se adapten a las necesidades específicas de cada técnico.

En la siguiente imagen se muestra como habilitar dicha opción a través de las opciones del menú archivo del programa Excel:

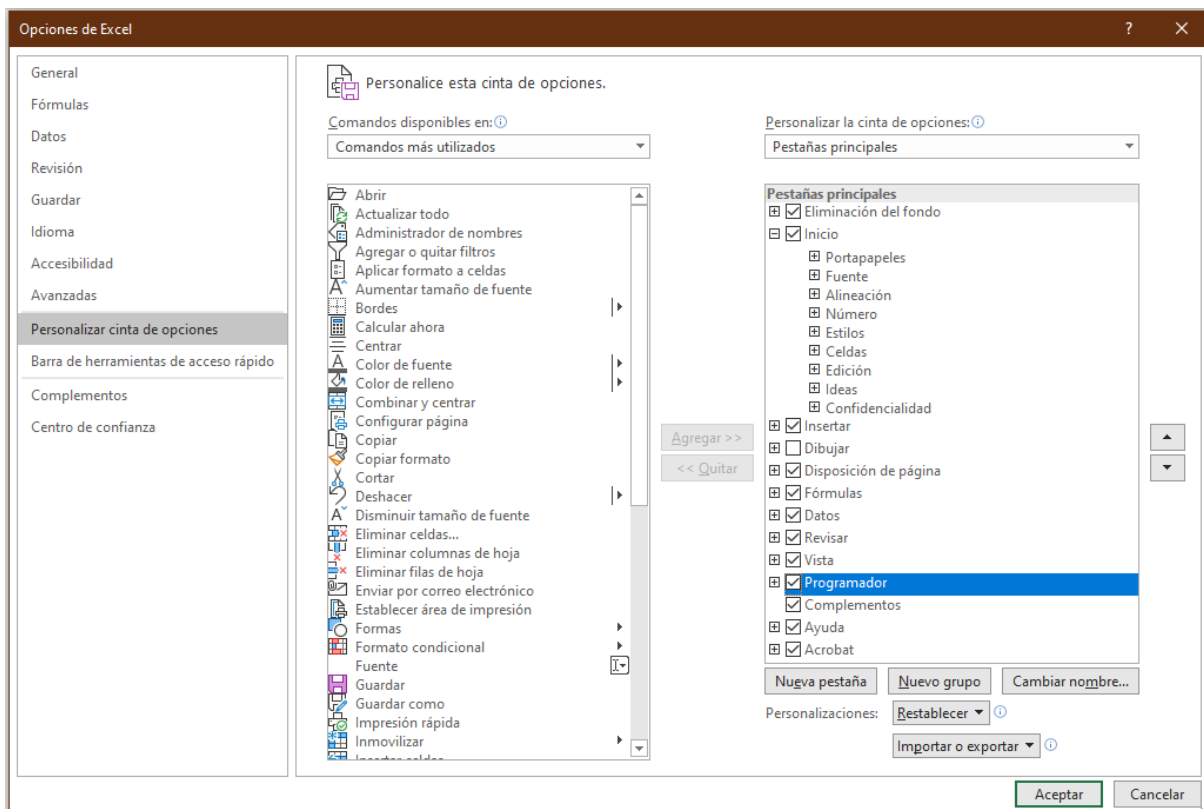


Ilustración 44.- Opción que permite habilitar el modo Desarrollador en el programa Excel



Ilustración 45.- Herramientas incluidas en la pestaña desarrollador de la cinta de opciones de Excel, incluido el acceso al editor VBA

Habilitación de macros de los programas del paquete Office

Para que las distintas herramientas puedan ejecutarse es imprescindible habilitar la ejecución de macros del programa Excel de Office, a través del Centro de Confianza accesible desde el menú de opciones de la pestaña Archivo del programa.

En la siguiente imagen se muestra cómo hacerlo:

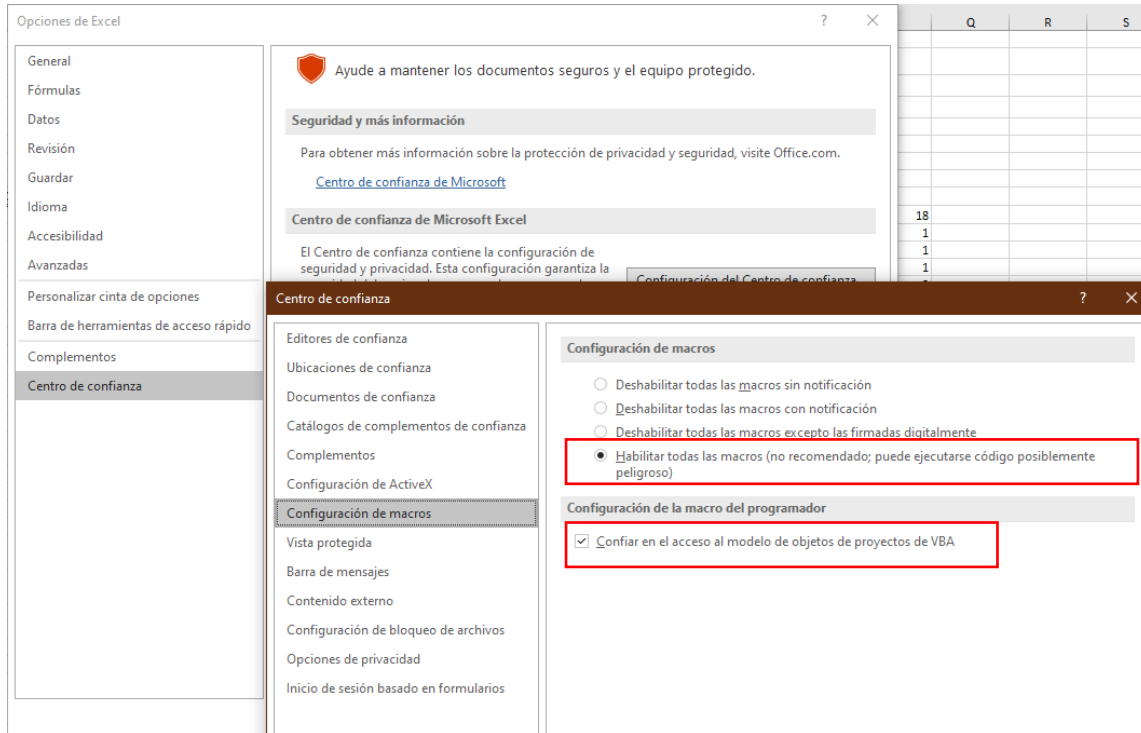


Ilustración 46.- Habilitar la ejecución de macros en el programa Excel

Importación de la librería VBA de AutoCAD.

Para hacer uso de la librería que facilita el acceso a objetos del programa AutoCAD y su manipulación, es necesario importarla en el editor de código integrado VBA que incorpora la propia suite de Ofimática Office. Para ello, en el propio editor, es necesario dirigirnos a la opción referencias del menú “Herramientas” y habilitar las opciones “AutoCAD 2018 Type Library” y “AutoCAD Focus Control for VBA Type Library” (En nuestro caso 2018 porque es la versión de AutoCAD elegida. Es necesario elegir la librería adecuada en función del año de la versión), como se muestra en las siguientes ilustraciones:

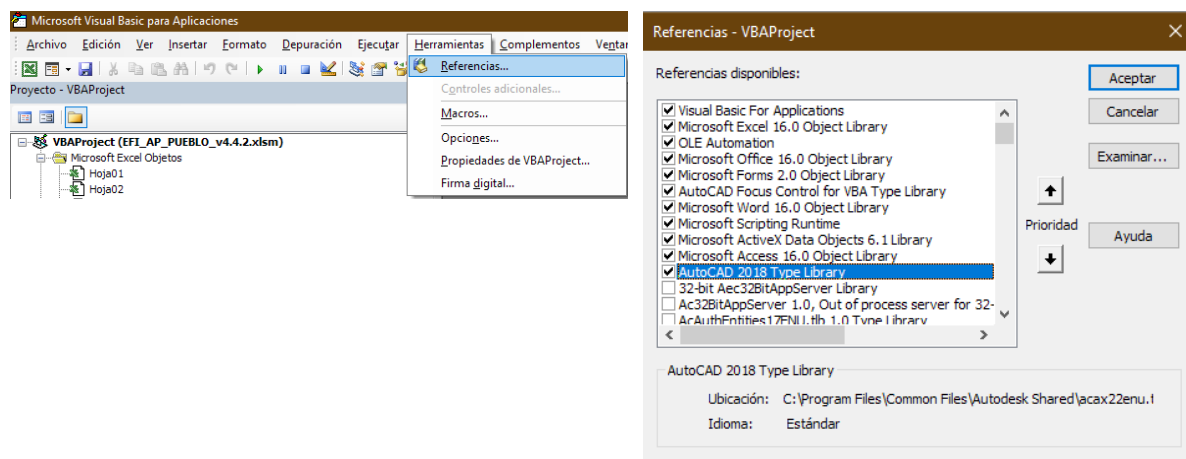


Ilustración 47.- Importación de la Librería VBA de AutoCAD en el IDE de programación del programa Office

A.3. Guía de Ejecución

Acceso a las distintas funcionalidades del fichero Excel facilitado

El acceso a las distintas funcionalidades y herramientas facilitadas se realiza pulsando el botón derecho del ratón en cualquier lugar del libro de Excel facilitado. A través de menús contextuales organizados en categoría se tiene acceso a todas las funcionalidades que además están ordenadas y se muestran en el orden establecido en la Metodología propuesta en este trabajo Final de Máster.

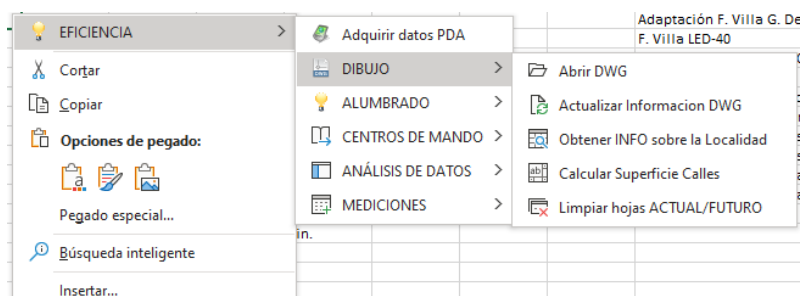


Ilustración 48.- Menú contextual “DIBUJO” que permite acceder a las funcionalidades de información de la memoria y planos del Proyecto

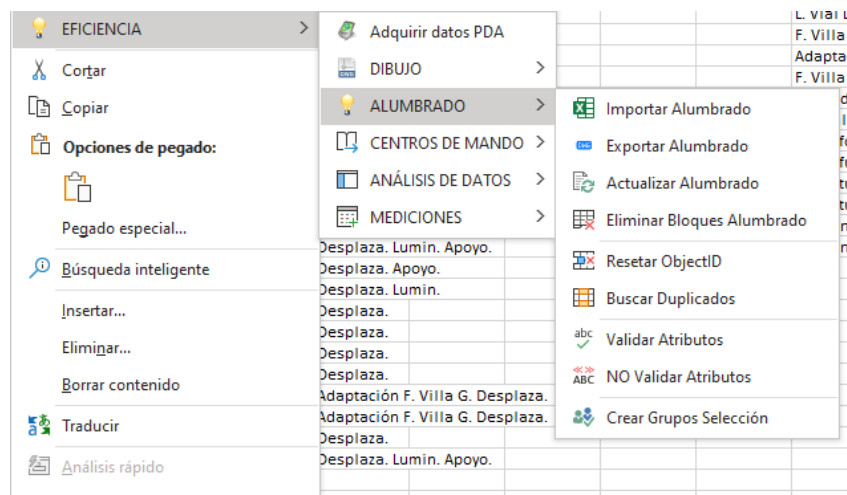


Ilustración 49.- Menú contextual “ALUMBRADO” que permite acceder a las funcionalidades de inserción, creación y modificación de los puntos de alumbrado de la instalación

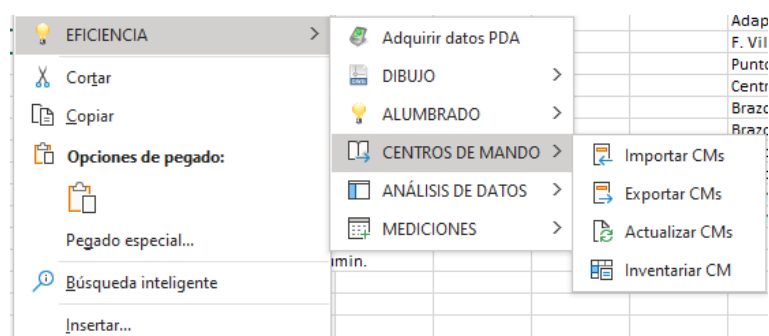


Ilustración 50.- Menú contextual “CENTROS DE MANDO” que permite acceder a las funcionalidades de inserción, creación y modificación de los Centros de Mando de la instalación

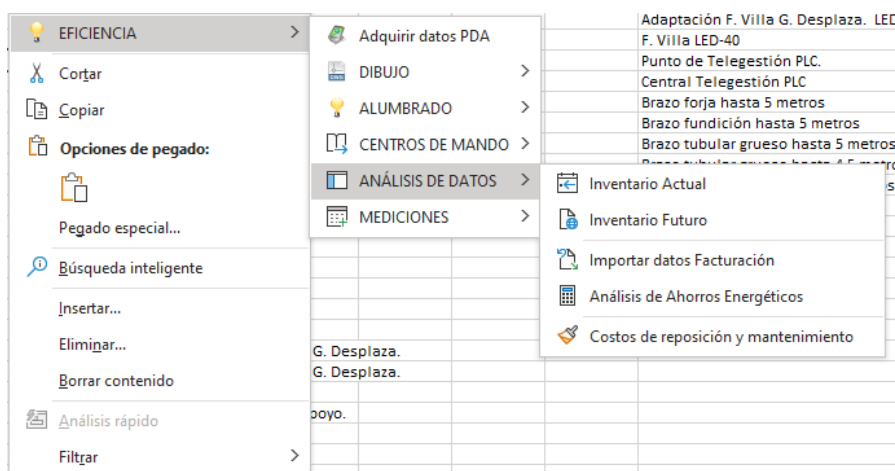


Ilustración 51.- Menú contextual “ANÁLISIS DE DATOS” que permite acceder a las funcionalidades de cálculo y estudio de la eficiencia energética de la instalación.

Custom UI Editor

El funcionamiento de este programa que nos permite personalizar y añadir menús contextuales en cualquier fichero Excel es muy sencillo. Incluye un editor xml que permite esta personalización. Incluye una serie de ejemplos o “Callbacks” de ejemplo que podemos utilizar como plantillas que facilitan enormemente la labor.

Mediante el uso de etiquetas xml se puede añadir menús contextuales a nuestro gusto que permitan llamar a las macros o funciones contenidas en nuestro propio fichero mediante el siguiente formato:

```
<menu id="MySubMenuDibujo" label="DIBUJO" image="dwg-file" insertBeforeMso="Cut">
<button id="btn1Dib" label="Abrir DWG" imageMso="FileOpen"onAction="abrirDwg"/>

</menu>
```

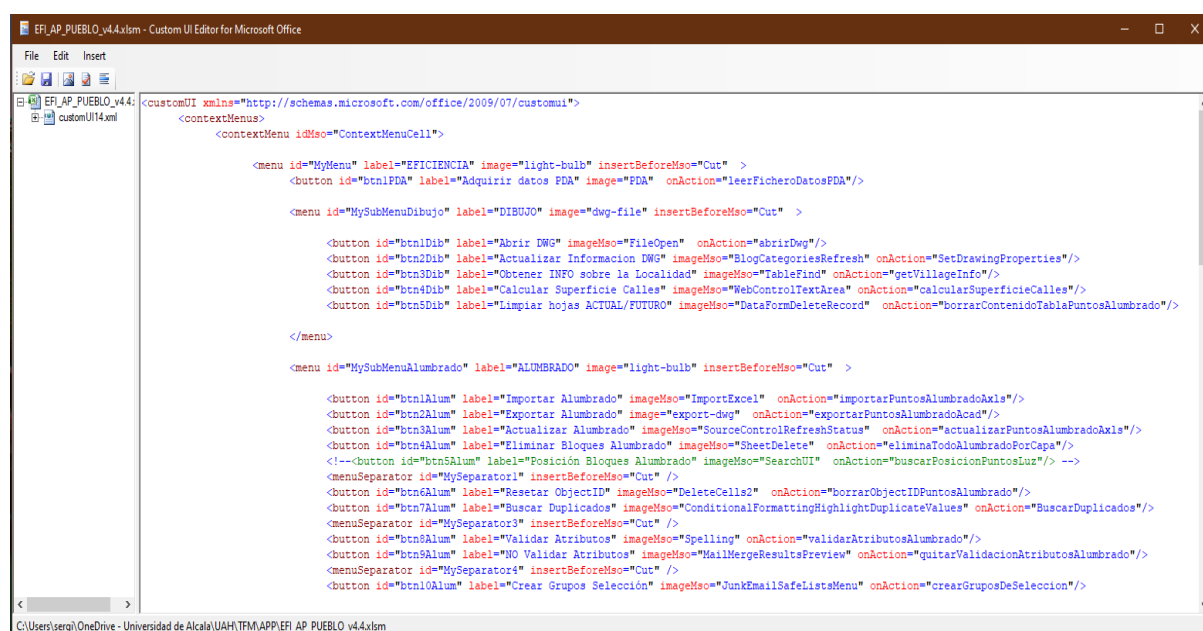


Ilustración 52.- Editor xml incluido en la aplicación que permite personalizar los menús contextuales de cualquier fichero creado con el paquete Office de Microsoft

En la mayoría de los casos, se ha hecho uso del paquete de iconos estándar facilitados por el Sistema Operativo Windows 10. Se puede consultar una lista de los iconos existente en la siguiente dirección: <https://bert-toolkit.com/imagemso-list.html>

Apéndice B. Pliego de Condiciones

En este apéndice se especifican las características hardware y software empleados en el desarrollo de este Trabajo Final de Máster.

Hardware empleado:

Para el desarrollo de las herramientas técnicas de asistencia expresadas en este trabajo se han utilizado alternativamente un ordenador portátil y un ordenador de sobremesa con las siguientes características:

Ordenador Portátil:

- Modelo: Dell Latitude E7470
- Procesador: Intel® Core™ i5-6300U @ 2,4GHz
- Memoria Instalada: 16GB RAM DDR3
- Tarjeta Gráfica: integrada Intel HD Graphics 520
- Almacenamiento: Disco Duro de Estado Sólido 500 GB

Ordenador de Sobremesa:

- Procesador: Intel i5-4440K
- Memoria Instalada: 8 GB RAM DD3
- Tarjeta gráfica dedicada: NVIDIA® Quadro™ P1000 – 1GB RAM
- Almacenamiento: Disco Duro de Estado Sólido 250 GB

Si bien la capacidad de procesamiento es más que suficiente con cualquiera de los dos ordenadores, las tareas relacionadas con la creación de planos, que implica el uso del programa AutoCAD, se ha tratado de realizar en el Ordenador de sobremesa debido a la mayor potencia de la tarjeta gráfica dedicada que además está certificada por Autodesk para su uso con sus herramientas CAD.

Asimismo, dada la mayor comodidad que presenta su uso, en la mayoría de ocasiones se ha trabajado sobre dos monitores marca DELL de 27" y una estación de acoplamiento o Dock que facilita la conexión con el ordenador portátil.

Para la toma de de datos de campo de instalaciones de alumbrado público se ha utilizado un equipo de adquisición de datos profesional con módulo de posicionamiento GPS y pantalla táctil, Modelo JUNO SC de la Marca Trimble Navigation Limited. Para la descarga, manipulación y exportación de los datos adecuadamente geo-referenciados es necesario instalar el software GPS Pathfinder Office y su licencia de funcionamiento en red, ambos facilitados junto con el equipo.

Software empleado:

Para desarrollar este Trabajo Final de Máster y las herramientas propuestas se han instalado bajo el Sistema Operativo Windows 10 Pro de 64 bits, los siguientes programas:

- AutoCAD v2018.
- Librería para módulos VBA de AutoCAD facilitada por AutoDesk.
- Paquete Ofimático Microsoft Office 365

- Software Custom UI Editor para la inserción de menús contextuales personalizados en el fichero Excel facilitado.

Apéndice C. Presupuesto

C.1. Introducción

En este apéndice se detalla el presupuesto necesario para implementar e implantar la Metodología y Herramientas de asistencia técnica propuestas en el presente Trabajo Final de Máster.

Los costes de material e impuestos se encuentran actualizados a fecha febrero de 2021.

Se incluye también una planificación estimada de lo que se cree que durarían los trabajos para desarrollarlo e implantarlo en una empresa de mediano tamaño.

C.2. Equipo de trabajo

Para la implantación de la Metodología propuesta se recomienda personal técnico con experiencia en sistemas de calidad orientada a procesos. Para el desarrollo de las funcionalidades de asistencia técnica se recomienda contar con un ingeniero con conocimientos en desarrollo de software y programación orientada a objetos.

C.3. Planificación

Para cuantificar económicamente el coste que conllevaría implantar es presente proyecto resulta imprescindible conocer su duración lo que facilitará valorar los gastos debidos a la mano de obra.

De lo expuesto en el presente Trabajo Final de Máster proponemos las siguientes fases para una correcta implantación teniendo en cuenta que la jornada laboral es de 40 horas semanales, 5 días a la semana:

1. Formación inicial y estudio teórico de la situación actual de la ingeniería (1 semana):
 - Recopilar información sobre los métodos actuales, software utilizado, información y herramientas utilizadas (cuatro días)
 - Reuniones informativas y de coordinación para establecer estrategias generales para la implantación
2. Diseño de la Metodología propuesta adaptada a la realidad de la empresa (1 semana)
3. Adaptación y Diseño de las herramientas de adquisición de datos (1 semana):
 - Selección y compra de equipos de adquisición de datos y software asociado (2 días)
 - Instalación del software necesario y pequeña formación de su manejo (1 día)
 - Diseño de la interfaz de introducción de datos y toma de decisiones sobre la información a capturar y su forma de representarse (1 día)
 - Implementación de la interfaz de exportación de datos para su posterior tratamiento (1 día)
4. Adaptación y desarrollo de las herramientas de asistencia propuesta conforme la Metodología acordada (3 semanas)
 - Diseño y adaptación de las herramientas destinadas a la importación de datos, manipulación y posterior representación en diversos soportes informáticos (información gráfica y escrita) (1 semana)

- Diseño y adaptación de las herramientas de asistencia técnica de las herramientas para la creación del inventario y cálculos justificativos que sirvan de base para justificar la eficiencia energética (3 días)
 - Diseño y adaptación del módulo de estudio de la facturación energética (1 semana)
 - Diseño y adaptación del módulo de estimación de costes de mantenimiento (2 días)
5. Diseño y adaptación del módulo de mediciones y creación de hoja de trabajo (2 semanas)
 6. Adaptación de la herramienta de selección de luminarias a la realidad de la empresa y formación (1 semana)
 7. Adaptación, diseño y desarrollo de las herramientas de creación de documentación propia de un proyecto técnico para una instalación de alumbrado público y su eficiencia energética (2 semanas)

El tiempo total necesario para implantar la Metodología propuesta y sus herramientas de asistencia técnica en una empresa de mediano tamaño es de: 12 semanas (3 meses)

C.4. Costes

En este apartado se pretende justificar adecuadamente el presupuesto necesario para la implantación del proyecto. Para facilitar su comprensión se divide en tres apartados: costes por mano de obra, costes de recursos software y hardware, hasta llegar al presupuesto de ejecución material final.

Costes por mano de obra:

Tabla 9.- Costes por mano de obra

Concepto	Horas	Coste Unitario (€/h)	Coste total (€)
Formación Inicial, revisión de la técnica actual y reuniones de coordinación	40,00	25,00	1.000,00
Diseño de la Metodología	40,00	25,00	1.000,00
Adaptación y Diseño de las herramientas de adquisición de datos	40,00	25,00	1.000,00
Adaptación y desarrollo de las herramientas de asistencia propuesta conforme la Metodología acordada	120,00	25,00	3.000,00
Diseño del módulo de mediciones y hoja de trabajo	80,00	25,00	2.000,00
Adaptación de la herramienta de selección de luminarias	40,00	25,00	1.000,00
Adaptación de herramientas para generar la documentación del proyecto	30,00	25,00	750,00
TOTAL	390,00		9.750,00 €

Recursos hardware:

Tabla 10.- Costes por recursos hardware

Concepto	Ud.	Coste Unitario (€)	Coste total (€)
Ordenados Portátil de la gama profesional	1,00	1.250,00	1.250,00
Periféricos (Dock station, teclado, ratón, etc.)	1,00	55,00	55,00
Monitor gama profesional 27" panel IPS antirreflejante	1,00	285,00	285,00
Equipo de Adquisición de Datos	1,00	926,00	926,00
TOTAL	4,00		2.516,00 €

Recursos software:

Tabla 11.- Costes por recursos software

Concepto	Ud.	Coste Unitario (€)	Coste total (€)
Windows 10 Pro	1,00	229,00	229,00
Microsoft Office 365 (suscripción anual)	1,00	69,00	69,00
AutoCAD v2018 (Licencia anual)	1,00	6.585,00	6.585,00
Licencia software PathFinder Office adquisición datos	1,00	55,00	55,00
TOTAL	4,00		6.938,00 €

Presupuesto total:

Tabla 12.- Presupuesto TOTAL

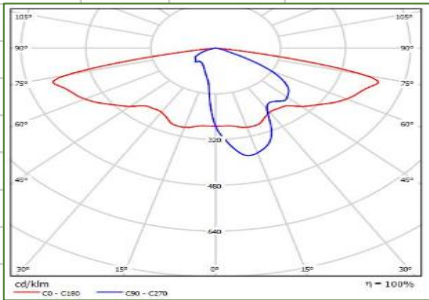



Concepto	Ud.	Coste Unitario (€)	Coste total (€)
Mano de Obra	1,00	9.750,00	9.750,00
Recursos Hardware	1,00	2.516,00	2.516,00
Recursos Software	1,00	6.938,00	6.938,00
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL			19.204,00 €
Gastos Generales		13%	2.496,52 €
Beneficio Industrial		6%	1.152,24 €
Presupuesto de ejecución por contrata			22.852,76 €
Importe I.V.A.		21%	4.799,08 €
PRESUPUESTO TOTAL:			27.651,84 €

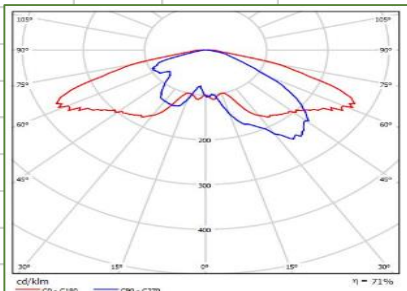
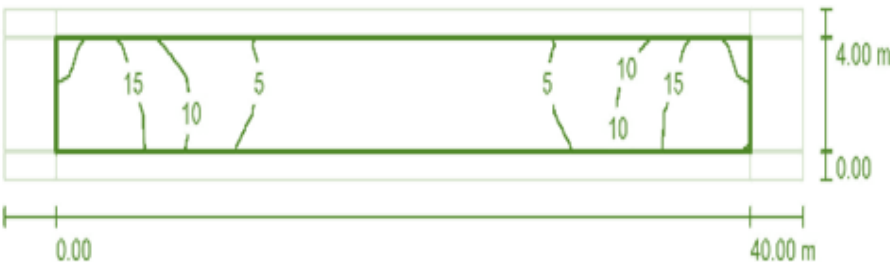


El presupuesto total para la implantación completa de la Metodología y herramientas de asistencia técnica propuestas en el presente Trabajo Final de Máster asciende a **VEINTISIETE MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y UN EUROS Y OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS** (27.651,84 €).

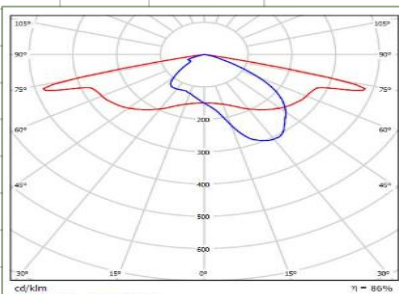
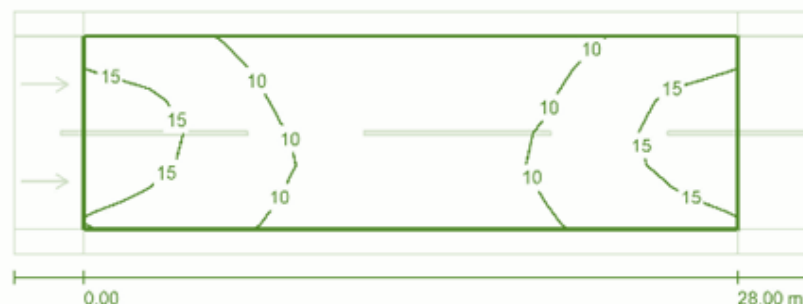


Apéndice D. EULUMDAT File Format Specification

EULUMDAT File Format Specification			
Item	Designation	Number of Characters	
1	Company identification/data bank/version/format identification max.	Max. 78	
2	Type indicator ltyp (1 - point source with symmetry about the vertical axis; 2 - linear luminaire; 3 - point source with any other	1	
3	Symmetry indicator isym (0 - no symmetry; 1 - symmetry about the vertical axis; 2 - symmetry to plane C0-C180; 3 - symmetry to	1	
4	Number Mc of C-planes between 0 and 360 degrees (usually 24 for interior, 36 for road lighting luminaires)	2	
5	Distance Dc between C-planes (Dc = 0 for non-equidistantly available C-planes)	5	
6	Number Ng of luminous intensities in each C-plane (usually 19 or 37)	2	
7	Distance Dg between luminous intensities per C-plane (Dg = 0 for non-equidistantly available luminous intensities in C-planes)	5	
8	Measurement report number	Max. 78	
9	Luminaire name	Max. 78	
10	Luminaire number	Max. 78	
11	File name	8	
12	Date/user	Max. 78	
13	Length/diameter of luminaire (mm)	4	
14	Width of luminaire b (mm) (b = 0 for circular luminaire)	4	
15	Height of luminaire (mm)	4	
16	Length/diameter of luminous area (mm)	4	
17	Width of luminous area b1 (mm) (b1 = 0 for circular luminous area of luminaire)	4	
18	Height of luminous area C0-plane (mm)	4	
19	Height of luminous area C90-plane (mm)	4	
20	Height of luminous area C180-plane (mm)	4	
21	Height of luminous area C270-plane (mm)	4	
22	Downward flux fraction DFF (%)	4	
23	Light output ratio luminaire LORL (%)	4	
24	Conversion factor for luminous intensities (depending on measurement)	6	
25	Tilt of luminaire during measurement (road lighting luminaires)	6	
26	Number n of standard sets of lamps (optional, also extendable on company-specific basis)	4	
26a	Number of lamps	n * 4	
26b	Type of lamps	n * 24	
26c	Total luminous flux of lamps (lumens)	n * 12	
26d	Color appearance / color temperature of lamps	n * 16	
26e	Color rendering group / color rendering index	n * 6	
26f	Wattage including ballast (watts)	n * 8	
27	Direct ratios DR for room indices k = 0.6 ... 5 (for determination of luminaire numbers according to utilization factor method)	10 * 7	
28	Angles C (beginning with 0 degrees)	Mc * 6	
29	Angles G (beginning with 0 degrees)	Ng * 6	
30	Luminous intensity distribution (candela / 1000 lumens) [See Note 2]	(Mc2-Mc1+1) * Ng * 6	
NOTES			
1. Only linear luminaires (ltyp = 2) are being subdivided in longitudinal and transverse directions.			
2. The parameters Mc1 and Mc2 for the luminous intensity distribution are determined by:			
Isym	Mc1	Mc2	
0	1	Mc	
1	1	1	
2	1	Mc / 2 + 1	
3	3 * Mc / 4 + 1	Mc1 + Mc / 2	
4	1	Mc / 4 + 1	
3. Each field is an ASCII string that is terminated with an MS-DOS <CR><LF> pair.			
EULUMDAT and Absolute Photometry			
Release: August 20, 2009			
This document describes how to generate and interpret an EULUMDAT file containing absolute photometric data.			
Without any changes to the EULUMDAT file format specification, an EULUMDAT file representing absolute photometry can be interpreted as:			
Item	Designation	Absolute Photometry Value	Notes
26	Number n of standard sets of lamps	1	1
26a	Number of lamps	-n (number of light emitters)	2
26b	Type of lamps	<Unchanged>	3
26c	Total luminous flux of lamps (lumens)	Luminous flux (lm) of luminaire	4
...			
30	Luminous intensity distribution (cd/klm)	<Unchanged>	5
NOTES			
1. Field 26. There can be only one standard set of lamps for absolute photometry, and the value is fixed at 1.			
2. Field 26a. While the number of lamps 'n' is meaningless for absolute photometry, it may still be useful to indicate the number of light emitters, such as the number of LEDs. The value is therefore retained, but its sign is negative to indicate absolute photometry.			
3. Field 26b. Type of lamp is just informative. It could be for example the ILCO OS code for a reflector lamp, or the manufacturer's name for a type of LED.			
4. Field 26c. In accordance with the principles of absolute photometry, this field reports the measured luminous flux of the luminaire rather than the total manufacturer's rated lumens of the lamps.			
An advantage of this interpretation for the luminaire manufacturer is that the reported luminous flux can be measured with for example an integrating sphere rather than a goniophotometer. This makes it possible to measure one luminaire with a goniophotometer to determine its luminous intensity distribution, and then measure multiple identical luminaires to obtain an average total luminous flux value.			
5. Field 30. All values are stated in candela per kilolumen (cd/klm). The advantage is that there is no change to the existing format.			
This interpretation is fully compatible with existing EULUMDAT photometric data files, and also with existing lighting design software programs as long as they do not perform range checking on field 26a. (This is unlikely, as the number of lamps is not required when interpreting the luminous flux distribution of a luminaire.)			
Implementation			
Given that no changes are required to the EULUMDAT file format specification, support for absolute photometry can be provided immediately. Responsibilities for the various parties include:			
1. Photometric Testing Laboratories			
+ Use -n in field 26a to designate absolute photometric data reports. (This is a convention only.)			
2. Luminaire Manufacturers			
+ Request EULUMDAT files with -n in field 26a for products requiring absolute photometry (primarily for solid-state lighting products, but also for lamps and luminaires with non-removable lamps).			
3. Lighting Design Software Manufacturers			
+ Modify future version of their products to indicate EULUMDAT files with absolute photometric data.			

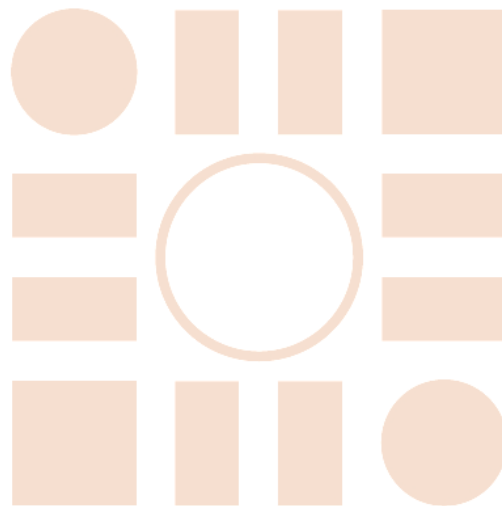
Apéndice E. Secciones tipo alumbrado

CÁLCULOS LUMÍNICOS Y ENERGÉTICOS						Urbano - Vial			
SECCIÓN TIPO: COMARCAL			EFICIENCIA ENERGÉTICA			A		ÓPTICA	
Acera 1: 1 m			Superficie: 175		Alcance				
Calzada: 6 m (2 carriles)			E _m [lx]: 10		71,43º				
Acera 2: 1 m			Potencia: 36		ε: 48,61				
R. Calzada: R3, q0: 0.070			ε _R 18		ε _{min} : 12				
F _m : 0,85 (IDAE)			Iε 2,70		ICE: 0,37		45º		
							Asimétrica		
LUMINARIA			TIPOLOGÍA						
Nº LEDs: 24			Disposición: Unilateral						
Tipo LED: ISTANIUM			Distancia: 35						
Color: 4000ºK			H. montaje: 7 m						
Intensidad: 530 mA			H. total: 7.11 m						
Potencia: 36 W			L. calzada: 0 m						
Φ Luminaria: 4960 lm			L. brazo: 0.650 m						
Φ Lámpara: 4960 lm			Inclinación: 0º						
VALORES LUMÍNICOS CALCULADOS									
Tipo	Clase	Situación		L _m [cd/m²]	U _o	UI	TI [%]	SR	
B2	ME4b	Calzada	Requerido	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50	
			Calculado(1)	0.72	0.40	0.61	14	0.52	
Tipo	Clase	Situación		E _m [lx]	E _{min} [lx]	(1). Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado descritas a continuación no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia. Los valores medios y mínimos son valores de referencia, pero no exigidos (ITC-EA-02. Apto 1)			
D4	S3		Requerido	≥ 7.50	≥ 1.5				
		Acera 1	Calculado(1)	6.55	4.62				
				Acera 2	8.05				3.32
CURVAS ISOLUX									
Calzada						Rejilla 12x6 puntos			
						E _m [lx]	10		
						E _{min} [lx]	3.76		
						E _{max} [lx]	30		
						U _o	0.362		
						E _{min} / E _{max}	0.126		
Acera 1						Rejilla 12x3 puntos			
						Ac1/Ac2			
						E _m [lx]	6.55/8.05		
						E _{min} [lx]	4.62/3.32		
						E _{max} [lx]	8.89/21		
						U _o	0.706/0.413		
Acera 2						Rejilla 12x3 puntos			
						E _{min} / E _{max}	0.520/0.157		
Sección tipo para Urbana Ambiental modelo VIAL. Para más detalles, consultar.									
Ingeniero Técnico Industrial e Ingeniero en Electrónica: Sergio Sánchez Barahona.									
Rev.1.1									

CÁLCULOS LUMÍNICOS Y ENERGÉTICOS						Urbano - Villa			
SECCIÓN TIPO: COMARCAL			EFICIENCIA ENERGÉTICA			ÓPTICA			
Acera 1: 1 m			Superficie:	240	A	Alcance			
Calzada: 4 m (1 carril)			E _m [lx]:	8,36		73,33º			
Acera 2: 1 m			Potencia:	39		Dispersión			
R. Calzada: R3, q0: 0.070			ε _R	9		34,78º			
F _m : 0,85 (IDAE)			Iε	5,72	ε _{min} :	6	Asimétrica		
					ICE:	0,17			
LUMINARIA			TIPOLOGÍA						
Nº LEDs:	24		Disposición:	Unilateral					
Tipo LED:	XP-G3		Distancia:	40 m					
Color:	4000ºK		H. montaje:	4.59 m					
Intensidad:	500 mA		H. total:	5 m					
Potencia:	39 W		L. calzada:	0 m					
Φ Luminaria:	3677 lm		L. brazo:	0.80 m					
Φ Lámpara:	5179 lm		Inclinación:	0º					
VALORES LUMÍNICOS CALCULADOS									
Tipo	Clase	Situación		E _m [lx]	E _{min} [lx]	(1). Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado descritas a continuación no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia. Los valores medios y mínimos son valores de referencia, pero no exigidos (ITC-EA-02. Apto 1)			
D4	S3	Calzada	Requerido	≥ 7.50	≥ 1.5				
			Calculado(1)	8.36	0.9				
Tipo	Clase	Situación		E _m [lx]	E _{min} [lx]				
D4	S3	Acera 1	Requerido	≥ 7.50	≥ 1.5				
		Acera 2	Calculado(1)	6.33	1.93				
				5.35	0.27				
CURVAS ISOLUX									
Calzada						Rejilla 10x6 puntos			
						E _m [lx]	8.36		
						E _{min} [lx]	0.9		
						E _{max} [lx]	20		
						U _o	0.108		
						E _{min} / E _{max}	0.044		
Acera 1						Rejilla 10x3 puntos			
						Ac1/Ac2			
						E _m [lx]	6.33/5.35		
						E _{min} [lx]	1.93/0.27		
						E _{max} [lx]	18/15		
						U _o	0.305/0.051		
Acera 2						Rejilla 10x3 puntos			
						Ac1/Ac2			
						E _m [lx]	6.33/5.35		
						E _{min} [lx]	1.93/0.27		
						E _{max} [lx]	18/15		
						U _o	0.305/0.051		
						E _{min} / E _{max}	0.105/0.018		
Sección tipo para Urbana Ambiental modelo VILLA. Para más detalles, consultar.									
Ingeniero Técnico Industrial e Ingeniero en Electrónica: Sergio Sánchez Barahona.									
						Rev.1.0			

CÁLCULOS LUMÍNICOS Y ENERGÉTICOS						Comarcal - Vial			
SECCIÓN TIPO: COMARCAL			EFICIENCIA ENERGÉTICA			ÓPTICA			
Acera 1: 1 m			Superficie:	280	A	Alcance			
Calzada: 8 m (2 carriles)			E _m [lx]:	11		73,66º			
Acera 2: 1 m			Potencia:	54		ε:	57,04	Dispersión	
R. Calzada: R3, q0: 0.070			ε _R	19		ε _{min} :	13	19.5º	
F _m : 0,85 (IDAE)			Iε	3,00	ICE:	0,33	Simétrica		
LUMINARIA			TIPOLOGÍA						
Nº LEDs:	24		Disposición:	Unilateral					
Tipo LED:	XP-G3		Distancia:	28 m					
Color:	4000ºK		H. montaje:	8.96 m					
Intensidad:	700 mA		H. total:	9 m					
Potencia:	54 W		L. calzada:	0 m					
Φ Luminaria:	6575 lm		L. brazo:	0.25 m					
Φ Lámpara:	7676 lm		Inclinación:	0º					
VALORES LUMÍNICOS CALCULADOS									
Tipo	Clase	Situación		L _m [cd/m²]	U _o	UI	TI [%]	SR	
B2	ME4b	Calzada	Requerido	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50	
			Calculado(1)	0.75	0.42	0.60	10	0.65	
Tipo	Clase	Situación		E _m [lx]	U _o	(1). Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado descritas a continuación no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia			
D4	CE5	Acera 1	Requerido	≥ 7.50	≥ 0.40				
		Acera 2	Calculado(1)	7.74	0.61				
				8.91	0.68				
CURVAS ISOLUX									
Calzada								Rejilla 10x6 puntos	
				E _m [lx]	11				
				E _{min} [lx]	5.61				
				E _{max} [lx]	19				
				U _o	0.5				
				E _{min} / E _{max}	0.299				
Acera 1								Rejilla 10x3 puntos	
					Ac1/Ac2				
				E _m [lx]	7.74/8.91				
				E _{min} [lx]	4.69/6.70				
				E _{max} [lx]	11/13				
				U _o	0.607/0.676				
				E _{min} / E _{max}	0.446/0.502				
Acera 2									
Sección tipo para Carretera Comarcal con IMD<7000. Para más detalles, consultar.									
Ingeniero Técnico Industrial e Ingeniero en Electrónica: Sergio Sánchez Barahona.									
								Rev.1.0	

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá