



SERVIGUIDE

consultoría innovación externalización

AYUDAS ENCAMINADAS A LA HABILITACIÓN Y MEJORA DE INFRAESTRUCTURAS EN LOS PARQUES EMPRESARIALES Y RECINTOS DE LOCALIZACIÓN PREFERENTE DE EMPRESAS EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE GALICIA

ESTUDIO PARA LA ELABORACIÓN DE UN MODELO DE ACCIÓN QUE ASEGURE LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO EN LOS POLÍGONOS EMPRESARIALES DE GALICIA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MUNICIPIOS GALLEGOS

VOLUMEN 2

**MEMORIA TÉCNICA
ANEXOS**

Noviembre 2005

ÍNDICE

0. IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ANTECEDENTES	4
3. OBJETO DEL ESTUDIO	6
4. DESARROLLO DEL ESTUDIO.....	8
4.1. ESTUDIO Y DESARROLLO TEÓRICO DE UN MODELO DE ACCIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO.....	8
4.1.1. Variables que intervienen en la gestión del alumbrado	10
4.1.2. Metodología	37
4.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA	70
4.3. OBTENCIÓN DE LOS DATOS	71
4.3.1. Planificación.....	71
4.3.2. Diseño de la ficha de adquisición de datos.....	72
4.3.3. Obtención de la información	87
4.3.4. Coordinación de los trabajos	88
4.3.5. Seguimiento de los trabajos.....	89
4.4. DISEÑO Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA	90
4.4.1. Análisis de las características tecnológicas a utilizar	90
4.4.2. Diseño de la aplicación	91
4.4.3. Desarrollo de la aplicación.....	108
4.4.4. Depuración de errores de la aplicación	109
4.4.5. Grabación de datos y control de calidad.....	110
4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	118
4.5.1. Resultados obtenidos y análisis global	118
4.5.2. Análisis sectoriales	124
5. CONCLUSIONES	143
6. BIBLIOGRAFÍA.....	149

ANEXO I: BASE DE DATOS

ANEXO II: GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANEXO III: FICHA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

ANEXO IV: PLANOS

ANEXO V: REGISTROS DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA

ANEXO VI: TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

0. IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

TÍTULO: ESTUDIO PARA LA ELABORACIÓN DE UN MODELO DE ACCIÓN QUE ASEGURE LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO EN LOS POLÍGONOS EMPRESARIALES DE GALICIA

EQUIPO DE TRABAJO:

Carmen Fernández Gasalla	Coordinador y Supervisor del proyecto
Natalia Nogueira López	Responsable del proyecto
Marta Boedo Mayo	Investigadora
Alba Souto Rodríguez	Investigadora
Francisco Borja Galán Vázquez	T.I

FECHA: Noviembre de 2005

DESTINATARIO: FEGAPE

1. INTRODUCCIÓN

"Se entiende por Uso Eficiente de la Energía, la adecuación de los sistemas de producción, transporte, almacenamiento y consumo de energía, destinado a lograr el mayor desarrollo sostenible con los medios tecnológicos al alcance, minimizando el impacto sobre el medio ambiente, optimizando la conservación de la energía y la reducción de los costos energéticos."

Las instalaciones de alumbrado, desde el punto de vista energético, suponen una importante fuente de consumo de energía. Las directrices medioambientales de la Unión Europea consideran que la energía es un factor determinante para la consecución de un desarrollo sostenible, al objeto de paliar los problemas originados por las emisiones de gases de invernadero, especialmente dióxido de carbono (CO₂), debido a la creciente demanda de la misma.

El fomento de la eficiencia energética es un punto esencial para el logro de los objetivos del Protocolo de Kioto, que debe ser tenido en cuenta en las nuevas actuaciones con el fin de conseguir los resultados perseguidos.

La optimización en el uso de la energía se ha convertido en la actualidad en un objetivo primordial en todos los ámbitos ya sean sociales como empresariales. Las consecuencias directas de lo anteriormente mencionado conllevan a la implicación en diversos ámbitos como es el medioambiental, el económico, el técnico, etc.

Desde esta posición, y para llevar a cabo la reducción del consumo de energía, será necesaria la implicación de los conceptos de eficiencia y responsabilidad en la gestión de las instalaciones de alumbrado.

El objeto de la eficacia energética es disminuir el consumo de energía sin por ello reducir el uso del material y los equipos que funcionan gracias a ella. Se trata, por tanto, de utilizar mejor la energía. Para ello, es necesario fomentar comportamientos, métodos de trabajo, mejoras tecnológicas y técnicas de producción que consuman menos energía.

Con la finalidad de mejorar la gestión del alumbrado, mediante el aumento de la eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado, a la par que reducir el consumo energético, se debe actuar, por una parte, sobre la instalación de alumbrado diseñándola de forma eficiente, y, por otra, sobre los propios aparatos (luminarias y lámparas), para que se ilumine únicamente las superficies deseadas y faculte alcanzar los niveles luminosos necesarios sin superarlos, adoptando en lo posible sistemas de encendido y apagado adecuados al tipo de instalación, diseñando políticas de mantenimiento ajustadas a la realidad y escogiendo las tarifas energéticas conforme al servicio prestado. Todo ello en beneficio de un uso eficiente y racional de la energía que mejorara la gestión de los recursos que, a su vez, contribuirá a la protección del medio ambiente.

2. ANTECEDENTES

Si bien existen abundantes estudios sobre el diseño de las instalaciones de alumbrado público, en general, orientados a la problemática del rendimiento visual; la optimización de la gestión y explotación de instalaciones de alumbrado, ha sido un tema analizado con limitada información y documentación.

En la práctica se observa un gran porcentaje de instalaciones de alumbrado que presentan deficiencias de diseño, estado o de servicio atribuibles a una carencia de análisis sobre las prestaciones y necesidades reales, que puede conllevar gastos innecesarios, atribuibles a situaciones tales como pérdidas de energía.

Las consecuencias directas de estas deficiencias son:

- Prestación de servicio precario o sobredimensionado, lo que deriva en un detrimento de la seguridad de los ciudadanos y conductores, y alteración de la calidad visual de la atmósfera nocturna.
- Desaprovechamiento de los recursos invertidos al operar con menor eficiencia.
- Desconocimiento de indicadores de eficiencia energética provocada por los sistemas de iluminación instalados, lo que se traduce en mayores costes derivados, directos e indirectos sin contrapartida de servicio.

Conscientes de la problemática anteriormente indicada, la Federación Galega de Parques Empresariais (FEGAPE) solicitó a la Consellería de Innovación, Industria e Comercio de la Xunta de Galicia, al amparo de la Orden de 28 de febrero de 2005 por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión de ayudas encaminadas a la habilitación y mejora de infraestructuras en los parques empresariales y recintos de localización preferente de empresas en la Comunidad Autónoma de Galicia, en régimen de concurrencia competitiva, y se procede a su convocatoria para el año 2005, una subvención para la realización del Proyecto: "Estudio para la elaboración de

un modelo de acción que asegure la optimización de la gestión y explotación de instalaciones de alumbrado en los polígonos empresariales de Galicia”.

Dicho estudio se articula en cuatro fases claramente diferenciadas y consecutivas. Estas son:

- Diagnóstico de la situación actual.
- Desarrollo y validación del Modelo de Acción.
- Plan de comunicación de los resultados.
- Desarrollo de la aplicación informática.

A través de los sucesivos epígrafes que componen la presente memoria técnica, se presentan los estudios, datos y documentos resultantes de los trabajos efectuados para la consecución del Proyecto, al objeto de dar cumplimiento a lo establecido en la Orden de 28 de febrero de 2005, mencionada anteriormente.

Se persigue que el conocimiento adquirido, ayude a la toma de decisiones por parte de las autoridades u órganos gestores de los sistemas de alumbrado de los parques empresariales de la Comunidad Autónoma de Galicia, más adecuado en cada circunstancia, en favor de la optimización de la eficiencia energética, así como en la calidad del servicio ofrecido en las instalaciones de alumbrado existentes.

3. OBJETO DEL ESTUDIO

Indagación en la búsqueda de los indicadores claves en relación con la optimización de la eficiencia energética y elaboración de un Modelo de Acción, a fin de poder utilizarlos a posteriori en el establecimiento de una metodología dirigida al diseño y desarrollo de una aplicación informática que permita la determinación de la eficiencia en la gestión y explotación de las actuales instalaciones de alumbrado de los polígonos empresariales.

Los objetivos principales del Estudio desarrollado en los sucesivos apartados que componen el presente informe, han sido:

- Desarrollar un modelo de acción que, a través de una aplicación informática, asegure la eficiencia en la gestión y explotación de las instalaciones de alumbrado, determinando los parámetros que intervienen y el peso relativo de los mismos para el establecimiento de indicadores de control y definiendo metodologías de explotación adecuadas a la realidad existente.
- Elaborar un Manual de Actuación que constituye un referente tanto para la puesta en práctica de medidas de gestión y explotación más eficientes en los parques ya existentes, como mejorar el diseño de instalaciones futuras, transmitiendo criterios de valor, cuya aplicación asegurará la optimización de la relación beneficio/costo del sistema de alumbrado público en los Polígonos Empresariales de Galicia.

Así, ha de aclararse que este proyecto es original, debido a que los conocimientos pretendidos con este estudio presentan una novedad objetiva; y además, responde a una investigación planificada, al estar completamente sometido a un plan de trabajo, y no obedecer, por tanto, a un hallazgo casual.

- Desarrollar un programa de formación dirigido a los profesionales con responsabilidad en la gestión de las instalaciones de alumbrado de los Parques Empresariales, con la intención de transmitir los conocimientos suficientes para el manejo del modelo de acción desarrollado.

4. DESARROLLO DEL ESTUDIO

En los epígrafes que componen el presente capítulo, se describen los trabajos y metodología aplicada en la planificación y desarrollo del estudio, realizando una descripción pormenorizada de todas las fases, estrategias, responsables y resultados obtenidos en el mismo. Se puede afirmar por tanto, que el capítulo que se desarrolla a continuación, constituye el núcleo central de la presente investigación.

4.1. ESTUDIO Y DESARROLLO TEÓRICO DE UN MODELO DE ACCIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO

Antes de realizar el análisis teórico de las variables que contribuyen a la gestión eficiente de las instalaciones de alumbrado, es fundamental tener claro este concepto.

Se considera alumbrado industrial de exteriores aquél que por su utilización está relacionado con una actividad de trabajo y a su vez se encuentra en lugares abiertos.

Este tipo de alumbrado trata de proporcionar el nivel de iluminación adecuado en todos aquellos lugares que por diferentes motivos necesitan ser iluminados, ya sean muelles de carga y descarga de mercancías y almacenamiento de las mismas, áreas de aparcamiento de vehículos, estaciones de servicio de carreteras, zonas de servicios de naves industriales o viales de polígonos industriales.

Una particularidad que caracteriza a esta clase de alumbrado es que los niveles de iluminación que deben adoptarse en cada caso están condicionados a la actividad desarrollada en dicho lugar, por lo que en cada caso será necesario realizar un estudio exhaustivo en función de las necesidades. En el caso de la iluminación de polígonos industriales, dichos motivos incluyen tanto la seguridad viaria de vehículos y peatones, como la seguridad de mercancías e inmuebles.

Para realizar una correcta planificación del alumbrado exterior es fundamental el conocimiento de las características fotométricas, cromáticas, eléctricas y de duración de las lámparas así como las actividades de cada uno de los lugares a iluminar.

Sin embargo, para la gestión de las instalaciones de alumbrado, no solo se han de tener en cuenta criterios luminotécnicos, como son los niveles de iluminación, flujo de la lámpara, etc., sino que se deberán incluir aspectos tales como:

- Periodo de funcionamiento de la instalación
- Número y frecuencia de averías
- Apariencia
- Datos de consumo energético
- Políticas de mantenimiento
- Costes de operaciones de mantenimiento, renovación y eliminación de instalaciones.

Además, muchos de estos aspectos influyen directa y/o indirectamente sobre los criterios lumínicos, como por ejemplo, la utilización de sistemas de ahorro de energía o la depreciación de la luminaria y de la lámpara debida a una política de mantenimiento inadecuada, varían los niveles lumínicos.

El concepto de eficiencia energética está implícitamente asociado a los tres objetivos principales de la gestión:

- El ahorro energético

- La mejora de la explotación de las instalaciones
- La mejora del servicio

Teniendo en cuenta estos objetivos, se debe buscar un equilibrio adecuado entre los parámetros de bienestar y eficiencia a la hora de plantear la elaboración de un proyecto de este tipo. De esta forma, y en función de las necesidades reales y el uso racional de los recursos, se optimizarán los resultados finales.

4.1.1. VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA GESTIÓN DEL ALUMBRADO

La búsqueda de un modelo de acción único a través del cual se puedan analizar las diversas instalaciones de alumbrado, así como de medidas de eficiencia energética generales aplicables a las mismas, es muy compleja debido a que intervienen diferentes variables.

En este punto, se analizan algunos de los parámetros que posteriormente se han empleado en la metodología de cálculo.

A. LÁMPARA

La lámpara es la parte activa del sistema, es decir, quien proporciona la luz. Para poder elegir el tipo de lámpara más adecuado en cada zona, es necesario conocer sus características.

Si se analiza la procedencia o generación de la luz, las lámparas se pueden clasificar en tres tipos:

- Lámparas de incandescencia.
- Lámparas de descarga (vapores o gases).
- Lámparas de inducción.

El fenómeno de la incandescencia es la emisión de radiación luminosa mediante procesos térmicos y consiste en calentar un cuerpo sólido hasta su temperatura de incandescencia.

Dentro de este grupo se encuentran las siguientes:

- Lámparas incandescentes: No emiten en el ultravioleta pero sí en el infrarrojo cercano, siendo su espectro continuo. Sus ventajas incluyen bajo coste inicial, excelente calidad de calor, buen control óptico y versatilidad. Sin embargo, son las más ineficaces del mercado, por lo que su empleo se centra en alumbrado interior de hogares y establecimientos comerciales.
- Lámparas incandescentes halógenas. Son iguales que las incandescentes pero emiten algo más en el ultravioleta si no va provista de un cristal difusor (son peligrosas sin este cristal por emitir en el ultravioleta duro). Son algo más eficaces que las incandescentes.

Por otra parte, en las lámparas de descarga, generalmente se establece una corriente eléctrica a través de un gas situado entre dos electrodos. La descarga se ve afectada por el tipo y la presión de la mezcla de gases, por el material de los electrodos y su temperatura de trabajo, la forma y estructura de su superficie, la separación entre ellos, etc. Por este motivo, se puede hacer una división entre descargas a baja y alta presión, temperatura del electrodo o descargas de inducción y de arco. Este grupo es el más numeroso y, entre otros, se destacan los siguientes tipos:

- Lámparas de Sodio de Alta Presión: son altamente eficientes, (hasta 140 lúmenes por W), y producen un tibio color dorado. Son excelentes para iluminar grandes áreas, y a menudo son usadas en la iluminación de caminos, iluminación proyectada, oficinas, centros comerciales, áreas de recepción, parques, usos de iluminación industrial y algunas otras comerciales.
- Lámparas de Vapor de Mercurio a alta presión: Tienen una elevada emisión en el ultravioleta. Son las menos eficientes del mercado en lámparas de descarga. Sin embargo, a pesar de esto siguen siendo usadas en una variedad de aplicaciones tales como la iluminación de caminos, de seguridad y para jardines, así como algunas aplicaciones en interiores donde la calidad del color es crítica.
- Lámparas fluorescentes en tubos y compactas (vapor de mercurio a baja presión). Emiten en el ultravioleta y tienen una alta eficiencia (hasta 100 lúmenes por W). Son excelentes para la iluminación en general, iluminación orientada y atenuar paredes para aplicaciones en tiendas de detalle, oficinas, así como en aplicaciones industriales y residenciales.
- Lámparas de haluros metálicos: Poseen una fortísima emisión en el ultravioleta. Son bastante eficaces y producen una luz blanca con propiedades de presentación del color de buena a muy buena. Proporcionan un buen control óptico y son usadas en instalaciones de iluminación en exteriores de alta calidad como iluminación proyectada y aplicaciones de iluminación para deportes, y en tiendas detallistas, recepción y otros espacios públicos y comerciales. Sin embargo, su mayor desventaja es que presentan una corta vida.

Por último, las lámparas de inducción utilizan una tecnología que consiste en inducir un campo electromagnético en una atmósfera gaseosa, de manera que sea capaz de excitar los átomos de mercurio de un plasma de ese gas. La radiación obtenida es, fundamentalmente, ultravioleta, por lo que hay que recubrir la superficie con una sustancia fluorescente que transforme esta radiación ultravioleta en visible.

A continuación, se describen en detalle los parámetros empleados para parametrizar el funcionamiento de las lámparas y evaluar su adecuación.

- Flujo luminoso (φ)

Es la cantidad de luz que emite una lámpara determinada, es decir, la capacidad de radiación luminosa valorada por el ojo humano. Este concepto viene relacionado con el de eficacia luminosa o rendimiento luminoso de las fuentes de luz y se utiliza para su cálculo, que nos da la relación entre la cantidad de luz producida por la fuente (lúmenes) y la energía eléctrica consumida de la red para su funcionamiento (vatios) y es proporcionado por los fabricantes en sus catálogos. Su unidad de medida es el lumen.

- Temperatura de color

Es el color emitido por una fuente de luz en comparación al color de un cuerpo negro. Se emplea para medir la calidad cromática de la luz.

- Índice de rendimiento de color (IRC)

Es el efecto de una fuente luminosa sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina en comparación con una fuente de referencia. Se utiliza para evaluar la capacidad que tiene la fuente para reproducir el color.

Se trata de un parámetro importante en aquellas instalaciones en las que la definición de los colores sea un valor destacado, sin embargo, esto no ocurre en las instalaciones de alumbrado de polígonos empresariales.

- Nivel de iluminación o iluminancia (E)

La iluminancia se define como la cantidad de luz que llega a la superficie de la calzada procedente de las fuentes de luz.

Es la relación entre el flujo luminoso y la superficie iluminada y su unidad de medida es el lux.

$$E = \frac{\varphi}{S} \text{ (lux)}$$

Dicha variable fue determinada empíricamente para una luminaria de cada cuadro eléctrico en cada uno de los polígonos (agrupamiento de puntos de luz por centro de mando), mediante el empleo de un analizador móvil de niveles de alumbrado lux data Logger LX-1000.

Asimismo, todas las medidas para un mismo polígono, fueron realizadas en una misma noche para obtener una mayor homogeneidad entre medidas.

- Supervivencia de las lámparas

Los factores más utilizados para su medición son:

- o *Vida promedio*: Es el tiempo transcurrido hasta que fallan un 50% de las lámparas de un lote significativo de una fabricación o instalación, trabajando en unas condiciones especificadas.

- o *Vida útil*: Es el número de horas tras el que, trabajando en condiciones reales, resulta más rentable proceder al cambio de un conjunto de lámparas de la instalación que mantenerlas funcionando con depreciaciones de flujo importantes. Este es el valor indicado habitualmente por el fabricante.

- o *Vida media*: Es un valor estadístico que resulta del análisis y ensayo de un número de lámparas trabajando en unas condiciones previamente establecidas.

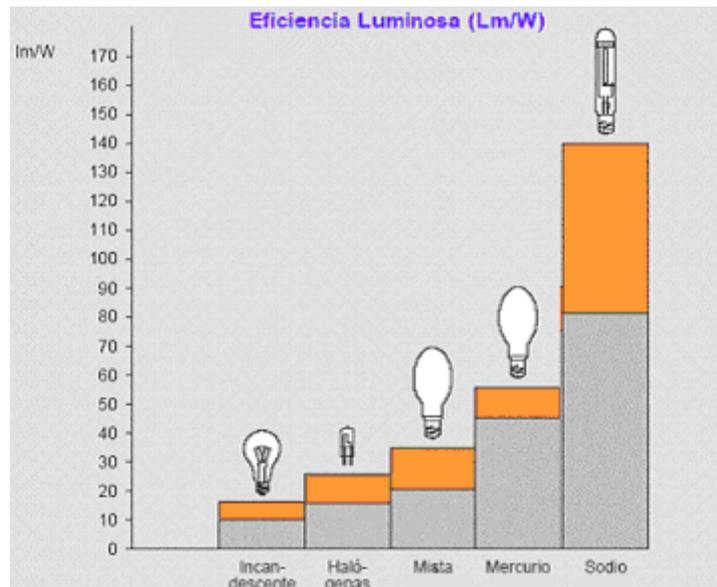
- Eficacia luminosa o rendimiento luminoso

La eficacia luminosa es una magnitud que indica la porción de energía útil emitida por la lámpara, es decir, la cantidad de energía eléctrica consumida que es transformada en luz visible (parte de la energía se pierde en la producción de calor y otra parte en la generación de luz no visible) y se expresa como la relación entre el flujo luminoso de una fuente de luz y la potencia consumida en ella.

$$E_{\eta} = \frac{\varphi}{P} \text{ en (Lm/W)}$$

Esta variable disminuye con el paso del tiempo y, entre otras cosas, el ensuciamiento de la luminaria.

En la presente figura se puede observar la distribución de los diferentes tipos de lámpara en función de la eficacia luminosa.



- Factor de depreciación

Un factor a tener en cuenta a la hora de evaluar el flujo emitido por la lámpara, es el factor de depreciación.

Se entiende como depreciación lumínica la disminución progresiva del flujo emitido por una lámpara respecto del flujo original, a lo largo de su vida, debido principalmente al desgaste de las lámparas producido por el envejecimiento y la suciedad de la lámpara así como de los reflectores y refractores de la luminaria.

Este factor dependerá principalmente del entorno ambiental del punto de luz; así, cabe esperar que en atmósferas muy contaminadas de polvo y humo, el flujo luminoso disminuya como consecuencia de la deposición de partículas tanto en los constituyentes de la luminaria como en las lámparas.

La consecuencia directa de la depreciación es la caída de los niveles de iluminación, y por lo tanto, la disminución de la calidad del servicio a un coste energético idéntico que el que se requiere en condiciones óptimas de funcionamiento.

Se puede estimar el factor de depreciación en función del grado de protección de la luminaria (IP), grado de contaminación del entorno y el intervalo de limpieza de las mismas de la siguiente manera:

INTERVALO LIMPIEZA (meses)	GRADO DE CONTAMINACIÓN DEL ENTORNO					
	CERRAMIENTO ABIERTO			CERRAMIENTO CERRADO		
	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO
6	0.61	0.69	0.96	0.91	0.92	0.96
12	0.53	0.62	0.94	0.86	0.88	0.94
18	0.48	0.58	0.92	0.83	0.85	0.92
24	0.45	0.56	0.91	0.61	0.83	0.91
36	0.42	0.53	0.90	0.79	0.82	0.90

- Consumo Energético

En una instalación de alumbrado, el consumo energético se puede evaluar como la potencia instalada entre los metros cuadrados de superficie iluminada.

$$CE = \frac{P}{S} \text{ en } (W / m^2)$$

El valor del consumo energético, como es de esperar, aumenta a medida que envejece la instalación de alumbrado puesto que está relacionado con la inversa de la eficacia luminosa a través de la potencia.

En la tabla siguiente se recogen los valores de Consumo energético máximo recomendado para lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP) en función de la disposición de las luminarias.

NIVEL DE ILUMINACIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO MÁXIMO			
	CENTRAL	UNILATERAL	TREBOLILLO	OPOSICIÓN
E_m (lux)				
30	0,90	1,20	1,25	1,30
25	0,85	1,15	1,20	1,25
20	0,80	1,10	1,15	1,20
15	0,65	0,90	0,95	1,00
10	0,60	0,85	0,90	0,95
7.5	0,55	0,80	0,85	0,90

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS TIPOS DE LÁMPARAS

De todos los modelos descritos, las lámparas más empleadas en alumbrado exterior, son las lámparas de descarga, y más concretamente las de Vapor de Mercurio (VM) y las de Vapor de sodio de alta presión (VSAP). El principal motivo es la larga duración de estas lámparas respecto a las demás, sin olvidar los elevados valores de flujo luminoso de ambas.

En la siguiente tabla se esquematizan las características más destacadas de los principales tipos de lámparas.

	Potencia (W)	Flujo (lm)	Rendimiento luminoso (lm/W)	Tiempo vida media (h)	Equipo Auxiliar	Color	IRC	Apropiado	Observaciones
<i>Incandescente estándar</i>	15-2.000	125-40.000	8-20	1.000	No	Blanco	100	Pequeñas luces. Balizas	Corta duración. Elevado calor y mantenimiento
<i>Incandescente Halógena</i>	500-2.000	10.000-54.000	22	2.000	No	Blanco	100	Pequeñas áreas	Corta duración. Elevado calor
<i>Sodio Alta presión</i>	50-1.000	3.500-120.000	82-120	24.000	Si	Blanco/ Amarillo	65-85	Instalaciones exteriores Colores cálidos	Larga duración. Flujo elevado.
<i>Mercurio</i>	50-1.000	1.800-52.000	36-52	20.000	Si	Blanco/ Azul	45-50		
<i>Halógenos</i>	500-2.000	10.500-54.000	22	2.000	No	Blanco	100	Proyectores. Áreas medianas	Calor. Usar solo potencias bajas
<i>Fluorescente estándar</i>	18-58	1.000-4.800	55-82	7.500	Si	Varios	80-90	Zonas servicio. Indirecta	Luz difusa
<i>Fluorescente compacta</i>	5-11	250-900	45-79	6.000	Si/no	Blanco/ Amarillo	80-90	Zonas servicio. Indirecta	Sustituir incandescencia estándar
<i>Haluros Metálicos</i>	250-3.500	19.000-300.000	76-86	2.000-8.000	Si	Blanco/ Azul	60-65	Grandes áreas	Instalación cara. Mucha vida.

Existe una gran similitud entre el funcionamiento de una lámpara de sodio y una lámpara de mercurio. Mientras que en la última, la luz se produce al convertir la radiación ultravioleta de la descarga del mercurio en radiación visible, utilizando un polvo fluorescente en la superficie interna; la radiación visible de la lámpara de sodio se produce por la descarga de sodio, produciéndose una luz de color amarillo, ya que en casi la totalidad de su espectro predominan las frecuencias cerca del amarillo. En este caso, la reproducción de color será la menos valorada de todos los tipos de luminaria.

Por otra parte, las lámparas que emiten más proporción de luz azul (vapor de mercurio) producen un mayor resplandor luminoso nocturno que aquellas con emisiones superiores en la banda del rojo (vapor de sodio) de longitudes de onda más largas.

Finalmente, desde el punto de vista de este estudio no debemos olvidar la importancia de la eficiencia energética en la gestión del alumbrado. En este sentido, las lámparas que tienen mayor aprovechamiento energético son las de Vapor de Sodio, cuyos rendimientos se encuentran entorno a 100 Lm/W, por lo que son muy convenientes para grandes extensiones, como por ejemplo el alumbrado de viales.

B. LUMINARIA

Una luminaria es un aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.

Su función es servir de soporte eléctrico, mecánico, óptico y estético de las lámparas. Asimismo, han de proporcionar un control de la luz de forma que el flujo luminoso se dirija hacia las direcciones adecuadas, apantallando el restante flujo luminoso con el fin de crear la distribución de intensidad luminosa especificada.

De manera general consta de los siguientes elementos:

- Armadura o carcasa: Es el elemento físico mínimo que sirve de soporte y delimita el volumen de la luminaria conteniendo todos sus elementos.
- Equipo eléctrico: Depende de los distintos tipos de fuentes de luz artificial y en varían en función de la siguiente clasificación:
 - Incandescentes normales sin elementos auxiliares.
 - Halógenas de alto voltaje a la tensión normal de la red, o de bajo voltaje con transformador o fuente electrónica.
 - Fluorescentes: Con reactancias o balastos, condensadores e ignitores, o conjuntos electrónicos de encendido y control.
 - De descarga: Con reactancias o balastos, condensadores e ignitores, o conjuntos electrónicos de encendido y control.
- Reflectores: Son superficies en el interior de la luminaria que modelan la forma y dirección del flujo de la lámpara. En función de cómo se emita la radiación luminosa pueden ser:
 - Simétrico (con uno o dos ejes) o asimétrico.
 - Concentrador (haz estrecho menor de 20°) o difusor (haz ancho entre 20 y 40°; haz muy ancho mayor de 40°).
 - Especular (con escasa dispersión luminosa) o no especular (con dispersión de flujo).
 - Frío (con reflector dicróico) o normal.

- Difusores: Elemento de cierre o recubrimiento de la luminaria en la dirección de la radiación luminosa. Los tipos más usuales son:
 - Opal liso (blanca) o prismática (metacrilato traslúcido).
 - Lamas o reticular (con influencia directa sobre el ángulo de apantallamiento).
 - Especular o no especular (con propiedades similares a los reflectores).

- Filtros: Sirven para potenciar o mitigar determinadas características de la radiación luminosa en combinación con los difusores.

Existen numerosas variables asociadas a las luminarias entre las que se encuentran los datos físicos (tipo, modelo, cerramiento, dimensiones o fabricante) a partir de los cuales se elaboran las curvas fotométricas, que expresan gráficamente la distribución de la intensidad luminosa según las características de la luminaria.

Además de estas características propias de la luminaria, hay que tener en cuenta otros parámetros que van a influir en los beneficios contaminación lumínica tales como el montaje de la luminaria, la altura del poste, la orientación o inclinación de la luminaria sobre el plano horizontal y su disposición respecto a las luminarias de su entorno.

C. EQUIPOS DE CONTROL

Los sistemas de control de iluminación en alumbrado están orientados al ahorro energético en áreas donde por el número de puntos de luz instalados, pueden llegar a rentabilizar a corto/medio plazo, su implantación.

- Sistemas de encendido en el punto de luz

Suelen ser simples fotocélulas que accionan uno o más puntos de luz. No suelen tener mucha precisión y su control es muy difícil.

- Sistemas de encendido en el cuadro de alumbrado

Se suelen utilizar fotocélulas de precisión, relojes astronómicos o relojes astronómicos digitales.

Las fotocélulas tienen la ventaja que ajustan las órdenes a la luminosidad ambiental pero con el tiempo pierden precisión y su mantenimiento es bastante difícil.

Los relojes astronómicos digitales tienen una gran precisión en el cálculo del orto y el ocaso y son fáciles de mantener, los problemas se presentan los días de poca luminosidad ya que no es posible corregir los horarios programados.

- Sistemas de encendido centralizado

Accionan el alumbrado de una ciudad desde un puesto central enviando una orden de encendido y apagado a los cuadros de alumbrado de forma sincronizada atendiendo a un reloj central o una fotocélula patrón.

Tienen la ventaja que pueden controlarse las órdenes con precisión y sincronismo, los problemas se presentan cuando por cualquier circunstancia falla la orden de mando y no existen elementos de seguridad adicionales.

- Controladores Dinámicos de Luminosidad

Reúnen las ventajas de las células fotoeléctricas, los relojes astronómicos digitales y los sistemas centralizados son fácilmente programables y su mantenimiento es sencillo.

Desde el punto de vista de los equipos empleados en los sistemas de control, se pueden distinguir los siguientes:

Los equipos de control de iluminación más usuales son:

- Interruptores y programadores, que pueden ser manuales, automáticos y horarios.

Dentro de esta categoría se pueden englobar varios tipos de interruptores:

Interruptores crepusculares

Son los dispositivos más básicos para el control del encendido y del apagado del cuadro de alumbrado.

Las ventajas de los interruptores crepusculares son, entre otras, la simplicidad de los mismos ya que prácticamente solo necesitan ajustar el nivel lumínico de disparo y en algunos casos el tiempo de retardo antes del encendido.

Los inconvenientes conocidos son la mayor complejidad de su instalación y la deriva que produce la suciedad que se acumula en ellas, debido sobre todo a los efectos de la contaminación, y que requiere un mayor mantenimiento.

Interruptores horarios o relojes astronómicos

Son elementos más complejos para el control de los tiempos de encendido del cuadro de alumbrado.

Estos dispositivos permiten el control del alumbrado pues poseen la capacidad de autorregular los tiempos de orto y ocaso. De este modo, calculan la salida y la puesta de sol de cada día del año para la ubicación geográfica introducida mediante la entrada de las coordenadas de un lugar.

Entre sus ventajas están las siguientes:

- Presentan un bajo coste.
- Su instalación en el cuadro eléctrico y su mantenimiento es sencillo.
- Permiten retrasar el encendido respecto del ocaso y adelantar el apagado respecto del orto para poder obtener importantes ahorros energéticos.

Las desventajas que presenta son las siguientes:

- Son poco precisos.
- Presentan problemas durante los días de poca luminosidad.

En los días en los que el nivel de iluminación natural desciende antes que el ocaso (nubes, tormentas, etc.) y asciende más tarde en el orto, si el horario se ha ajustado mucho, puede ocurrir que el alumbrado no se encienda a tiempo o se apague antes de tiempo, haciendo que la calidad del servicio disminuya.

• Células fotoeléctricas

Las células fotoeléctricas son instrumentos que, aprovechando el efecto fotoeléctrico, convierten los impulsos luminosos recibidos en una corriente eléctrica y poseen diferentes usos entre los que destaca su función como detectores luminosos para conectar y desconectar automáticamente el alumbrado artificial. Además, se pueden implantar individualmente en un punto de luz o en el centro de mando de manera que actúa sobre varios puntos de luz simultáneamente.

Las ventajas que presentan estos equipos son:

- Presentan un bajo coste.
- Su mantenimiento es sencillo.
- Cuando se emplean en puntos de luz aislados, su funcionamiento incorrecto afecta a un solo punto de luz.

Este sistema de control ha sido muy empleado, sin embargo, presenta grandes desventajas, entre la que se encuentran las siguientes:

- Elevados costes de mantenimiento.
- Les afecta muchos factores externos como la ubicación, contaminación, vandalismo o las condiciones atmosféricas.
- Es imposible controlar las horas reales de funcionamiento.
- Cuando se implantan en los cuadros de mando, su funcionamiento incorrecto afecta a un conjunto de puntos de luz.

• Detectores de presencia

La detección automática de presencia, por detección volumétrica es una técnica que no reduce el consumo, sino que lo elimina cuando la iluminación no es necesaria.

Así, el control de encendido y apagado se realiza automáticamente, sin intervención activa de los usuarios, de manera que el detector desconecta el alumbrado cuando no hay personas y con ello ajusta el uso de la energía a las necesidades reales.

Teniendo en cuenta esto, este sistema de control es recomendable en lugares poco transitados.

Estos componentes también son conocidos como detectores de movimiento, interruptores de proximidad o detectores de presencia, ofrecen las siguientes ventajas:

- Ahorran energía, al mejorar el control de la instalación de alumbrado.
- Aunque depende de cada caso, puede cifrarse hasta un 20% el ahorro obtenido con su implantación.
- Reducen la necesidad de supervisión de los locales, dedicación de personas al control del alumbrado y resulta más fiable.
- Rápida rentabilidad por el reducido coste de estos componentes.
- Mínimo mantenimiento.

Prácticamente en todos los casos, los detectores de presencia están basados en la utilización de radiación infrarroja, que capta el movimiento de las personas dentro de un área determinada. El detector mide la temperatura ambiente y capta el cambio brusco que se produce por la presencia de un cuerpo más caliente, que, normalmente, corresponde a una persona:

- Reguladores de luz, que varían el flujo luminoso en función de algún sistema de mando.

La regulación de flujo luminoso se basa en la variación de la corriente de las lámparas, que puede hacerse de forma escalonada o continua. La primera de las opciones suele plantearse en alumbrado exterior, mientras que la segunda se usa en alumbrado de interiores. En el mercado existe una gran variedad de reguladores de tensión que permite regular desde casi un 0 a un 100%.

Básicamente, esta reducción de nivel de iluminación, y la consiguiente reducción de la potencia y energía consumida, se puede obtener de dos formas:

Reduciendo la tensión de alimentación de la línea.

Reduciendo la intensidad de alimentación en las lámparas.

En el caso de los sistemas que reducen tensión, se utilizan los llamados *Reguladores en cabecera de línea*.

Los reguladores en cabecera de línea, basan su función como reductores de flujo y potencia en la reducción de la tensión de red. De este modo solventan los problemas producidos por la inestabilidad de la red ya que durante las horas de régimen normal estabilizan la tensión de alimentación en línea. En las horas de régimen reducido disminuyen la tensión a todas las luminarias, consiguiendo un ahorro adicional.

Esta técnica consiste básicamente en reducir la tensión de alimentación al conjunto lámpara-balasto, con lo que se obtienen reducciones de potencia en torno al 40% para reducciones de flujo luminoso del 50% aproximadamente.

Actualmente son equipos electrónicos estáticos, que actúan en forma independiente sobre cada una de las fases de la red, con el fin de estabilizar la tensión de cada una de estas respecto al neutro común en el circuito de salida o utilización y reducir el nivel de dicha tensión a partir de la orden apropiada para producir una reducción de flujo luminoso y el consiguiente ahorro energético o viceversa.

Para tensiones de alimentación nominales al conjunto lámpara balasto de 220 V la reducción de tensión es a 175 V para el sodio alta presión y a 195 V para el vapor de mercurio.

Se instalan en cabecera de línea, alojándose en el propio armario de maniobra y medida, o bien en un armario independiente junto a este.

A la función fundamental de estabilización y reducción de tensión, diferentes fabricantes añaden diferentes funciones complementarias, como pueden ser protecciones o dispositivos de seguridad, elementos de maniobra, medida, telecontrol, etc.

Sus ventajas son:

- El hecho de estar instalados en cabecera de línea, hace que su incorporación tanto en instalaciones de alumbrado nuevas como las ya existentes sea extremadamente sencilla y facilita el acceso para su mantenimiento.
- La instalación de un estabilizador-reductor de flujo en cabecera de línea evita excesos de consumo en las luminarias, prolonga la vida de las lámparas y disminuye la incidencia de averías.
- La principal ventaja que aporta el reductor en cabecera de línea respecto de los balastos electromagnéticos de doble nivel desde el punto de vista de la utilización práctica, es la estabilización de la tensión de alimentación, tanto en el nivel máximo de plena potencia como en el nivel reducido o segundo nivel.
- Estabilización de la tensión de alimentación a la línea en el nivel máximo.
- Ahorro de hasta el 40% con lámparas de VSAP cuando funciona a nivel reducido.
- Puede instalarse para controlar una instalación ya existente con reactancias de un solo nivel de potencia y no requiere del lanzamiento de cableado de mando a lo largo de la instalación.

Sus inconvenientes:

- Cuando funciona a nivel reducido puede provocar apagados de los puntos de luz más alejados por reducción excesiva de la tensión de línea.
- En el caso de lámparas de Mercurio, el ahorro es sólo del 20%.
- No permite ampliación de puntos de luz en una línea ya instalada, por limitación de potencia máxima a controlar.

- Con lámparas de VSAP, conforme van aumentando su tensión propia, se va reduciendo el ahorro, ya que éstas requieren más tensión de red al final de su vida que cuando son nuevas y, por consecuencia, se deberá subir el valor de la tensión mínima de alimentación en nivel reducido. Por este motivo, podríamos considerar que las lámparas de VSAP reducirán en torno a un 10% su vida útil.

En el caso de los sistemas que reducen intensidad, se utilizan *Balastos o Reactancias de Doble nivel de potencia*.

Cronológicamente, son los primeros equipos que aparecieron en el mercado europeo para ahorro energético, aportando una primera solución a la problemática planteada por el apagado parcial del alumbrado.

Su funcionamiento se basa en que son reactancias que inicialmente dan los valores máximos a la lámpara, obteniéndose el flujo máximo previsto en la misma y que denominaremos nivel máximo o primer nivel. A la hora programada en el reloj temporizador se reduce la corriente en la lámpara, la potencia y el flujo emitido por la misma y, como consecuencia, la potencia absorbida de la línea. Se obtiene así el nivel reducido o segundo nivel.

El descenso del nivel de iluminación según el tipo de lámpara se considera óptimo entre el 45 y el 55% del obtenido en el nivel máximo, lo que corresponde a porcentajes de potencia entre el 58 y el 63% de la absorbida de red en dicho nivel, representando un ahorro entre el 37 y el 42% de energía consumida durante todo el tiempo que la instalación esté en estas condiciones de funcionamiento.

Precisamente, el perfeccionamiento de los balastos de doble nivel temporizados, consiste en la economía de instalación (material + mano de obra) y el mantenimiento posterior de dicha línea de mando.

Entre sus ventajas se encuentra:

- Ahorro del 40% con lámparas de VSAP o VM cuando funciona a nivel reducido.
- Alarga la vida de la lámpara un 20% aproximadamente.
- Permite ampliaciones de instalaciones con más puntos de luz, con tal sólo electrificar las luminarias y extender la línea de mando hasta ellas.
- En redes de 380V, sólo es necesario incluir un hilo de mando en la línea repartidora.

- Si no se quiere lanzar la línea de mando en una instalación ya existente, se pueden usar reactancias con temporizador incorporado, conocidas como sin línea de mando.

Sus inconvenientes:

- No estabilizan la tensión de red.
- Requieren el tendido de un cable adicional para la línea de mando (no sería necesario si se instalan reactancias de doble nivel temporizadas).

En la actualidad, la evolución, de componentes y técnicas electrónicas han dado lugar al desarrollo de balastos electrónicos para el control y regulación de lámparas de alta corriente de descarga, aportando soluciones a los problemas o imperfecciones que otras técnicas tenían como "pendientes".

Estos sistemas, son unidades compactas que sustituyen a todos y cada uno de los componentes asociados a cada lámpara: balasto electromagnético, condensador para corrección del factor de potencia, y arrancador o ignitor en el caso de lámparas de vapor de sodio alta presión. Además, incorporan los elementos necesarios para realizar de forma autónoma y automática, la reducción de flujo y potencia en determinados periodos de funcionamiento del alumbrado.

En comparación con las reactancias convencionales, los balastos electrónicos presentan las siguientes ventajas:

- Mejora sustancial de la eficacia luminosa, que supone un ahorro de energía del 20-25%.
- Reducción de potencia instalada en iluminación.
- Menor depreciación del flujo luminoso y, en consecuencia, aumento de la vida útil de las lámparas hasta 12.000 horas.
- Encendido casi instantáneo (0,5 s).

- Factor de potencia próximo a la unidad (0,96), por lo que no necesitan condensador de compensación.
- Modelos con regulación del flujo luminoso, continuo de 10 a 100%.
- Funcionamiento óptimo y estable en una banda amplia de temperatura ambiente.
- Eliminación del efecto estroboscópico.
- Desconexión automática en caso de fallo de la lámpara (no permite los sucesivos intentos de encendido o parpadeo de la lámpara).
- Supresión del ruido producido por los balastos convencionales.

Por otra parte, presenta las siguientes limitaciones:

- Su precio es, elevado; alrededor de los 30, 60 euros, según modelos y fabricantes.
- En algunos modelos, sus dimensiones son mayores que las reactancias convencionales, lo que puede dificultar la sustitución directa y requerir, por tanto, el cambio del aparato de iluminación (luminaria).

- Sistemas de telegestión

Los sistemas de telegestión son sistemas de gestión técnica centralizada que permiten automatizar el funcionamiento de las instalaciones de alumbrado. Están formados por un centro de control, una red de comunicaciones y las propias instalaciones de alumbrado público.

Además de los elementos propios de mando y protección, pueden incorporar equipos de medida electrónicos para poder modificar el tipo de contratación a voluntad del usuario, comunicaciones integradas incluso antenas, sistemas de ahorro energético basados en estabilizadores-reductores de tensión en cabecera de línea y terminales inteligentes para el mando y control centralizado.

La telegestión permite que en un solo puesto central de control se reciba en tiempo real y a distancia (a través de Internet, teléfono móvil o GSM) información relativa al funcionamiento de los servicios municipales. Esto permite realizar las funciones de analizador de medida y detección de averías y conocer los principales parámetros del alumbrado, así como conocer en todo momento su estado y actuar de forma inmediata ante cualquier anomalía.

En el centro de control se sitúa un programa informático que se comunica con los dispositivos de la instalación de alumbrado, normalmente situados en el cuadro.

Se estima que con este sistema los equipos municipales pueden racionalizar el uso del alumbrado público, ajustándolo a las necesidades de cada momento, así como tener monitorizadas las instalaciones de alumbrado, garantizando la continuidad del suministro eléctrico y evitando averías incontroladas. Además, se consigue un ahorro energético de más del 30% del total consumido y la mejora del mantenimiento de las instalaciones. En resumen, mejorar la calidad de servicio al ciudadano.

Las ventajas más significativas que deben derivarse de la implantación de un Sistema de Gestión en instalaciones de alumbrado son en general las siguientes:

1. Centralización de la información de todas las señales y parámetros procedentes de las instalaciones en un único punto, de forma rápida y constante, desde el que el personal de mantenimiento puede informarse de su estado y tele-enviarlas.
2. Presentación al usuario de forma clara y sencilla de todos los datos, cálculos y automatismos que existen para el control global de la instalación, con esquemas gráficos e imágenes dinámicas que muestran de una manera simbólica el funcionamiento de las instalaciones.
3. Optimización del funcionamiento de las instalaciones al coordinarlas y regularlas de modo automático, gracias a una regulación digital se permite ajustar los valores de consigna (temperatura, humedad, presión, iluminación, etc.) en función de condicionantes tales como horarios, temperatura o iluminación exterior, etc.
4. Vigilancia continua del adecuado funcionamiento de las instalaciones notificando las anomalías existentes.
5. Ahorro en instalación eléctrica, dado que la arquitectura distribuida permite que los microprocesadores se encuentren muy próximos a los equipos controlados por ellos.
6. Optimización en el consumo de energía y en el mantenimiento de los equipos. El uso de un Sistema de Gestión genera un ahorro de energía, debido a:

- Optimización de las maniobras de arranque y parada de equipos.
- Optimización de los horarios de funcionamiento.
- Funcionamiento alterno de equipos, evitando el envejecimiento prematuro de los mismos.
- Control total de los equipos de ahorro energético, disminuyendo la luminosidad en horas de poca utilización sin pérdida de la calidad de servicio.
- Cálculo astronómico diario y la posibilidad de un control dinámico de la fotocélula por instalación, con posibilidad de realizarlo remotamente mediante la telegestión.
- Sincronización con maxímetro y desconexión de lugares con cargas no prioritarias.
- Arranques escalonados para evitar picos de consumo.

7. Ahorro en mantenimiento y costes de reparación. La monitorización de la instalación permite:

- Centralizar y conocer inmediatamente las alarmas y averías.
- Detecta las averías eléctricas (anализador de redes) y averías físicas (Magnetotérmicos, diferenciales,) en tiempo real para actuar con eficacia y rapidez en su análisis y corrección.
- Aportar datos sobre las horas de funcionamiento de cada equipo, número de veces que ha arrancado, averías que se han repetido, fecha de la última vez que se produjo una avería, etc.
- Facilitar un histórico de la instalación con fechas y horas de cada evento.
- Parar los equipos automáticamente en las condiciones en que determine el operador.
- Mejora la calidad de servicio.
- Mejora la calidad del mantenimiento correctivo.

8. Ahorros en personal. Una instalación de supervisión y gestión energética, puede no reducir en principio la plantilla de personal de mantenimiento, pero puede redefinir sus funciones permitiendo que dediquen un mayor esfuerzo al mantenimiento preventivo minorando el tiempo y esfuerzo destinado a las tareas clásicas de mantenimiento reactivo de la instalación

4.1.2 METODOLOGÍA

A la hora de establecer un modelo teórico de evaluación de la gestión y explotación de una instalación de alumbrado, un indicador muy adecuado, resulta ser la comparación de los costes derivados de la instalación con los beneficios generados.

Esta relación es empleada frecuentemente para decidir la conveniencia de llevar a cabo proyectos de inversión.

En general, la relación coste-beneficio se expresa como:

$$CB = \frac{\text{Costes generados}}{\text{Beneficios proporcionados}}$$

o su inversa,

$$BC = \frac{\text{Beneficios proporcionados}}{\text{Costes generados}}$$

Aplicando esta metodología a la evaluación de la gestión y explotación de las instalaciones de alumbrado, los beneficios se traducen en términos de satisfacción y seguridad de los usuarios. Para realizar la valoración de estos parámetros, se podría recurrir a instrumentos indirectos mediante la realización de encuestas a los usuarios de las instalaciones. Sin embargo, esta alternativa ha sido descartada. Esto es debido a que al tratarse de un funcionamiento nocturno, los parámetros referidos a los beneficios aportados por el alumbrado se observan únicamente en los meses en los que oscurece antes, puesto que la actividad nocturna en los polígonos industriales no es demasiado elevada. Esto nos hace pensar que este método de evaluación puede ser poco riguroso puesto que solo en casos en los que el alumbrado sea muy deficiente tendrá un impacto significativo en los usuarios.

En lugar de ello, se han cuantificado otros parámetros que tienen una influencia más directa sobre los beneficios de la gestión del alumbrado, como son: los

niveles adecuados de iluminación, los tiempos de operación optimizados, la minimización de la frecuencia de averías y la apariencia de la instalación.

El beneficio resultante de la evaluación de dichos factores, será comparado posteriormente con los costes directos del proyecto en cuestión: inversión inicial, explotación, mantenimiento, renovación y eliminación.

En el análisis de los costes se ha de tener en cuenta que aquellos derivados de la inversión inicial se pagan durante un periodo corto de tiempo, mientras que los derivados del mantenimiento, explotación y eliminación son pagados durante la vida de la instalación. Asimismo, los beneficios también serán recibidos por los usuarios durante la vida de la instalación. Por este motivo, tanto los costes como los beneficios han de ser cantidades a valor presente o, lo que es lo mismo, cantidades anuales equivalentes.

Teniendo en cuenta la definición de los factores, el factor de beneficio será un valor comprendido entre 0 y 1.

En el caso de la relación Costes-Beneficios la interpretación de la misma será el coste de la unidad de beneficio, de tal manera que las instalaciones que no cumplan los objetivos de eficiencia presentarán un menor beneficio y por tanto un mayor coste. Por el contrario, la interpretación de su inversa, BC, se interpretará como el beneficio generado por la unidad monetaria.

Por último, para llevar a cabo este análisis, es fundamental siempre comenzar con la realización de un Inventario (número, tipo y ubicación de los puntos de luz, sistemas de control, cuadros eléctricos, planos, etc.) y de un plan de mantenimiento, incluyendo la gestión de recambios.

4.1.2.1. EVALUACIÓN DE BENEFICIOS

La evaluación del beneficio tiene como objetivo ponderar la calidad del servicio del alumbrado para lo cual se debe basar en aspectos operativos que permitan evaluar la gestión, explotación, planificación del mantenimiento, renovación de la instalaciones y su posterior eliminación.

Con este propósito, se han considerado como los aspectos más importantes:

- la iluminancia o nivel del alumbrado
- el tiempo de operación del servicio
- la frecuencia y duración de fallos
- la apariencia de la instalación

Cada uno de estos aspectos es una dimensión del beneficio a evaluar, y teniendo en cuenta que no llevan asociado un valor monetario asociado, se ponderarán.

Por este motivo, es necesario transformar la relación Coste-Beneficio en otra función que tenga en cuenta cada uno de estos factores.

$$CB = \frac{\text{Costes}}{k_1 \cdot \dots \cdot k_n}$$

donde:

Costes: representa el sumatorio de todos los costes asociados al sistema de alumbrado.

$k_1 \dots k_n$: representa cada uno de los factores de peso asociado a cada aspecto del beneficio evaluado para la instalación de alumbrado (valores entre 0 y 1).

A continuación se desarrolla cada uno de los factores que intervienen en la relación Coste – Beneficio.

I. Nivel de Iluminación

Para cuantificar el nivel de iluminación del alumbrado (actualmente iluminancia), se puede recurrir a parámetros luminotécnicos, como por ejemplo: flujo luminoso, iluminancia, luminancia, visibilidad etc. La elección apropiada debe realizarse teniendo en cuenta que el parámetro sea:

- representativo del beneficio o eficacia del alumbrado.
- medible con la rapidez y precisión que la metodología establecida lo requiera.
- comparable con valores de referencia convenientemente establecidos.

Teniendo en cuenta estas premisas, se puede acotar el número de parámetros mediante el análisis de los mismos:

El flujo luminoso no aporta información acerca de las condiciones visuales creadas por el sistema de alumbrado.

El empleo de la iluminancia sobre el área de interés también dice poco acerca de las condiciones visuales creadas por el sistema de alumbrado, en este sentido la luminancia ha sido el parámetro funcional que mejor se ha correlacionado hasta el presente con las condiciones visuales y posiblemente en un futuro cercano el criterio de la visibilidad de objetos. Sin embargo, la luminancia y la visibilidad son parámetros que requieren información acerca de las propiedades reflexivas del pavimento, lo cual limita su aplicación.

Llegados a este punto, es importante destacar que, desde el punto de vista de la implementación y el control, la iluminancia tiene la gran ventaja que es fácilmente mensurable y, en la actualidad, se dispone de los recursos instrumentales necesarios.

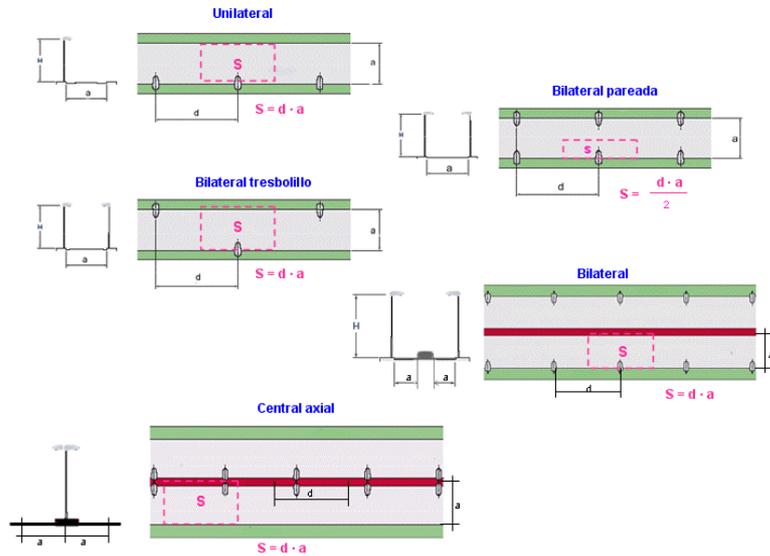
Teniendo en cuenta esto, y puesto que el objetivo de este estudio es que la metodología sea aplicable, la iluminancia sobre el área de interés es el parámetro más adecuado para evaluar el nivel de iluminación como factor del beneficio.

Las zonas de interés a considerar son las vías de tránsito tanto peatonal como vehicular iluminadas, constituidas por la superficie de la calle dividida en calzada y aceras.

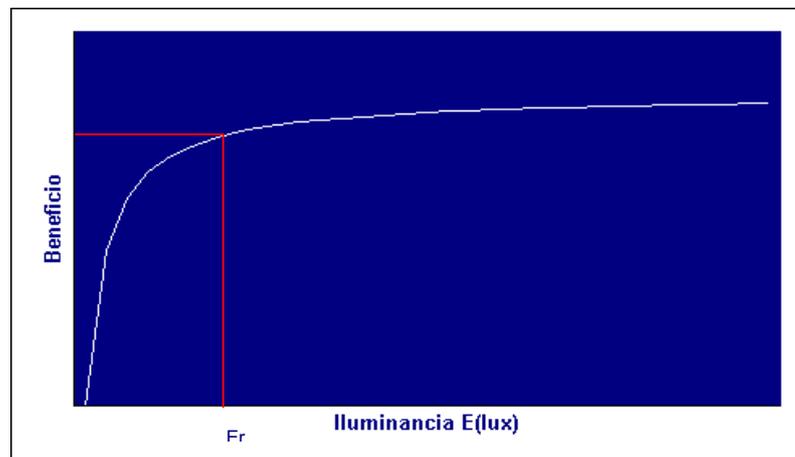
Una vez establecido el parámetro a considerar, se plantea la necesidad de establecer la relación entre el beneficio y la iluminancia sobre el área de interés para determinar el factor iluminancia con el fin de evaluar la relación coste-beneficio.

Para ello, es importante tener en cuenta que no todos los luxes que llegan a la calzada son valorados de la misma manera, pues, si ese fuera el caso tendríamos un beneficio constante para cualquier iluminancia con lo cual la mínima iluminancia que nos conduzca al mínimo coste sería la mas apropiada para cualquier situación. El beneficio del alumbrado esta relacionado con la facilidad para realizar tareas, es decir, el rendimiento visual.

Para calcular la superficie iluminada habrá que tener en cuenta la disposición de la luminaria según la siguiente figura.



La forma de la relación del beneficio en términos de iluminancia sigue la tendencia de la siguiente figura:



En esta figura, el valor óptimo de iluminancia, se corresponde con el valor de Iluminancia mínima mantenida (E_r) que, a su vez, coincide con el nivel de iluminancia de referencia recomendado para cada tipo de alumbrado.

A la hora de establecer una fórmula matemática que nos permita cuantificar el beneficio aportado por los niveles de iluminación, han de asumirse los siguientes supuestos:

- a) El beneficio es 1 cuando la iluminancia corresponde al valor de referencia, es decir $k(E_r) = 1$. De este modo, los costes se verán incrementados en la relación coste-beneficio cuando la iluminancia sea menor que la de referencia penalizando así a las instalaciones que no cumplan con los objetivos de diseño.
- b) Se considera que valores por arriba del de referencia no reportan beneficios económicos adicionales.
- c) Se considera que una instalación es inadmisibles si la $E \leq E_r/2$.

La función resultante $k(E)$ tiene la forma:

$$k(E) \begin{cases} 0 & \text{para } E \leq E_r/2 \\ (2 E/E_r) - 1 & \text{para } E_r/2 \leq E \leq E_r \\ 1 & \text{para } E \geq E_r \end{cases}$$

donde:

$k(E)$: factor de peso de la iluminancia.

E_r : iluminancia de referencia

E : iluminancia sobre el área de interés a evaluar

Debido a que las instalaciones de alumbrado están ubicadas en zonas con distintos anchos de calzada y valores de iluminancia, es necesario obtener un $k(E)$ ponderado de acuerdo al área y al nivel, según la siguiente expresión.

$$k(E)^* = \frac{\sum_{i=1}^n E_{ri} \cdot A_i \cdot k(E_i)}{\sum_{i=1}^n E_{ri} \cdot A_i}$$

donde

$k(E)^*$: factor del beneficio en términos de iluminancia ponderado de acuerdo al área y al valor de iluminancia sobre la zona de interés.

$k(E_i)$: factor del beneficio en términos de iluminancia sobre la zona i .

E_{ri} : Iluminancia recomendada, mínima mantenida sobre el área i de interés.

A_i : área de la zona i de interés.

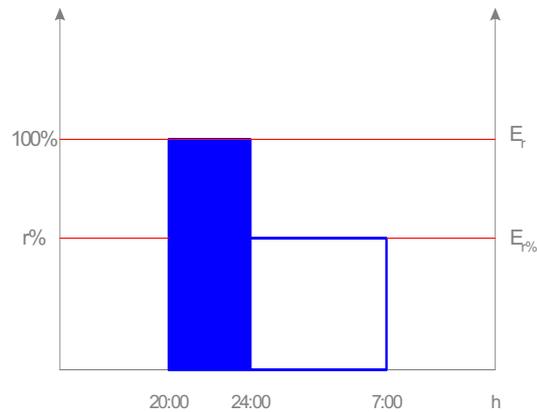
Factor de iluminancia con reguladores de potencia

Algunas instalaciones de alumbrado presentan dispositivos de reducción del consumo de energía con el fin de ahorrar costes. Estos sistemas reducen la iluminancia durante periodos de tiempo determinados.

A la hora de implantar este tipo de sistemas, es importante tener presente el régimen de tarifa contratada, de forma que si existe discriminación horaria, el margen de ahorro energético puede ser inferior si coinciden las franjas horarias de reducción de consumo con la de menor coste de la energía. Asimismo, dicha reducción en la iluminación ha de realizarse en periodos en los que exista una disminución en la presencia de vehículos (tráfico en las vías) y personas (peatones) siempre y cuando no exista un riesgo adicional, tales como riesgo de accidentes de tráfico y/o inseguridad ciudadana.

En consecuencia, es necesario ponderar previamente las ventajas y desventajas antes de asumir la decisión de reducir la iluminancia en aras de un ahorro energético.

En los casos en los que es posible reducir los niveles sin consecuencias, el beneficio se considerará equivalente a la situación sin reducción para realizar un balance entre costes adicionales y ahorro energético, y el factor de iluminancia correspondiente se ponderará en función del período de uso del regulador.



Teniendo en cuenta lo anterior, el factor de beneficio de los niveles de iluminación con periodo de regulación vendrá dado por:

$$k(E)' = \frac{T_{100\%} \cdot k(E_{100\%}) + T_{r\%} \cdot k(E_{r\%})}{T_{100\%} + T_{r\%}}$$

donde:

$k(E)'$: factor del beneficio ponderado debido a la presencia con regulador de potencia

$k(E_{100\%})$: factor del beneficio con 100% de potencia.

$k(E_{r\%})$: factor del beneficio con r% de regulación de potencia.

$E_{r\%}$: iluminancia recomendada, mínima mantenida sobre el área i de interés con r% de regulación.

$T_{r\%}$: periodo de funcionamiento bajo regulación de potencia.

$T_{100\%}$: periodo de funcionamiento al 100% de potencia.

Tiempos de Operación

Los tiempos de operación de las instalaciones de alumbrado, han de responder a las necesidades de luz. Así, a medida que se produce la reducción de la luz natural al atardecer (ocaso), las condiciones de iluminación son inferiores a los niveles funcionales, de forma que se hace necesaria la conexión del alumbrado.

Teniendo en cuenta que la duración de las horas de luz durante el día varían en función del día del año y de la latitud, el tiempo de operación del alumbrado ha de adaptarse a dichos cambios.

Los horarios de encendido y apagado para latitud 41° (Barcelona) se muestran en la siguiente tabla:

MES	DÍAS	ENCENDIDO	APAGADO	HORAS FUNCIONAMIENTO
Enero	31	17:45:00	8:15:00	449:30:00
Febrero	28	18:15:00	8:00:00	385:00:00
Marzo	31	18:45:00	7:00:00	379:45:00
Abril	30	20:30:00	7:00:00	315:00:00
Mayo	31	21:00:00	6:15:00	286:45:00
Junio	30	21:30:00	6:00:00	255:00:00
Julio	31	21:30:00	6:15:00	271:15:00
Agosto	31	21:00:00	6:45:00	302:15:00
Septiembre	30	20:15:00	7:30:00	337:30:00
Octubre	31	19:00:00	8:00:00	403:00:00
Noviembre	30	17:30:00	7:45:00	427:30:00
Diciembre	31	17:15:00	8:15:00	465:00:00
TOTAL				4277:30:00

Sin embargo, estos horarios no coinciden con los horarios de funcionamiento del alumbrado de Galicia. Esto es debido a que los ortos y los ocasos no tienen lugar a la misma hora por no estar situados en la misma latitud.

Como puede observarse en la tabla anterior, el tiempo de utilización acumulado anualmente máximo recomendado es de 4277 horas y 30 minutos.

Para obtener los tiempos de operación del alumbrado de Galicia, se toman como referencia los anteriores y se calcula la diferencia entre el orto y el ocaso entre ambas latitudes.

En el caso de disponer de relojes astronómicos, las instrucciones de los mismos contienen mapas en los que se puede calcular esta diferencia, que en este caso es de 44 minutos.

Por otra parte, es posible calcular la diferencia entre el orto y el ocaso a través de las coordenadas exactas de la zona objeto de estudio. Para ello, se toman las coordenadas UTM de la zona y se transforman en coordenadas geodésicas (existen calculadoras en Internet). Una vez conocida la longitud geográfica, se puede calcular el desfase de tiempo entre las dos latitudes mediante las equivalencias entre las fracciones de arco¹ (grados, minutos y segundos de arco) y las fracciones de tiempo (horas, minutos y segundos)

$$360^{\circ} / 24 \text{ h} \qquad 15^{\circ} / 1 \text{ h} \qquad 15' / 1' \qquad 15'' / 1''$$

Para el control de los tiempos de operación existen numerosos equipos en el mercado, desde células fotoeléctricas a sistemas de telegestión pasando por relojes astronómicos.

Sin embargo, los ciclos de encendido y apagado pueden sufrir alteraciones debido al fallo de los equipos, de forma que afecte a numerosos puntos de luz. Estas alteraciones pueden provocar el uso de alumbrado fuera del horario.

¹ 1° de arco equivale a 4 ' de tiempo.

El adelanto del encendido y/o atraso del apagado, no produce ningún beneficio siempre y cuando el encendido y apagado teórico sean correctos. Así, en caso de exceso de uso de la instalación se produciría un sobre consumo y una posible reducción de la vida de los componentes. Por contra, reducir el periodo de funcionamiento significaría no brindar el servicio, produciendo insatisfacción de los usuarios e incluso puede dar lugar a deficiencias de iluminación que provoquen accidentes.

Se ha considerado, que 15 minutos de atraso del encendido más 15 minutos de adelanto del apagado es la máxima ausencia del servicio aceptada como reducción del beneficio por tiempo de operación. De esta forma, 30 minutos x 365 días = 182,5 h/año que corresponde aproximadamente al 5% de desfase horario anual.

Teniendo en cuenta esto, el factor beneficio que considera el tiempo de operación se define como:

$$k(T_o) \begin{cases} 0 & \text{para } T_o \leq 0.95 T_{or} \\ T_o / T_{or} & \text{para } 0.95 T_{or} \leq T_o \leq T_{or} \\ 1 & \text{para } T_o \leq T_{or} \end{cases}$$

donde:

$k(T_o)$: factor de beneficio que considera el tiempo de operación

T_o : tiempo de operación anual real de la instalación analizada.

T_{or} : tiempo de operación anual de referencia, corresponde al tiempo acumulado anual.

II. Frecuencia y duración de fallos

En general, cualquier instalación sufre fallos en forma aleatoria por la naturaleza propia de los componentes. En el caso del alumbrado público, dado que existe una baja densidad de luminarias, un punto de luz fuera de servicio produce (dependiendo de la separación existente) un espacio oscuro aún cuando los valores medios de iluminancia no se ven afectados prácticamente.

Estas averías pueden provocar problemas de seguridad, los cuales se pueden ver agravados si la falta de un mantenimiento preventivo hace que los fallos persistan mucho tiempo.

Con el objeto de evaluar estas circunstancias se define el porcentaje de averías permanentes (PAP), que indica el porcentaje medio de puntos de luz fuera de servicio, probable de observar por la noche en una zona o instalación.

El porcentaje de averías permanentes puede determinarse por inspección periódica de toda la población o muestreo aleatorio. En una instalación con gestión centralizada y control individual de los puntos de luz, sería posible registrar el PAP por monitoreo permanente.

Una estimación del PAP basado en registros históricos de fallos, el tiempo necesario para la reparación y la suposición de una distribución temporal uniforme de fallos, se puede obtener a través de la siguiente ecuación:

$$PAP = \frac{Tfs \cdot AA}{NPL \cdot 365} \cdot 100$$

donde:

PAP: porcentaje de averías permanente

AA: Averías anuales. (Según registros históricos)

NPL: Número de puntos de luz.

Tfs: tiempo medio fuera de servicio de un punto de luz o tiempo transcurrido desde el fallo hasta que esta se repara, en días. Se puede suponer que es el tiempo desde la detección hasta la reparación.

El factor de beneficio que considera frecuencia y duración de fallos se calcula a partir del porcentaje de averías permanente del siguiente modo:

$$k(\text{PAP}) \begin{cases} 0 & \text{si} & \text{PAP} > \text{PAP}_{\text{máx}} \\ 1 - \frac{(\text{PAP} - \text{PAP}_{\text{mín}})}{(\text{PAP}_{\text{máx}} - \text{PAP}_{\text{mín}})} & \text{si} & \text{PAP}_{\text{mín}} \leq \text{PAP} \leq \text{PAP}_{\text{máx}} \\ 1 & \text{si} & \text{PAP} \leq \text{PAP}_{\text{mín}} \end{cases}$$

donde:

$k(\text{PAP})$: factor del beneficio que considera los fallos de la instalación

$\text{PAP}_{\text{mín}}$: porcentaje de averías permanente mínimo exigido.

$\text{PAP}_{\text{máx}}$: porcentaje de averías permanente máximo permitido.

PAP : porcentaje de averías permanente actual.

Los niveles de PAP máximo y mínimo se fijarán en función del PAP observado, procurando que el $\text{PAP}_{\text{mín}}$ no sea excesivamente elevado ni el $\text{PAP}_{\text{máx}}$ muy bajo, y viceversa.

III. Apariencia de la instalación

El criterio de apariencia resulta ser muy importante en situaciones particulares, cuando las instalaciones de alumbrado se diseñan con criterios estéticos o decorativos afectando tres aspectos en general, el coste de instalación, la eficacia global (utilización de la instalación) y el mantenimiento.

Sin embargo, el objetivo de este estudio es evaluar el servicio del alumbrado de polígonos y no la apariencia en si de las instalaciones.

A pesar de esto, resulta interesante para este trabajo la apariencia desde el punto de vista del mantenimiento y por ello se ha incluido.

Para cuantificar esta dimensión del beneficio, se hace uso de una tabla de valores formada por adjetivos calificativos opuestos separados por valores numéricos.

El peso de cada adjetivo (V_x) es el valor que se estaría dispuesto a aceptar por una apariencia x de la instalación, según el criterio de quien realiza la evaluación. En cada situación a evaluar habrá una apariencia apropiada establecida previamente por las características de la zona, etc. que será tomada como referencia.

Teniendo en cuenta esto, el factor de apariencia del beneficio de una instalación a evaluar se calcula como sigue.

$$k(A) = \frac{V_x}{V_r}$$

donde:

V_x : valor que se estaría dispuesto a aceptar por la apariencia x .

V_r : Valor de la apariencia de referencia.

Los valores de V_x y V_r se encuentran recogidos en la siguiente tabla:

ORDEN	APARIENCIA ACTUAL	V_x	APARIENCIA APROPIADA (V_r)		
			NEUTRA	ATRACTIVA	DECORATIVA/ DISEÑO
1	Descuidada	0,95	0,95	0,82	0,63
2	Neutra	1,0	1,0	0,87	0,67
3	Atractiva	1,15	1,15	1,0	0,76
4	Decorativa/diseño	1,5	1,5	1,3	1,0

Teniendo en cuenta que este estudio está dirigido a la evaluación de instalaciones de alumbrado de polígonos industriales, el valor de apariencia apropiada será neutra en todos los casos y los valores de apariencia actual se encontrarán entre descuidada y neutra.

Para finalizar, en el caso de la existencia de varias zonas o calles un factor apariencia medio por cuadro se puede obtener ponderando sobre la base del número de puntos de luz de cada zona o calle.

$$k(A)^* = \frac{\sum_{i=1}^n k(A) \cdot NPL_i}{\sum_{i=1}^n NPL_i}$$

donde:

$k(A)^*$: factor del beneficio ponderado, para considerar la apariencia de la instalación.

$k(A_i)$: factor del beneficio para considerar la apariencia de la instalación i .

NPL_i : Número de puntos de luz de la instalación i

4.1.2.2. EVALUACIÓN DE COSTES

Para evaluar los costes totales de un sistema de alumbrado, podemos agruparlos de la siguiente manera:



Para realizar un análisis de los costes global que sirva para comparar entre sí instalaciones y/o realizar seguimientos de evolución, es necesario considerar el ciclo de vida de la instalación, que está entorno a los 20 años.

Durante el ciclo de vida existen distintos periodos en los cuales se realizan inversiones y gastos.

El capital utilizado en proyecto, materiales, construcción, mano de obra, etc. tanto de la instalación eléctrica como del alumbrado, se invierte inicialmente y tiene un coste financiero.

Por otra parte los gastos operativos, de explotación y eliminación se realizan en distintos periodos de tiempo.

Finalmente, para poder hacer una equivalencia en el tiempo y comparar alternativas se deben convertir todos los costes a una cantidad anual equivalente para su posterior aplicación a la relación coste-beneficio en instalaciones de alumbrado.

I. Instalación o inversión inicial

Los costes de instalación comprenden todos los gastos necesarios para la construcción y puesta en funcionamiento de la instalación, entre los que se encuentran:

- Luminarias, lámparas, equipos auxiliares y soportes (báculos).
- Cimentaciones, canalizaciones e instalaciones eléctricas (subterráneas o aéreas), cableados interiores de columnas, conexiones, etc.
- Montaje, acabado y puesta en funcionamiento.
- Cuadros de medición de energía, cuadros de mando, protecciones, elementos de encendido, maniobra, estabilización de tensión, regulación, puesta a tierra, etc.
- Porcentajes correspondientes a beneficio industrial (en obra pública 6%), gastos administrativos (13% en obra pública), imprevistos (usualmente 1%) e IVA (16% actualmente).

Estos costes pueden variar en función de las fluctuaciones del mercado, las políticas de descuento comercial, etc.

Teniendo en cuenta esto, los costes de instalación se pueden englobar en la siguiente expresión:

$$P = N \cdot G$$

donde:

P: Coste de la instalación.

N: número de puntos de luz.

G: Coste de la instalación por punto de luz.

En la práctica se suele tener la factura de coste de ejecución de la instalación de alumbrado por una parte, y por otra los costes de montaje de las luminarias (incluyendo báculo y lámpara).

II. Consumo de Energía

En este punto hay que tener en cuenta el régimen de tarifa eléctrica existente.

En España, el sistema de tarificación de la energía eléctrica es regulado y controlado a través Reales Decretos publicados anualmente por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio ².

Las tarifas de energía eléctrica son de estructura binomia porque están basadas, fundamentalmente, en la aplicación de dos términos impositivos: Término de Facturación de Potencia y Término de Facturación de Energía.

El Término de Facturación de Potencia, TFP (€/kWh), será el producto de la Potencia contratada o instalada, P (kW), establecida en la factura por el Término de Potencia, TP.

$$TFP = P \cdot TP$$

Por otra parte, el Término de Facturación de Energía, TFE (€/kWh), es el producto de la Energía consumida, E (kWh), durante el periodo de facturación considerado por el Término de Energía, TE.

$$TFE = E \cdot TE$$

Además de estos costes, dependiendo de la tarifa se aplican complementos tarifarios que consisten en una serie de recargos o descuentos que figuran por separado en la factura de energía eléctrica.

² Las tarifas eléctricas están recogidas en el RD 2392/2004, de 30 de diciembre, por el que se establece la tarifa eléctrica para 2005.

- Por Energía Reactiva: Con objeto de incluir la Energía Reactiva, ya que no se ha considerado en la Tarifa Básica. Puede suponer Recargo o Descuento.
- Por Discriminación Horaria: Con objeto de gravar los consumos efectuados en horas punta, y provocar que se desplacen hacia otros periodos horarios. También, en este caso, puede suponer Recargo o Descuento.
- Otros Complementos: Estacionalidad e Interrumpibilidad (en casos especiales).

Además de los conceptos anteriormente citados, en la Facturación de la Energía Eléctrica, hay que tener en cuenta los impuestos, recargos y gravámenes correspondientes que se citan a continuación:

- Alquiler de los aparatos propiedad de la Empresa Eléctrica, que se instalan para la medida y control de la energía consumida.
- Impuesto Especial de Electricidad ³ (4.86%, en la actualidad)
- I.V.A. (16%, en la actualidad)

Las Tarifas de Energía Eléctrica se pueden clasificar, por la Tensión de Suministro, en dos grandes grupos:

- *Tarifas de Baja Tensión*: Suministro a tensiones no superiores a 1.000 V.
- *Tarifas de Alta Tensión*: Suministro a tensiones superiores a 1.000 V.

Además, las tarifas pueden también clasificarse por aplicación o tipo de utilización:

- *Generales*: De aplicación a todos los clientes, sin ningún condicionante.
- *Específicas*: De aplicación a todos los clientes, pero limitadas en cuanto a potencia.
- *Especiales*: De aplicación a suministros catalogados como "especiales".

Con todo esto, el cuadro completo con todas las tarifas sería el siguiente:

TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA					
BAJA TENSIÓN			ALTA TENSIÓN		
Tarifa	Aplicación	Utilización Principal	Tarifa	Aplicación	Utilización Principal
1.0	Específica	Escaleras, trasteros, bodegas, etc., viviendas de bajo consumo	1 2 3	General	Cualquier tipo de suministro, incluso alumbrado
2.0	Específica Potencia contratada menor a 15 kW	Viviendas, pequeños talleres y locales comerciales	THP	General	Es necesaria la autorización expresa de la DGE
3.0 4.0	General	Potencia contratada mayor a 15 kW	T D	Especial Especial	Servicios públicos dedicados a transportes Distribuidores
B.0	Especial	Alumbrado público	G.4	Especial	Grandes consumidores
R.0	Especial	Riegos agrícolas	R	Especial	Riegos agrícolas

En el caso concreto del alumbrado de polígonos industriales, las tarifas pertenecerán siempre a la categoría de baja tensión puesto que la tensión no suele exceder el valor de 1000 V. Dentro de las tarifas de baja tensión, sería aplicables cualquiera de ellas a excepción de la R.0.

³ La base imponible del Impuesto Especial de Electricidad es de 1.05113 €.

La tarifa más empleada según la muestra estudiada es la B.0, que está orientada exclusivamente al alumbrado público, como se puede observar en el cuadro. Sin embargo, en ocasiones se emplea la tarifa 2.0 debido a la posibilidad de aplicar el complemento de discriminación horaria.

En todo caso, es importante realizar simulaciones de la factura de consumo de energía con diferentes tarifas, de este modo se puede comprobar cual es la más adecuada.

Por otra parte, el coste de la energía eléctrica aumenta con la Potencia Contratada, es decir, a más potencia contratada mayor será el importe de la factura de consumo de energía eléctrica.

Teniendo en cuenta esto, será necesario contratar una potencia lo más ajustada a la realidad para disminuir este coste. Este factor únicamente es despreciable cuando la tarifa energética escogida sea la B.0 ya que el término de potencia es 0.

III. Mantenimiento

Los costes de mantenimiento dependerán de la política escogida por la empresa encargada del mismo, ya sea interna o externa.

Generalmente se distinguen dos tipos de mantenimiento:

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo en instalaciones de alumbrado consiste en la reparación de todas las averías e incidencias del sistema, siendo las actuaciones más habituales las siguientes:

- Sustitución de lámparas.
- Sustitución o reparación de las luminarias.
- Sustitución y/o ajuste del Sistema de programación y/o encendido.
- Limpieza.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo en instalaciones de alumbrado consiste en la revisión periódica de todos y cada uno de los elementos de la instalación, efectuando las tareas necesarias para evitar averías y/o fallos de la misma, antes de que ocurran.

Las tareas más habituales son:

- Inspección del estado de los soportes (corrosión, anclajes, tapas de registro, etc.)
- Inspección de las Luminarias (caja conexiones eléctricas, amarres, cierre, limpieza).
- Inspección de las Luminarias (amarres, cierre, limpieza).
- Inspección y comprobación del sistema de programación y/o encendido.
- Inspección del tendido eléctrico (donde sea aéreo).
- Comprobación de la iluminación ofrecida y su intensidad. (la contaminación lumínica debe ser valorada, pero no tanto en las tareas de Mantenimiento, sino en los proyectos de nuevas instalaciones o sustitución de alumbrados antiguos, con estudios adecuados y luminarias más modernas)

Es importante tener en cuenta que únicamente los gastos derivados de las operaciones de control, revisión y mano de obra serán fijos, mientras que el resto son gastos o costes variables que dependen de la modalidad o política de mantenimiento.

Los costes de limpieza de las luminarias pueden depender de la altura del punto de luz, del tipo de luminaria, si es abierta o cerrada, pues los medios que intervienen en cada caso y la duración o dificultad de la tarea son distintos. Sin embargo, generalmente, en la actualidad se instalan luminarias cerradas con IP 54 o superior lo cual ofrece un elevado índice de estanqueidad y hermeticidad, provocando que las tareas de limpieza sean mucho más fáciles.

Los costes de sustitución de lámparas dependen de las políticas de mantenimiento adoptadas, que en algunos casos se combinan con operaciones de limpieza.

Teniendo en cuenta esto, las políticas de mantenimiento se pueden clasificar de la siguiente manera:

- A. Sustitución correctiva de lámparas con limpieza simultánea.
- B. Sustitución correctiva de lámparas mas limpieza programada masiva de luminarias.
- C. Sustitución programada masiva de lámparas mas limpieza programada masiva de luminarias.
- D. Sustitución correctiva y programada de lámparas mas limpieza programada masiva de luminarias.

Una vez se haya decidido la política de mantenimiento, es importante planificar las operaciones a realizar, identificar los costes asociados y establecer la frecuencia de las operaciones.

Un factor a tener en cuenta en este punto es la depreciación de los equipos por envejecimiento y suciedad. Debido a esto, tanto la frecuencia de las operaciones de limpieza como de sustitución de lámparas, se ha de establecer de forma que se asegure el mantenimiento de la calidad del servicio (condiciones de iluminación, tiempo de funcionamiento, etc.) a un coste razonable.

A. Sustitución correctiva de lámparas con limpieza simultánea

La sustitución correctiva de lámparas se realiza cuando se detectan anomalías en el funcionamiento de las mismas durante una inspección. En este momento, si es necesario se realiza la sustitución de los componentes que no funcionen adecuadamente. A esta tarea, se le suma la limpieza simultánea de la luminaria.

Para esta situación, el cálculo de los costes de mantenimiento será:

$$A = [f \cdot n \cdot NLPL \cdot NL \cdot (C_l + C_{MCL})]$$

donde:

f : es la fracción anual de lámparas con fallos respecto del total.

n : número de lámparas por luminaria.

NL: número de luminarias.

NLPL: número de luminarias por punto de luz.

C_l : coste de lámpara (unidad).

C_{MCL}: coste de mano de obra correctiva más limpieza simultánea.

La fracción anual de lámparas con fallos es un valor que se calcula a partir del tiempo de utilización anual de la lámpara y el tiempo de vida media de la misma.

$$f = T_u / T_{50\%}$$

A partir de los datos de tiempo de vida media estimados por los fabricantes de las lámparas, para un tiempo de utilización de 4.265 h, se pueden establecer los valores siguientes:

Lámpara	Potencia (W)	T _{50%} (h)	f	f'
VSAP	100	28000	0,152	8
	250	24000	0,178	5
	400	24000	0,178	12
VM	125	16000	0,267	20
	250			30
	400			30

Fuente: PHILIPS

Esta política de mantenimiento presenta el inconveniente de que si la edad promedio de las lámparas de la instalación es elevada, la depreciación del flujo luminoso será importante. Además, al no existir una limpieza programada se agrega la depreciación por suciedad de la luminaria que empeora aún mas la situación.

La consecuencia directa de esto se traduce en un aumento en la tasa de fallos o porcentaje de averías permanentes (PAP) además de un aumento de la reducción de las condiciones de iluminación por debajo de las mínimas recomendadas.

B. Sustitución correctiva de lámparas más limpieza programada masiva de luminarias

Este caso es similar al anterior, la única diferencia es que la operación de limpieza se realiza con una frecuencia previamente fijada.

Los costes pueden estimarse según la siguiente expresión:

$$B = [f \cdot n \cdot NLPL \cdot NL \cdot (C_l + C_{MCL})] + [NL \cdot C_{ML} / T_L]$$

donde:

f : fracción anual de lámparas con fallos respecto del total.

n : número de lámparas por luminaria.

NL: número de luminarias.

NLPL: número de luminarias por punto de luz.

C_l: coste por lámpara.

C_{MCL}: coste de mano de obra del mantenimiento correctivo más limpieza simultánea.

C_{ML}: coste de mano de obra de limpieza programada.

T_L: periodo de limpieza programada de luminarias (años).

C. Sustitución programada masiva de lámparas más limpieza programada masiva de luminarias

La sustitución programada masiva supone el reemplazo de un gran número de lámparas, así como de aquellos componentes que se observen deteriorados. Este proceso requiere de tiempo, medios técnicos y personal, además de una planificación por zonas/ calles/ sectores de forma que se optimicen los costes.

Los costes anuales en este tipo de mantenimiento se pueden calcular a través de la siguiente expresión:

$$C = [NL \cdot (n \cdot NLPL \cdot C_l + C_{MP}) / T_P] + [NL \cdot C_{ML} / T_L]$$

El primer término corresponde a los costes de sustitución programada de lámparas y el segundo a los costes de limpieza, donde

n: número de lámparas por luminaria.

NL: número de luminarias.

NLPL: número de luminarias por punto de luz.

C_l: coste por lámpara.

C_{MP}: coste de mano de obra del mantenimiento de sustitución programada.

C_{ML}: coste de mano de obra de limpieza programada.

T_P: periodo de sustitución programado masivo (años).

T_L: periodo de limpieza programada masiva de luminarias (años).

D. Sustitución correctiva y programada masiva de lámparas más limpieza programada masiva de luminarias

Esta política de mantenimiento comprende las tareas de sustitución de lámparas, tanto correctiva (puntual) como programada (masiva), así como la limpieza de la luminaria.

En este caso, los gastos anuales de mantenimiento se pueden agrupar en tres términos, el de sustituciones correctivas, masivas y limpieza:

$$D = [(f'/100) \cdot n \cdot NL \cdot NLPL \cdot (C_I + C_{MC}) / T_C] + [NL \cdot (n \cdot NLPL \cdot C_I + C_{MP}) / T_P] + [NL \cdot C_{ML} / T_L]$$

donde:

f' : porcentaje de fallos de lámparas durante el periodo de sustitución.

n : número de lámparas por luminaria

NL: número de luminarias.

NLPL: número de luminarias por punto de luz

C_I : coste por lámpara.

C_{MC}: coste de mano de obra del mantenimiento correctivo.

C_{MP}: coste de mano de obra del mantenimiento de sustitución programada.

C_{ML}: coste de mano de obra de limpieza programada.

T_P: periodo de sustitución programado masivo [años]

T_L: periodo de limpieza programada masiva de luminarias [años]

El porcentaje de fallos de las lámparas durante un periodo de tiempo (f') es un dato proporcionado por los fabricantes, aunque también se puede estimar a partir de registros históricos en caso de que se disponga de los mismos. En la tabla anterior aparecen recogidos algunos valores de f'.

IV. Renovación de instalaciones

A lo largo de la vida de la instalación, es frecuente la necesidad de reemplazar algunos componentes de la misma a causa del envejecimiento, la adaptación a nuevas tecnologías o la variación en la necesidad del servicio.

En este caso, el análisis de costes afecta exclusivamente a los componentes o equipos renovados. Estos costes incluyen la mano de obra y, en la mayor parte de los casos habrá que incluir los correspondientes costes de eliminación de los equipos sustituidos.

Algunas veces, los componentes procedentes de sustituciones programadas que todavía están en buen estado pueden ser reutilizados como recambios.

Esta situación es frecuente cuando el modelo de luminaria que se estaba utilizando hasta el momento es descatalogado, por lo que parte de las instalaciones son renovadas y los componentes procedentes dicha reposición que aun está en condiciones de funcionamiento se reciclan en instalaciones antiguas.

La implantación de esta política lleva asociada costes derivados de la preparación, control, almacenamiento del material, etc. que también han de ser tenidos en cuenta.

V. Eliminación

Los costes procedentes de la eliminación de las instalaciones vendrán derivados de la mano de obra así como de los costes de reciclaje de las lámparas.

El coste de reciclaje de cada lámpara según PHILIPS se establece en 0.30 € por cada lámpara. Teniendo en cuenta la cantidad de lámparas empleadas en cada instalación de alumbrado a lo largo de su vida, se puede estimar un coste medio de 1.20€ por cada lámpara.

$$\text{Coste reciclaje} = 0.30 \text{ €} \cdot \frac{20 \text{ años}}{5 \text{ años}} = 1.2 \text{ €}$$

Un factor a tener en cuenta en el reciclaje es la composición de la lámpara. En el caso de las lámparas de mercurio este valor se puede ver incrementado debido a la toxicidad de este elemento.

4.1.2.3. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA INSTALACIÓN

Como ya se comentó anteriormente, una forma de evaluar la relación beneficio-coste para una instalación es el análisis del ciclo de vida. Este método consiste en la evaluación de costes desde el inicio hasta el final, cuya metodología ha sido explicada en el punto anterior del estudio.

Cada uno de estos factores económicos tiene lugar en periodos diferentes de tiempo.

Para poder llevar a cabo el análisis y estudio comparativo de diferentes alternativas es necesario convertir los costes derivados del alumbrado durante el ciclo de vida de la instalación a una cantidad equivalente anual.

Para calcular la cantidad anual equivalente se recurre a fórmulas matemáticas que permiten convertir los costes iniciales de inversión de capital de instalaciones en un flujo de caja anual constante.

$$I = C_i \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

En el caso de los costes de eliminación también pueden ser convertidos en una cantidad anual equivalente mediante la siguiente ecuación:

$$E = C_E \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

Teniendo en cuenta estas dos ecuaciones, el coste anual equivalente (CAE) de una instalación durante un ciclo de vida de n años será el siguiente:

$$CAE = C_i \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + C_C + C_M + C_R + C_E \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

donde:

CAE : coste total anual de un ciclo de n años vida

C_I : coste de inversión de capital

C_C , C_M y C_R : costes anuales de explotación y consumo energético, mantenimiento y renovación, respectivamente.

C_E : costes de eliminación de instalaciones.

i: Tasa de interés anual.

n: número de años.

4.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Para el correcto desarrollo del estudio ha sido necesario el establecimiento de una muestra representativa sobre la cual, proceder a la determinación de la relación entre el beneficio y el coste aplicando el modelo de acción anteriormente descrito.

El número de polígonos industriales/empresariales de Galicia es de aproximadamente 142, siendo la actividad de la mayor parte de ellos de tipo industrial y/o comercial.

Con el objetivo de poder establecer relaciones comparativas entre los polígonos, se ha optado por escoger cuatro polígonos empresariales dedicados a la misma actividad pero de diferentes años de construcción.

Asimismo, se ha tenido en cuenta como criterio de selección la disponibilidad de información acerca de los parámetros a evaluar.

4.3. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Se desarrollan en los sucesivos apartados del presente epígrafe, las metodologías y trabajos aplicados en la obtención de la información necesaria, referente a cada polígono industrial anteriormente indicado.

4.3.1. PLANIFICACIÓN

Las labores de planificación para la obtención de los datos referentes a los polígonos industriales, se desarrollaron en dos acciones consecutivas:

- a) Realización de entrevistas con el personal implicado en la gestión del Sistema de Alumbrado de cada uno de los polígonos industriales seleccionados.

Dicha tarea fue realizada a partir mediante la realización de una ficha de adquisición de datos desarrollada en el apartado 4.3.2. y presentada en el Anexo III de la presente memoria, para cada uno de los polígonos industriales.

- b) Establecimiento de las rutas para la toma de datos.

Tomando en consideración la localización de cada uno de los polígonos industriales a diagnosticar, y partiendo de la necesidad de realizar visitas in situ para las mediciones de las iluminancias de los puntos de luz integrantes de los sistemas de alumbrado integrantes de la muestra, se determinó en primera instancia la realización de dos rutas:

- Ruta 1: Abarcando la totalidad de los puntos de luz a visitar de los polígonos industriales de Tambre y Novomilladoiro durante una jornada de 8 horas.

- Ruta 2: Abarcando la totalidad de los puntos de luz a visitar de los polígonos industriales de Pocomaco y Espíritu Santo durante una jornada de 8 horas.

4.3.2. DISEÑO DE LA FICHA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El equipo técnico de Serviguide elaboró una ficha en la que se reflejan las características para cada uno de los sistemas de alumbrado de los polígonos Industriales integrantes de la muestra. La información plasmada en esta ficha, corresponde tanto a la recogida durante el desarrollo del trabajo de campo, como a aquella información necesaria, obtenida a partir de las entrevistas con las entidades gestoras de los sistemas de alumbrado y de la búsqueda de información en oficina.

El objetivo de esta fase fue el de crear un patrón estándar para recoger aquella información necesaria para alimentar la base datos, contemplando los apartados que se describen a continuación:

Identificación del Polígono Industrial: Con referencia a:

- Nombre del polígono.
- Fecha de creación.
- Actividad.
- Provincia.
- Municipio.
- Dirección.
- Superficie Total.
- Superficie Construida.
- Nº de parcelas.
- Estado del polígono.
- Fase de construcción.
- Tamaño mínimo de la parcela.
- Nombre de la Asociación.
- Dirección, teléfono, fax y correo electrónico de la Asociación.

- Nombre del promotor del polígono
- Contacto del promotor
- Distancia a los principales núcleos de población de Galicia
- Distancia a aeropuertos, puertos y estaciones de tren más cercanas.

Datos acerca de la instalación de alumbrado:

- Antigüedad media: Referida al tiempo transcurrido desde la instalación del sistema de alumbrado hasta la actualidad.
 - < de 5 años.
 - de 5 a 10 años.
 - de 10 a 15 años
 - > de 15 años
- Estado de la instalación: Para la valoración del estado de la instalación se tuvieron en cuenta las visitas in situ realizadas por parte del equipo de trabajo de Serviguide, estableciéndose los siguientes criterios:
 - Bueno
 - Regular
 - Malo.
- Potencia contratada: Por parte del órgano gestor de la instalación de alumbrado a la empresa suministradora de energía eléctrica.
- Potencia instalada: Referida a la potencia real instalada del sistema de alumbrado de cada uno de los polígonos industriales.
- Nº de puntos de luz: que forman parte del sistema de alumbrado de los polígonos
- Nº de cuadros eléctricos: referido al número de los mismos que integran el sistema de alumbrado de cada polígono industrial.

Datos de consumo energético con indicación a los siguientes aspectos:

- Tipo de tarifa: dependiendo de la potencia contratada, la empresa suministradora de energía aplica una baremación y establece unas tarifas dentro de las cuales se engloban los polígonos industriales objeto de la muestra.
- Precio de tarifa: Asociado al punto anterior, cada tarifa lleva asociado un precio por Kw consumido al mes.
- Existencia de discriminación horaria: El complemento por discriminación horaria establecido en la actual estructura tarifaria, tiene en cuenta el distinto coste de la energía eléctrica en cada periodo horario. Su objetivo fundamental es lograr el aplanamiento de la curva de carga diaria, y, dependiendo de la modalidad, de la monótona del sistema eléctrico nacional. Se valora como un descuento o recargo en euros en función de la forma de consumo y del término de energía de media utilización del escalón correspondiente. Existen cinco tipos de discriminación horaria siendo un derecho del consumidor elegir el que más se ajuste a sus necesidades.
- Consumo anual: Total del consumo de energía eléctrica debido a los sistemas de alumbrado al año.
- Coste del consumo anual: Es el producto de la energía consumida durante el periodo de facturación considerado por el precio del término de energía. Se mide en Euros/kWh. El coste de consumo anual de energía se divide en los siguientes factores:
 - Facturación por potencia: En el que se tienen en cuenta las variables de potencia instalada, el factor de pérdidas, el término de potencia (valor fijo) y el tiempo de operación en horas.
 - Facturación por energía: Considerando los consumos de energía activa y energía reactiva y el término de energía (valor fijo).

- Facturación por alquiler de equipos: Dependiendo del número de equipos y meses al año que se tengan alquilados (en el caso del presente estudio, el tiempo será siempre la totalidad del año).
 - Impuestos: impuesto de electricidad e I.V.A.
- Presupuesto anual destinado al alumbrado: Inversión económica que la entidad encargada de la gestión del alumbrado destina anualmente al sistema de alumbrado con todos los costes que este pudiera llevar asociado (mantenimiento, reparaciones, sustituciones, etc.)
 - Gasto anual del alumbrado: Gasto real que supone anualmente los sistemas de alumbrado público para la entidad gestora del mismo.
 - Horarios de encendido y apagado de los sistemas de alumbrado mensuales: mediante la siguiente tabla:

MES	HORA ENCENDIDO	HORA APAGADO	HORAS DE FUNCMTO.	<u>MES</u>	HORA ENCENDIDO	HORA APAGADO	HORAS DE FUNCMTO.
Enero				Julio			
Febrero				Agosto			
Marzo				Septiembre			
Abril				Octubre			
Mayo				Noviembre			
Junio				Diciembre			

Datos de mantenimiento y conservación con indicación a los siguientes aspectos:

- Servicio de mantenimiento: Referido a la disponibilidad en el polígono de un servicio continuo de mantenimiento para los sistemas de alumbrado con indicación a si ese servicio es interno, es decir forma parte del personal del polígono, o por el contrario se subcontrata a una empresa que lleve a cabo ese servicio.

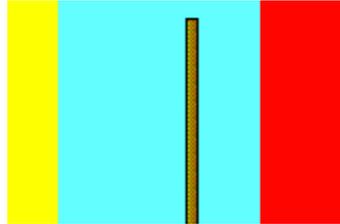
- Nombre de la empresa: En el caso de que la anterior cuestión se elija la opción de un sistema de mantenimiento externo, será necesario facilitar el nombre de la empresa encargada del mantenimiento del sistema de alumbrado del polígono con el fin de solicitar a la misma la información que se detalla en sucesivos apartados.
- Tipo de mantenimiento:
 - Mantenimiento Correctivo: las operaciones de mantenimiento se realizan cuando se detectan deficiencias (reparación de fallos...)
 - Mantenimiento Preventivo: (programado): mantenimiento periódico que se realiza para comprobar que la instalación está en buenas condiciones, cambio de lámparas y/ luminarias según recomendaciones de fabricantes,...
- Frecuencia del mantenimiento: ya sea de tipo correctivo o preventivo con indicación a las siguientes frecuencias:
 - 6 meses
 - 12 meses
 - 18 meses
 - 24 meses
 - 36 meses
 - Otros_____
- Coste de la unidad de mantenimiento: ya sea correctivo o preventivo.
- Presupuesto anual destinado al mantenimiento: Inversión económica que la entidad encargada de la gestión del alumbrado destina anualmente al mantenimiento del sistema de alumbrado.
- Gasto anual del mantenimiento: Gasto real que supone anualmente los mantenimientos de los sistemas de alumbrado público para la entidad gestora del mismo.

- Tasa de averías: número de puntos de luz averiados por año.
- Duración media de las averías: Nº de horas de media que permanece un punto lumínico o el sistema en general averiado.
- Intervalos de limpieza: Periodo de tiempo que transcurre desde la limpieza de las luminarias con indicación a las siguientes frecuencias:
 - 6 meses
 - 12 meses
 - 18 meses
 - 24 meses
 - 36 meses
 - Otros _____
- Gasto anual de limpieza: Gasto real que suponen anualmente las limpiezas de los sistemas de alumbrado público para la entidad gestora del mismo.

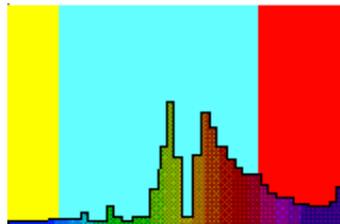
Datos referentes a las lámparas que integran el sistema de alumbrado con indicación a los siguientes aspectos:

- Nº de lámparas según:
 - Tipo de lámpara: (información obtenida en la primera fase del proyecto, durante el año 2004).

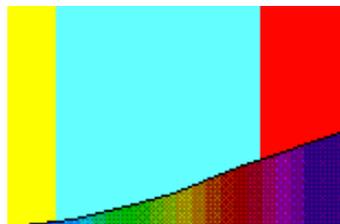
- VSBP: Lámparas de vapor de Sodio a Baja Presión. A continuación se muestra el espectro de la lámpara de Vapor de Sodio a Baja Presión:



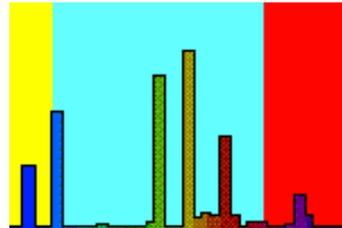
- VSAP: Lámparas de vapor de Sodio a Alta Presión: A continuación se muestra el espectro de la lámpara de Vapor de Sodio a Alta Presión:



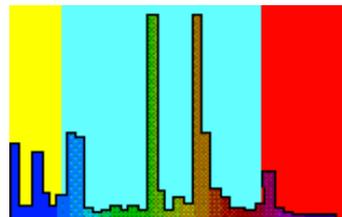
- Incandescentes: A continuación se muestra el espectro de la lámpara incandescente:



- VM: Lámparas genéricas de vapor de mercurio. A continuación se muestra el espectro de la lámpara de mercurio:



- HM: Lámpara de haluros metálicos. A continuación se muestra el espectro de la lámpara de haluros metálicos:



- Otros tipos.

Siendo para todas las figuras: Rango amarillo: Zona no útil, muy contaminante astronómicamente. Rango celeste: Zona útil para la iluminación. Rango rojo: Zona no útil para la iluminación⁴.

- Potencia de las luminarias

- Frecuencia del cambio para esta topología de luminarias.
- Años de antigüedad
- N° de averías

⁴ Datos y diagramas obtenidos del Instituto de Astrofísica de Canarias: Oficina para la Protección del cielo.

- Coste en euros de estas luminarias
- Niveles de iluminación: mediante la medición de los parámetros de iluminación, utilizando el luxómetro para ello.
- Iluminancia media inicial: En el caso de que el órgano gestor de los sistemas de alumbrado haya realizado mediciones en el momento de instalación del sistema.

Datos referentes a las luminarias que integran el sistema de alumbrado con indicación a los siguientes aspectos:

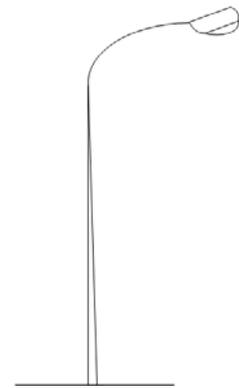
- Tipo de luminaria: Referenciando el fabricante, serie y modelo.
- Grado de protección del alojamiento de la lámpara: Referido a lo visualizado en campo. Dependiendo del mantenimiento (roturas, etc.) se plasmará en el presente campo las siguientes posibilidades:
 - Abierto
 - Cerrado
- Grado de protección: Dependiendo de la forma en que se haya realizado el cerramiento de la luminaria, el factor de depreciación variará, lo que supondrá un consumo de energía inútil. Los tipos de cerramiento que se tuvieron en cuenta a la hora de recoger la información en campo fueron los siguientes:
 - Existencia de cerramiento.
 - Cerramiento plano.
 - Cerramiento semicurvo.
 - Cerramiento lenticular.
 - Cerramiento curvo.
 - Inexistencia de cerramiento.

- Existencia de reflector: estructura que concentra la radiación de la luz, con lo que minimiza la cantidad de luz que se dispersa y por lo tanto que no es útil.
- Altura del poste: Es importante a la hora de realizar el cálculo de la eficiencia energética tener el dato de la altura del soporte sobre el que está ubicada la luminaria. En este campo, se procede a escribir en metros dicha altura.
- Frecuencia del cambio: Tiempo que transcurre entre los cambios de las diferentes luminaria, ya sea por mantenimiento correctivo o preventivo.
- Años de antigüedad: de cada una de los diferentes tipos de luminarias integrantes del sistema de alumbrado del polígono.
- Coste en euros de estas luminarias.
- Dispositivos de autorregulación: Referido a los dispositivos que regulan el encendido y apagado del sistema de alumbrado. Las opciones planteadas en la ficha son las siguientes:
 - Interruptores horarios astronómicos
 - Interruptor crepuscular
 - Estabilizador reductor de flujo
 - Contadores electrónicos combinados de energía eléctrica
 - Lectura remota
 - Lectura local
- Disposición de la luminaria: distinguiendo entre las siguientes disposiciones:

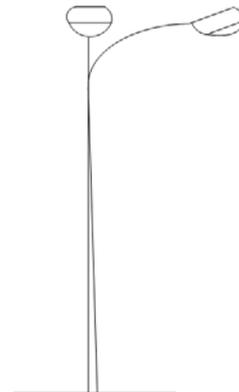
- Sobre el poste: La lámpara se encuentra ubicada justo encima del soporte.



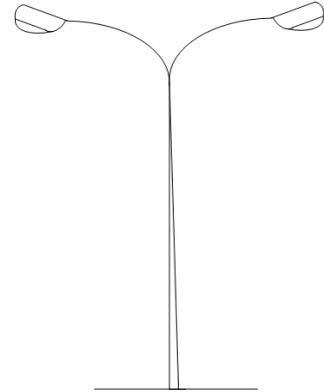
- Sencilla: Una única lámpara se encuentra ubicada sobre un báculo.



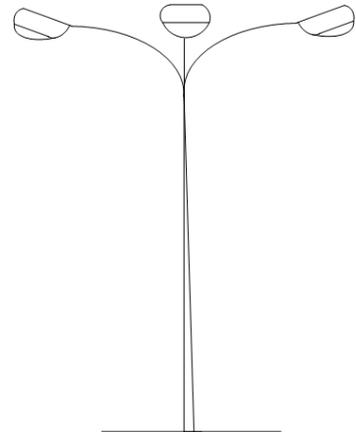
- Doble (90°): Sobre dos brazos en un mismo báculo, las lámparas forman un ángulo de 90° una respecto de la otra. Suelen ser luminarias ubicadas sobre esquinas o isletas en carreteras con accesos.



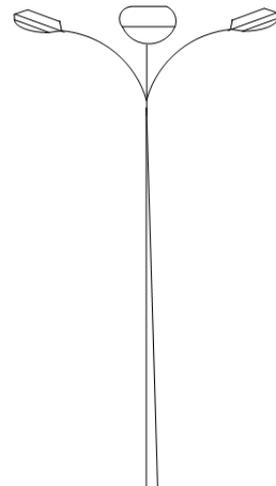
- Doble (180°): Sobre dos brazos en un mismo báculo, las luminarias forman un ángulo de 180° respecto una de otra.



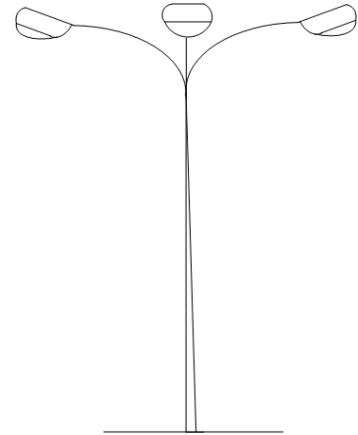
- Triple (90°): Sobre tres brazos en un mismo báculo, forman entre sí, dos ángulos de 90°. Es el caso de zonas con abundante tráfico y necesidad de buena iluminación.



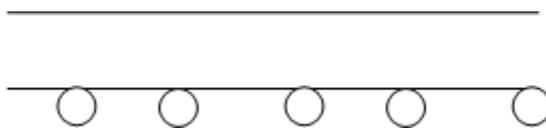
- Triple (180°): Sobre tres brazos en un mismo báculo, las luminarias forman entre sí, tres ángulos de 120°. Es el caso de zonas con abundante tráfico y necesidad de buena iluminación.



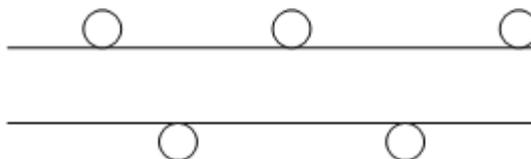
- Cuádruple: En este tipo de disposición existen cuatro luminarias sobre un mismo báculo formando entre si cuatro ángulos de 90°. El dibujo anexo es igual al de una luminaria con disposición triple de 90°, puesto que una de las lámparas quedaría oculta por otra. Esta disposición es típica en glorietas y/o plazas.



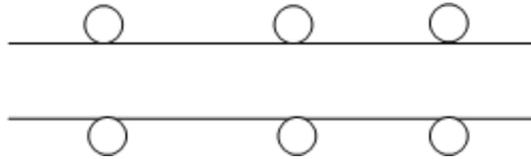
- Posición de la luminaria: Respecto al resto de las luminarias y al entorno directo (calle, plaza, etc.), el punto lumínico objeto del muestreo, se encuentra en una de las siguientes disposiciones:
 - Unilateral: Las luminarias se encuentran ubicadas en un único lado de la calle, por lo que la disposición de las mismas es:



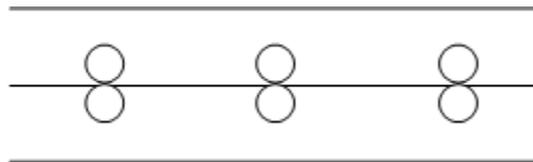
- Tresbolillo: Las luminarias están ubicadas a ambos lados de la calle de la siguiente manera:



- En oposición: Las luminarias están ubicadas a ambos lados de la calle opuestas unas frente a las otras:



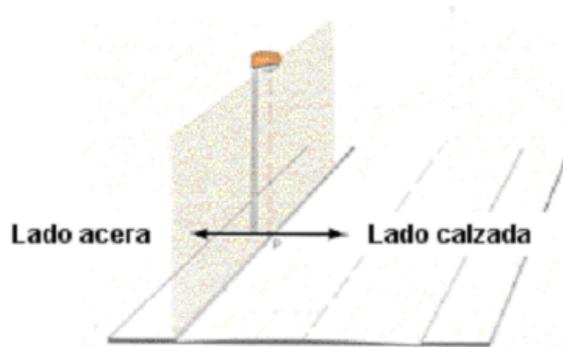
- Central con doble brazo: Las farolas se encuentran en el centro de la calle, iluminando por medio de dos luminarias ambos lados de la misma del siguiente modo:



- Otros: En el caso de que las anteriores disposiciones no contemplasen los casos particulares hallados en campo, se procedería a una detallada descripción de la disposición de la misma en este campo.

Datos referentes a los viales sobre los que se encuentran las luminarias que integran el sistema de alumbrado con indicación a los siguientes aspectos:

- Ancho de la acera: Distancia en metros de la zona vial destinada a la acera
- Ancho de la calzada: Distancia en metros de la zona vial destinada a la calzada.



- Interdistancia: Distancia en metros media entre los puntos lumínicos.
- Nº de carriles: Destinados al uso por parte de los vehículos de la calzada.

Asimismo se solicitó a las entidades gestoras la siguiente información:

- Plano de las instalaciones de alumbrado
- Fichas técnicas de los equipos empleados o referencias de las empresas suministradoras de los equipos.

En el anexo III del presente informe, tal y como se ha comentado anteriormente se adjunta el modelo de ficha de adquisición de datos para cada polígono industrial.

4.3.3. OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La obtención de la información contenida en la ficha anteriormente descrita, se obtuvo en la ejecución de dos tareas: Por una parte en campo, observando y midiendo aquellas variables que resulta necesario determinar in situ (durante la noche); y en segunda instancia en oficina, calculando y determinando aquellos valores no cuantificables en campo a través de observación y/o medida.

- a) **TRABAJO DE CAMPO:** Durante las visitas nocturnas a los puntos de luz seleccionados, el análisis se centró, mediante el empleo de un luxómetro, en la medición de los niveles de iluminancia medios para las luminarias integrantes de los sistemas de alumbrado de la muestra.
- b) **TRABAJO DE OFICINA:** En segunda instancia ha sido necesario completar la ficha de datos por punto de luz en trabajo de oficina, para aquellas variables no observables o cuantificables en campo.

Los citados datos se refieren principalmente a características lumínicas de los puntos de luz considerados, así como de los gastos y beneficios generados como consecuencia de los actuales sistemas de alumbrado disponibles.

Para la obtención de la citada información, se ha recurrido principalmente a las siguientes fuentes:

- Fichas técnicas de las luminarias aportadas por los fabricantes:
 - INDALUX Iluminación técnica.
 - CARANDINI.
 - SCHRÉDER (SOCELEC)
- Estudios publicados en la página del Comité Español de Iluminación.

4.3.4. COORDINACIÓN DE LOS TRABAJOS

El seguimiento a las operaciones de recogida de información fue realizado semanalmente en las instalaciones de Serviguide de A Coruña, donde se reunieron:

- Coordinador y Supervisor del proyecto
- Responsable del proyecto (control de calidad)
- Investigadores
- Responsable de Control informático del proyecto
- Consultor de tecnologías de la información

El objeto de dichas reuniones, ha sido la presentación por parte del Responsable del trabajo de campo de la metodología empleada para el desarrollo de las operaciones de recogida de información tanto en campo como en las entrevistas técnicas a los responsables de los sistemas de alumbrado de los polígonos, así como la información plasmada en las fichas de obtención de información.

De esta forma, con la puesta en común de los avances, incidencias e observaciones detectadas en la realización del trabajo de campo, fueron adoptadas las medidas correctoras necesarias, encaminadas a la mejora en el desarrollo del proyecto.

4.3.5. SEGUIMIENTO DE LOS TRABAJOS

Al objeto de minimizar potenciales errores en la recogida de datos en campo por parte del equipo de consultoría de Serviguide, así como para asegurar el empleo de similares metodologías en la determinación de variables a cuantificar u observar en campo, se dispuso la creación de un equipo de auditores para asegurar la óptima consecución de la presente fase.

Dicho equipo, conformado por personal de Serviguide, desarrollaron las siguientes actuaciones para alcanzar los objetivos anteriormente expuestos:

- Realización de controles sobre las acciones de búsqueda de información, evaluando a los consultores de campo, al objeto de verificar que la sistemática aplicada es la adecuada al nivel exigido, previamente definido por el Coordinador del proyecto.
- Realización de controles aleatorios de las tomas de datos efectuadas. Estos controles han sido más exhaustivos al inicio de los trabajos, con el fin de detectar posibles errores y proceder a su inmediata subsanación.
- Realización de auditorías mensuales globales de seguimiento de los trabajos realizados.

4.4. DISEÑO Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA

Para el correcto desarrollo del estudio, Serviguide diseñó una aplicación informática desarrollada en File Maker Pro donde, una vez volcados a la misma los datos recogidos en campo y oficina por punto de luz, muestre el resultado teórico de eficiencia energética, a través de la metodología desarrollada en el apartado 4.2. del presente estudio.

4.4.1. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS A UTILIZAR

Las características tecnológicas de la aplicación informática desarrollada son las siguientes:

- Acceso informatizado a toda la información de forma rápida y directa.
- Captura fácil y rápida de imágenes digitales, importación por lotes de textos e imágenes.
- Gran capacidad de almacenamiento de información. La base de datos tiene una capacidad prácticamente ilimitada.
- Rápida y sencilla localización de la información mediante su herramienta de búsquedas.
- Automatización de las tareas habituales, como por ejemplo, el envío de mensajes de correo electrónico, la impresión de cartas y la ejecución de informes.
- Comunicación con otras aplicaciones corporativas.
- Soporte de las últimas plataformas, programas, y protocolos
- Integración e intercambio de información con muchas aplicaciones, sin complejas y costosas conversiones de información entre formatos comerciales

- Facilidad de protección de la aplicación informática utilizando nombres de cuentas y contraseñas.
- Integración con Microsoft Word y Excel para potenciar la productividad de sus soluciones.

4.4.2. DISEÑO DE LA APLICACIÓN

La aplicación informática está compuesta de diferentes módulos relacionados entre sí, que permiten la visualización de toda la información referente a cada uno de los puntos lumínicos.

Módulo 1 – Datos generales de los polígonos

Este módulo permite tener una visión clara de los polígonos industriales integrantes de la muestra y una visión global de la ubicación y características de los mismos. La información básica a plasmar en este módulo es la siguiente:

Campo Nombre del polígono: Al acceder a este campo, se desplegará automáticamente una lista de los polígonos objeto del presente estudio, de los cuales se seleccionará uno de ellos para su posterior análisis.

Campo Fecha de creación: Fecha de constitución o inauguración del Polígono Industrial objeto de análisis.

Campo Actividad: Actividad fundamental de las empresas ubicadas en el polígono.

Campo Provincia: En la que se encuentra ubicado el Polígono Industrial.

Campo Municipio: En la que se encuentra ubicado el Polígono Industrial.

Campo Dirección: En la que se encuentra ubicado el Polígono Industrial.

Campo Superficie Total: En metros cuadrados de superficie que abarca el polígono industrial.

Campo Superficie Construida: Nº de metros cuadrados edificados del polígono.

Campo Nº de parcelas: en las que se ha distribuido el polígono.

Campo Estado del polígono: Si el polígono Industrial se encuentra en funcionamiento, en abandono, etc.

Campo Fase de construcción: Dependiendo del estado de construcción del polígono será necesario cubrir este campo con la fase en la que se encuentra.

Campo Tamaño mínimo de la parcela: en metros cuadrados, superficie mínima de las parcelas en las que se ha distribuido el polígono industrial.

Campo Nombre de la Asociación: Datos generales acerca de la asociación que gestiona el polígono Industrial.

Campo Dirección, teléfono, fax y correo electrónico de la Asociación: Datos generales acerca de la asociación que gestiona el polígono Industrial.

Campo Nombre del promotor del polígono: Datos generales acerca del responsable de promoción del polígono Industrial.

Campo Contacto del promotor: Datos generales acerca del responsable de promoción del polígono Industrial.

Campo Distancia a los principales núcleos de población de Galicia: En metros, establecimiento de las distancias a las principales ciudades de la Comunidad Autónoma de Galicia.

Campo Distancia a aeropuertos, puertos y estaciones de tren más cercanas:

En metros, establecimiento de las distancias a los principales medios de comunicación de Galicia.

Módulo 2: Datos de la instalación

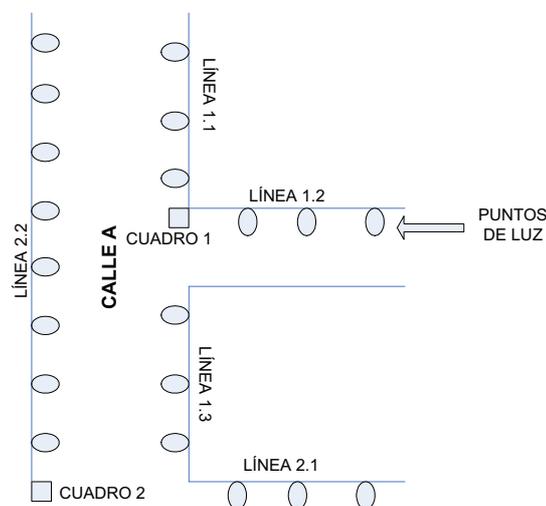
Este módulo permite acceder a la información general del sistema de alumbrado propio de cada polígono. La información básica a plasmar en este módulo es la siguiente:

Campo Calle/ Sector: En el que se encuentran ubicadas las luminarias según la información aportada por los polígonos. (Ver esquema ejemplo)

Campo Cuadro: Referido al cuadro eléctrico de la calle al que se encuentran asociadas las luminarias en cuestión. (Ver esquema ejemplo)

Campo Línea: Línea relacionada con el cuadro eléctrico al que se encuentran asociadas las luminarias. (Ver esquema ejemplo)

Campo NPL: N° de puntos de luz ubicados en una calle o sector para un cuadro y una línea determinada. (Ver esquema ejemplo):



Estos tres campos se repiten a lo largo de la base de datos con el fin de asociar las diferentes variables a los puntos de luz, dependiendo de las características de los mismos.

Campo Ancho de la calzada: Referido a la anchura en metros de la calzada iluminada.

Campo Ancho de la acera: Referido a la anchura en metros de la acera sobre la que se encuentran ubicadas las luminarias.

Campo Interdistancia: Distancia en metros entre dos puntos de luz ubicados en la misma línea.

Campo Superficie: Referida a la superficie iluminada por cada punto de luz.

Campo m² por PL: Superficie iluminada por los puntos de luz objeto del análisis.

Campo Modelo de la luminaria: Referido al modelo según el fabricante de la luminaria.

Campo Fabricante de la luminaria: Nombre de la empresa fabricante de la luminaria.

Campo IP de la luminaria: Índice de protección de la luminaria. Referido al grado de protección con el que han sido diseñadas las luminarias frente a factores externos

Campo IK de la luminaria: Índice de resistencia al choque mecánico por parte de cuerpos externos.

Campo Cerramiento de la luminaria: Este campo permite seleccionar los siguientes tipos de cerramiento correspondientes a cada una de las diferentes luminarias

- Plano
- Curvo
- Semicurvo
- Lenticular
- No procede

Campo Tipo de lámpara: Según la tipología de la misma descrita por el fabricante.

Campo Potencia de la lámpara: Potencia en vatios de la lámpara.

Campo Fabricante de la lámpara: Nombre de la empresa fabricante de las lámparas en cuestión.

Campo Modelo de la lámpara: Referencia de la lámpara dada por el fabricante de la misma.

Campo Flujo de la lámpara: Flujo luminoso en lúmenes emitido por la lámpara.

Campo T V_{1/2} : Tiempo de vida media de la lámpara. Vendrá determinado por las diferentes características de la misma. Es un tiempo teórico que se verá condicionado por las condiciones reales en las que se encuentre la misma.

Campo Altura del báculo: Altura en metros del báculo que soporta la luminaria.

Campo Longitud del brazo: Longitud en metros del brazo del báculo que soporta la luminaria.

Campo Nº total de puntos de luz: Suma de todos los puntos de luz existentes en el polígono.

Campo Nº de cuadros eléctricos: Suma de todos los cuadros eléctricos existentes en el polígono.

Campo Disposición de las luminarias: Según lo establecido en el apartado 4.3.2. en este campo se desplegará una lista en la que seleccionará una de las siguientes opciones:

- Unilateral
- Tresbolillo
- En oposición
- Central con doble brazo
- Otros

Módulo 3 – Beneficios:

En términos generales el beneficio que produce el alumbrado público es el resultado de proporcionar condiciones apropiadas para la visión para favorecer la seguridad vial, la seguridad ciudadana, producir ambientes confortables, brindando además sensación de bienestar. El beneficio de la instalación de alumbrado es el producto de considerar los factores de iluminancia, porcentaje permanente de averías, tiempo de operación y apariencia de la instalación. Es por tanto que dentro del módulo 3, la aplicación informática se divide en tres submódulos en los que la información básica a plasmar es la siguiente:

Los nueve campos que se reflejan a continuación, se duplican en la base de datos dependiendo de la existencia de reductor o no en la instalación. El reductor es un equipo que se instala en redes de alumbrado urbano y puede suponer un ahorro energético de hasta el 40%, asimismo es un amortiguador de las sobretensiones y estabilizador de la tensión de alimentación de la red. Según la existencia o inexistencia del reductor variaran los siguientes campos de iluminancia:

Campo E mín. mant.: Iluminancia mínima mantenida recomendada.

Campo E medida: Iluminancia medida sobre la calzada.

Campo E máx. mant: Iluminancia máxima mantenida recomendada.

Campo k(E): Factor de nivel de iluminación.

Campo E medida · m² PPL · k(E): Campo de cálculo intermedio para la obtención del k(E) ponderado.

Campo E medida · m² PPL: Campo de cálculo intermedio para la obtención del k(E) ponderado.

Campo factor de reducción: Capacidad de reducción del consumo energético para las instalaciones que cuentan con reductor instalado.

Campo ϕ mín. mant.: Flujo mínimo mantenido.

Campo ϕ máx. mant.: Flujo máximo mantenido.

Campo ϕ medido: Flujo medido

Campo ϕ mín.m k(E): Flujo mínimo mantenido por el factor de iluminación.

Campo ϕ máx.m k(E): Flujo máximo mantenido por el factor de iluminación.

Campo consumo energético: Referido al consumo final energético para los puntos de luz objeto de análisis.

Campo Eficiencia luminosa: Eficiencia luminosa referida al total de puntos de luz del polígono.

Campo k(E) ponderado: Factor de beneficio del nivel de iluminación ponderado para todos los puntos de luz.

Campo $k(E_r)$ ponderado: Factor de beneficio del nivel de iluminación ponderado cuando la instalación consta de regulador de potencia para todos los puntos de luz.

Campo $k(E)$ ponderado con reductor: Factor de beneficio del nivel de iluminación ponderado teniendo en cuenta los tiempos de funcionamiento del regulador de potencia.

Módulo 3.1 – Régimen de funcionamiento:

La luz producida cuantificada en lúmenes, se puede utilizar como criterio para determinar el número óptimo de horas de funcionamiento de una instalación. Los campos integrantes de este módulo son los siguientes:

Campo Días: Establecimiento del nº de días que las luminarias se encuentran en funcionamiento al mes.

Campo hora de encendido teórica: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, hora a la que deberían encenderse las luminarias objeto de análisis.

Campo hora de apagado teórica: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, hora a la que deberían apagarse las luminarias objeto de análisis.

Campo hora de encendido real: Hora real a la cual se está produciendo el encendido de las luminarias objeto de análisis.

Campo hora de apagado real: Hora real a la cual se está produciendo el apagado de las luminarias objeto de análisis.

Campo horas de funcionamiento teóricas diarias: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, horas durante las cuales las luminarias objeto de análisis deberían estar funcionando al día. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido teóricas el de apagado teóricas.

Campo horas de funcionamiento reales diarias: Horas reales durante las cuales las luminarias objeto de análisis están funcionando al día. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido real el de apagado real.

Campo horas de funcionamiento teóricas mensuales: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, horas durante las cuales las luminarias objeto de análisis deberían estar funcionando al mes. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido teóricas el de apagado teóricas y multiplicarlo por el nº de días del mes.

Campo horas de funcionamiento reales mensuales: Horas reales durante las cuales las luminarias objeto de análisis están funcionando al mes. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido real el de apagado real y multiplicarlo por el nº de días del mes.

Campo diferencias en tiempo de encendido: Horas de diferencias existentes entre las horas de encendido teóricas y las reales.

Campo diferencias en tiempo de apagado: Horas de diferencias existentes entre las horas de apagado teóricas y las reales.

Campo desfase acumulado diario: Diferencia en horas diarias que existe entre el tiempo de funcionamiento de la luminaria al día, con la teórica. Este campo se establece como una media de las horas diarias que realmente funcionan las lámparas.

Campo desfase acumulado mensual: Diferencia en horas mensuales que existe entre el tiempo de funcionamiento de la luminaria al día, con la teórica. Este campo se establece como una media de las horas mensuales que realmente funcionan las lámparas.

Campo totales: Sumatorios de determinados campos necesarios para cálculos finales.

Campo hora de encendido teórica con reductor: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, hora a la que deberían empezar a funcionar el regulador de potencia.

Campo hora de apagado teórica con reductor: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, hora a la que deberían apagarse las luminarias objeto de análisis bajo la acción del regulador de potencia.

Campo hora de encendido real con reductor: Hora real a la cual se está produciendo el encendido del regulador de potencia.

Campo hora de apagado real: Hora real a la cual se está produciendo el apagado de las luminarias objeto de análisis bajo la acción del regulador de potencia.

Campo horas de funcionamiento teóricas diarias al 100%: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, horas durante las cuales las luminarias objeto de análisis deberían estar funcionando al día al 100% de potencia. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido teóricas con reductor el de horas de funcionamiento teóricas con reductor.

Campo horas de funcionamiento teóricas diarias a potencia reducida: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, horas durante las cuales las luminarias objeto de análisis deberían estar funcionando al día al % de reducción de potencia. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido teóricas con reductor el de horas de apagado teóricas con reductor.

Campo horas de funcionamiento reales diarias al 100%: Horas reales durante las cuales las luminarias objeto de análisis están funcionando al día al 100% de potencia. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido real con reductor el de horas de funcionamiento reales con reductor.

Campo horas de funcionamiento reales diarias a potencia reducida: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, horas durante las cuales las luminarias objeto de análisis están funcionando al día al % de reducción de potencia. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido reales con reductor el de horas de apagado reales con reductor.

Campo horas de funcionamiento teóricas mensuales al 100%: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, horas durante las cuales las luminarias objeto de análisis deberían estar funcionando al mes con regulador de potencia. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido teóricas con reductor el de horas de funcionamiento teóricas con reductor y multiplicarlo por el nº de días del mes.

Campo horas de funcionamiento teóricas mensuales a potencia reducida: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, horas durante las cuales las luminarias objeto de análisis deberían estar funcionando al día al % de reducción de potencia. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido teóricas con reductor el de horas de apagado teóricas con reductor y multiplicarlo por el nº de días del mes.

Campo horas de funcionamiento reales mensuales al 100%: Horas reales durante las cuales las luminarias objeto de análisis están funcionando al día al 100% de potencia. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido real con reductor el de horas de funcionamiento reales con reductor y multiplicarlo por el nº de días del mes.

Campo horas de funcionamiento reales mensuales a potencia reducida: Según los sistemas con los que cuenta la instalación, horas durante las cuales las luminarias objeto de análisis están funcionando al día al % de reducción de potencia. Es el resultado de restar al campo de horas de encendido reales con reductor el de horas de apagado reales con reductor y multiplicarlo por el nº de días del mes..

Campo periodo de funcionamiento sin regulador: Sumatorio de las horas de funcionamiento de la instalación de alumbrado sin regulador de potencia.

Campo periodo de funcionamiento con regulador: Sumatorio de las horas de funcionamiento de la instalación de alumbrado con regulador de potencia.

Campo tolerancia máx %: Porcentaje máximo teórico de desfase asumible.

Campo % desfase real: Porcentaje real de desfase existente.

Campo horas de operación útiles: N° total de horas de funcionamiento de todas las luminarias al año.

Campo $k(T_o)$: Factor de tiempo de operación.

Módulo 3.2 – Frecuencia de fallos:

En alumbrado público, la baja densidad hace que, un punto de luz fuera de servicio produzca un espacio sumamente oscuro aún cuando a escala en el polígono industrial los valores medios de iluminancia no se vean afectados prácticamente. La presencia de espacios oscuros, además del problema de seguridad vial que implica, reduce la imagen de la zona, agravándose dicha circunstancia si los fallos persisten mucho tiempo por falta de un mantenimiento adecuado. Los campos integrantes de este módulo son los siguientes:

Campo Averías anuales: N° de averías anuales en las luminarias del polígono.

Campo Tiempo medio fuera de servicio: Tiempo medio fuera de servicio de las luminarias como consecuencia de las averías registradas.

Campo PAP: Porcentaje de averías permanente, es el resultado del cálculo del tiempo medio fuera de servicio por el n° de averías anuales, entre el n° total de puntos de luz al año.

Campo $PAP_{máx.}$: Campo teórico que se establece como máximo para el % de PAP.

Campo PAP_{min.}: Campo teórico que se establece como mínimo para el % de PAP.

Campo k(PAP): Factor de beneficios que considera los fallos de la instalación.

Módulo 3.3 – Apariencia:

La apariencia de las instalaciones de alumbrado cobra importancia afectando a tres aspectos en general, el coste de la instalación, la eficacia global (utilización de la instalación) y el mantenimiento. En la situación donde se combine la apariencia y la funcionalidad, valorar la apariencia tiene como objetivo asignar un factor que equilibre a aquellas instalaciones que por su apariencia y mayores costes se verían desfavorecidas aún cuando en todos los aspectos del beneficio fueran equivalentes. Los campos integrantes de este módulo son los siguientes:

Campo NPL: Nº de puntos de luz analizados para el factor de apariencia.

Campo k(A): Factor de apariencia.

Campo NPL·k(A): Resultado de la multiplicación del nº de puntos de luz por el factor de apariencia.

Campo k(A) ponderado: Factor de apariencia ponderado. Es el resultado de la suma de todos los Ka entre todos los puntos de luz.

Módulo 4 – Costes:

Durante el ciclo de vida del sistema de alumbrado existen diferentes periodos en los cuales se realizan inversiones o gastos. El capital utilizado en proyecto, materiales, construcción, mano de obra, etc., tanto de la instalación como del alumbrado se invierte inicialmente y tiene un coste financiero. Por otra parte los gastos operativos, de explotación y eliminación se realizan en diferentes periodos de tiempo. Todos estos costes para poder ser evaluados y comparados entre si deben ser trasladados a un mismo espacio de tiempo o a una cuota anual equivalente. Es por tanto que dentro del módulo 3, la aplicación informática se divide en dos submódulos en los que la información básica a plasmar es la siguiente:

Campo Presupuesto de ejecución: Presupuesto de ejecución de las obras de la instalación del alumbrado en el polígono.

Campo Coste luminaria: Costes asociados a la instalación de la unidad de luminarias.

Campo Coste lámpara: Costes asociados a la instalación de la unidad de lámparas.

Campo Coste báculo: Costes asociados a la instalación de la unidad de báculos.

Campo Coste total instalación: Costes asociados a la instalación total de la instalación de alumbrado.

Campo Coste instalación por punto de luz: Costes asociados a la instalación total de la instalación de alumbrado por cada uno de los puntos de luz.

Módulo 4.1 – Consumo de energía:

De manera general, el presente módulo abarca los costes considerados en la instalación, necesarios para la construcción y puesta en funcionamiento de la misma. Asimismo el presente módulo permite obtener información acerca de los costes generados como consecuencia del consumo de energía. Los campos que se plasman en el presente módulo son los siguientes:

- En lo relativo a facturación por potencia:

Campo Tarifa: Tarifa energética de la instalación eléctrica, contratada.

Campo Discriminación horaria: El complemento por discriminación horaria establecido en la actual estructura tarifaria, tiene en cuenta el distinto coste de la energía eléctrica en cada periodo horario. Su objetivo fundamental es lograr el aplanamiento de la curva de carga diaria, y, dependiendo de la modalidad, de la monótona del sistema eléctrico nacional.

Campo Potencia instalada: Potencia contratada por parte del polígono industrial para la instalación de alumbrado.

Campo Término potencia: Factor de la tarifa energética que relaciona la potencia contratada con el coste asociado a la misma.

Campo Tiempo de operación: Meses de facturación de operación del sistema de alumbrado

Campo Total: Resultado de la multiplicación de la potencia instalada por el término de potencia por el tiempo de operación.

- En lo relativo a facturación por potencia:

Campo Alquiler de equipos: Coste asociado al alquiler de los equipos de alumbrado al mes

Campo Nº de meses: Tiempo en meses que se tienen alquilados los equipos de alumbrado.

Campo Total: Coste total del alquiler de los equipos. Resultado de multiplicar el alquiler de los equipos por el nº de meses.

- En lo relativo a facturación por energía:

Campo Energía: Energía consumida en kW/hora por las luminarias objeto de análisis.

Campo Término energía: Factor de la tarifa energética que relaciona la energía consumida con el coste asociado a la misma.

Campo Total energía: Coste total en € asociado a la energía consumida. Dependerá de la discriminación horaria en la tipología de tarifa, que en el caso de la existencia de dicha característica, se considerarán los campos de valle y llano explicados a continuación.

Campo Valle noche: Consumo de energía en kW/hora producida en periodo de noche.

Campo Llano día: Consumo de energía en kW/hora producida en periodo diario.

Campo Término E llano: Factor de la tarifa energética que relaciona la energía consumida con el coste asociado a la misma, para el periodo diario.

Campo Término E valle: Factor de la tarifa energética que relaciona la energía consumida con el coste asociado a la misma, para el periodo nocturno.

- En lo relativo a facturación total:

Campo Potencia más consumo: Resultado de la suma de la potencia total más el consumo energético total. Esta operación es necesario aplicarla, puesto que sobre estos dos factores se realiza el cálculo del impuesto de electricidad.

Campo Impuesto electricidad: Impuesto asociado a la potencia y consumo energético producido por las instalaciones de alumbrado.

Campo Base imponible: Sumatorio de la facturación producida por la potencia contratada, el consumo energético, el alquiler de los equipos y el impuesto de la electricidad.

Campo IVA: Impuesto sobre el valor añadido.

Campo Consumo anual: Costes anuales totales de las luminarias objeto de análisis.

Campo Consumo total anual: Resultado de la suma de todos los consumos de las luminarias del Polígono Industrial objeto de análisis.

Módulo 4.2 – Mantenimiento:

Los costes de mantenimiento de un sistema de alumbrado dependen de la política adoptada por el órgano gestor del polígono. Los campos que se plasman en el presente módulo son los siguientes:

Campo N° lum.: N° de luminarias sometidas a mantenimiento.

Campo N° lámp.: N° de lámparas sometidas a mantenimiento.

Campo NLPL: N° de luminarias por punto de luz.

Campo % lámp. c/fallos: Porcentaje de lámparas con fallos.

Campo % de fallos: Porcentaje de fallos totales.

Campo Coste luminaria: Coste asociado al mantenimiento de la luminaria.

Campo Coste lámpara: Coste asociado al mantenimiento de la lámpara.

Campo Coste mto. Correctivo: Coste asociado al mantenimiento correctivo de la luminaria.

Campo Coste mto. preventivo sustitución: Coste asociado al mantenimiento preventivo de sustitución de la luminaria.

Campo Coste mto. preventivo limpieza: Coste asociado al mantenimiento preventivo de limpieza de la luminaria.

Campo Periodo de sustitución: Periodo de tiempo entre cada cambio de luminarias.

Campo Periodo de limpieza: Periodo de tiempo entre las operaciones de limpieza de las luminarias

Campos A, B, C y D: Costes asociados a las operaciones de mantenimiento existentes en el polígono para cada línea. Dependiendo de la metodología empleada en cada uno de ellos, se aplicará uno de los siguientes costes. Esta metodología es explicada en el apartado 4.2.

Campos Total A, B, C y D: Sumatorio de los campos A, B, C y D.

Módulo 4.3 – Costes de renovación y eliminación:

Durante el ciclo de vida de las instalaciones de alumbrado existen componentes que por su naturaleza sufren fallos o reducen sus prestaciones y deben ser reemplazados con cierta periodicidad. Los costes de sustitución y eliminación de dichos componentes son analizados en el presente módulo.

Campo C.ren. ud: Coste asociado a la renovación por punto de luz.

Campo C.elim. ud: Coste asociado a la eliminación por punto de luz

Campo Coste renovación: Coste de renovación de los puntos lumínicos objeto de análisis.

Campo Coste eliminación: Coste de eliminación de los puntos lumínicos objeto de análisis.

Campo Totales: Sumatorio de los costes de renovación y de eliminación para todos los puntos lumínicos del polígono industrial.

Módulo 5 – Cálculos

La aplicación de la relación coste-beneficio/ beneficio-coste, requiere determinar por una parte los costes y por otra parte los beneficios tal y como se explica en el apartado 4.2 del presente proyecto. El presente módulo establece los cálculos necesarios para el establecimiento de estas relaciones con el fin de poder realizar la comparativa entre los diferentes polígonos industriales así como poder determinar la optimización en la gestión de cada uno de los sistemas de alumbrado objeto de la muestra determinada.

Campo Beneficios I: $k(E)$ Beneficios asociados al nivel de iluminación.

Campo Beneficios II: $k(T_o)$. Beneficios asociados al tiempo de operación.

Campo Beneficios III: $k(PAP)$: Beneficios asociados a la frecuencia de los fallos de la instalación.

Campo Beneficios IV: $k(A)$ ponderado. Beneficios asociados a la apariencia de la instalación de alumbrado.

Campo Beneficio: Resultado de la multiplicación de todos los factores de beneficios de la instalación de alumbrado.

Campo Costes I: Coste total de instalación del sistema de alumbrado.

Campo Costes II: Coste total asociado al consumo de la instalación.

Campo Costes III: Costes asociados al mantenimiento del sistema de alumbrado del polígono diferenciándose las cuatro políticas de mantenimiento definidas.

Campo Costes IV: Costes asociados a la renovación del sistema de alumbrado.

Campo Costes V: Costes asociados a la eliminación del sistema de alumbrado.

Campo Índice de CAE: Índice de Cantidad anual equivalente, relacionado con la inflación anual y el interés financiero.

Campos CAE A, CAE B, CAE C, CAE D: Dependiendo del régimen de mantenimiento existente en el polígono industrial, Cantidad anual equivalente, es decir costes asociados a la instalación de alumbrado de cada polígono industrial totales.

Campo (CAE A/NPL)/B, (CAE B/NPL)/B, (CAE C/NPL)/B y (CAE D/NPL)/B: Relación entre Costes por punto de luz/ Beneficios para el régimen de operación de mantenimiento denominado opción A, B, C o D.

Campos CAE A/B, CAE B/B, CAE C/B, CAE D/B: Relación entre Costes/ Beneficios para cada una de las operaciones de mantenimiento por las que puede optar el organismo encargado de la gestión del polígono industrial.

Campos B/CAE A, B/CAE B, B/CAE C, B/CAE D: Relación entre Beneficios/ Costes para cada una de las operaciones de mantenimiento por las que puede optar el organismo encargado de la gestión del polígono industrial.

Operadores

Cada uno de los módulos integrantes de la aplicación informática confeccionada cuenta con un navegador que permitirá al usuario realizar una serie de operaciones frecuentes, tales como:

- **Buscar:** Permite realizar la búsqueda de cualquier registro introduciendo en cualquiera de los campos una coincidencia.
- **Suprimir:** Al pulsar este botón la herramienta eliminará el registro asociado sobre el que se encuentre.
- **Nuevo:** Mediante este botón se permite la creación de un nuevo registro.

-  Mediante este icono la aplicación informática transporta al usuario a las instrucciones para la utilización de la misma.

Así mismo cada módulo tendrá los botones que trasladarán al usuario a cada uno de los módulos restantes.

4.4.3. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

El software desarrollado por Serviguide descrito en el presente documento esta dividido en dos herramientas claramente diferenciadas:

- Herramienta de grabación y acceso a la información. Se diseñaron y programaron los módulos que permiten al usuario/ técnico de Serviguide mantener actualizados los datos de los polígonos industriales y grabar nuevos registros.

- Herramienta de estudio de los diferentes aspectos de los sistemas de alumbrado en cuanto a eficiencia energética. El departamento de Tecnología de Serviguide trabajó en la presentación informática de la estimación de la eficiencia energética desarrollando una herramienta que, de manera automatizada, extraiga los datos referentes a cada polígono industrial.

Dentro de la herramienta se diseñaron módulos específicos para cada una de las entidades de información, a las cuales se accederá de acuerdo al requerimiento de la información a consultar.

Partiendo del diseño lógico de la aplicación informática aclarada en el punto anterior, Serviguide desarrolló un módulo de consultas que permite a los técnicos de Serviguide la realización de consultas personalizadas por polígono industrial, topología de luminarias, costes, beneficios, etc.

Adicionalmente, y en aras a realizar un trabajo coherente y preciso, se procederá a la realización de unas pruebas de verificación y control. El control de calidad de la información en la grabación de datos es especialmente crítico.

4.4.4. DEPURACIÓN DE ERRORES DE LA APLICACIÓN

La fase de depuración de errores, entendiéndose como la revisión de la aplicación con el fin de eliminar posibles fallos que puedan existir en la misma, se llevó a cabo con el fin de evitar los errores (bug's) de programa que provocarían inconvenientes diversos a los usuarios.

La depuración está estrechamente relacionada con el concepto de calidad. En un sentido amplio, depurar un programa significa librarlo de errores e inconvenientes más o menos graves. Sin embargo, es imprescindible para conseguir obtener un producto con un mínimo de calidad.

La depuración del programa se completó en dos fases, mediante una serie de transformaciones sucesivas:

En una primera fase, cuando ya el programa estaba prácticamente terminado, fue sometido a pruebas para comprobar que todo funcionaba según lo esperado y sin errores. Estas pruebas fueron realizadas por el propio programador. A esta versión se la denominó alfa y corresponde a un punto en que el programa todavía está en fase de gestación.

En la segunda fase, se procedió a la distribución del producto a una serie de probadores seleccionados ("beta testers"). Esta versión de la aplicación fue denominada versión beta, que se considera la versión final y estable.

Con esta fase de depuración de los datos además de la eliminación de los posibles errores, se persigue la optimización del programa para que su funcionalidad y velocidad sean máximas.

4.4.5. GRABACIÓN DE DATOS Y CONTROL DE CALIDAD

Las fichas de obtención de información que fueron validadas tras el proceso de depuración, fueron grabadas por el personal de Serviguide que compone el equipo de Grabación de Datos, bajo la supervisión directa del Responsable de validación y control de calidad del Proyecto.

A medida que se fueron cumplimentando las fichas de obtención de información, el equipo de investigación volcó en la aplicación informática (descrita en el apartado 4.4.3), toda la información recopilada por los consultores para cada uno de los polígonos industriales.

Dichos investigadores estuvieron en todo momento asesorados por el Coordinador y Supervisor del proyecto así como por el responsable de control informático del proyecto.

Al finalizar cada semana, el Responsable de validación y control de calidad del Proyecto, llevó a cabo una inspección de la información grabada. El objeto del control es el de comprobar que la información grabada se corresponda con la recogida por los consultores en las fichas de obtención de información.

Para dicho fin fue utilizado un plan de muestreo que contempla un nivel de calidad aceptable (NCA), del 1.5%. Dicho plan de muestreo fue confeccionado conforme a lo establecido en la norma UNE 66020-1: Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 1: Planes de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el nivel de calidad aceptable (NCA).

Las bases de partida del plan de muestreo fueron las siguientes:

Tamaño de lote: número de fichas volcadas a soporte informático a lo largo de la semana.

Tipo de Inspección: Normal

Plan de inspección: Simple

Nivel de inspección: II

La inspección fue rectificadora, es decir, en el caso de que el lote analizado superase el control de calidad, las fichas grabadas y en las cuales se detectasen defectos, serían recogidas. Si el lote resultase rechazado (se detectase un número mayor al permitido por la Norma de defectos), se inspeccionarían el 100%, corrigiendo todas aquellas fichas de obtención de información incorrectamente grabadas.

Con estos controles se pretende asegurar la calidad del trabajo desarrollado por Serviguide y que los datos grabados en soporte informático sean transposición directa de los registrados por los consultores durante las operaciones de recogida de información.

4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A través de los epígrafes que componen el presente apartado del *Estudio para la elaboración de un modelo de acción que asegure la optimización de la gestión y explotación de instalaciones de alumbrado en los polígonos empresariales de Galicia*, se desarrolla un análisis pormenorizado de los resultados obtenidos en la ejecución de las fases anteriormente expuestas, en particular, a través de la metodología desarrollada en el apartado 4.1. del presente estudio y base de la aplicación informática ensayada.

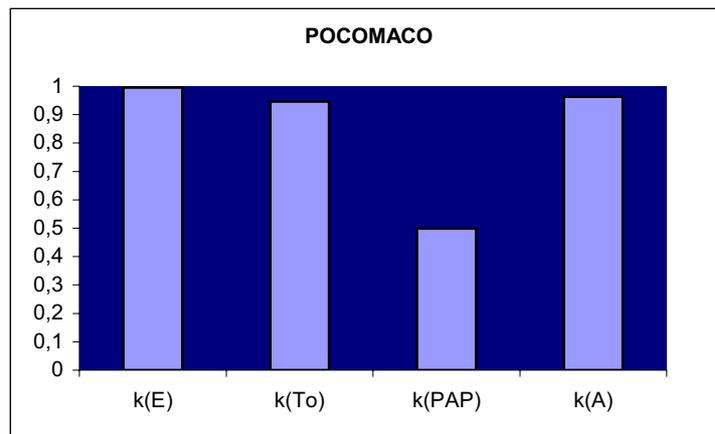
4.5.1. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS GLOBAL

Se presentan en primer lugar los resultados obtenidos en la aplicación informática para los 4 polígonos seleccionados en la ejecución de los trabajos expuestos, ordenados en orden creciente de CAE/NPL.

Con el objeto de facilitar la visualización de los resultados obtenidos por polígono, los datos finales para cada variable se recogen en las siguientes fichas:

POLÍGONO	POCOMACO
TIPO LUMINARIA	DESCONOCIDA / VIENTO IVH
TIPO LÁMPARA	VM 400 W / VSAP 250 W
NPL	300
K(E)	0,995
K(T _o)	0,946
K(PAP)	0,499
K(A)	0,963
CAE A /NPL	429.34

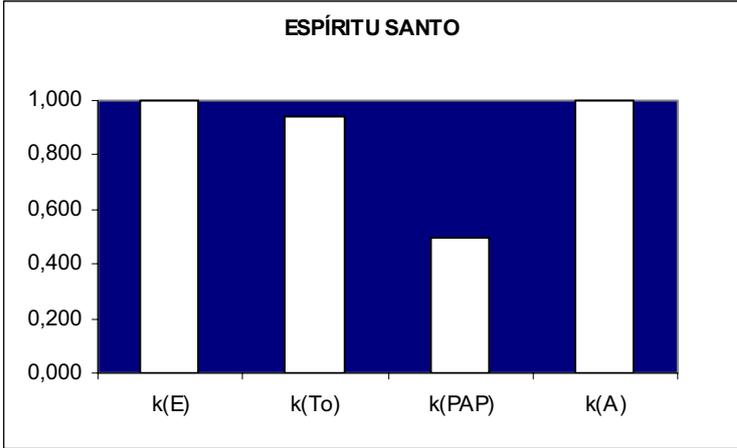
REPRESENTACIÓN GRÁFICA



OBSERVACIONES

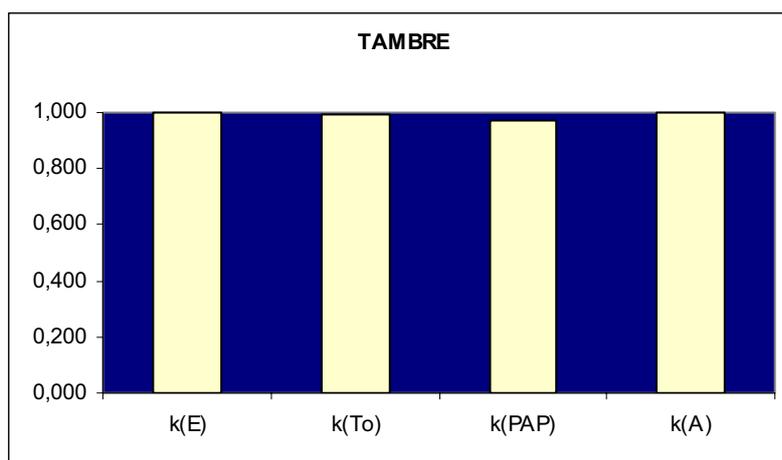
El polígono de POCOMACO fue construido en el año 1979, está dedicado a la actividad Industrial-Comercial y se encuentra situado en la ciudad de A Coruña.

La instalación de alumbrado data de ese mismo año y está formada por cinco cuadros eléctricos y un total de 300 puntos de luz. En la actualidad se está realizando la sustitución del mismo por equipos más modernos y adecuados a las necesidades de iluminación.

POLÍGONO	ESPÍRITU SANTO										
TIPO LUMINARIA	DZ 15										
TIPO LÁMPARA	VSAP 150 W										
NPL	207										
$\kappa(E)$	1,000										
$\kappa(T_o)$	0,945										
$\kappa(PAP)$	0,499										
$\kappa(A)$	1,000										
CAE A/NPL	221.66										
<p>REPRESENTACIÓN GRÁFICA</p> <div style="text-align: center;">  <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <caption>ESPÍRITU SANTO - REPRESENTACIÓN GRÁFICA</caption> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\kappa(E)$</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>$\kappa(T_o)$</td> <td>0,945</td> </tr> <tr> <td>$\kappa(PAP)$</td> <td>0,499</td> </tr> <tr> <td>$\kappa(A)$</td> <td>1,000</td> </tr> </tbody> </table> </div>		Factor	Valor	$\kappa(E)$	1,000	$\kappa(T_o)$	0,945	$\kappa(PAP)$	0,499	$\kappa(A)$	1,000
Factor	Valor										
$\kappa(E)$	1,000										
$\kappa(T_o)$	0,945										
$\kappa(PAP)$	0,499										
$\kappa(A)$	1,000										
OBSERVACIONES	<p>El polígono de Espiritu Santo fue creado en 1992, por lo que tiempo de vida es relativamente corto, está dedicado a la actividad Industrial-Comercial y se encuentra situado en el municipio de Cambre.</p> <p>La instalación de alumbrado está formada por cuatro cuadros eléctricos y un total de 207 puntos de luz.</p>										

POLÍGONO	TAMBRE
TIPO LUMINARIA	QSA-5
TIPO LÁMPARA	VSAP 250 W
NPL	391
K(E)	1,000
K(T _o)	0,994
K(PAP)	0,973
K(A)	1,000
CAE C/NPL	126,41

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



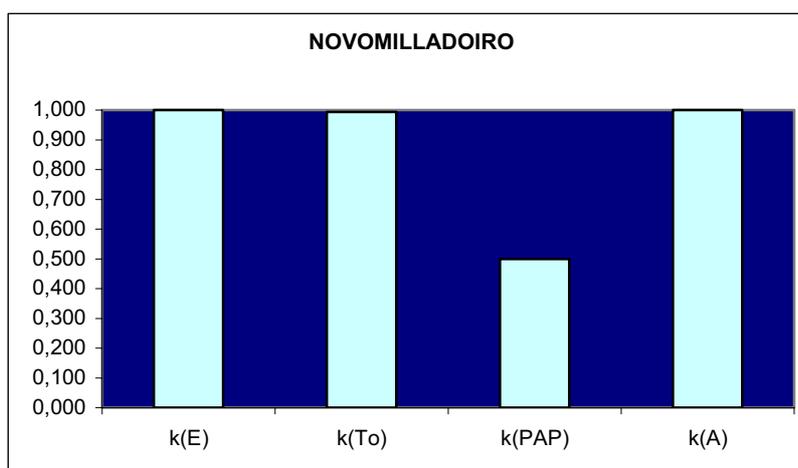
OBSERVACIONES

El polígono de Tambre lleva en funcionamiento desde el año 1975, por lo que se trata del más antiguo de los seleccionados.

La instalación de alumbrado está constituida por seis cuadros eléctricos y un total de 391 puntos de luz. Teniendo en cuenta el año de construcción, cabía esperar que la instalación fuese antigua, sin embargo, las instalaciones han sido renovadas y el servicio de mantenimiento emplea un sistema informatizado de gestión vía GSM.

POLÍGONO	NOVOMILLADOIRO
TIPO LUMINARIA	VIENTO IVH
TIPO LÁMPARA	VSAP 250 W
NPL	175
K(E)	1,000
K(T _o)	0,994
K(PAP)	0,499
K(A)	1,000
CAE/NPL	304,83

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



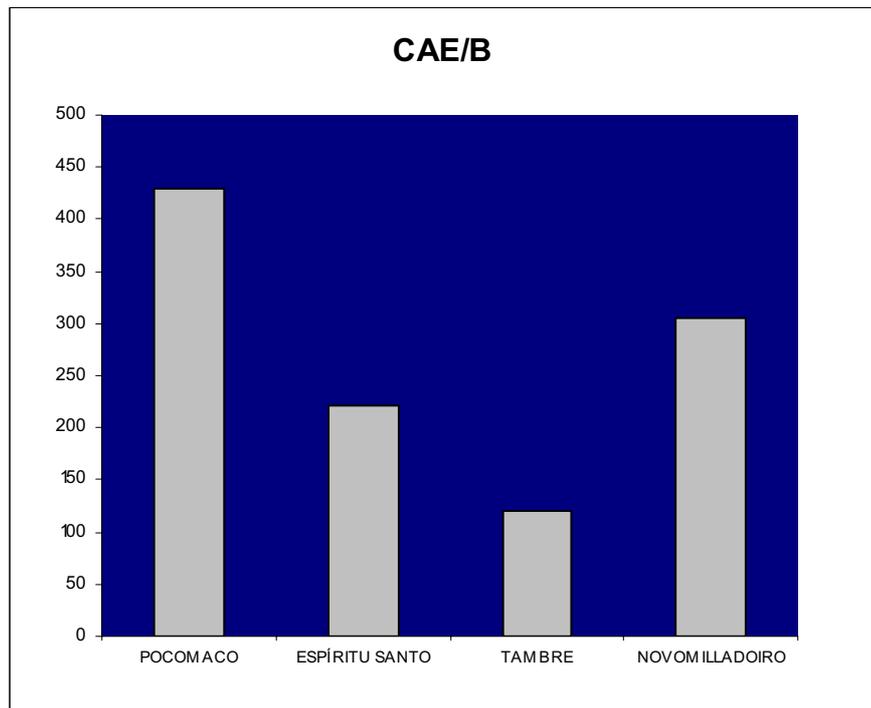
OBSERVACIONES

Este polígono es el más joven de la muestra seleccionada, siendo la fecha de construcción del mismo del año 2002.

La instalación de alumbrado es todavía muy reciente, y está constituida por 7 cuadros eléctricos y 175 puntos de luz.

Hasta el momento, no se han realizado actuaciones en materia de gestión y explotación, por lo que, la información ha sido difícil de obtener.

En el gráfico que se presenta a continuación, se muestran los resultados obtenidos para la relación coste-beneficio (CAE/ B) en tanto por cien, para cada polígono evaluado.



4.5.2. ANÁLISIS SECTORIALES

A continuación se realiza un análisis de la situación de cada polígono para cada una de las variables definidas:

NIVEL DE ILUMINACIÓN

En el polígono de POCOMACO se diferencian dos tipos de luminarias muy diferentes, por una parte está la luminaria antigua de la que se desconoce el modelo y fabricante debido a que ya está descatalogada y, por otra parte, la luminaria nueva, modelo Viento IVH de INDALUX. La diferencia más notable entre un tipo de luminaria y otro, es que la luminaria antigua posee un cerramiento curvo (aumenta la contaminación luminosa) y emplea lámparas de Vapor de mercurio de 400W. Por otra parte, la luminaria Viento IVH presenta un cerramiento de geometría lenticular, el cual le proporciona unas óptimas propiedades fotométricas y un elevado índice de estanqueidad, además el tipo de lámpara empleada es de Vapor de Sodio de alta presión (VSAP) de 250 W.



Los niveles de iluminación, son en general correctos aunque se ha detectado que en algunos puntos pueden haber disminuido debido a la falta de mantenimiento de limpieza.

Atendiendo a la casuística de este polígono, se puede decir que el cambio de luminarias mejora el nivel de iluminación hasta un 60 % debido al mejor rendimiento lumínico de los modelos actuales frente a los modelos de hace 30 años, así como el proceso de degradación irreversible acumulado por las luminarias.

El esquema general de cambio de lámparas de Vapor de Mercurio a lámparas de Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP) es el siguiente:

LÁMPARA VM			LÁMPARA VSAP			AHORRO FINAL (CONTANDO EQUIPOS)
Potencia (W)	Flujo (Lm)	Vida Media (horas)	Potencia (W)	Flujo (Lm)	Vida Media (horas)	
125	6.200	16.000	100	8.500	28.000	17.20 %
250	12.700	16.000	150	14.500	24.000	37.15 %
400	22.000	16.000	150	14.500	24.000	60.70 %
400	22.000	16.000	250	27.000	24.000	35.50 %
700	38.500	12.000	400	48.000	24.000	40.00 %

Fuente: PHILIPS

Teniendo en cuenta la tabla anterior, el cambio de una lámpara de VM como la existente por una de VSAP, mejora el nivel de iluminación en un 35.50% puesto que, a pesar de ser de menor potencia, el flujo luminoso de la lámpara de VSAP es mayor. Este valor, se podría ver incrementado hasta el 42.86 % si en lugar de emplear lámparas ovoides se utilizaran lámparas tubulares. (VSAP 250 W, Flujo: 28.000 Lm)

Por otra parte, la vida media de las lámparas de vapor de sodio es superior a la de las lámparas de VM, como se observa en la tabla, por lo que al ahorro en consumo energético se le suma el ahorro en la frecuencia de sustitución de las lámparas.

Desde el punto de vista de la contaminación, las lámparas de vapor de mercurio son mucho más contaminantes que las lámparas de Vapor de Sodio. Pero además, y lo que es más importante teniendo en cuenta la finalidad de este estudio, la potencia de la lámpara empleada es más elevada en las de VM que en las de VSAP, debido a que estas últimas presentan un valor de flujo luminoso mayor, lo cual repercute sobre el consumo de energía.

En el polígono de Espíritu Santo los niveles de iluminación se encuentran entre los niveles máximo y mínimo recomendados. Las luminarias instaladas en este polígono son del modelo DZ 15 (Schröder) y la potencia de las lámparas es de 150 W. La baja potencia de las lámparas hace que se reduzca el consumo energético sin por ello disminuir la duración de la lámpara. A su vez, el flujo luminoso, se ve reducido, sin embargo, las condiciones de iluminación no se ven demasiado afectadas al tratarse de un polígono cuyo tránsito nocturno es muy reducido.

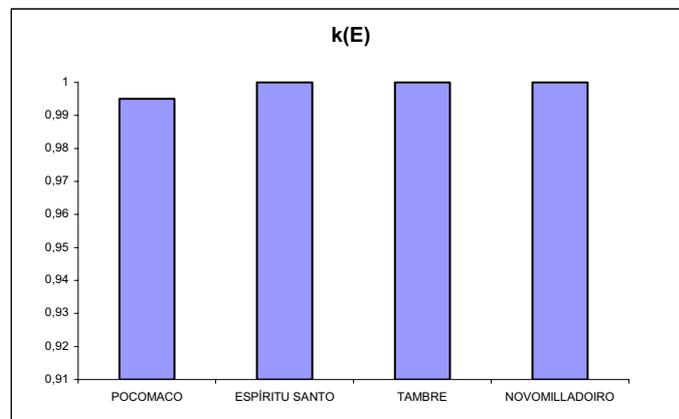


El polígono de Tambre posee luminarias de tipo QSA-5 de CARANDINI con lámpara de 250 W que proporciona unos niveles de iluminación adecuados, no encontrándose ningún punto de luz inadecuado. Además, el servicio de mantenimiento ha realizado cálculos lumínicos de las instalaciones de alumbrado de manera que se asegura la buena iluminación de los viales.



El alumbrado del polígono de Novomilladoiro está formado por luminarias tipo Viento IVH con lámparas de 250 W. De nuevo, en este caso los niveles de iluminación son adecuados.

En el siguiente gráfico se representan los valores del factor de beneficio asociado al nivel de iluminación:



La diferencia entre los valores de cada polígono no es muy acusada debido a que en general, los niveles de iluminación son adecuados.

Sin embargo, no hay que obviar en este punto la importancia de las operaciones de mantenimiento. Éstas influyen en gran medida en los valores de iluminancias por lo que se debería incluir un factor que recogiese dicha depreciación. Este tema ya ha sido discutido en el apartado 4.1.1.

Por otra parte, una opción para implementar la optimización de los niveles de iluminación, a la vez que el consumo, es la instalación de reguladores de potencia. Su funcionamiento, ventajas y desventajas han sido definidas en el apartado 4.1.1 de este estudio.

Dentro de la muestra de polígonos analizada, se ha encontrado que el polígono de Tambre posee dicho dispositivo, en cuyo caso desde el horario de encendido hasta la 1.00 h a.m. ejerce la función de estabilizador de la tensión, y a partir de esta hora hasta el apagado, funciona como reductor de potencia, consiguiéndose una reducción de entorno al 37-40%.

TIEMPOS DE OPERACIÓN

El alumbrado del polígono de POCOMACO posee un sistema de encendido y apagado a través de células fotoeléctricas, sin embargo, no se dispone de información alguna a cerca del funcionamiento o mantenimiento de las mismas.

En el caso de los polígonos de Espíritu Santo y Novomilladoiro, el sistema de encendido y apagado empleado son los relojes astronómicos. La información de la que se dispone se refiere únicamente a la de aquellos instalados en el polígono de Novomilladoiro, sin embargo se han asumido sus características a los demás puesto que se trata de sistemas programables.

El polígono de Tambre, por su parte, posee un sistema de encendido y apagado diferente que combina las ventajas de los relojes astronómicos con dispositivos de mayor sensibilidad y cuyo funcionamiento es programado a través de un autómatas.

En el apartado 4.1.1. de este estudio se describe tanto el funcionamiento como las ventajas y desventajas de estos dispositivos.

A la hora de realizar el cálculo de los tiempos de operación teóricos se han tomado los valores de encendido y apagado teóricos del alumbrado para latitud 41° (longitud 2°10'00") y se ha calculado el desfase horario respecto a la longitud en la que está ubicado el polígono. De este modo se calcula el horario de encendido y apagado teórico para cada Polígono.

La coordenada geodésica de longitud para el polígono de POCOMACO es 8° 25' 57", que equivale a 25'4" de diferencia horaria respecto al horario teórico de encendido y apagado del alumbrado para latitud 41°.

En el caso de los relojes astronómicos, éstos vienen programados para zonas geográficas determinadas y sobre éste se realiza una corrección de zona en función de la localización exacta.

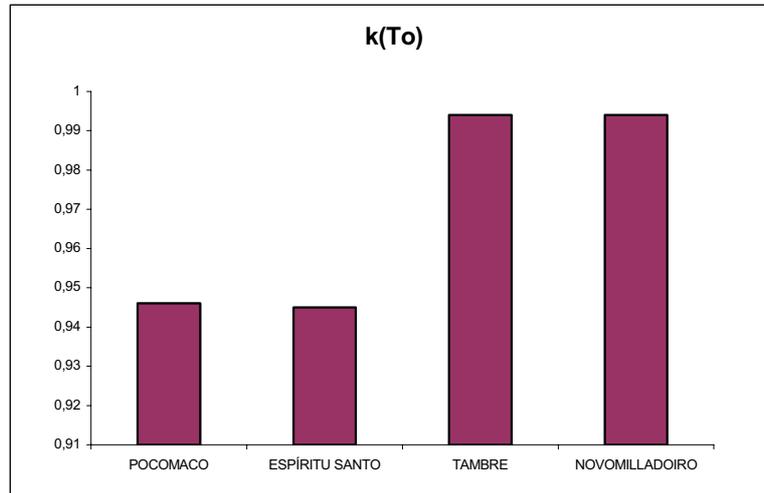
En el caso concreto del polígono de Novomilladoiro, el dato de corrección de zona fue facilitado por el agente de desarrollo. Partiendo de este dato y conociendo las diferencias entre cada uno de los polígonos anteriores se calcularon los tiempos de operación teóricos correspondientes.

	LONGITUD GEOGRÁFICA	DEFASE ORTO/OCASO ⁵	CORRECCIÓN ZONA
POCOMACO	8° 25' 57"	25' 04"	(no posee relojes astronómicos)
ESPÍRITU SANTO	8° 17' 34"	24' 30"	1h 46' 50"
TAMBRE	8° 30' 50"	25' 23"	1 h 47' 43"
NOVOMILLADOIRO	8° 34' 52"	25' 40"	1 h 48' 00"

Por otra parte, puesto que en ninguno de los casos se dispone de registros de tiempos de encendido y apagado real, se han empleado los valores de orto y ocaso calculados a través de la página web de la Xunta de Galicia.

⁵ Desfase del orto/ocaso respecto a la localización latitud 41°, longitud 2°10'00".

En el siguiente gráfico se recogen los valores del factor $k(T_o)$ para cada polígono:



A la vista de los valores del factor $k(T_o)$ se puede observar que las células fotoeléctricas son menos eficientes que los relojes astronómicos puesto que su funcionamiento se ve influenciado por las condiciones meteorológicas por lo que el tiempo de desfase respecto a las horas teóricas es superior para este tipo de dispositivos.

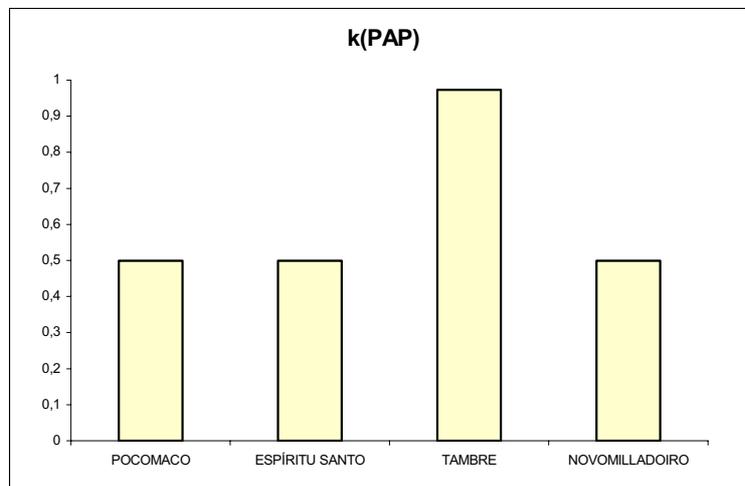
FRECUENCIA DE FALLOS

En ninguno de los polígonos evaluados, a excepción del Polígono de Tambre, se dispone de un registro de averías. Teniendo en cuenta esto, se debería asignar el valor 0 a los polígonos que no tienen registro, sin embargo, es sabido que las averías son detectadas y reparadas a pesar de no ser registradas. Debido a esto se ha considerado que el número de averías anuales mínimo será de aproximadamente un 10% del número total de puntos de luz para cada polígono.

Para establecer el $PAP_{m\acute{a}x}$ se ha considerado que el número de averías anuales para el periodo de un año sea igual al número total de puntos de luz mientras que para $PAP_{m\acute{i}n}$ sea un tercio de este valor.

	PAP_{máx}	PAP_{mín}
AA	NTPL	NTPL / 3
Tfs	5 días	

En la siguiente figura se han representado los valores del factor de beneficio debidos a la frecuencia de fallos o averías. En general, y teniendo en cuenta la escasa información aportada por los polígonos respecto a este factor, se ha de concluir que el valor más elevado, cercano a 1, se corresponde con el polígono de Tambre puesto que las averías son detectadas a través de un autómata por lo que la capacidad de reacción ante una avería es muy elevada. En el caso de los otros polígonos, puesto que no se tienen datos concretos, se ha valorado con el valor mínimo que se le podría asignar teniendo en cuenta lo anteriormente dicho respecto a los valores de $PAP_{máx}$ y $PAP_{mín}$.



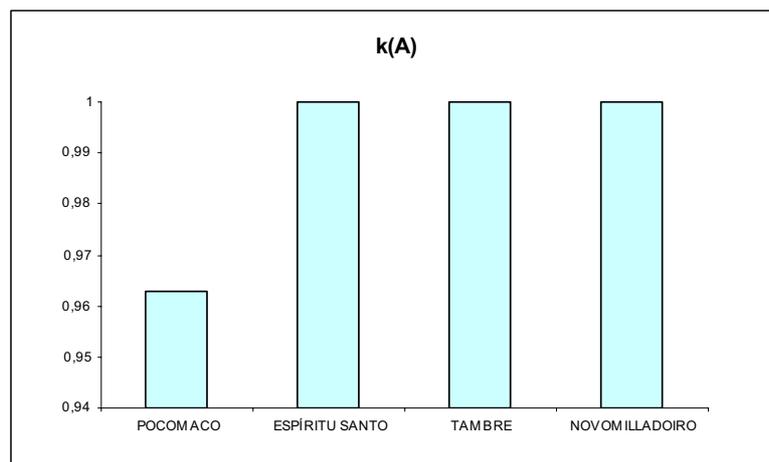
Sin embargo, este valor estará condicionado a la realidad, puesto que el polígono de Tambre es el único que ha facilitado información necesaria para calcular este factor. Para el resto de Polígonos, el valor es estimativo y, por tanto, podría ser superior.

APARIENCIA DE LA INSTALACIÓN

La apariencia de las instalaciones de alumbrado de los polígonos industriales no es a priori tan relevante como los demás factores de beneficio ya analizados. Esto se debe a que en este tipo de instalaciones la estética no es lo más importante si bien ha de ser tenido en cuenta ya que un mal aspecto de la instalación puede indicar un mantenimiento general deficiente.

Analizando las muestras concretas, se puede decir que el aspecto de las instalaciones es bueno, y dentro del cuadro de valoraciones definido en el apartado de metodología del presente capítulo, la calificación sería "neutra-neutra" para todos los puntos de luz a excepción de aquellas luminarias de la instalación antigua del polígono de POCOMACO, que se calificarían como "descuidada-neutra".

A continuación se presenta el gráfico que recoge el resultado obtenido para este factor:



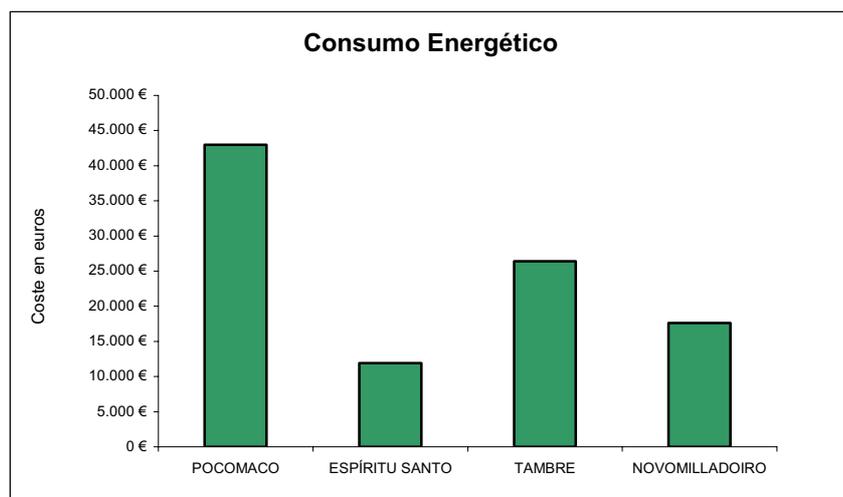
COSTES DE CONSUMO

En el caso de los polígonos de POCOMACO y ESPÍRITU SANTO, los costes derivados del consumo de energía eléctrica son sufragados por los Ayuntamientos correspondientes, por lo que, los respectivos agentes de desarrollo de los polígonos no disponían de datos anuales o facturas.

Debido a esto se ha realizado una estimación de los costes teniendo en cuenta la potencia de las lámparas instaladas (kW), el número de puntos de luz y el tiempo de funcionamiento (h) para calcular los kWh consumidos en cada cuadro eléctrico, y el tipo de tarifa eléctrica aplicada, que en ambos casos se corresponde con la tarifa destinada al alumbrado público, codificada como B.0.

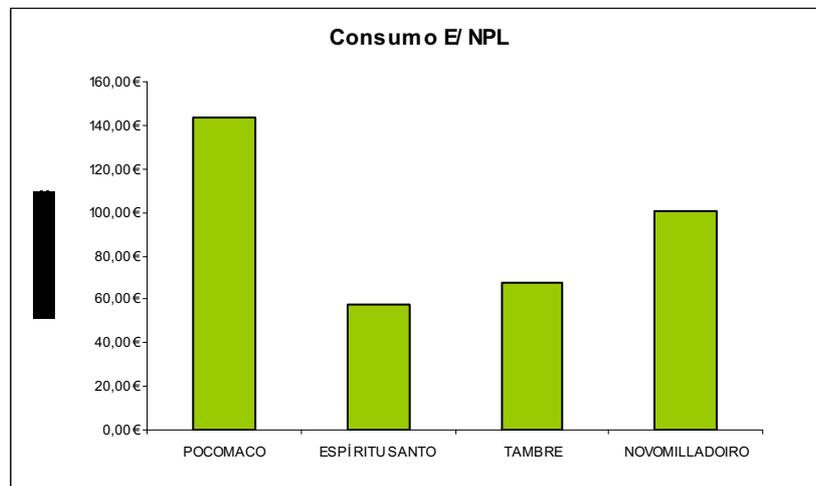
Por otra parte, los polígonos de Tambre y Novomilladoiro si han facilitado esta información, por lo que no ha sido necesario realizar estimación alguna.

A continuación se representa gráficamente los resultados obtenidos en la aplicación informática:



Como se puede observar en el gráfico, el consumo energético estimado para el polígono de POCOMACO es el más elevado debido a que las lámparas empleadas, en su mayoría, son de VM de 400 W (223 de 300), seguido del polígono de Tambre, puesto que es el que más puntos de luz tiene (395). A continuación cabría esperar que se encontrase el polígono de Espíritu Santo (207) y, por último, Novomilladoiro (175), sin embargo, el orden está invertido debido a que la potencia de las lámparas en el primero es inferior (VSAP 150 W frente a VSAP 250 W).

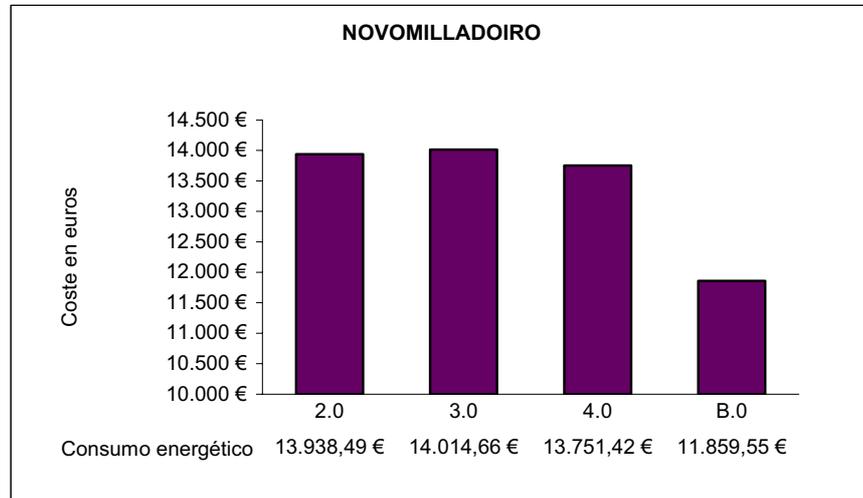
En la representación gráfica siguiente se puede observar que si se considera, el gasto anual en consumo de energía eléctrica por número de puntos de luz, se observan diferencias notables respecto a la gráfica anterior. De este modo se puede ver que el consumo más eficiente es el de los polígonos de Espíritu Santo seguido del de Tambre, que a pesar de tener el mayor número de puntos de luz, es el que ajusta sus recursos de manera más eficiente.



Por otra parte, el polígono de Novomilladoiro siendo el que posee menor número de puntos de luz presenta un consumo energético superior a los anteriores. Esto es debido a que la tarifa energética adoptada es la 2.0, que a diferencia de la tarifa B.0., considera el término de potencia distinto de 0 por lo que se incrementa el coste final. El hecho de adoptar esta tarifa se debe a que dos de los contadores poseen discriminación horaria, un complemento que no es aplicable para la tarifa B.0. En este caso, si se hace una simulación de los costes totales cambiando la tarifa actual por la tarifa específica de alumbrado público en la aplicación informática se observa que la adopción de este cambio puede resultar ventajoso.

En la gráfica anterior se han representado los costes de consumo para las diferentes tarifas eléctricas que se podrían adoptar en el polígono de Novomilladoiro. A simple vista se observa que la tarifa más económica es la B.0 sin discriminación horaria, ya que el término de potencia se anula, mientras que la tarifa actual es la segunda más costosa.

En la gráfica que se presenta a continuación, se han representado los costes de consumo para las diferentes tarifas eléctricas que se podrían adoptar en el polígono de Novomilladoiro. A simple vista se observa que la tarifa más económica es la B.0 sin discriminación horaria, ya que el término de potencia se anula, mientras que la tarifa actual es la segunda más costosa.



COSTES DE MANTENIMIENTO

A la hora de realizar el análisis de esta variable se han encontrado diversas dificultades originadas por la falta de registros de las operaciones de mantenimiento realizadas; en general, lo que se hace es archivar las facturas.

Por otra parte, no se encuentra definido el tipo de política de mantenimiento a llevar a cabo de forma que exclusivamente se realizan operaciones puntuales, lo que vendría a denominarse *mantenimiento correctivo*. Además, no se encuentran establecidos los periodos de cambio de lámparas ni de limpieza de las luminarias, siendo ambas operaciones importantes desde el punto de vista del mantenimiento de los niveles de iluminación.

El polígono de POCOMACO facilitó facturas de los gastos derivados de las operaciones de mantenimiento para los años 2003 y 2004, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

	GASTOS MANTENIMIENTO	
	2003	2004
Lámparas	525.18 €	146.16 €
Luminarias	559.77 €	0
Varios	1822.76 €	1169.24 €
Total	2907.71 €	1315.40 €

Es de destacar, que en la actualidad en este polígono se están llevando a cabo tareas de mantenimiento entre las que se encuentran el pintado de báculos y la ya mencionada renovación de puntos de luz.

Por su parte, el polígono de Tambre resulta ser la excepción a lo anteriormente mencionado puesto que el servicio de mantenimiento realiza mantenimientos correctivos con una frecuencia quincenal y posee una planificación para la reposición de las lámparas según la siguiente tabla:

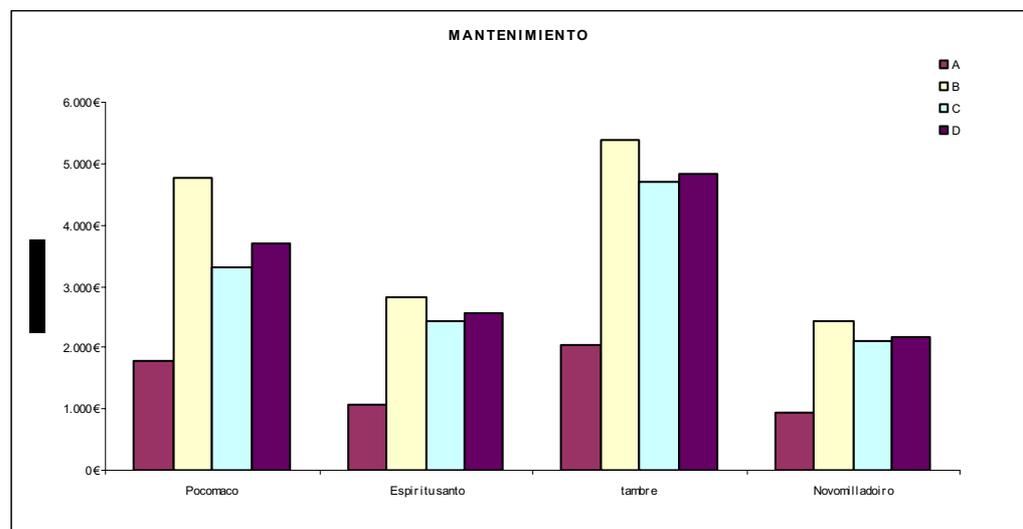
	GASTOS MANTENIMIENTO		
	POTENCIA	NPL	FRECUENCIA
LÁMPARAS VSAP	100 W	41	TRIANUAL
	250 W	336	
	400 W	14	

A pesar de no disponer de datos de costes reales de mantenimiento, la aplicación informática permite realizar una simulación de los costes introduciendo los precios de la lámpara, así como el coste de las tareas de limpieza y sustitución de lámparas.

En la aplicación se han introducido los precios netos de las luminarias y lámparas correspondientes y se ha realizado el cálculo del coste de mantenimiento por punto de luz para cada una de las políticas de mantenimiento definidas en el apartado 4.1.2.2. del presente estudio de forma que se puedan comparar las diferencias entre los costes asociados al factor de mantenimiento. Asimismo, se ha introducido un valor de referencia para los costes de mano de obra.

Los periodos de sustitución y de limpieza se han asumido teniendo en cuenta la vida media de las lámparas y las horas de funcionamiento al año.

En el siguiente gráfico se representan los costes de las operaciones de mantenimiento para las cuatro políticas definidas:



A pesar de que en un principio se pueda pensar que la política de mantenimiento más económica es la más rentable, existen diferentes estudios en los que se demuestra que una gestión del mantenimiento adecuada permite alargar la duración de los diferentes componentes de la instalación y a su vez mejora la calidad del servicio puesto que la tasa de fallos disminuye en consecuencia.

Además, teniendo en cuenta que en muchos de los polígonos existen servicios de mantenimiento propios, no resultaría difícil la realización de revisiones periódicas para detectar averías o planificar mantenimientos preventivos. Si a esto se le asocia la existencia de un inventario de puntos de luz, se podrán llevar a cabo análisis periódicos de las instalaciones para detectar posibles anomalías de forma que se mejore la eficiencia de la misma.

COSTES DE RENOVACIÓN Y ELIMINACIÓN

Como es de suponer, en estos momentos no sería necesaria la renovación y/o eliminación de las instalaciones de alumbrado, teniendo en cuenta que el ciclo de vida de una instalación de este tipo se cifra en aproximadamente 20 años. Sin embargo, puesto que la metodología pretende realizar un análisis de los costes a lo largo de la vida de la instalación, se han estimado los mismos.

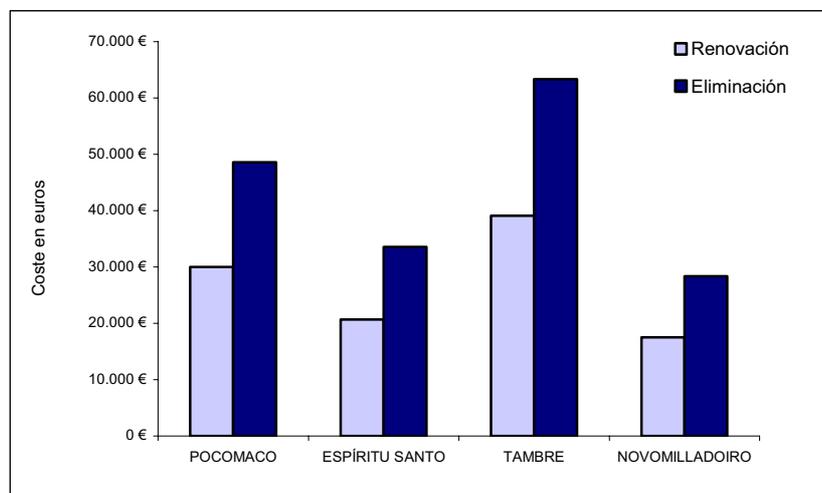
A este respecto el polígono de POCOMACO es una excepción puesto que en estos momentos se está realizando la renovación de luminarias antiguas por luminarias más modernas adaptadas a las nuevas necesidades de iluminación. Este cambio se debe, más concretamente, a que las luminarias empleadas anteriormente han sido descatalogadas y se ha detectado además la necesidad de modernización de los equipos.

Hasta el momento, la renovación de equipos se ha realizado en cuatro líneas, por lo que el número de puntos de luz es de 77 de un total de 300, lo cual supone un 25.7 %.

Por otro lado, es importante destacar que los elementos extraídos de las luminarias sustituidas (luminarias, lámparas...) se están empleando como piezas de recambio de las luminarias antiguas todavía existentes.

Finalmente cabe destacar que los costes de renovación y eliminación vendrán dados por el coste de la mano de obra para el cual se estima un valor de referencia a partir de datos reales facilitados por una empresa dedicada al mantenimiento de instalaciones.

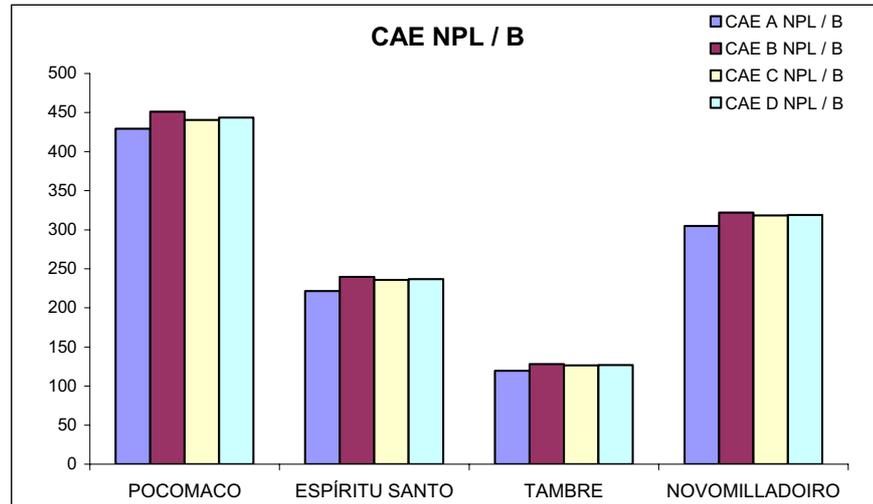
Los resultados obtenidos para este factor se muestran en el gráfico siguiente:



CANTIDAD ANUAL EQUIVALENTE / BENEFICIOS

El CAE (Cantidad Anual equivalente) aglutina todos los costes derivados de la gestión de la instalación de alumbrado. Teniendo esto en consideración, para poder comparar el valor CAE de cada polígono es necesario relativizarlo al número de puntos de luz de cada uno de ellos para obtener una cantidad anual equivalente por punto de luz. Asimismo, siguiendo la metodología desarrollada en el punto 4.2., el valor resultante de CAE/NPL se divide entre el valor de Beneficio resultante para obtener la relación COSTE-BENEFICIO.

En el siguiente gráfico se muestran los valores resultantes para la muestra de polígonos analizada:



Cada una de las barras del gráfico representa, por polígono, cada una de las políticas de mantenimiento posibles que han sido descritas en el apartado de metodología.

Como se puede observar, el polígono de Tambre presenta las menores relaciones Coste-Beneficio para cualquiera de las políticas de mantenimiento, lo cual nos indica que es el polígono que mejor gestiona las instalaciones de alumbrado. Este resultado está directamente relacionado con el hecho de disponer de un servicio de gestión de última generación que permite controlar los parámetros analizados en este estudio de forma continua, además de llevar a cabo la planificación de las diferentes operaciones de mantenimiento.

En segundo lugar se encuentra el polígono de Espíritu Santo. Esto se debe a que los costes derivados del consumo de energía son los más bajos de todos por tener instaladas lámparas de menor potencia que los demás.

En este sentido, sería interesante realizar estudios luminotécnicos en cada uno de los polígonos con el objetivo de adecuar las necesidades de iluminación a los menores costes de consumo.

El polígono de Novomilladoiro, el más reciente de la muestra, se encuentra situado en tercer lugar respecto a la relación Coste-Beneficio. En general se ha visto que su gestión es eficiente, sin embargo se ha detectado un aumento en los costes de consumo de energía respecto a los dos anteriores debido a la elección de la tarifa energética.

Teniendo en cuenta esto, es importante analizar las diferentes tarifas eléctricas existentes en el mercado, al igual que se ha hecho en el presente apartado del estudio, para escoger aquella que se adapte mejor a las necesidades de suministro.

Por último se encuentra el polígono de POCOMACO, que en estos momentos está realizando esfuerzos por mejorar sus instalaciones por lo que es de esperar que una vez realizada la renovación, estos cambios se vean reflejados en futuros estudios de eficiencia energética.

5. CONCLUSIONES

Finalmente, y a modo de resumen de todos los trabajos y análisis expuestos en la presente memoria técnica, se procede a efectuar de modo sinóptico, una breve exposición de las principales conclusiones que se derivan del estudio de investigación efectuado.

Con el objetivo de implementar la Eficiencia Energética en las instalaciones de alumbrado, la alternativa más adecuada es la aplicación de un plan de acción en el que se describen las propuestas de actuación.

Para la elaboración de dicho plan de optimización energética se han llevado a cabo las acciones recogidas en el siguiente diagrama:



El mejor modo de realizar un análisis de la situación actual pasa por realizar un análisis pormenorizado de todos los parámetros relacionados con la misma. En este sentido se ha realizado un inventario que recoge toda la información implicada en dichos parámetros y se ha incluido en la aplicación informática.

Se considera oportuno en primera instancia, proceder a la realización de una breve descripción de las variables consideradas en la fórmula empleada en la aplicación informática para el cálculo de la relación costes-beneficios, previamente al inicio de los análisis pormenorizados de los resultados obtenidos en el empleo de la misma. Una descripción detallada y justificada de la fórmula empleada, ha sido efectuada en el apartado 4.2 del presente estudio.

La citada aplicación opera contra la siguiente fórmula, analizada a lo largo del presente proyecto:

$$CAE / B = \frac{CAE}{k(E) \cdot k(T_o) \cdot k(PAP) \cdot k(A)}$$

donde

- **k(E)** = Factor de beneficio relacionado con el Nivel de iluminación.
- **k(T_o)** = Factor de beneficio relacionado con el Tiempo de operación.
- **k(PAP)** = Factor de beneficio relacionado con el % de averías permanente.
- **k(A)** = Factor de beneficio relacionado con la Apariencia de la instalación.
- **CAE** = Cantidad Anual Equivalente (factor que aglutina los costes de instalación, mantenimiento, renovación y eliminación de las instalaciones).

Asimismo, también realiza el cálculo de la inversa de la expresión anterior.

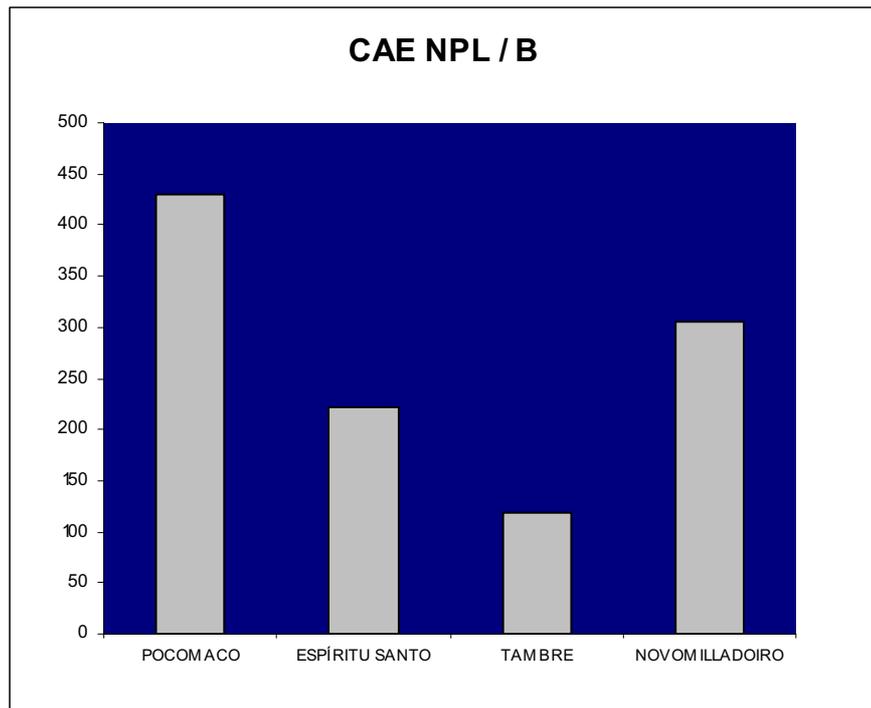
Para poder comparar los distintos polígonos, puesto que no tienen el mismo número de puntos de luz, se calcula la relación anterior por punto de luz.

$$CAE \text{ NPL} / B = \frac{CAE / NPL}{k(E) \cdot k(T_o) \cdot k(PAP) \cdot k(A)}$$

En la tabla siguiente se recogen los valores de la relación coste beneficio calculados para cada polígono:

POLÍGONO	MODELO LUMINARIA	CAE NPL/B (%)
POCOMACO	VIENTO IVH 250 W/ DESCONOCIDO 400W	429,34
ESPÍRITU SANTO	DZ 150	221,66
TAMBRE	QSA-5 250 W	126,41
NOVOMILLADOIRO	VIENTO IVH 250 W	304,83

A continuación se representan gráficamente para cada polígono evaluado, los resultados obtenidos para la relación Coste-Beneficio por punto de luz:



Una vez analizada la problemática existente en las instalaciones de alumbrado y fundamentalmente la ineficiencia energética causada por la incorrecta o muchas veces inexistente gestión, se plantea la búsqueda de soluciones. En algunos casos la falta de recursos, ya sean humanos como económicos, dificulta la adquisición de medios de gestión (sistemas informáticos) así como formación del personal capacitado para su manejo.

La solución a esta problemática es la gestión continuada a través de herramientas informáticas que facilitan el tratamiento de todos los parámetros energéticos y de funcionamiento de las instalaciones. De esta forma se facilita el diagnóstico y permite proponer las actuaciones necesarias para implementar la gestión de las instalaciones de alumbrado en los polígonos industriales y empresariales.

Estas herramientas informáticas suelen contemplar los siguientes aspectos:

- Inventario de las instalaciones con sus características concretas.
- Aplicación informática que permita la gestión energética para almacenar datos referentes a la variables descritas en este estudio y realizar su análisis gráfico.
- Planificación de las operaciones de mantenimiento.
- Realización de auditorias energéticas periódicas.

PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

A continuación se enumeran las propuestas generales de actuación con el objetivo de establecer futuras medidas correctoras que maximicen la eficiencia energética de las instalaciones:

1. Sustitución de lámparas de baja eficacia por otras de mayor eficacia y reducción de la potencia de las lámparas empleadas respetando los niveles de iluminación recomendados para los diferentes tipos de viales

Teniendo en cuenta la menor duración y menor flujo luminoso de las lámparas de vapor de mercurio se debe realizar la sustitución de este tipo de lámparas por lámparas de vapor de sodio de alta presión, las cuales permiten a su vez disminuir el consumo energético debido a su mayor eficiencia luminosa.

2. Sustitución de los mecanismos de encendido

El desajuste de los horarios de encendido y apagado de las instalaciones puede provocar la pérdida de la eficiencia, por lo que debe de sustituir los mecanismos tales como las células fotoeléctricas por otros más robustos como relojes astronómicos y/o autómatas programables.

3. Adopción de mecanismos de regulación de potencia, reactancias de doble nivel y diversos dispositivos de protección de las instalaciones de alumbrado

La instalación de estos dispositivos permite estabilizar la tensión y reducir la potencia en periodos programables, por lo que se puede conseguir un ahorro en el consumo de energía y en la aparición de averías.

4. Optimización de las tarifas eléctricas y de potencia contratada

Analizando las características de cada instalación, se deben ajustar las tarifas energéticas, lo cual puede contribuir a disminuir los costes en consumo energético.

5. Programación de las distintas tareas de mantenimiento

La elección de una política de mantenimiento preventivo aumenta la vida de las instalaciones y, concretamente de los equipos que las constituyen, de manera que el coste derivado de la misma es amortizado con la disminución de mantenimientos correctivos necesarios.

6. Adopción de una herramienta de Gestión del Sistema de Alumbrado de los Polígonos

Los sistemas de gestión permiten controlar la instalación de forma autónoma, ordenando los encendidos y apagados a la hora adecuada, vigilar permanentemente el correcto funcionamiento y controlar los parámetros eléctricos de la instalación para evitar sobretensiones. Asimismo, permiten recoger información de la instalación, procesarla y remitirla a un ordenador central desde donde se realice toda la gestión.

De esta forma, se pueden realizar todas estas operaciones de una forma programada y ordenada, implementando una gestión adecuada y eficiente desde el punto de vista energético.

Finalmente cabe señalar que, de la fórmula definida, analizada y aplicada en el desarrollo del presente Estudio a los polígonos seleccionados, se obtienen resultados coherentes con la realidad de las instalaciones y los sistemas de alumbrado que poseen los diferentes Polígono Industriales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Soto, J. "La iluminación y el medio ambiente. Modelos de optimización y eficiencia energética". XXIV Simposium Nacional de Alumbrado. Ávila 1998.
- Díaz Castro, Francisco J; Paz Gómez, Federico de la. "Aplicación y resultados de la Ley de Protección de la calidad Astronómica en las islas Canarias" XXIV Simposium Nacional de Iluminación. Ávila 1998.
- Coves, J y otros. "Las lámparas de descarga como residuo industrial y urbano". XXVI Simposium Nacional de Alumbrado. Ciudad Real 2000.
- Urraca Piñeiro, José Ignacio. "Aspectos ambientales de la propuesta de directiva sobre balastos de lámparas fluorescentes". XXVI Simposium Nacional de Alumbrado. Ciudad Real 2000.
- Trujillo, H. Y otros. "La iluminación como servicio público: una aproximación desde la psicología". XXVI Simposium Nacional de Alumbrado. Ciudad Real 2000.
- Ferrero, L. y otros. "Alumbrado artificial: calidad de vida y sostenibilidad" XXVI Simposium Nacional de Alumbrado. Ciudad Real. 2000.
- Ferrero Andreu, Lluís. "Guía para la elaboración de planes directores de Alumbrado Público". CEI. Ponferrada 2001.
- Bas, Francisco. "Jornada Técnica sobre Eficiencia Energética en Instalaciones Municipales: Hacia un desarrollo sostenible". Sociedad para el desarrollo energético de Andalucía. Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico. Lucena, 2003
- "Calidad de los Servicios Públicos. Gestión Integral de Mantenimiento de Alumbrado Público". XXX Simposium del CEI. Almería 2004.
- Rodríguez, Jose Manuel. "Sistema Universal de Telegestión de cuadros Eléctricos" XXXI Simposium Nacional de Alumbrado. León 2005.
- Sierra Garriga, C. y otros. "Auditoria Energética y Lumínica del Alumbrado Público en el Ayuntamiento de Espulgues de Llobregat". Dpto. de Proyectos de Ingeniería. UPC.

- Comité Internacional del Alumbrado:
 - "Alumbrado de Carreteras en condiciones mojadas" Publicación CIE 47:1979.
 - "Pavimentos de Carreteras y Alumbrado" Publicación CIE 66:1984.
 - "Guía para el Alumbrado de áreas de Trabajo Exteriores" Publicación 68:1986
 - "Guía para el alumbrado de Áreas Urbanas" Publicación CIE 92:1992
 - "Contraste y Visibilidad" Publicación CIE 95:1992.
 - "Fundamentos de la tarea visual en la conducta nocturna". Publicación CIE 100:1992.
 - "Recomendaciones para el alumbrado de carreteras con tráfico motorizado y peatonal" Publicación CIE 115: 1995
 - "Guía para la iluminación de áreas urbanas" Publicación CIE 136:2000.
- Oficina Técnica para la protección de la Calidad del Cielo: "Resumen de criterios a seguir en las instalaciones de alumbrado que afectan a la calidad del cielo de Tenerife y La Palma". Instituto de Astrofísica de Canarias. Enero 1997. Rev. 5.
- Instituto de Astrofísica de Canarias. "Lista de luminarias certificadas por el IAC, lista de proyectores." I.A.C. 1997
- "Lighting Handbook" Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) 9th Edition. 1999.
- "Propuesta de Modelo de Ordenanza Municipal de Alumbrado Exterior para la protección del Medio Ambiente mediante la Mejora de la Eficiencia Energética", CEI- IDAE, mayo 2002.
- "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana: Plan de Ahorro y Eficiencia Energética". AVEN 2003
- "Eficiencia Energética Resplandor Luminoso Nocturno". CIE. XXXI Symposium Internacional de Alumbrado, 2005
- "
- Capítulo 14, pp. 297- 307, del Tomo 2 del Manual AADL "Iluminación: Luz - Visión - Comunicación". Editorial: AADL (Asociación Argentina de Luminotecnia), Argentina, 2001.

PORTALES WEB'S CONSULTADOS

- Internacional Commission on Illumination (CIE)
<http://www.cie.co.at/cie>
- Instituto de Astrofísica de Canarias. (OTPC) Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo
<http://www.iac.es/OTPC>
- Comité Español de Iluminación
<http://www.ceisp.com>
- INDALUX Iluminación Técnica
<http://www.indalux.es>
- SOCELEC, S.A.
<http://www.socelec.com>
- CARANDINI
<http://www.carandini.com>
- Universitat Politècnica de Catalunya. Servei d'Estudis Luminotècnics
<http://edison.upc.es/curs/llum>