MASTER EN ENERGIA PER AL DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE

MASTER EN ENERGIA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

MÒDUL 10 : PROJECTE FINAL DE MASTER
COORDINADOR : DANIEL GARCIA-ALMIÑANA

Estudio de diagnosis de eficiencia energética del alumbrado público en el Ayuntamiento de Canfranc
- MEMORIA -

Autores :
Salvador Canaleta
Josep González
Ignacio Contín
Teresa Catalán

GRUPO G01/2009-TER
Tutor :
Daniel Garcia-Almiñana

Presentación :
Terrassa, a 16 de Enero de 2010

Attribution-Noncommercial 2.5

http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/es/deed.ca

Tabla de contenido

1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO 5
1.1 Objeto 5
1.2 Alcance 5
1.3 Justificación del presente estudio 6
1.3.1 Necesidad y antecedentes 6
1.3.2 Utilidad 6
1.3.3 Ventajas e inconvenientes 6
1.3.4 Evolución de la tecnología desde la situación inicial 7
1.4 Especificaciones técnicas 7
1.4.1 Limitaciones 7
1.4.2 Soluciones 7
2 FUNDAMENTOS DEL ALUMBRADO 9
2.1 Introducción 9
2.2 Factores involucrados en la vista 9
2.3 Luz y color 10
2.4 Principios del diseño e instalación del alumbrado 11
2.4.1 Definiciones y conceptos generales 11
2.4.2 Fuentes luminosas. Aspectos generales. 14
2.4.3 Tipos de lámparas de descarga 15
2.4.4 Características de operación de las lámparas de descarga 16
2.4.5 Requerimientos de una instalación de alumbrado satisfactoria 16
2.5 Luminarias 17
2.6 Tipos de iluminación 18
2.7 Dispositivos auxiliares 19

2.7.1 Balastos para lámparas de sodio de baja presión 19
2.7.2 Balastos para lámparas de vapor de mercurio 19
2.7.3 Balasto tipo reactor o bobina 19
2.7.4 Balasto tipo autotransformador de alta reactancia 19
2.7.5 Balasto tipo autotransformador de potencia constante 20
2.7.6 Balasto de dos devanados de potencia constante 20
2.7.7 Balasto para lámparas de halogenuros metálicos 20
2.7.8 Balasto para lámparas de sodio de alta presión 20
2.8 Selección de la lámpara de descarga 20
2.9 Curvas fotométricas 20
2.10 Deslumbramientos 20
2.11 Contaminación lumínica 21
2.12 Alumbrado publico 21
2.13 Cálculo de la iluminación 22
3 ANÁLISIS DE ALUMBRADO PÚBLICO 23
3.1 Análisis funcional 23
3.1.1 Introducción 23
3.1.2 Tipos de vías según alumbrado 23
3.1.3 Funcionamiento del alumbrado 25
3.2 Inventario 25
3.2.1 Líneas de distribución y acometida 26
3.2.2 Cuadros eléctricos 27
3.2.3 Puntos de Luz 29
3.3 Análisis energético 35
3.4 Mantenimiento y gestión 38
3.4.1 Facturación 38

3.4.2 Mantenimiento 41

4 IMPACTOS 43

4.1 Impacto económico 43

4.2 Impacto ambiental 44

4.3 Impacto en la seguridad 44

4.4 Impacto social 44

5 CONCLUSIONES 46

5.1.1 Funcionamiento del alumbrado 46

5.1.2 Líneas de distribución y acometida 46

5.1.3 Puntos de luz 46

5.1.4 Facturación 47

5.1.5 Cuadros de distribución 47

5.1.6 Mantenimiento y registro de vida 47

5.1.7 Contaminación lumínica 47

6 BIBLIOGRAFÍA 48

ANEXO A - Planos Canfranc

ANEXO B - Clasificaciones de vías y alumbrados

ANEXO C - Cuadros de control

ANEXO D - Especificaciones elementos y sistema de control

ANEXO E - Medidas de iluminación

ANEXO F - Análisis de consumos

ANEXO G - Facturas

ANEXO H - Simulaciones de facturas

ANEXO I - Encuestas

ANEXO J - Análisis de cambio de tecnología

ANEXO K - Comparativa de lámparas

1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 Objeto

El objeto de este proyecto es la realización de una diagnosis energética del sistema de alumbrado público del municipio de Canfranc, en la provincia de Huesca, con el fin de realizar propuestas para una gestión más eficiente del mismo.

1.2 Alcance

Se realizará una diagnosis del consumo de energía eléctrica en las instalaciones de alumbrado exterior de las vías públicas de Canfranc. Este municipio se encuentra dividido en dos núcleos urbanos: Canfranc Pueblo y Canfranc Estación, por tanto, el estudio se llevará a cabo sobre la totalidad del alumbrado de ambos núcleos urbanos. En la figura 1.1. se muestra un plano general del municipio donde se aprecian ambos núcleos.

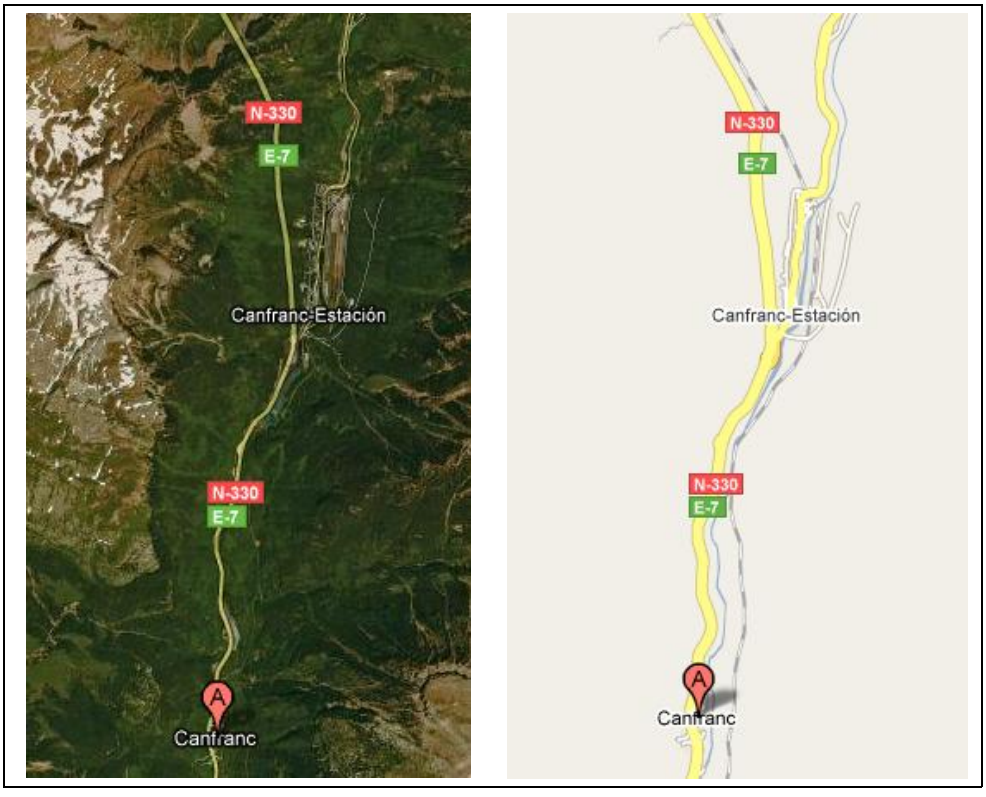


Fig. 1.1. Vista aérea general y mapa de situación del municipio de Canfranc

Fuente: http://maps.google.com/maps

Para ello se analizarán todos los elementos de las instalaciones: cuadros de distribución, líneas conductoras, luminarias y lámparas. Asimismo, se analizará el consumo registrado en las facturas de la compañía suministradora confrontándolo con el teórico calculado en el análisis de las instalaciones y las mediciones de campo. Paralelamente, se analizará la gestión y el mantenimiento realizados del sistema de alumbrado exterior. Finalmente, mencionar que se realizarán entrevistas informales a habitantes del

municipio para recoger su percepción en cuanto a la situación actual del nivel de iluminación que experimentan en sus calles.

La presente diagnosis tiene como fin la propuesta de medidas de mejora de la eficiencia energética que también aseguren un nivel de iluminación adecuado en todo momento. Dicha diagnosis se completará con el estudio de la eficiencia en el consumo eléctrico desde el punto de vista tarifario.

Queda fuera del alcance de este estudio la iluminación exterior instalada con motivos decorativos, como la iluminación de fachadas o de zonas ajardinadas.

1.3 Justificación del presente estudio

1.3.1 Necesidad y antecedentes

Un alumbrado público es una fuente de consumo energético elevado, dado que se trata de un sistema con largos tiempos de funcionamiento. Es por ello que cualquier mejora en la gestión del mismo conlleva altos niveles de ahorro energético, lo que supone un aspecto muy atractivo tanto a nivel económico, como medioambiental ya que conlleva la reducción en el consumo de energía de origen no renovable, así como en las emisiones de gases de efecto invernadero, el nivel de contaminación lumínica y el consumo de recursos materiales si se opta por fuentes con una mayor vida útil.

El gobierno municipal de Canfranc se ha planteado la necesidad de la revisión del sistema de gestión del alumbrado público del municipio en sus dos núcleos urbanos (Canfranc Pueblo y Canfranc Estación) debido a la percepción negativa, por una parte importante de sus habitantes, del nivel de iluminación en las vías públicas. Asimismo, el consistorio cree necesaria una optimización del consumo eléctrico en concepto de iluminación exterior orientada a la reducción de la factura eléctrica sin detrimento de la calidad de aquélla y cumpliendo la normativa aplicable en todo momento.

1.3.2 Utilidad

El presente estudio pretende realizar una diagnosis del sistema de iluminación exterior del municipio, atendiendo tanto a las instalaciones como a la gestión que de ellas se realiza para – en primer lugar – detectar áreas de mejora y – en segundo lugar – proponer medidas orientadas a la citada optimización. De este modo, el gobierno municipal podrá disponer de información precisa sobre la situación actual y sobre un abanico de posibles medidas aplicables orientadas a la eficiencia y mejora de su gestión, que le permita tomar decisiones al respecto.

1.3.3 Ventajas e inconvenientes

La diagnosis realizada representa una buena oportunidad en sí misma ya que como se ha dicho anteriormente, ofrece información concreta para la toma de decisiones posteriores, basados en datos reales y coherentes. En todo caso, las ventajas e inconvenientes que puedan presentarse serán las asociadas a cada una de las medidas propuestas y, más en concreto, a su grado de aplicabilidad y a los recursos económicos involucrados.

1.3.4 Evolución de la tecnología desde la situación inicial

El sistema actual de alumbrado exterior del municipio lleva implantado más de veinte años. Como se detallará en el apartado 3.2, las luminarias son del tipo clásico (ver figura 3.3 y 3.4) con una muy buena integración con el entorno arquitectónico. Dichas luminarias albergan lámparas de vapor de mercurio de alta presión, en el caso de Canfranc Estación, o de vapor de sodio en el caso de Canfranc Pueblo.

En los últimos años, se ha desarrollado y mejorado en el campo del alumbrado para exteriores una gran variedad lámparas de alta eficiencia y vida útil (haluros metálicos, sodio de alta presión, LEDs, etc.) que, con distintos grados de intervención, bien pueden adaptarse a las luminarias existentes, bien pueden necesitar de la sustitución completa de las mismas. Paralelamente, ha habido un desarrollo notable en la tecnología de los balastos (dispositivos estabilizadores del voltaje y la corriente de alimentación de las lámparas) con la consiguiente mejora de la eficiencia en la relación del nivel de iluminación por potencia consumida.

1.4 Especificaciones técnicas

1.4.1 Limitaciones

Debido principalmente a la disponibilidad temporal, se darán las siguientes limitaciones:

- La toma de datos se realizará en una muestra de las vías, no en su totalidad. Se buscará que el muestreo sea representativo del conjunto de vías del municipio.
- Se realizará una sola medición en cada punto de la muestra, pudiendo repetirse las mediciones en casos concretos y si se dispone de más tiempo.
- La toma de datos se realizará en una época concreta del año, octubre y noviembre de 2009, pudiendo producirse cierto sesgo al no considerar otras épocas u otras condiciones climatológicas.

A pesar de estas limitaciones, se considerará que las conclusiones que de ellas se deriven sean suficientemente fundamentadas y extrapolables a diferentes épocas y condiciones ambientales.

1.4.2 Soluciones

El documento que se presenta en este estudio, está estructurado de forma que paulatinamente se avanza en el contenido del mismo permitiendo una correcta asimilación de lo que se pretende explicar. Primero se redacta en el cap. dos los fundamentos de Alumbrado, en este capítulo se hace un recorrido por toda la teoría de la luz y sus procesos implicados en la vista, hasta profundizar en la técnica más específica que concierne en cuanto a los tipos de lámparas, elementos auxiliares y conceptos relacionados con el Alumbrado Público. En el cap.3 se analiza más concretamente un estudio pormenorizado del alumbrado público del municipio de Canfranc, a través de una serie de visitas realizadas y con elementos de medida, se han recogido los datos necesarios desde cuadros de mando y control de iluminación, hasta el numero de iluminarias con medida de iluminación pasando también por un estudio exhaustivo del consumo realizado y análisis de histórico de consumos, con el beneplácito del Ayuntamiento, que permitió tener acceso a las facturas de alumbrado público, para posteriormente extraer conclusiones relevantes a través de Análisis de los distintos estudios que justifican este trabajo. En el cap. 4, se analizan los Impactos relacionados con el Proyecto desde el punto de vista Económico, haciendo una comparativa de distintas propuestas, pasando por el Impacto Ambiental, de Seguridad e impacto Social. Finalmente, en el cap.5 se extraen las conclusiones de todo lo expuesto hasta ahora. Las conclusiones se estructuran en: el

funcionamiento horario del alumbrado, líneas de distribución y cargas de Alumbrado, Puntos de luz que determina el tipo de tecnología de lámpara utilizada, contaminación lumínica, facturación, cuadros de distribución, mantenimiento y Registro y ciclo de vida de los dispositivos.

Las soluciones se centran en dos grandes áreas, la tecnológica y no tecnológicas.

Es por ello que el estudio se focalizará en dos tipos de tecnología:

- Tecnologías existentes de lámparas y luminarias: Atendiendo tanto a la propia tecnología como a los parámetros de funcionamiento y consumo.

- Tecnologías de control de iluminación: asociadas al control de encendido, regulación y distribución de la energía para dicha iluminación.

Así como el análisis asociado a:

- Facturación: actual (contemplando la tipología de consumos energéticos) e ideal (centrada en las posibilidades de ahorro económico como consecuencia de la optimización de la facturación y de posibilidades de optimización de usos y consumos).

- Funcionamiento actual: tanto a nivel del uso de la iluminación como de las acciones de mantenimiento deseables.

Asimismo, se plantearán distintos niveles de medidas a adoptar, desde las de fácil implantación y coste mínimo a aquellas que puedan necesitar de una mayor intervención en las instalaciones existentes y costes más elevados.

2 FUNDAMENTOS DEL ALUMBRADO

2.1 Introducción

Puede definirse el alumbrado al conjunto de fundamentos y tecnologías cuyo principal objetivo es la búsqueda del nivel de iluminación suficiente y adecuada para el desarrollo preciso y eficiente de las tareas visuales proporcionando en todo momento un ambiente confortable con una mínima fatiga visual.

Principalmente, el estudio del alumbrado se ocupa de

- La cantidad, entendiendo como tal el valor del nivel de iluminación, en condiciones normales.
- La calidad, es decir, el confort visual ambiental, a menudo difícil de establecer y en el que la experiencia del diseñador es clave para su establecimiento.

2.2 Factores involucrados en la vista

En el proceso de la vista, la luz pasa a través de la cornea, la pupila y el cristalino del ojo e impacta en la retina, de la misma forma que la luz pasa a través del grupo óptico de una cámara fotográfica e impacta en la película o sensor. En La retina, capa a la que llegan las terminaciones nerviosas del nervio óptico, se forma la imagen que es transmitida directamente al cerebro.

El nivel de iluminación en cualquier ambiente y, por tanto, el alumbrado cuando éste sea necesario, tendrá una incidencia absoluta en la capacidad de visión de las personas que allí se encuentren. La vista, es el sentido que hace posible la visión permitiendo la percepción de ciertas características externas de los objetos como tamaño color, forma, distancia, etc. El órgano de la vista es el ojo, cuya estructura y configuración hace que éste pueda reaccionar ante distintos estímulos pudiendo adaptar su respuesta de forma eficiente. En la figura X.1. se muestra el funcionamiento óptico el ojo humano y comparación con el principio de una cámara fotográfica.

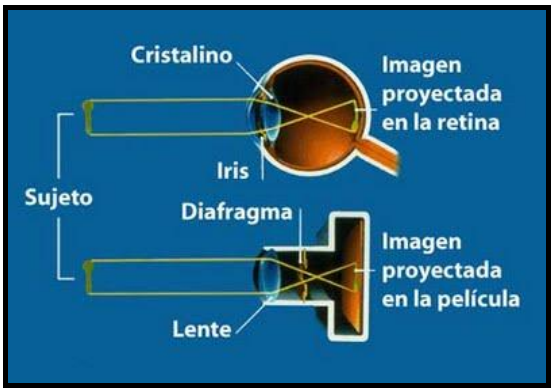


Fig. 2.1. Comparación entre los sistemas ópticos del ojo humano y la cámara fotográfica.

Para el buen funcionamiento del ojo como instrumento de visión, éste debe desarrollar correctamente las siguientes funciones:

- **Acomodamiento**: capacidad de enfocar un objeto sea cual sea la distancia a la que se encuentre del observador. El ojo, consigue esta capacidad mediante el ajuste del cristalino por medio de la

mayor o menor tensión de los músculos del iris, haciendo que aumente su curvatura para enfocar a corta distancia o aplanándola para objetos distantes. Asimismo, en niveles de iluminación bajos, la musculatura óptica ajusta la curvatura en busca de focos con el fin de que los objetos se vean con claridad. Los sucesivos esfuerzos de contracción – relajación pueden ser causa de fatiga, llegando a producir cefaleas.

- **Adaptación**: es la capacidad del ojo de ajustarse a una amplia variedad de niveles de iluminación mediante la mayor o menor apertura de la pupila – de modo que ésta se contrae en ambientes de luz brillante o se abre en condiciones de penumbra u oscuridad – así como mediante cambios fotoquímicos que se producen en la retina. El proceso adaptativo es lento, especialmente cuando se experimenta cambios bruscos en los niveles de iluminación.

- **Respuesta al espectro luminoso**: es el grado de sensibilidad experimentado por el ojo ante las distintas longitudes de onda de las radiaciones incidentes. En la práctica, esto se traduce en la sensación de color percibida. La mayor respuesta está en el centro del espectro visible (región amarillo – verde), mientras que la mínima respuesta está en los extremos (regiones violeta y roja). Por esta razón, los objetos percibidos en las regiones roja y violeta, necesitarán ser iluminados a más alto nivel que los que puedan percibirse como amarillos o verdes.

Simultáneamente, otros factores externos incidirán en la capacidad de visión y son los debidos a las características del objeto que se visualiza:

- **Tamaño**: el ángulo subtendido por el objeto dentro del campo visual del ojo, siendo mejor la visión del objeto cuanto mayor sea su tamaño, o cuanto más se aproxime al ojo. Un concepto relacionado es el de la agudeza visual, es decir, la medida del menor detalle que se puede ver fácilmente. Ya sea aumentando el nivel de iluminación, o acercando el objeto se estará incrementando la agudeza visual.

- **Brillo**: es la cantidad de luz reflejada por un objeto en la dirección visual y depende tanto de su capacidad de reflexión como de la luz incidente sobre el mismo. Los objetos claros tienen un mayor brillo que los oscuros, siendo que éstos últimos los que requieren de un mayor nivel de iluminación para ser percibidos.

- **Contraste**: es la diferencia entre la percepción de un objeto y de su entorno inmediato. Cuanto mayor sea esta diferencia (por ejemplo letras negras sobre fondo blanco) mejor será la percepción que se tenga del objeto.

- **Tiempo de exposición y movimiento**: Como se ha dicho anteriormente, el ojo sigue su propio proceso de ajuste y adaptación, por lo que cuanto mayor es el tiempo que se dedica a la observación del objeto, mejor es la percepción del mismo. Todo ello es especialmente importante en el caso de objetos móviles, cuando un mayor nivel de iluminación mejora el detalle de los mismos y da la sensación de que se mueven más lentamente.

2.3 Luz y color

Puede describirse la luz como el segmento del espectro electromagnético detectado por el ojo. El espectro electromagnético comprende la totalidad de las radiaciones, desde los rayos cósmicos, con longitudes de onda del orden de 10-14 metros, hasta frecuencias eléctricas con longitudes del orden de 105 metros, como se muestra en la figura X.2. El espectro visible comprende las radiaciones entre 3,8·10-7 y 7,7·10-7 metros, que corresponden a la región del violeta y del rojo, respectivamente, quedando en la zona intermedia el azul, el verde, el amarillo y el naranja.

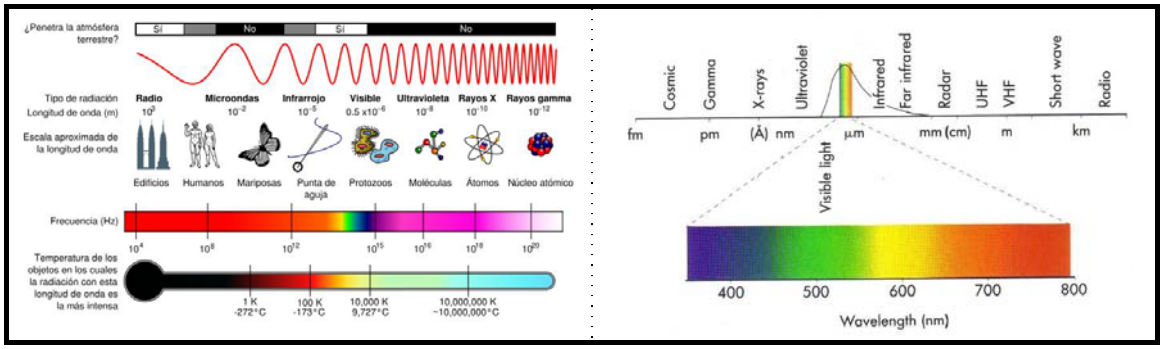


Fig. 2.2. Espectro electromagnético y espectro de la luz visible

Atención aparte merecen las fuentes de luz en sí mismas. Sobre este aspecto cabe destacar el fenómeno según el cual una fuente emite altas frecuencias de luz, en la medida que se incrementa su temperatura, como sucede por ejemplo con los objetos fríos que emiten luz de distintas radiaciones a medida que se va incrementando su temperatura. Por ejemplo, en el calentamiento progresivo de un cable conductor, éste se tornará rojo en primer lugar, correspondiendo a una temperatura de color de 2000 K, a medida que aumente su temperatura pasará por el blanco (5000 K) y finalmente azul (8000K). La temperatura de color se mide en grados kelvin y describe de forma genérica la calidez o la frialdad producida por la fuente de luz. En una fuente con temperatura de color baja, preponderarán los rojos, naranjas y amarillos, mientras que si tiene una temperatura más alta se caracterizará por los verdes y azules.

En el caso de las lámparas incandescentes, la temperatura del color está directamente relacionada a la temperatura real del filamento. Para las lámparas tipo arco sin filamento, la temperatura de color indica que la luz aparece en la medida que la lámpara opere a cierta temperatura.

2.4 Principios del diseño e instalación del alumbrado

2.4.1 Definiciones y conceptos generales

En primer lugar se presentan las definiciones y conceptos básicos de iluminación con relevancia dentro del estudio del alumbrado:

- **Intensidad luminosa (I):** Es una cantidad fotométrica de referencia. La unidad relativa de medición es la candela (cd) cuyo patrón es una superficie de 1,66 mm2 de platino llevada a la temperatura de fusión.

- **Flujo luminoso (Φ):** es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa por unidad de tiempo y se mide en lúmenes (lm). El lumen se define como el flujo luminoso emitido en el interior de un ángulo solido de un estero radian (28,6 grados sólidos) por una fuente puntiforme igual a una candela. Aclaratoriamente, se puede agregar que una fuente luminosa que emite una candela en todas las direcciones (360º sólidos) proporciona un flujo luminoso de $4\pi = 12,57$ lumen.

  De todo el flujo luminoso emitido por una fuente, una parte es absorbido por la propia fuente. Además, no se distribuye de uniformemente en todas direcciones y puede reducirse en función del grado de suciedad que presente la fuente.

- **Iluminación (E):** Es el flujo luminoso por unidad de superficie y se mide en lux (lm/m2). Por consiguiente, la iluminación de una superficie es el flujo luminoso que incide sobre cada unidad de la misma. La iluminación es la principal magnitud a tener en cuenta en un proyecto de

alumbrado y se mide a través de un dispositivo denominado luxómetro. En la tabla X.1. se presentan algunos niveles típicos de iluminación.

Escena	Nivel de iluminación típico (lux)
Noche sin luna	0,01
Noche con luna llena	0,2
Calle con alumbrado, noche	5 – 20
Oficina bien iluminada	500
Escaparate bien iluminado	3.000
Día claro con cielo nublado	20.000

Tabla 2.1. Niveles típicos de iluminación

- **Luminancia o brillantez (L):** Es la intensidad luminosa emitida en una dirección determinada por una superficie luminosa o iluminada (fuente secundaria de luz). En otros términos, expresa el efecto de la luminosidad que una superficie produce sobre el ojo humano, ya sea fuente primaria (por ejemplo, una lámpara) o secundaria (por ejemplo, el plano de una mesa). En la figura X.3 se representa la coexistencia de fuentes primarias y secundarias en una escena.

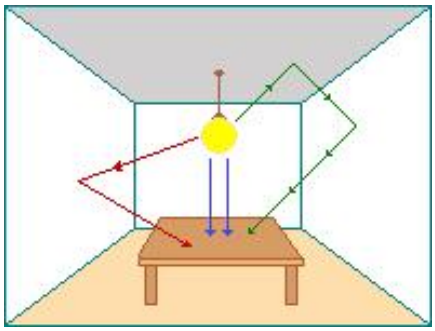


Fig. 2.3. Fuente luminosa primaria y secundaria

La luminancia se mide en candelas/m2 o bien en candelas/cm2. La superficie emisora considerada en el cálculo de la luminancia, corresponde al área aparente de la fuerza luminosa vista por un observador. En la tabla X.2. se muestran algunos valores típicos de luminancias.

Fuente	Luminancia (cd/cm^2)
Lámparas fluorescentes	0,5 – 4
Lámparas incandescentes	100 – 200
Lámparas de arco	hasta 50.000
Sol	150.000

Tabla 2.2. Luminancias de distintas fuentes típicas

- **Eficiencia luminosa (e)**: se define como la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente y la potencia absorbida por la misma. Se expresa en lúmenes/vatio.

Por otra parte, cabe destacar que las fuentes de luz, cumplen con un conjunto de leyes físicas. La simplificación de tratar una fuente de luz como un punto no supone desviación apreciable con respecto a la distancia desde la cual se observa ni de la aplicación de dichas leyes:

- **Ley de los cuadrados inversos**: en una superficie normal a la luz incidente, separada de una distancia (D) de la misma, la iluminancia (E) es directamente proporcional a la intensidad de la fuente de luz (I) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia:

$$E = \frac{I}{D^2}$$

- **Ley del coseno de incidencia:** La luz incide sobre una superficie normal. Considerando a la luz incidente, la densidad de luz que incide sobre la superficie normal a la superficie de incidencia, entonces, el área sobre la cual está dispersa la luz se considera una unidad cuadrada. Si la superficie se rota ahora un ángulo a con respecto a la normal, entonces se dispersa la misma cantidad de luz sobre un área que se ha incrementado con la relación 1/cos a, y por lo tanto, la densidad de luz (E) se reduce por la relación del cos a. Combinando estas dos leyes da la siguiente relación que relaciona la distancia medida respecto a la fuente de luz en cualquier punto de la superficie de referencia:

$$E_{horizontal} = \frac{I \cos a}{D^2}$$

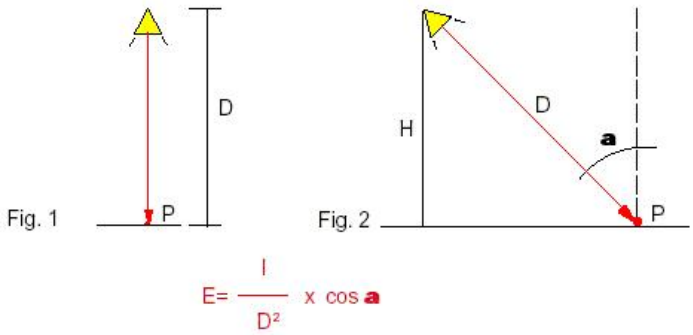


Fig. 2.4. Ley del coseno de incidencia

- **Curvas de distribución de intensidad:** Una función de una luminaria es proyectar la luz producida por fuente en un patrón particular. Como un ejemplo, una luminaria usando una lámpara incandescente, debe tener un reflector montado sobre un bulbo, de manera que se pueda transmitir tanta luz como sea posible hacia abajo a través del área de trabajo; sin embargo, el patrón del haz se puede concentrar, o bien puede tener un patrón de haz amplio. En la figura X.4 se presenta un ejemplo de patrón de distribución lumínica.

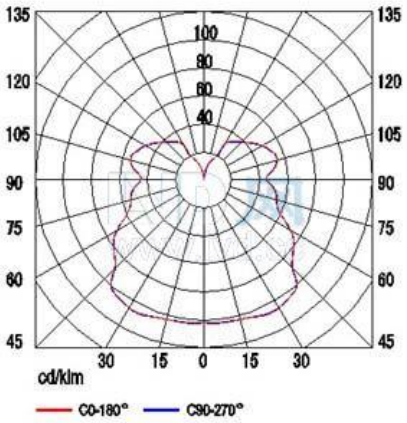


Fig. 2.5. Ejemplo de patrón

2.4.2 Fuentes luminosas. Aspectos generales.

Para que un objeto, entorno o escena iluminados artificialmente puedan verse y apreciarse de forma efectiva, la luz que reflejen y que será percibida por el ojo humano deberá proceder de un número y distribución suficientes de unidades de iluminación, de manera que permita un mejor desarrollo de todas las actividades y hacerlas menos cansadas. Para que una instalación de iluminación sea plenamente eficaz, debe cumplir entre otros, buen nivel de iluminación (cantidad de luz recibida por los objetos) respecto a unas condiciones como por ejemplo:

- Equilibrio en la luminancia, que se traduce como equilibrio en la cantidad de luz reflejada por los objetos en la dirección del observador.
- Determinación de las posibles causas de molestia por deslumbramiento directo o indirecto.
- Selección del color de luz emitida por las fuentes, compatible con los objetos a iluminar y las actividades a realizar.
- Estudio de las sombras generadas y su adecuación a la actividad a desarrollar.

Si se atiende a las tecnologías aplicadas en la producción de luz artificial, éstas pueden agruparse de forma general como sigue:

- **Radiación por elevación de temperatura**: la producida en las lámparas incandescentes, cada vez más en desuso.
- **Descarga eléctrica sobre un gas o sobre un metal en estado vapor**: producida en las lámparas de vapor de mercurio, vapor de sodio, o neón. A este grupo pertenecen las aplicaciones para alumbrado público.
- **Fluorescencia**: producida en ciertas sustancias por efecto de bombardeo electrónico.

En el momento de la selección del tipo de lámpara, será necesario tener en cuenta sus características:

- **Potencia nominal**: ya que condiciona el flujo luminoso y el dimensionado de la instalación desde el punto de vista eléctrico (sección de conductores, dispositivos de protección, etc.).

- **Eficiencia luminosa y degradación por envejecimiento**: serán importantes para determinar la vida de la lámpara, el período de reposición, así como los costes de funcionamiento y mantenimiento media y costo de la lámpara, que condicionarán la economía de operación de la instalación.

- **Índice de reproducción cromática (IRC)**: Dependiendo de las actividades a realizar, la fidelidad en la reproducción del color, deberá tenerse en cuenta.

- **Temperatura de color**: Condiciona la tonalidad de la luz. Una lámpara proporciona una luz caliente si prevalece el color rosa, y luz fría, si prevalece el color azul.

- **Espacio a iluminar**: El espacio y sus dimensiones condicionan al tipo y características de las fuentes luminosas, la direccional del haz luminoso, homogeneidad, formación de sombras, etc.

Dada la amplia variedad existente en el mercado de todo tipo de lámparas, en los apartados siguientes se tratará exclusivamente el tipo de descarga, dado que es el correspondiente al alumbrado público objeto del presente estudio.

2.4.3 Tipos de lámparas de descarga

Las fuentes luminosas de descarga sobre gas pertenecen a un grupo muy amplio, comprendiendo desde las fluorescentes tubulares, las de vapor de mercurio o sodio, así como los tubos usados con fines publicitarios. El nexo común a todas ellas es el paso de una corriente a través de un gas, aunque tanto el principio de funcionamiento, como el tipo de luz o el campo de aplicación, varía para cada tipo. Asimismo, presentan una problemática común; los dispositivos requeridos para su encendido y estabilización de la descarga, el bajo factor de potencia y el efecto de parpadeo o estroboscópico.

Una lámpara de descarga de alta intensidad produce luz de un tubo de arco, que contiene los electrodos, vapores metálicos y gaseosos, produciéndose un arco entre dichos electrodos. El tubo de arco se encuentra encerrado en un bulbo que contiene fosforo en una cubierta difusora que mejora el color emitido, incrementa la luminancia y reduce el brillo de la superficie. Las lámparas de descarga de alta intensidad incluyen a las de baja presión, vapor de mercurio, haluros metálicos y sodio de alta presión.

- **Lámparas de sodio de baja presión**: utilizan vapor de sodio a baja presión confinado en un tubo de arco en forma de U. Los electrodos están ubicados en el extremo del tubo, que se encuentra en el interior de un bulbo de vidrio que contiene una mezcla de neón, argón y sodio metálico. Durante el arranque se descarga un arco a través de la mezcla gaseosa. A medida que el sodio se calienta y vaporiza, se genera la coloración ámbar.

  La eficiencia de este tipo de lámparas es más alta que cualquier otro tipo, pudiendo llegar a eficiencias de hasta 200 lm/W (diez veces más que las incandescentes). Su color es muy cercano al amarillo y se encuentra en la gama de colores monocromáticos.

  Su principal aplicación es el alumbrado de áreas externas donde la reproducción cromática no es un aspecto relevante, ofreciendo una limitada dispersión en caso de niebla.

  Su encendido lento, necesitando unos diez minutos para alcanzar el 80% del flujo luminoso y cinco minutos más para el 100%. El reencendido es rápido. Para lámparas de potencia entre 18 y 180 W, se necesita un transformador elevador de flujo disperso y un condensador para corregir el factor de potencia. Tienen una vida útil de aproximadamente 6.000 horas. En el anexo K se presentan más detalles sobre este tipo de lámparas.

- **Lámparas de vapor de mercurio:** En este caso, se produce luz por medio de una descarga eléctrica a través del vapor de mercurio. También constan de una recubrimiento de fosforo en el interior para mejorar su característica de color, así como un electrodo de arranque y dos electrodos principales. En el encendido se genera un campo eléctrico entre el electrodo de arranque y los electrodos principales. Cuando se aplica potencia por primera vez, el campo eléctrico produce un flujo de corriente y una descarga del arco; la corriente fluye entre los dos electrodos principales en la medida que el calor vaporiza el mercurio. Se utilizan para alumbrado general. En el anexo K se presentan más detalles sobre este tipo de lámparas.

- **Lámparas de halogenuros metálicos**: Este tipo de lámparas de descarga de alta intensidad, producen luz por descarga eléctrica a través del vapor de mercurio y el haluro metálico, en el tubo de arco. Un haluro es un elemento (sodio o escandio ionizado) que se agrega al mercurio en pequeñas cantidades para mejorar la salida de la luz de la lámpara. Son más eficientes que las lámparas de vapor de mercurio, no producen tanta distorsión del color, aunque su desventaja es que tienen una vida más corta que los demás tipos de lámparas de descarga. En el anexo K se presentan más detalles sobre este tipo de lámparas.

- **Lámparas de vapor de mercurio de alta eficiencia luminosa**: Con eficiencias entre los 70 y los 140 lm/W – teniendo ya en cuenta las pérdidas en el alimentador – existen en el mercado lámparas de yoduro metálico y de vapor de sodio de alta presión. Se utilizan cuando se requiere un alto nivel de iluminación. Tienen un bulbo tubular claro o transparente.

- **Lámparas de sodio de alta presión**: Generan luz cuando la corriente circula por el vapor de sodio a alta presión y alta temperatura. Son más eficientes que las lámparas de vapor de mercurio o las de haluros metálicos. La coloración es del tipo “blanco dorado” con tendencia al amarillo fuerte. Su encendido es algo más especial que el del arrancador normal de las lámparas de vapor de mercurio o fluorescentes, algunas lámparas de bulbo elipsoidal, se construyen con el arrancador incorporado, permitiendo la fácil sustitución de las lámparas de vapor de mercurio con las mismas características usando el mismo alimentador. El tiempo de encendido es similar al de las lámparas de vapor de mercurio aunque pueden operar hasta los 40ºC bajo cero. El reencendido es más rápido, requiriendo de uno a dos minutos según la potencia. El coste es más elevado a igualdad de características pero su vida media es mayor y pueden soportar un número superior de encendidos que las de vapor de mercurio. En el anexo K se presentan más detalles sobre este tipo de lámparas.

2.4.4 Características de operación de las lámparas de descarga

En general, las lámparas de descarga necesitan de varios minutos para calentarse antes de que se alcance su régimen de funcionamiento máximo, cualquier interrupción en la alimentación de potencia puede extinguir el arco, debiéndose dejar enfriar para un nuevo encendido. Estas lámparas están disponibles en las formas de bulbo elipsoidal, bulbo tubular de vidrio claro y bulbo tubular de cuarzo con dos patas de conexión.

2.4.5 Requerimientos de una instalación de alumbrado satisfactoria

Una instalación de alumbrado debe cumplir con los requisitos siguientes:

- Proporcionar una iluminación suficiente y constante sobre todas las superficies principales, sin importar la inclinación de los planos respecto a la horizontal.

- Proporcionar niveles de iluminación comparables en áreas adyacentes y sobre las paredes del entorno.
- Ofrecer un color y carácter del espectro adecuado al propósito para el cual está destinado el entorno y las actividades iluminadas.
- No generar deslumbramientos ni reflexiones.
- No debe provocar sombras que sean objetables o contrastes de intensidad.
- Proporcionar alumbrado circundante en las áreas alumbradas o no alumbradas.
- Estar fundamentado en un sistema simple, fiable, de fácil mantenimiento y cuyos costes de instalación, operación y mantenimiento sean apropiados.

2.5 Luminarias

Las luminarias sirven para dirigir, filtrar o transformar la luz emitida por la lámpara, comprenden todos los elementos para fijar y proteger mecánicamente las mismas y para recibir el circuito de alimentación. Las luminarias pueden clasificarse de acuerdo a las siguientes propiedades:

- **Alcance**: extensión de luz de la luminaria a lo largo de camino o calle. Está definido por un ángulo Imáx formado por el eje del haz con respecto a la vertical. Existen tres grados de alcance:
  - $I_{máx} < 60º$; *alcance corto*
  - $60º < I_{máx} < 70º$; *alcance intermedio*
  - $I_{máx} > 70º$; *alcance largo*
- **Apertura**: cantidad de diseminación de luz a lo ancho de la vía.
- **Control**: modo en que la instalación controla el deslumbramiento de la luminaria.

Simultáneamente, formando parte de las luminarias, se encuentran elementos de montaje, que deben cumplir con prestaciones mecánicas como la carga del viento, hielo o nieve. Deben resistir la acción corrosiva de los agentes atmosféricos y que sean poco pesados para su transporte, instalación y sustitución, deben satisfacer también aspectos estéticos. Pueden tener distintas formas y se construyen de acero, cemento armado, aluminio o material plástico de coste más elevado.

Otro aspecto a considerar es la disposición de las luminarias y, más concretamente, respecto a su ubicación en la vía a iluminar, pudiendo ser:

- **Unilateral con postes**: Solución que se adapta a calles que no son muy anchas, concilia requerimientos de iluminación con económicos, trata muy bien la solución de altura de la luminaria con la anchura de la calle. Especial cuidado en las curvas de las calles.
- **Bilateral con postes con centros alternados**: Mejora la visibilidad que la anterior pero de costo mayor también, dado que requiere de doble línea de alimentación. Requiere una adecuada correlación entre altura del poste y anchura de la calle que eviten condiciones desfavorables de luz sobre la calle.
- **Bilateral con postes con centros opuestos**: Esta solución es preferible pero también más costosa. Se recomienda para calles anchas y largas con dos sentidos de circulación de tráfico.

- **Dobles al centro**: Solo para calles con camellón central. Tienen un buen aspecto estético, una sola línea y es más económico que la disposición bilateral.

- **En calles angostas y aéreas residenciales**: Para zonas con árboles, jardines que requieren de exigencia estética. Requiere desfoliar con frecuencia los arboles para no impedir el paso de la luz.

- **Iluminación en grupo**: Se usa en glorietas, plazas, cruces con glorieta y se montan en torres de 20-40 metros baterías de luminarias. Las torres facilitan el mantenimiento.

- **Iluminación en curvas y cruces**: Se disponen las luminarias sobre el lado externo de la curva. Se localizan luminarias sobre la prolongación del eje de la línea de circulación de los vehículos.

Otro elemento importante en una iluminaria es el **reflector**. Los reflectores se acostumbran a fabricar en aluminio anodizado con vidrio metalizado o lamina esmaltada. Sirven para modificar el haz de luz y éste puede ser paralelo (reflectores parabólicos) o concéntricos. El rendimiento de los reflectores es la relación entre el flujo luminoso que llega a la luminaria y el que emite la lámpara, puede variar entre 70-80%. Este rendimiento depende de los materiales con los cuales se construyen las luminarias, particularmente las características de reflexión, depende de la forma que tengan y de la forma para montar y proteger la fuente luminosa, también hay cierta influencia por las condiciones de la instalación.

Otro de los factores que condicionan de forma notable, es el estado de **conservación de las luminarias** respecto a su estado inicial, la falta de mantenimiento como la limpieza hace caer sensiblemente el nivel de iluminación.

Asimismo, los **difusores** se construyen de vidrio o material plástico opalino que reduce su rendimiento, sirven para atenuar el efecto deslumbramiento de las fuentes luminosas y pueden ser de vidrio opalino o esmerilado o de plástico. Su rendimiento es de entre 50-80%. Se usan para lámparas de potencia entre 40-200 W. Se consigue con ellos sistemas de iluminación semi-indirecta, difusa o semi-difusa. Se usan sobre todo para alumbrado decorativo donde se busca cierta exigencia estética. El flujo luminoso se distribuye de manera uniforme. Los refractores son en forma de copa, globo o media pera, se construyen de vidrio o plásticos prismatizados para dirigir la luz de manera establecida.

2.6 Tipos de iluminación

Atendiendo a la distribución del flujo luminoso, la iluminación suministrada por una fuente luminosa puede ser:

- **Directa**: en la que el flujo luminoso se dirige hacia abajo entre un 90% y un 100%. Las luminancias tienen un elevado rendimiento.

- **Semidirecta**: el flujo luminoso se dirige mayoritariamente hacia abajo, entre un 60% y un 90% y el resto hacia arriba, entre un 10% y un 40%.

- **Mixta**: El flujo luminoso está distribuido de manera uniforme hacia abajo y hacia arriba, entre un 40% y un 50% en ambas direcciones.

- **Semiindirecta**. El flujo luminoso es preponderante hacia arriba, entre un 60% y un 90%.

- **Indirecta**. El rendimiento es bajo y la visión poco nítida por la falta de efecto de sombra, se ilumina hacia arriba entre un 90% y un 100%.

En la figura 2.6 se presentan de forma gráfica los citados tipos de iluminación.

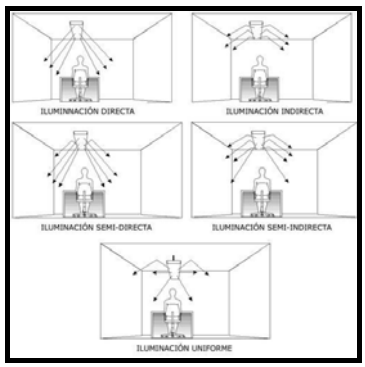


Fig. 2.6. Tipos de iluminación según la dirección

2.7 Dispositivos auxiliares

Las lámparas de alta densidad de descarga requieren de balastos para limitar la corriente en las mismas para el correcto nivel de operación, y así proporcionar el nivel de voltaje de arranque apropiado para iniciar y mantener el arco. Cada balasto está diseñado para una lámpara específica, tamaño de bulbo, rango de voltaje y frecuencia de la línea de alimentación. Las lámparas diferentes no son intercambiables debido a que la potencia es controlada por el balasto y no por la lámpara. Los tamaños de las lámparas no se pueden intercambiar sin cambiar de balasto.

2.7.1 Balastos para lámparas de sodio de baja presión

Este tipo de lámpara no posee electrodo de arranque, por tanto el balasto debe proporcionar un voltaje de circuito abierto de aproximadamente tres a siete veces el voltaje nominal de la lámpara para sostener el arco.

2.7.2 Balastos para lámparas de vapor de mercurio

Este tipo de balastos pueden ser una bobina, un autotransformador de alta reactancia, un autotransformador de potencia constante o un balasto de dos devanados y potencia constante. El tipo se escoge en función del aspecto económico.

2.7.3 Balasto tipo reactor o bobina

Este balasto conecta la bobina en serie con la línea de alimentación a la lámpara. Se usa cuando el voltaje de suministro satisface los requerimientos del voltaje de arranque de la lámpara, se puede agregar un condensador para mejorar el factor de potencia. Se recomienda su uso cuando la regulación de voltaje de línea es buena, debido a que un 5% de cambio de voltaje de línea produce un cambio del 10% de potencia en la lámpara.

2.7.4 Balasto tipo autotransformador de alta reactancia

Se compone de dos bobinas (primaria y secundaria) para regular tanto el voltaje como la corriente, se utiliza cuando el voltaje de alimentación no satisface los requerimientos de la lámpara.

2.7.5 Balasto tipo autotransformador de potencia constante

Es igual que el balasto tipo autotransformador de alta reactancia incorporándose en él un condensador. Es el más habitual en el mercado

2.7.6 Balasto de dos devanados de potencia constante

Usa un transformador que proporciona aislamiento entre los circuitos primario y secundario como los anteriores, pero tiene una excelente regulación de potencia delante de los cambios de tensión en línea (un 13% de variación, solo afecta un 2-3% potencia en la lámpara).

2.7.7 Balasto para lámparas de halogenuros metálicos

Es igual que el balasto de potencia constante visto anteriormente pero modificado para proporcionar un voltaje de arranque rápido.

2.7.8 Balasto para lámparas de sodio de alta presión

Estos balastos deben entregar un pulso de voltaje alto cada ciclo del orden de 2.500V a 6.000V., este voltaje lo proporciona el arrancador. Estos balastos son similares al de las lámparas de vapor de mercurio excepto el arrancador, que aquellas no lo necesitan. Al igual que anterior, cuando la tensión de línea satisface la tensión de la lámpara se usa una bobina, en caso contrario, se debe usar transformador o autotransformador.

2.8 Selección de la lámpara de descarga

Se debe considerar primero el uso de lámparas de sodio de baja presión, debido a que son más eficientes, son recomendables para instalaciones de alumbrado exterior y el color amarillo-naranja es aceptable para calles, avenidas, vías rápidas, estacionamientos, etc. El tiempo largo de arranque no representa un problema debido a que las lámparas se energizan por medio de una celda fotoeléctrica. Estas celdas tienen un switch que se ajusta a varios niveles. Las lámparas de haluros metálicos son idóneas cuando la tonalidad de las lámparas de sodio de baja presión no es aceptable para alguna aplicación como áreas deportivas o estacionamientos y vías de alta velocidad. Las lámparas de vapor de mercurio de aplicación genérica, cuando el costo inicial supone un gran problema y el color de la luz importa. Las lámparas de vapor de sodio de alta presión tienen una aplicación genérica también aunque el costo por lámpara es mayor.

2.9 Curvas fotométricas

Las lámparas están caracterizadas por una distribución particular del flujo luminoso. Las luminarias, se caracterizan por un diagrama polar de intensidad luminosa llamada también curva fotométrica. Por simplicidad, estas curvas se limitan solo a dos dimensiones y representan de manera clarificadora el tipo de flujo luminoso de la luminaria en cuestión.

Las lámparas están caracterizadas por una distribución particular del flujo luminoso. Las luminarias, se caracterizan por un diagrama polar de intensidad luminosa llamada también curva fotométrica. Por simplicidad, estas curvas se limitan solo a dos dimensiones y representan de manera clarificadora el tipo de flujo luminoso de la luminaria en cuestión.

2.10 Deslumbramientos

El deslumbramiento es una situación de desfavorable que puede degenerar en una reducción de visibilidad o bien un pérdida temporal de la misma. Se manifiesta como una pérdida de confort por la

reducción de la capacidad visual. Constituye al final un problema de "contaminación visual". La medición de efecto del deslumbramiento se hace con un método que se conoce como sistema de probabilidad de confort visual. En los cálculos de iluminación se incorpora el concepto de direccionalidad de la luz, que es una función de la correcta selección de las luminarias y su localización en el espacio visual. Una forma de obtener la iluminación deseada, es que el área donde se desea un nivel de iluminación sea iluminada por las luminarias que quedan fuera del volumen de iluminación que estamos midiendo.

2.11 Contaminación lumínica

El flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidad, dirección y/o rango espectral donde no es necesario para la zona prevista a iluminar produce brillo o resplandor de luz en el cielo nocturno por la reflexión y difusión de este flujo en los gases y en las partículas del aire por el uso de luminarias inadecuadas y/o excesos de iluminación. El mal apantallamiento de la iluminación de exteriores envía la luz de forma directa hacia el cielo en vez de ser utilizada para iluminar el suelo. Es especialmente relevante en el alumbrado público de las calles y vías. La contaminación lumínica puede ser de distintos tipos:

- **Por luz intrusa**: Cuando una instalación de alumbrado emite luz en direcciones que exceden el área donde es necesaria, invade zonas colindantes. Este es un fenómeno muy típico de las zonas urbanas, donde es común la intrusión lumínica dentro de viviendas privadas, modifica el entorno doméstico y provoca trastornos en las actividades humanas.

- **Por difusión hacia el firmamento**: Se debe a la difusión de la luz hacia el cielo. Esta es una forma de contaminación lumínica especialmente evidente en noches cubiertas en las que las nubes resplandecen con intensidad por encima de las zonas urbanas.

- **Por sobreconsumo**: La emisión artificial de luz implica un consumo energético excesivo debido a la intensidad, el horario de funcionamiento y/o su distribución espectral.

2.12 Alumbrado publico

El alumbrado de espacios públicos trata sobre los sistemas de iluminación que tiene como objetivo principal el proporcionar las condiciones mínimas de iluminación para el transito seguro de peatones y vehículos en vialidades y espacios, en cumplimiento con la normativa aplicable. Entre los aspectos que debe cubrir está el hecho de evitar los deslumbramientos, considerar la reflexión del tipo de pavimento, ofrecer uniformidad en la iluminación, facilitar el mantenimiento, satisfacer condiciones de estética y dar un grado de confiabilidad.

Los sistemas de alumbrado público son los que se sitúan en todo tipo de viales como carreteras, autopistas, vías rápidas, carriles bici, estacionamientos públicos, fachadas de edificios, monumentos, fuentes, parques y jardines, aceras y plazas.

Atendiendo al uso, el alumbrado público puede clasificarse de la manera siguiente:

- **Iluminación decorativa**: donde se tienen en cuenta los efectos del color, sombras, contrastes, ángulos de proyección, reflectancia de la superficie y brillos del entorno circundante.

- **Iluminación deportiva**: con una mayor exigencia en iluminación vertical, deben evitarse las sombras y los deslumbramientos a los usuarios.

- **Iluminación de seguridad**: en la que se tiene en cuenta los prolongados horarios de encendido, los deslumbramientos y las posibles condiciones atmosféricas exteriores.

2.13 Cálculo de la iluminación

En primer lugar deberá establecerse el nivel de iluminación idóneo, atendiendo a las necesidades de las actividades y personas que vayan a utilizarlo, así como a la reglamentación aplicable de todo tipo, estatal, autonómica y local. Para ello, se utilizarán las tablas establecidas en dicha normativa, según la particularidad del proyecto.

No sólo deberá tenerse en cuenta el nivel mínimo, sino también evitar la fatiga de las personas que estarán sometidas a la luz artificial. Para calcular la altura de los postes o columnas se usan nomogramas. La idea es evitar el deslumbramiento directo. Con alturas excesivas el costo de los postes para el montaje de las luminarias es mayor, pero con postes bajos, aumentan el número de postes y de luminarias. Cuando existen construcciones altas dentro del área a iluminar, se pueden emplear alturas de montaje menores para evitar sombreado sobre el área.

3 ANÁLISIS DE ALUMBRADO PÚBLICO

Para efectuar el análisis de la eficiencia energética se consideran los siguientes aspectos teniendo en cuenta que el alumbrado público tiene una doble finalidad, la de iluminar las zonas públicas y la de seguridad.

- Análisis funcional
- Inventario
- Análisis energético
- Mantenimiento y gestión.

3.1 Análisis funcional

3.1.1 Introducción

Tal y como se ha descrito anteriormente Canfranc es un municipio de la provincia de Huesca que se encuentra dividido en dos centros urbanos separados entre sí por 4 kms (según marca www.googlemaps.com) y conocidos como Canfranc Pueblo y Canfranc Estación.

A pesar de ser un municipio con un censo de 670 habitantes, cabe destacar que se trata de una zona de un alto componente turístico, tanto en verano por la zona paisajística de montaña como en invierno por la proximidad de las pistas de esquí de Candanchú y Astún, que hace incrementar las personas que residen en la zona haciendo que en realidad hayan muchas más personas que las censadas, sobretodo en periodos vacacionales.

Canfranc Estación dispone de una distribución alargada siguiendo la calle principal. Indicar también que sobre la base inicial de la distribución del pueblo se creó una nueva calle que dispondría de todos los servicios necesarios y que también permitiría un mejor acceso a la zona de las piscinas.

3.1.2 Tipos de vías según alumbrado

La identificación y clasificación de las vías es el primer paso para la realización del análisis del alumbrado ya que será lo que nos indique las necesidades del mismo dependiendo de la funcionalidad de la misma.

A continuación se enumeran, describen y definen los requisitos necesarios para la mayoría de las calles y plazas la consideración de la clase de alumbrado[1], teniendo en cuenta que la mayoría de las vías corresponden a niveles S3 / S4 que marcan una iluminancia media de 7,5 / 5 lux y una iluminancia media de 1,5 / 1 lux respectivamente. Mientras que para la vía principal que comprende la Avenida de Fernando el Católico, Plaza Europa y Avenida de los Arañones corresponde a niveles S3 que marcan una iluminancia media de 7,5 lux y una iluminancia media de 1,5 lux respectivamente.

Con lo que se obtiene la siguiente clasificación de las vías objeto de análisis, tanto de Canfranc Pueblo como de Canfranc Estación:

[1] Ver anexo B referente al protocolo para auditoría energética de las instalaciones de alumbrado público exterior de IDAE .

- Canfranc Pueblo: de las tres calles tienen la misma consideración respecto al tipo de vía de baja velocidad (con un tráfico rodado de: 5km/h < v < 30km/h), con ello se define la clase de alumbrado asociada a cada vía según la siguiente tabla:

	Tipo de vía	Clase de alumbrado
Calle Albareda	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Calle de Blasco	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Calle de la Fuente	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4

Tabla 3.1. Tipología y clase de alumbrado de las vías de Canfranc Pueblo

  - Cabe considerar que para la calle de la Fuente, a pesar de que en la actualidad no hay alumbrado público, está en proyecto la ubicación de cinco puntos de iluminación.

- Canfranc Estación: de entre todas las calles y plazas podemos contemplar dos tipologías, una asociada a la calle principal (que resulta ser la travesía de la población) y el resto que tienen la misma consideración respecto al tipo de vía de baja velocidad (con un tráfico rodado de: 5km/h < v < 30km/h)

	Tipo de vía	Clase de alumbrado
Paseo Fernando el Católico	Travesía de población tipo A3 para vehículos y parte de vía de baja velocidad tipo C1 para peatones	MEW4a / MEW4b S3
Calle de los arañones	Travesía de población tipo A3 para vehículos y parte de vía de baja velocidad tipo C1 para peatones	MEW4a / MEW4b S3
Calle Valle de Aspe	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Calle Jacetania	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Plaza Europa	Travesía de población tipo A3 para vehículos y parte de vía de baja velocidad tipo C1 para peatones	MEW4a / MEW4b S3
Calle Cortes de Aragón	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Calle Justicia Mayor de Aragón	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Plaza del Pilar	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Plaza de las Escuelas	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Plaza de Forestales	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Calle de Sabiñánigo	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Calle Huesca	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Plaza de Aragón	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Plaza de Felipe V	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4
Calle de Felipe V	Vía de baja velocidad tipo D4	S3 / S4

Tabla 3.2. Tipología y clase de alumbrado de las vías de Canfranc Estación

Dado que se trata de una travesía que cruza la población, para la Avenida de Fernando el Católico, Plaza Europa y Avenida de los Arañones, y dada la casuística del emplazamiento (que incluyen fuertes nevadas en época de invierno) el pavimento está mojado más de 120 días, es por ello que se debe considerar la tabla 7 de referencia correspondiente a alumbrado para viales húmedos. Es por ello que para efectuar el análisis en profundidad de las necesidades de iluminación es conveniente disponer de medidas bajo condiciones de seco y de húmedo de la calzada de la mencionada travesía por lo menos, pudiendo extender dicho estudio al resto de vías.

3.1.3 Funcionamiento del alumbrado

El funcionamiento actual del alumbrado público para todas las zonas se rige por dos franjas horarias de funcionamiento definidas sin hacer distinción entre días del año ni entre si se trata de un día laborable o festivo, y que están asociadas a dos niveles de potencia:

- Carga máxima: en el horario comprendido entre las 17:15h y las 24h, en caso que la fotocélula detecte que el nivel lumínico no sea suficiente y requiera encender la iluminación, está se encenderá a su máxima potencia posible.
- Carga reducida: fuera de este horario y en caso de que se detecte una necesidad de iluminación por parte de la fotocélula, la iluminación funcionará en un régimen de potencia reducida.

Un aspecto importante a considerar es que el funcionamiento de los circuitos del cuadro C1 correspondiente a la zona de la Avenida de Fernando el Católico, como consecuencia de las quejas recibidas por el ayuntamiento por el "exceso de luz", se procedió a reducir todo el funcionamiento a la carga reducida, con lo que no se está utilizando la solución de doble nivel de potencia implementada en toda la instalación como solución de ahorro.

Tal y como se ha mencionado con anterioridad, la detección del nivel de luminosidad se efectúa mediante una fotocélula de detección asociada a cada zona, que será la responsable de dar la orden para el encendido cuando el valor detectado de luminosidad esté por debajo del valor definido como mínimo.

Cabe destacar que todas las zonas funcionan de la misma forma, salvo la de Valle de Aspe, que tiene las siguientes especialidades:

- El control del encendido se efectúa mediante un reloj astronómico (marca Orbis)
- Existe una variación del funcionamiento habitual para la una de las áreas de zona de Valle de Aspe, y es que a partir de las 23h deja de funcionar el circuito de iluminación asociado que lleva hasta las piscinas, puesto que se trata de un acceso que exclusivamente se utiliza para acceder a las mismas y que a esa hora se encuentra cerradas.

3.2 Inventario

Dado que no se disponía de un inventario actualizado con todos los elementos disponibles en la instalación este ha sido el primero de los pasos a efectuar para el desarrollo de las valoraciones energéticas y posibles propuestas de mejora.

La realización del presente inventario se ha efectuado a lo largo de las tres visitas de campo correspondientes a los días:

- 22 y 23 de Octubre de 2009
- 18 y 19 de Noviembre de 2009
- 28 de Noviembre de 2009

Para efectuar el inventario de los elementos se ha identificado la situación de cada uno de los elementos que componen la instalación agrupándolos bajo los siguientes conceptos:

- Líneas de distribución y acometida.
- Cuadros eléctricos de mando y control.
- Puntos de luz.

La ubicación sobre plano de los diferentes elementos (puntos de control y cuadros) los podemos observar en el Anexo A correspondiente a los planos de distribución siguiendo la codificación (definida también en el mismo Anexo A) con objeto de permitir una rápida y sencilla identificación de los elementos.

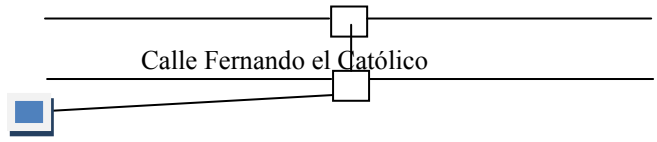
3.2.1 Líneas de distribución y acometida

La estructura del alumbrado público del municipio se distribuye en cuatro zonas: tres asociadas a Canfranc Estación y otra a Canfranc Pueblo.

Cada una de estas zonas dispone de una acometida diferente con su cuadro correspondiente y que son facturadas por parte de la compañía suministradora de energía de forma separada.

A continuación se describen cada una de las cuatro zonas:

- Zona Fernando el Católico: comprende desde el ayuntamiento hasta el final del pueblo (parte norte) y dispone únicamente de una línea trifásica para suministrar electricidad a todos los puntos de luz mediante la distribución a través de dos subcuadros de distribución de cableado tal y como se muestra en el siguiente esquema de distribución.



Esquema 3.1: Distribución de la zona de Fernando el Católico

- Zona Valle de Aspe: se trata de una nueva calle que da acceso a las piscinas. En este caso se disponen de dos líneas trifásicas diferentes que permiten dar el servicio funcional diferenciado entre dos áreas, una correspondiente a la parte de la calle más próxima al pueblo (L1a y L1b) y la otra que da acceso a la zona de piscinas (L2).

Esquema 3.2: Distribución de la zona Valle de Aspe

- Zona Plaza Europa: comprende desde el inicio del pueblo hasta el ayuntamiento (parte sur). También dispone de dos líneas trifásicas diferenciadas dando servicio cada una de las zonas que queda definida a cada lado de la calle principal (zona este y zona oeste).
- Canfranc Pueblo: dispone de una única línea trifásica para dar servicio a todas las luminarias.

A nivel general la distribución de potencia a través de cada línea trifásica se efectúa mediante la asociación de la alimentación de cada una de ellas balanceando entre las tres fases, es decir, cada 3 farolas se pincha en la misma fase (la primera de la línea a la F1, la segunda a F2, la tercera a F3, la cuarta a F1 y así sucesivamente).

La sección de cable es de 4 cables (3 fases + 1 neutro) de 6mm^2 para los cables de tensión, disponiendo de forma distribuida por la instalación de tomas de tierra de la misma sección para la protección de posibles fugas. Haciendo distinción de color entre los cables de las distintas fases (color marrón) y el neutro (azul).

3.2.2 Cuadros eléctricos

Se disponen de cuatro cuadros eléctricos y de control asociados a cada una de las zonas indicadas con anterioridad, con los elementos necesarios para cumplir con el funcionamiento deseado.

Tal y como se ha descrito con anterioridad, se definen las cuatro zonas de iluminación, cada una de ellas tiene asociada a un cuadro de control[2], que referenciaremos de la siguiente forma:

- C1 → Cuadro correspondiente al alumbrado Fernando el Católico
- C2 → Cuadro correspondiente al alumbrado Valle de Aspe
- C3 → Cuadro correspondiente al alumbrado Plaza Europa
- C4 → Cuadro correspondiente al alumbrado Canfranc Pueblo

Imagen 3.1: Cuadro C1

Imagen 3.2: Cuadro C2

Cabe destacar, a nivel de estudio de la estructura de los cuadros, que los cuadros C1 y C3 son muy similares entre sí, así como también lo es, pero más sencillo, C4.

A nivel general todos los cuadros disponen de toma a tierra con pica de descarga clavada en la tierra, dado que se trata de una zona montañosa con alto grado de incidencia de descargas.

La sección del cableado es:

- 4x6mm^2 para los cables de tensión, incluyendo la tierra (4 → 3 fases + 1 neutro)
- 2x2,5mm^2 para los de mando (2 → fase + neutro) correspondientes a la funcionalidad de doble nivel de potencia que se hay instalado como sistema de ahorro energético.

3.2.2.1 Funcionamiento de cuadros

El funcionamiento genérico de los cuadros de mando y control C1 y C3 se componen de una acometida de compañía y de un maxímetro, desde la misma se dispone de un elemento para la compensación de reactiva en cada caso.

[2] Ver ubicación de los cuadros en planos de Anexo A

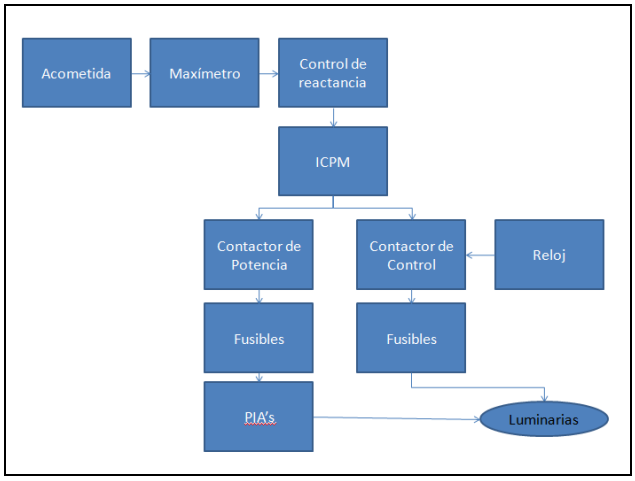
El funcionamiento horario viene regido por un reloj que permite controlar el encendido y apagado automático de la iluminación, así como también controlar la función de control de doble potencia a través del contactor disponible para cada una de las líneas.

El interruptor manual para cada una de las líneas (uno en el caso de C1 y dos para C2) permite el forzado manual del encendido de la instalación en caso necesario (avería de la fotocélula o de algún otro elemento del sistema de control), actuando sobre la instalación dando la potencia máxima requerida por los diferentes puntos de luz del sistema.

La parte de protección asociada se compone de fusibles para cada una de las líneas de acometida, para el cableado de control y para las diferentes fases, así como un ICPM para el acceso desde la acometida y de PIAs para las fases.

El cuadro C2 y C4 se diferencian de los dos anteriores en que no disponen ni de corrector de reactiva ni de maxímetro en el caso de C2 (pero sí el de C4), dado que se tratan de acometidas de menores potencias contratadas. Así mismo el cuadro C2 dispone de un reloj astronómico para el control horario de las funcionalidades descritas con anterioridad.

A continuación se describe un esquema con bloques funcionales del funcionamiento general de los cuadros descritos con anterioridad:



Esquema 3.3. Bloques funcionales general

Para más detalle de la composición de los elementos de los diferentes cuadros ver anexo C.

Visualmente se puede apreciar (ver anexo C) la necesidad de ordenar los elementos de los cuadros, a modo de ejemplo de incidencia mayor indicamos lo que pasó en el cuadro C1, en el que saltaba constantemente las tres fases que estaban asociadas a la misma PIA tetrapolar como consecuencia de una avería en una de las luminarias, la solución que se efectuó fue la de proceder a instalar una PIA independiente para cada una de las fases.

3.2.2.2 Mediciones

Para la medición de tensión e intensidad con objeto de obtener la potencia en cada circuito de los cuadros del municipio se ha utilizado una pinza de medición Kew Snap series modelo 2.006 de la empresa Kyoritsu Electrical Instruments (ver anexo D.1).

Las mediciones efectuadas en cada uno de los cuadros para obtener la tensión y la intensidad de cada una de las líneas con objeto de poder evaluar la potencia consumida para cada uno de los cuadros:

	FASE 1		FASE 2		FASE 3		
	V1	I1	V2	I2	V3	I3	Potencia
Cuadro 1	223 V	21,5 A	223 V	33,5 A	223 V	27,6 A	18.420 W
Cuadro 2 (*)							
- Línea 1	230 V	2,6 A	230 V	2,6 A	230 V	2,6 A	1.794 W
- Línea 2	230 V	2,5 A	230 V	2,5 A	230 V	2,5 A	1.725 W
Cuadro 3							
- Línea 1	231 V	12,4 A	231 V	10,5 A	231 V	12,8 A	8.247 W
- Línea 2	231 V	12,7 A	231 V	17 A	231 V	25,6 A	12.774 W
Cuadro 4	235 V	13 A	235 V	9,2 A	235 V	8,3 A	7.168 W

Tabla 3.3: Mediciones de tensión e intensidad realizadas y Potencia instalada

(*) Respecto a las mediciones del cuadro C2 no se pudieron efectuar por dificultad de acceso a las mismas. Dado que se trata de una zona de reciente constitución y baja potencia contratada se han estimado los valores en función de los valores obtenidos de las facturas y del resto de los circuitos considerando dicho valores de las facturas como correctos.

En los días diferentes de medición el alumbrado inició su funcionamiento a las 17:30h cesando el mismo a las 8:00h, lo cual nos indica un total de 14,5h de funcionamiento medio diario entre los meses de octubre y noviembre, en los que se efectuaron las visitas de campo. Dicha distribución se compone de la siguiente clasificación:

- Cuadro 1: 14,5h de funcionamiento en régimen de potencia reducida.
- Cuadro 2, 3 y 4: de las 14,5h de funcionamiento, 6,5h han sido en régimen de potencia máxima, mientras que las restantes 8h han sido en régimen de potencia reducida.

Visualmente se puede apreciar (ver anexo C) la necesidad de ordenar los elementos de los cuadros, a modo de ejemplo de incidencia mayor indicamos lo que pasó en el cuadro C1, en el que saltaba constantemente las tres fases que estaban asociadas a la misma PIA tetrapolar como consecuencia de una avería en una de las luminarias, la solución que se efectuó fue la de proceder a instalar una PIA independiente para cada una de las fases.

Es por ello que el balanceo de las cargas asociadas a cada una de las fases no es demasiado correcto, principalmente en los circuitos de los cuadros C1 y C3, es por ello que recomendaríamos poder efectuar revisión y redistribución de las mismas efectuando un correcto balanceo de cargas a cada una de las fases. Mención especial la medida obtenida en régimen estable del cuadro C3 (últimas columnas de la medida) la F3 ya que está consumiendo el doble que las otras. Este aspecto queda corroborado con el técnico del Ayuntamiento quien indicó que se encontraron en el pasado con situaciones anómalas, viéndose obligado a distribuir dos focos que instaló en una línea a las otras dos ya que “saltaba constantemente”.

3.2.3 Puntos de Luz

Los puntos de luz se componen principalmente de: luminaria, lámpara y equipos auxiliares.

3.2.3.1 Luminarias

La luminaria es el conjunto óptico cuya principal misión es distribuir el flujo lumínico generado por la lámpara para conseguir un reparto de iluminación adecuado a las necesidades del proyecto y controlar las posibles molestias al usuario.

Todas las luminarias de ambos centros urbanos son del mismo tipo, salvo algún punto de iluminación para fachadas, pero la gran mayoría de luminarias tienen la misma forma, utilizando para ello dos tipos de soportes: columnas y soportes de pared. Desde el punto de vista luminotécnico, las características más relevantes del soporte son sus dimensiones, altura y saliente. Pero también cabe destacar:

- La componente estética del conjunto es de muy alta importancia.
- Las alturas de todas las luminarias está comprendida entre 3,10m y 4m en la mayoría de puntos, existiendo algunas excepciones como consecuencia de irregularidades del terreno o casuísticas puntuales en las que se pueden alcanzar los 6m.
- Todos los elementos están hechos de materiales resistentes a las acciones de la intemperie, no permitirán la entrada de agua de lluvia ni la acumulación de agua de condensación.
- Resistencia a la corrosión para garantizar su durabilidad.
- Disponen de espacio y accesibilidad para la instalación y mantenimiento del aparellaje interior.

Es por ello que se puede concluir que, tanto en Canfranc Estación como en Canfranc pueblo, se disponen de dos modelos estéticos de luminarias: una de pared y otra de pié tal y como se muestran en las siguientes imágenes.

Imagen 3.3: Luminaria de pié

Imagen 3.4: Luminaria de pared

En total se disponen de 44 luminarias en Canfranc pueblo 23 de tipo pared en la calle principal, 20 de tipo pié en la calle de la carretera y una provisional en la calle del río, mientras que en Canfranc estación se dispone de un total de 229 luminarias para un total de 242 lámparas en Canfranc Estación (tal y como podemos ver en los mapas del anexo A).

Dado que Canfranc Estación dispone de 3 cuadros, y que en varias de las luminarias se componen de una doble lámpara, es decir, dos lámparas por luminaria, la distribución de luminarias para cada uno de los cuadros es la siguiente:

	Luminarias simples	Luminarias dobles
Cuadro C1	65	10 (→ 20 lámparas)
Cuadro C2	26	-
Cuadro C3	125	3 (→ 6 lámparas)

Tabla 3.4: distribución de luminarias en Canfranc Estación

3.2.3.2 Lámparas

Tal y como se ha descrito con anterioridad el reparto de iluminarias se efectúa asociando la alimentación de cada una de ellas balanceando entre las tres fases, es decir, "cada 3 farolas se pincha en la misma fase" (la primera de la línea a la F1, la segunda a F2, la tercera a F3, la cuarta a F1 y así sucesivamente).

Teniendo en cuenta que en Canfranc Pueblo se utilizan lámparas de sodio de alta presión modelo HPL-N 125W/542 E27 de Philips (en aproximadamente el 98%, pero hay alguna de 250W, que no consideraremos en el presente estudio para simplificación del mismo) y en Canfranc Estación de vapor de mercurio modelo MASTER SON-T PIA Plus 150W/220 E40 de Philips, ello es debido a que la instalación es más antigua que la del pueblo, de reciente implementación.

Las características de las lámparas de Canfranc Estación son que ofrecen una buena definición cromática buena puesto que presenta un índice de reproducción cromática = >50, bueno y una temperatura de color, Tc = 4.200 K, mientras que las de Canfranc Pueblo emiten una luz amarilla-anaranjada prácticamente monocromática que presenta una Tc= 2.000K.

Así mismo, se puede observar que la contaminación lumínica presentada en Canfranc Estación es muy superior a la que se presenta en Canfranc Pueblo, cosa que ya era de esperar por la propia tecnología aplicada en cada uno de los emplazamientos.

3.2.3.3 Equipos de encendido

Dado que los dos tipos de lámparas disponibles basan su funcionamiento en la descarga eléctrica a través de un gas. Por las características de este fenómeno, no pueden funcionar con una simple conexión a la red eléctrica y necesitan unos equipos auxiliares compuestos por los siguientes elementos:

- Balasto: conocido también como reactancia, es el elemento estabilizador que contrarresta la tendencia al crecimiento de la intensidad consumida por la lámpara. Estos pueden ser electrónicos o no, en nuestro caso no lo son, es por ello que presentan un autoconsumo de potencia entregada por parte de la red, lo cual reduce la eficiencia del sistema, en el caso que fuesen electrónicos se reduciría dicho consumo.

- Condensador: permite corregir el bajo factor de potencia propio del circuito formado por las lámparas y el balasto inductivo, evitando la sobrecarga de las redes y el consumo de energía reactiva.

- Cebador: únicamente en las lámparas de Canfranc Pueblo, su función es generar los impulsos de tensión necesarios para el encendido de la lámpara.

A continuación se detallan las dos situaciones encontradas para los dos emplazamientos:

- Canfranc Estación: Cada luminaria dispone de forma individual de una reactancia de tipo relé de dos niveles (modelo RME 12-A VMI 12/23-2P de la marca ELT[3]) que permite disponer de los mencionados dos niveles (gestionados por el circuito de control) de potencia entregada a la carga, pero que también presenta un autoconsumo de 14W, lo cual supone un consumo de potencia entorno al 10% de la potencia entregada por la red para la situación de máxima entrega de potencia y un 17% en la situación de reducción de potencia.

Imagen 3.5: Reactancia ELT

Así como se dispone de un condensador externo de 10 μF, encargado de la función de las correcciones necesarias.

- Canfranc Pueblo: Cada luminaria dispone de forma individual de una reactancia de tipo relé de dos niveles (modelo VSI 15/23-2P-RASE-CA de la marca ELT) que permite disponer de los mencionados dos niveles (gestionados por el circuito de control) de potencia entregada a la carga, pero que también presenta un autoconsumo de 18W, lo cual representa supone un consumo de potencia entorno al 11% de la potencia entregada por la red para la situación de máxima entrega de potencia y un 18% en la situación de reducción de potencia.

Para el análisis de reducción de potencia se tiene que estos elementos disponen de la capacidad de reducción por intensidad, para ello se indica que:

- Canfranc Estación: la reducción es de 1,15A hasta 0,72A, para un total de reducción de 0,43A. Por lo que la potencia fuera del horario definido se puede reducir en un 37,4%.

- Canfranc Pueblo: la reducción es de 1,80A hasta 1,30A, para un total de reducción de 0,5A. Por lo que la potencia fuera del horario definido se puede reducir en un 27,8%.

3.2.3.4 Equipos de control

Tal y como se ha descrito con anterioridad, para el encendido del sistema de alumbrado se disponen de una serie de elementos de control en función del cuadro al que se encuentre asociada la luminaria.

- Los cuadros C1, C3 y C4 disponen de una fotocélula dedicada para la detección de luminosidad, que son las responsables de dar la orden para el encendido para cada zona.

- En el cuadro C2 disponemos de un reloj astronómico para realizar dicha función mediante una programación que adecua el funcionamiento deseado de la instalación.

[3] Ver anexo D para más descripción de especificaciones

Así mismo la función que permite el control del nivel de potencia a entregar a la lámpara (potencia máxima o potencia reducida) viene definido por el sistema de reactancias instaladas, el cableado de control y de los relojes instalados en el cuadro correspondiente con el propósito de definir franjas horarias de funcionamiento que permiten actuar en dos estados: máxima potencia o potencia reducida.

En relación con la capacidad de control de los diferentes elementos se requiere disponer de un sistema de comunicación que permita transmitir las órdenes (encendido, apagado, regulación, etc.) entre los elementos, hasta los diferentes puntos de iluminación, tal y como se indica en el anexo D.2. Existiendo múltiples tecnologías de comunicación:

- Cableado dedicado. Como por ejemplo disponemos en el Ayuntamiento de Canfranc.
- Radiofrecuencia: utilizando tecnología sin hilos permite emitir las órdenes de control. Como por ejemplo la solución aplicada en el pueblo de Caldes d'Estrac (Caldetes).
- Power Line: la comunicación se efectúa utilizando la propia red eléctrica para el envío. Como es el caso de Milton Keynes[4].

3.2.3.5 Mediciones realizadas

Las mediciones realizadas se han efectuado a lo largo de dos de las tres visitas de campo correspondientes a los días: 18 y 19 de Noviembre de 2009 y 28 de Noviembre de 2009.

Dichas mediciones de iluminación se realizan utilizando un equipo de medición digital de luminancia TES modelo 1330A, que nos permite obtener una medición de LUX en los diferentes puntos de medida definidos (ver anexo D.1) a una altura de 1,50m que corresponde a la media de la altura estándar de visión de la población, para ello se utilizó un soporte que permitía disponer de la misma altura de medida para los todos puntos.

A modo general, para las mediciones de luminosidad disponible se han considerado varios procedimientos para los análisis de las mediciones:

- Mediciones de puntos de iluminación y a mitad de distancia entre ellos
- Efectuando mediciones en las vías cada 5 metros, pudiéndose efectuar en la parte central de la misma o en un borde de la misma.

Obteniéndose los siguientes resultados:

- Mediciones de puntos concretos bajo puntos de iluminación de la calle Fernando el Católico: de las tablas 1a y 1b del anexo E de mediciones, y tomando los últimos valores disponibles, podemos obtener los valores para la tabla 1a de 46,6 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 0,5 Lux. Al efectuar un análisis de la zona considerando puntos dispersos se concluye que:
    - Buena iluminación de zonas próximas a las luminarias, aceptables dentro de la clasificación S3.

[4] Milton Keynes es un pueblo del centro de UK
http://www.echelon.com/solutions/building/appstories/MiltonKeynes.htm

  - Existencia de puntos con iluminación insuficiente.

- Considerando el paseo existente junto al rio de la calle Fernando el Católico, el conjunto de la zona de medición indicada en la tabla 2 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 11,55 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 2 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación.

- Para el mismo paseo junto al rio de la calle Fernando el Católico, tomando otras medidas, el conjunto de la zona de medición indicada en la tabla 3 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 10,08 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 1,3 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación.

- Otra medición para el paseo asfaltado de la calle Fernando el Católico, el conjunto de la zona de medición indicada en la tabla 13 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 10,5 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 0,2 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación salvo en un punto concreto en el que se debería mejorar la iluminación.

- Así mismo se efectúa la medición de la iluminación en puntos de la Plaza Europa, el conjunto de la zona de medición indicada en la tabla 4 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 8,87 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 1,5 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación.

- Medición de la iluminación en calle Huesca, para la zona de medición indicada en la tabla 5 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 5,49 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 0,6 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación salvo en un punto concreto en el que se debería mejorar la iluminación.

- Medición de la iluminación en calle Jacetania, para la zona de medición indicada en la tabla 6 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 8,46 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 1,4 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación.

- Medición de la iluminación en calle Valle de Aspe, para la zona de medición indicada en la tabla 7 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 2,79 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 0,9 Lux. La zona estudiada no presenta un correcto nivel de iluminación, a nivel de valores mínimos no podemos considerar que sea una diferencia suficiente como para recomendar la mejora la iluminación, pero el valor medio es insuficiente para la correcta iluminación de la vía, un posible factor sea que la instalación de las luminarias de efectuó en la parte de la calzada opuesta a la acera, lo que hace que la distancia desde el punto de luz a la zona que se desea iluminar sea considerablemente grande, minimizando la eficiencia de la misma.

- Medición de la iluminación en calle Fernando el Católico, para la zona de medición indicada en la tabla 8 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 12,43 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 1 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación.

- Medición de la iluminación en calle Felipe V, para la zona de medición indicada en la tabla 9 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 7,07 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 1,3 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación.

- Medición de la iluminación en calle Justicia Mayor, para la zona de medición indicada en la tabla 10 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 5,15 Lux como valor medición

medio de la vía y un mínimo de 0,3 Lux. Destacar que en esta calle se un total de 4 puntos de iluminación se encontraban apagados. A pesar de ello la zona estudiada no presenta un correcto nivel de iluminación puesto que hay dos zonas con que no llegan al mínimo deseado.

- Medición de la iluminación en calle Sabiñánigo, para la zona de medición indicada en la tabla 11 del anexo E de mediciones obtenemos los valores de 4,91 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 0,1 Lux. Esta zona presenta claras carencias de iluminación, observables tanto a nivel puntual como a nivel global de la calle, no llegando al valor mínimo exigible para la media de iluminación.

Así mismo se ha efectuado una medición correspondiente a Canfranc Pueblo, obteniendo los siguientes valores:

- Medición de la iluminación en calle Albareda, para la zona de medición indicada en la tabla 11 del anexo F de mediciones obtenemos los valores de 7,78 Lux como valor medición medio de la vía y un mínimo de 0,3 Lux. La zona estudiada presenta un correcto nivel de iluminación salvo en un punto concreto en el que se debería mejorar la iluminación.

A modo de conclusiones generales respecto a la los niveles de iluminación se concluye que existen dos casuísticas diferenciadas:

- Zonas bien iluminadas → corresponden a las vías principales como Fernando el Católico, Plaza Europa o calle Jacetania, con valores correspondientes a niveles de iluminación S3. También tenemos la calle Felipe V con un nivel de S4.

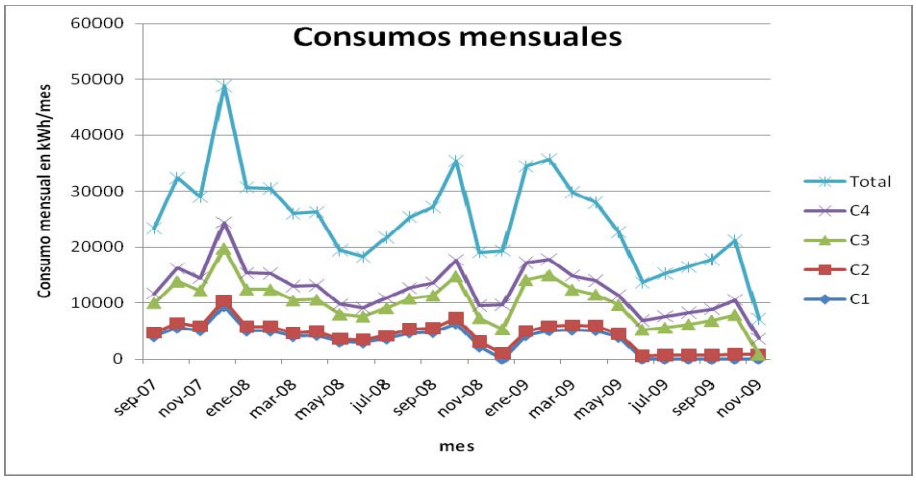
- Zonas correctamente iluminadas que requieren alguna mejora → corresponden a vías aledañas a las principales, como Justicia Mayor o la calle Huesca, muy próximas al nivel S4.

- Zonas incorrectamente iluminadas → corresponden a vías distantes a las principales o con algún defecto grabe de iluminación como las calles Valle de Aspe y la calle Sabiñánigo, ya sea por una inapropiada ubicación de la misma como por una falta de elementos iluminación.

Como se puede observar la iluminación se ha desarrollado para la zona principal, quedando algo menos desarrolladas el resto de las vías.

3.3 Análisis energético

Para el presente y futuros análisis se deben considerar también la estacionalidad de los consumos, representados gráficamente en el anexo G, del que se observa que el consumo es mayor en invierno, y en especial en el mes de diciembre, probablemente por la contribución de las luces navideñas. Podemos ver el general correspondiente:



Gráfica 3.1. Consumos correspondientes a las zonas diferentes zonas

De análisis de las gráficas se deduce un cierto grado de estacionalidad correspondiente a un incremento del consumo en periodos de invierno, especialmente para el mes de diciembre.

Para el análisis energético de las instalaciones de alumbrado público se han efectuado los cálculos (ver anexo F) de los parámetros de consumo desde dos aproximaciones:

- A través de las mediciones de intensidad y tensión de cada línea de los cuadros.
- A través del cálculo del consumo de las lámparas disponibles en la instalación

Posteriormente se han comparado con los indicados por las diferentes facturas, obteniéndose los siguientes resultados:

- Mediante el primer método se obtiene un consumo de unos 15.372 kWh de consumo mensual para el mes de estudio (Noviembre)
- Mediante el segundo método se obtiene un consumo de unos 13.935 kWh de consumo mensual para el mes de estudio (Noviembre)

Las diferencias entre los valores de consumo obtenidos aplicando los diferentes métodos o los valores de la facturación, se consideran como consecuencia de:

- Estimaciones horarias de funcionamiento de 14,5h de media diaria para ambos métodos.
- No consideración de iluminación decorativa para el método de cálculo a través del número de lámparas.

A modo de comparación podemos ver la bondad de los datos analizados efectuando la comparación con años anteriores tal y como se muestra en la siguiente tabla:

	Tipo datos	Consumo real (kWh)
nov-07	Factura	14.474
nov-08	Factura	13.807
nov-09	Medición	15.372

Tabla 3.5: Consumo para el mes de noviembre de los años 2007, 2008 y 2009

Así mismo el cálculo de las potencias instaladas para cada uno de los cuadros en función del método de análisis considerado e incorporando la potencia contratada por compañía energética proveedora según los cálculos estimados se obtiene:

CUADROS	P (W) por mediciones de V e I	P (W) por nº Luminarias	P (W) contratada según factura
C1	18.419,80	11.815,00	20.000,00
C2	3.614,00	3.614,00	13.200,00
C3	21.021,00	18.209,00	25.000,00
C4	7.167,50	7.392,00	9.900,00
TOTAL	**48.415,30**	**41.030,00**	**68.100,00**

Tabla 3.6: Potencia instalada en función de los datos considerados

Las diferencias entre los valores de potencia instalada obtenidos aplicando los diferentes métodos o los valores de la facturación, se consideran como consecuencia de dos factores principales:

- Contratación de potencia incorrecta, superando las necesidades reales.
- No consideración de iluminación decorativa para el método de cálculo a través del número de lámparas.
- Elementos adicionales que se alimenten indebidamente del circuito de iluminación sin conocimiento de ello.
- Errores en los equipos de medición como consecuencia de la precisión de los mismos.

3.3.1.1 Análisis basado en alternativas técnicas.

Un aspecto importante a considerar es la disponibilidad de sustituir la tecnología existente por otra solución más eficiente.

Se detecta que el uso de fotocélulas y del reloj astronómico versus control de doble potencia en las reactancias, no es el más adecuado. Es por ello que en relación con las soluciones de control descritas en el anexo D.2 se recomienda implementar una solución de gestión horaria aplicando la solución de reajustes horarios mediante relojes programables que permitirían una adecuación horaria en función del tipo de día (laborable/festivo) y de la época anual (estival/invernal), quedando descartada la opción de implementar un nuevo sistema de control, ya que este representa una gran inversión con un periodo de retorno muy elevado de 17 años, cosa que hace poco viable su implementación.

En relación con la tecnología de lámparas utilizada en la actualidad, las propuestas de mejora que se van a incluir en este documento, están clasificadas de manera individual y por tipos, la propuesta que en realidad se hace, es establecer un criterio entre los distintos tipos (a gusto de consumidor), de manera que la combinación de ellas, de cómo resultado la mejor solución o solución óptima para la eficiencia, calidad, ahorro y descontaminación lumínica del estudio de la situación actual en Canfranc.

Actualmente se utilizan dos tipos de lámparas en Canfranc, las lámparas de descarga de Vapor de sodio de alta presión y las de Vapor de mercurio de alta presión. Del análisis efectuado sobre las posibles mejoras en el uso de lámparas detallado en el anexo J tenemos las siguientes opciones:

- Alternativa nº 1 → Sustituir las lámparas de vapor de mercurio de 125 W de Canfranc estación por lámparas de vapor de sodio de alta presión de 70 W (ahorro estimado de 203kWh/lámpara/año) o 100 W (ahorro de 75 kWh/lámpara/año).

- Alternativa nº 2 →Cambiar todas las lámparas de Canfranc estación por lámparas de descarga de sodio de baja presión de 90 W de potencia preferentemente y 135 W de potencia según necesidad lumínica.

- Alternativa nº 3 → Sustituir todas las lámparas de Canfranc pueblo y Canfranc estación por led de alta potencia de 70W y 30W respectivamente. Ver estudio comparativo económico anexo J.

- Alternativa nº 4: Mejoras en el uso de balastos electrónicos → Utilizar balastos electrónicos que en vez de trabajar a 50 Hz, lo hacen a altas frecuencias (30 kHz).

- Alternativa nº 5: Mejoras en el uso de balastos electrónicos y cambio de lámparas → Esta mejora podría aplicarse a Canfranc pueblo por el tipo de lámpara de descarga de sodio de alta presión y se puede combinar con una de las alternativas anteriores para Canfranc estación.

Del estudio comparativo efectuado en el anexo J podemos extraer los siguientes resultados en relación a las tecnologías de iluminación:

TIPO DE CAMBIO	**Periodo de amortización**	**Ahorro anual**
Cambiando lámparas Canfranc Estación a Sodio de Alta Presión de 100W	9,66 años	20%
Cambiando lámparas Canfranc Estación a Sodio de Baja Presión de 90W	10,58 años	28%
Led de alta potencia, 30W para Canfranc Estación y 70W para Canfranc Pueblo	17,7 años - Total 8,6 años - Canfranc Estación 21 años - Canfranc Pueblo	71%
Cambio de balastro electrónico	19,7 años	7%
Cambio de balastro electrónico y lámparas Canfranc Estación a Sodio de Alta Presión de 100W	8,71 años	25%

Tabla 3.7. Comparativa de las propuestas para los cambios tecnológicos de alumbrado

Se debe considerar el efecto que la sustitución de la tecnología de Mercurio a Sodio comporta un cambio en el color de la iluminación, pasando de un color blanco como el actual de Canfranc Estación a un anaranjado, como el de Canfranc Pueblo.

3.4 Mantenimiento y gestión

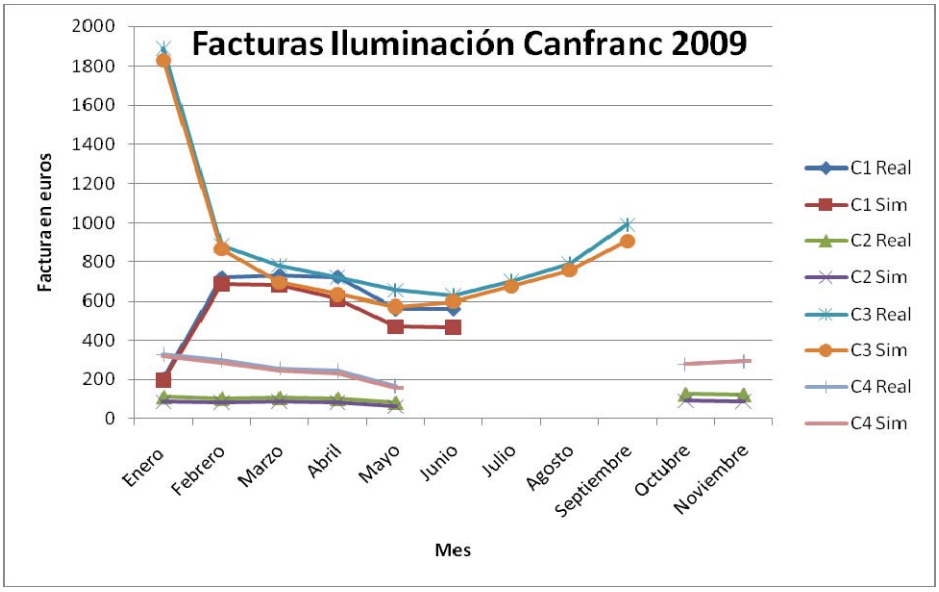
3.4.1 Facturación

La instalación del alumbrado público está comprendida en 4 contratos con compañía, uno para cada uno de los circuitos especificados.

Cuadro	Tipo de tarifa	Coste	Coste Consumo			
		Potencia	Promedio	Valle	Llano	Punta
		euros/kW	euros/kWh	euros/kWh	euros/kWh	euros/kWh
C1: Fernando el Católico	3.0.2 BT	1,77	0,109863	0,082405	0,121359	0,150208
C2: Valle de Aspe	3.0.1 DH	1,642355		0,059614		0,135145
C3: Pza. Europa	3.0.2 BT	1,77	0,109863	0,082405	0,121359	0,150208
C4: Albareda	2.0.3 DH	1,642355		0,0596		0,135145

Tabla 3.8. Descripción de los cuadros eléctricos

De la siguiente gráfica podemos observar los datos de las cantidades que la compañía proveedora ha informado y que están disponibles a través de la facturación de los servicios:



Gráfica 3.2. Facturación en 2009 comunicada por la compañía en los diferentes circuitos.

A nivel tarifario tenemos dos aspectos a considerar:

- La potencia contratada para cada uno de los circuitos
- La correcta facturación de dichos consumos

A partir del 1 de Enero de 2009, y de acuerdo con el BOE de 31 de Diciembre de 2.008 se publica la Orden ITC 3801/2008 de 26 de Diciembre, la compañía distribuidora de la energía, Endesa, cambió la forma de facturar los consumos en las tarifas con discriminación horaria tipo 3, lo que en este caso afecta a los cuadros C1 y C3. En lugar de aplicar tres costes distintos para cada uno de los tres tipos de franja horaria, suma todos los consumos de energía activa, sin aplicar ninguna ponderación y lo multiplica por un coste promedio, con un porcentaje constante de uso de cada una de las franjas horaria (también te lo paso mañana).

Mencionar que existe un acuerdo histórico con compañía por el que se les descuenta 50.000kWh al año de la factura de la forma que la compañía determine tal y como se aprecia en el anexo G de facturas.

En base a los análisis de los dos subapartados siguientes se debería efectuar un seguimiento con las medidas concretas para los diferentes meses que permitiría optimizar la facturación actual, estudiando más detalladamente (ver anexo H correspondiente a la simulación en función de las tarifas):

- la conveniencia de aplicar debidamente el tipo de tarifa según se rige por el tipo 3.0.2 B.T para los circuitos de los cuadros C1 y C3, ya sea con la compañía proveedora actual o realizar una búsqueda de otra que sí aplicase este tipo de tarifa.

- la adecuación de la potencia contratada para cada uno de los cuadros

En relación con la potencia contratada se observa una contratación de potencia innecesaria para el cuadro de Valle de Aspe, puesto que se factura por 9,9kW cuando la potencia instalada apenas supera los 3,6kW.

En la facturación del cuadro C4, el correspondiente a Canfranc Pueblo, se utilizan en todas las facturas del año valores estimados de consumo, a pesar de que se disponen de las lecturas reales de consumo. En el resto de cuadros esto sólo sucede en dos de las facturas de 2009 (ver anexo G).

Desde hace aproximadamente un año el Ayuntamiento decidió contratar a una empresa externa (SOLUCEL de Pamplona) para que les gestione la tarificación, permitiendo de esta forma una optimización de las facturas mediante los reajustes necesarios de contratación de potencia y ubicación de elementos de control, como son los de control de reactiva.

3.4.1.1 Análisis basado en el mes en el que se realizan las medidas.

Teniendo en consideración el cuadro C1, se presentan los cálculos correspondientes a:

- Análisis horario de consumo de potencia para un mes tipo de noviembre de 30 días para un total de 514€/mes (ver en el anexo F)

- Tomando de las tablas de facturación el valor correspondiente al mes de Noviembre 2.007, que en consumo es equivalente al de Febrero 2.008.

- El coste de 709,5€/mes marcado en Febrero 2.008 actualizado (incluyendo el aumento del 5% correspondiente de tarifa[5] entre 2.008 y 2.009) a 2.009 es de 745€/mes

- Como conclusión se observa que se produce una diferencia cercana al 31% si se aplicase correctamente la tarificación de valle, punta y llano.

Así mismo el análisis de facturación (ver anexo F) las potencias disponibles para cada uno de los cuadros nos lleva a concluir que sería conveniente revisar el presente sistema de facturación en función de si:

- Si el abono es como consecuencia del modelo de facturación no convendría cambiar ya que el coste de consumo es de un 5,7% inferior.

- Si el abono no es como consecuencia del modelo de facturación, sino un abono como consecuencia del uso de infraestructuras para la central hidroeléctrica que dispone la compañía junto a Canfranc Estación, en esta situación sí convendría cambiar a un modelo de facturación

[5] http://www.lexureditorial.com/boe/0712/22458.htm

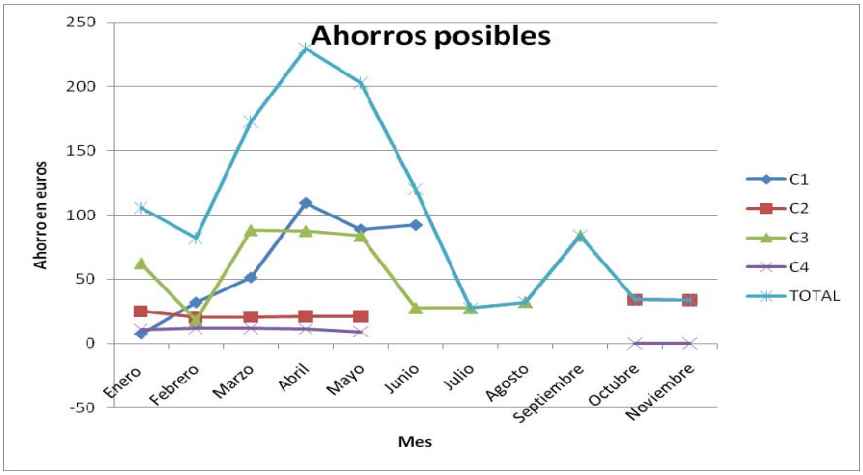
como el definido por ley, ya que en esta situación el ahorro para los cuadros C1 y C3 representa el 31% y el 25% respectivamente, sin incrementar los costes de los cuadros C2 y C4.

3.4.1.2 Análisis basado en la simulación de escenario óptimo

Del análisis (efectuado en el anexo G) de la simulación del escenario aplicando potencia contratada adecuada a las necesidades de consumo y de la discriminación tarifaria por horario con los datos disponibles correspondientes al 2.009 se obtendría lo siguiente:

- ahorro de 381€ en la factura de C1 entre los meses de Enero y Junio, que representa un 10,9% de ahorro en el presente circuito.
- ahorro de 176,7€ en factura de C2 entre los meses de Enero-Mayo, Octubre y Noviembre, que representa un 23,5% de ahorro en el presente circuito.
- ahorro de 511,74€ en factura de C3 entre los meses de Enero-Octubre, que representa un 6,4% de ahorro en el presente circuito.
- ahorro de 55,68€ en factura de C4 entre los meses de Enero-Mayo, Octubre y Noviembre, que representa un 3% de ahorro en el presente circuito.

Gráficamente se observa los posibles ahorros que se producirían aplicando correctamente la discriminación tarifaria:



Gráfica 3.3. Posibles ahorros aplicando correctamente la Tarifa contrada

En total el ahorro correspondiente representaría un total para los meses estudiados de 1.125,85€, lo que representa un total del 8% de ahorro en el consumo hasta un total anual estimado de 1.775,91€.

3.4.2 Mantenimiento

El mantenimiento que se efectúa en las instalaciones es de tipo correctivo, es decir, cuando surge alguna avería o incidencia en el sistema se procede a actuar a la reparación.

Las actuaciones más habituales son:

- Sustitución de las lámparas: Representa la más común intervención, se efectúa cuando se detecta que no funciona, pudiendo pasar un tiempo no definido hasta que no se detecta y comunica dicha avería al responsable de dicho mantenimiento.

- Sustitución o reparación de las luminarias

- Sustitución y/o ajuste manual del Sistema de programación y/o encendido

Como consecuencia de ello se comprueba un deterioro significativo en muchas de las luminarias que existen actualmente (rotura del vidrio, suciedad, opacidad de la luminaria,…), ver figuras 3.6, 3.7 y 3.8. Estos hechos, ayudan a la dispersión de los lúmenes y a la pérdida significativa del factor de utilización (relación entre los lúmenes que entrega la lámpara y los que realmente se aprovechan en la calzada o calle) de los lúmenes de estas lámparas. Con un programa adecuado de mantenimiento de las luminarias, de una o dos veces/año, esta mejora sería significativa. Especialmente se hace relevante el mantenimiento por suciedad de mosquitos en Canfranc Estación dado que el tipo de lámpara emite luz en el azul que atrae estos insectos.

Fig.3.6 - 3.7 - 3.8 Ejemplos de luminarias

4 IMPACTOS

4.1 Impacto económico

Presupuesto de la implementación del proyecto

- Inversión de unos 1.000€ (676€ material + 50% mano obra) para la solución de relojes programables horarios.

- Inversión en la sustitución de tecnología de lámparas de Vapor de Mercurio por otras más tecnológicamente más eficientes como son las de Vapor de Sodio de Alta Presión: 61.226€, según se indica en el anexo J. Seleccionando la primera opción ya que minimiza el riesgo de inversión respecto a la opción de sustitución por Vapor de Sodio a Baja Presión. Pero en caso de poder asumir este riesgo la opción óptima tecnológicamente y eficientemente hablando sería la de la sustitución de las lámparas de Canfranc Estación por tecnología LED.

Ahorros en el consumo derivados de la implementación del proyecto:

- Ahorro de un 4% en periodos veraniegos y 20% en invernales aplicando la solución de reajustes horarios mediante relojes programables que permitirían una adecuación horaria en función del tipo de día (laborable/festivo) y de la época anual (estival/invernal). Dicho ahorro sería del 2% anual en caso de mantener el mismo número de horas y tipo de tarifa, teniendo en consideración que dicho ahorro sería todavía superior si se aplicase debidamente la tarifa contratada.

- Ahorro en Canfranc Estación de un 20% como consecuencia de la sustitución de tecnología de lámparas tal y como se puede ver en el anexo J.

- Ahorros en la facturación: Para poder llevar a cabo este análisis el ayuntamiento de Canfranc nos ha facilitado las facturas del consumo eléctrico de los años 2008 y 2009. En concreto el estudio de la facturación lo hemos realizado para el año 2009. El estudio lo hemos realizado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

    - Los precios que hemos tomado como referencia son los de la compañía eléctrica que actualmente les suministra, Endesa. Actualmente, el sector de la distribución de energía eléctrica está liberalizado y hay empresas que ofrecen precios más competitivos que podría suponer hasta un 30% de descenso en la facturación. Sin embargo Endesa les descuenta hasta 50.000kWh anuales (por el hecho de tener una central en el mismo municipio) en el consumo, por lo que no compensaría el cambio de compañía, a no ser que la nueva compañía les mantuviese este descuento de kWh.
    - El consumo que se ha considerado es el real de este año 2009, no el que podría obtenerse una vez implementada alguna de las propuestas de este proyecto y que en todo caso serían menores, como se ha visto anteriormente.
    - Las modificaciones en la factura con las que conseguimos esta reducción son las siguientes: ajuste de la potencia contratada, ajuste de la batería de condensadores para conseguir la máxima reducción posible en el concepto de energía reactiva en los puntos en los que es posible y la aplicación de la tarifa con discriminación horaria en todos los puntos (Ver detalles en Anexo E)

    Así el ahorro total en la facturación que podríamos obtener es de 962€ anuales, lo que podría llegar a representar un total de ahorro cercano al 8% aplicando correctamente el tipo de facturación contratado.

4.2 Impacto ambiental

Los impactos ambientales del proyecto son dos, uno a nivel local y otro más general. El primero se refiere a la variación en la contaminación lumínica que se produzca al implementar el proyecto. Las opciones del proyecto consisten en el cambio del tipo de luminaria o en la reducción de la potencia, sin modificar la farola en sí, por lo que esta contaminación lumínica dependerá del tipo de tecnología utilizada. Como se puede ver en la descripción de las tecnologías (en el apartado 2 de este documento), cualquiera de las opciones planteada en este proyecto disminuye la contaminación lumínica que provoca la iluminación del municipio de Canfranc.

En cuanto al impacto más general se refiere al impacto que se produce en la generación de la energía eléctrica, que afecta al lugar en el que se genera, no en el que se consume, pero que será menor cuanto menor sea el consumo. En este caso, también ese impacto disminuye con todas las opciones planteadas, ya que con todas disminuye el consumo.

En el caso de efectuar una sustitución tecnológica se debe considerar el impacto asociado a la mejora en el consumo de energía (ver anexo J) que comporta un ahorro de emisiones de 62,31Tn CO2/año, así como un impacto asociado a la deposición de equipos sustituidos que han representado un consumo en su fabricación y aún no han terminado su vida útil.

4.3 Impacto en la seguridad

La implementación de la opción seleccionada la llevará a cabo una persona preparada y formada para ello. Consiste principalmente en el cambio de las luminarias, para lo cual la preparación y las medidas de seguridad son las mismas que las que tiene que tener el encargado del mantenimiento actualmente, por lo que a no ser que se eligiese la opción que incluye el cambio de balastros (prácticamente descartada por la viabilidad económica), no haría falta la contratación de personal externo con ninguna formación ni material complementarios. Entendemos que las medidas de seguridad necesarias para el cambio de las luminarias ya se llevan a cabo cuando han de cambiar las actuales.

Por otra parte, consideramos también la seguridad de los viandantes, que mejoraría con cualquiera de las propuestas presentadas en este trabajo. Principalmente por el hecho de que en algunas calles en las que actualmente la iluminación es muy escasa o casi inexistente, pasarían a tener niveles de iluminación adecuados. Esto permitiría ver a otros viandantes que pudieran estar paseando a la vez por la misma calle, obstáculos que puedan encontrarse en el paso e incrementando la sensación de seguridad y tranquilidad de los propios viandantes.

4.4 Impacto social

Realizamos algunas breves encuestas a la población de Canfranc, respecto a la satisfacción de la iluminación actual del municipio, los detalles pueden verse en el anexo I. En general la gente parecía bastante conformista o conformada con la situación, si bien en general acusaban un exceso de iluminación en algunas zonas (sobre todo en Plaza Europa), mientras que había zonas en las que la iluminación es insuficiente. Esto se puede contrastar también con las medidas que realizamos en el municipio (ver anexo E). Con cualquiera de las opciones propuestas mejora esta situación de diferencia tan importante en el nivel de iluminación en distintas zonas del municipio, con lo que aumentará el nivel de satisfacción, así como la sensación de seguridad de las personas al pasar por las calles que actualmente no tienen ninguna iluminación.

Un factor que pudiera repercutir negativamente en la población si se elige el cambio por luminarias de sodio, la opción más probable, es el cambio del color de la luz, que repercute en la percepción del color de los objetos (ver descripción de tecnologías en el apartado 2). En las encuestas también preguntamos a los habitantes del municipio si preferían la iluminación de Canfranc Estación (luminarias de mercurio, luz blanca) o la de Canfranc Pueblo (luminarias de sodio, luz naranja) y la respuesta fue que no notaban diferencia, por lo que suponemos que se adaptarían rápido al cambio. En cualquier caso proponemos que ese cambio de tipo de luminarias se haga gradual, por zonas, para facilitar la adaptación de la población.

En cuanto a los puestos de trabajo, tanto el cambio de luminarias como el mantenimiento preventivo que proponemos lo puede llevar a cabo la misma persona que actualmente se encarga del mantenimiento y sobre todo si el cambio de tecnología se va haciendo de forma gradual, lo más probable es que ni siquiera sea necesario contratar a más trabajadores.

5 CONCLUSIONES

De todas las mediciones y análisis efectuados en los dos centros urbanos correspondientes se concluye:

5.1.1 Funcionamiento del alumbrado

La estructura horaria actual de funcionamiento que comprende dos niveles no comprende ningún tipo de discriminación entre días ni entre épocas del año. El replanteamiento del funcionamiento horario sería un aspecto que comportaría ahorros energéticos directos.

A modo de caso particular, efectuando un estudio de las diferentes opciones disponibles tal y como se muestra en el anexo D.2, se concluiría que la adecuación de horarios en función de los días (laborables o festivos) y de la época anual (verano o invierno) permitiría obtener ahorros energéticos del 4% o del 20% por la adecuación de la iluminación a la demanda real.

5.1.2 Líneas de distribución y acometida

Dado que no se efectúa una diferenciación de los colores del cableado entre las diferentes fases se recomienda que para futuros proyectos, así como en remodelaciones, se considerase dicha diferenciación asociando colores diferentes a cada una de las fases (marrón, negro y gris), lo cual podría evitar errores en la distribución de las cargas a cada fase mejorando con ello el balanceo de cargas.

Revisión del sistema de distribución de cargas asociadas a cada una de las fases mediante el sistema definido de balanceo de cargas, principalmente en los circuitos de los cuadros C1 y C3.

5.1.3 Puntos de luz

Como consecuencia de las quejas recibidas por el ayuntamiento por el "exceso de luz" en el cuadro C1, se procedió a reducir todo el funcionamiento a la carga reducida, con lo que no se está utilizando la solución de doble nivel de potencia como solución de ahorro, es por ello que se recomienda disponer de una solución de lámparas que permita una disminución de potencia en un 40% pero utilizando correctamente la funcionalidad de doble nivel de potencia disponible, de esta forma se disminuiría el consumo fuera de horas en un 40% sin con ello afectar a la iluminación en el horario principal.

A nivel de la iluminación disponible en las diferentes zonas vemos que existen puntos en los que la iluminación está por debajo de los mínimos exigidos, como pasa en algunas zonas de la Avenida Fernando el Católico (frente a la calle del Valle de Aspe) o en la calle Sabiñánigo, que resultan zonas de muy baja iluminación. Por el contrario hay zonas en la misma área (parte del paseo junto al río) con una elevada iluminación. Ello nos lleva a concluir la descompensación de la misma y a recomendar una distribución optimizada de la potencia lumínica, disponiendo de algún elemento adicional en zonas de poca iluminación o doblando el formato de luminaria allí donde se pueda.

Efectuar un análisis más profundo de la luminancia (tanto en condiciones de seco como de mojado) para la Avenida de Fernando el Católico, que podría comportar una disminución de requerimientos lumínicos y con el consiguiente ahorro energético.

La sustitución de tecnología de lámparas de Vapor de Mercurio de Canfranc Estación por otras tecnológicamente más eficientes como son las de Vapor de Sodio de Alta Presión, no obstante se deben tener presentes las posibles implicaciones respecto al color de la luz que emiten dichas lámparas, que es de color anaranjado como las de Canfranc Pueblo. En caso de asumir el riesgo que la inversión conlleva para la solución LED, siendo esta la opción óptima tecnológica y eficientemente hablando, sería la opción tecnológica seleccionada para la sustitución de las lámparas de Canfranc Estación.

Con objeto de reducir la contaminación lumínica se recomienda apagar a partir de medianoche las luces ornamentales y carteles publicitarios. Así como sustituir, en las *Luminarias montaje en muros*, aquellas luminarias tipo copa o globo de las paredes de los edificios, por otras que cumplan requisitos estéticos pero que a la vez no proyecten luz hacia el cielo (aprox. 30% del flujo lumínico). Para zonas y calles oscuras, sustituir estas luminarias globo por luminarias tipo proyector que incida toda la luz sobre la calzada. Y para las *Luminarias poste tipo candelabro* sustituir los vidrios opacos y rotos por vidrios transparentes que dirigen de forma correcta la luz.

5.1.4 Facturación

Analizar la conveniencia de aplicar el tipo de tarifa contratada, teniendo presente que los cuadros C1 y C3 se rige según el tipo 3.0.2 B.T (ver anexo E). Ello puede llevar a ahorros cercanos al 8% total. También se recomienda la revisión de las potencias contratadas con la compañía para los circuitos tal y como se muestra en el apartado 3.3 que efectúa los análisis energéticos correspondientes.

5.1.5 Cuadros de distribución

Especialmente se recomendaría mejorar el cuadro C1 tanto a nivel de ubicación de los diferentes elementos y del cableado del mismo, como de la puerta de acceso al mismo que, con el tiempo, se ha deteriorado. Así como también se debería actuar sobre el cableado del cuadro C3.

5.1.6 Mantenimiento y registro de vida

Dado que en la actualidad el mantenimiento es totalmente reactivo, para poder llevar a cabo un mantenimiento preventivo se debería efectuar un seguimiento del estado de las instalaciones.

Sustituir las lámparas actuales y elementos auxiliares por otros de nuevos, representa un coste que no se ha podido evaluar por falta de registro. Este registro, permite valorar cuando es necesaria la sustitución de las lámparas antes que ésta deje de funcionar. Es por ello que se recomienda, inventariar el mantenimiento correctivo de las lámparas, dispositivos auxiliares y luminarias. Dicho registro permite disponer de información de primera mano sobre el impacto de la instalación y facilita la detección de deficiencias, de manera que se puede disponer de un “feed back” de la vida media de los elementos de la instalación y disponer información del ciclo de vida de los elementos, por tanto, analizar con mayor facilidad dónde y cómo se podrían producir mejoras que revertir en la instalación en un futuro, ya sea manteniendo o dirigiendo dichas mejoras hacia otros cambios tecnológicos.

Se comprueba un deterioro significativo en muchas de las luminarias que existen actualmente (rotura del vidrio, suciedad, opacidad de la luminaria,…) Estos hechos, ayudan a la dispersión de los lúmenes y a la pérdida significativa del factor de utilización de los lúmenes de estas lámparas. Con un programa adecuado de mantenimiento de las luminarias, de una o dos veces/año, esta mejora sería significativa. Especialmente se hace relevante el mantenimiento por suciedad de mosquitos en Canfranc Estación dado que el tipo de lámpara emite luz en el azul que atrae estos insectos.

5.1.7 Contaminación lumínica

Con objeto de reducir la contaminación lumínica se recomienda apagar a partir de medianoche las luces ornamentales y carteles publicitarios. Así como sustituir, en las Luminarias montaje en muros, aquellas luminarias tipo copa o globo de las paredes de los edificios, por otras que cumplan requisitos estéticos pero que a la vez no proyecten luz hacia el cielo (aprox. 30% del flujo lumínico). Para zonas y calles oscuras, sustituir estas luminarias globo por luminarias tipo proyector que incida toda la luz sobre la calzada. Y para las Luminarias poste tipo candelabro sustituir los vidrios opacos y rotos por vidrios transparentes que dirigen de forma correcta la luz.

6 BIBLIOGRAFÍA

Enlaces Web

- Web oficial de Endesa. www.endesaonline.es
- Web relacionada con información útil sobre catálogo de lámparas. http://www.voltimum.es .
- Web de divulgación general. http://www.es.wikipedia.org
- Web divulgativa con explicación del funcionamiento de las lámparas de descarga. http://edison.upc.edu.
- ELT. Especialidades luminotécnicas: Catalogo de la empresa de balastos ferromagnéticos. http://www.elt.es
- Información sobre la contaminación lumínica. http://www.astrogea.org/celfosc/lamparas.htm
- Cel Fosc. Asociación contra la contaminación lumínica. http://www.celfosc.org/
- Presentación con información sobre las lámparas de descarga y eficiencia.http://www.innovativethinking.es/DOCUMENTOS/EFICIENCIA%20EN%20ALUMBRADO.pdf.
- Guía-BT-09 correspondiente a la guía técnica de aplicación para instalaciones de alumbrado público exterior: http://www.ffii.nova.es/PUNTOINFOMCYT/Archivos/rbt/guias/guia_bt_09_sep04R1.pdf
- Echelon: Empresa creadora y desarrolladora del protocolo de comunicaciones Lonworks para el control de sistemas: http://www.echelon.com/solutions/building/appstories/MiltonKeynes.htm

Visitas o contactos telefónicos

- Feria MUNICIPALIA 2009: XV Salón Internacional de Equipamientos y Servicios Municipales celebrada en Lleida del 20 al 23 de Octubre de 2009.
- Servicio telefónico de atención a grandes consumidores de Endesa: 902527887
- Comercial de la empresa INTEESA aportando soluciones para alumbrado público con tecnología led de alta potencia.
- Comercial de la empresa SINAPSE aportando soluciones de control por radiofrecuencia para alumbrado público.

Catálogos

- Hoja técnica MASTER SON T-PIA plus 150W/220 Philips
- Hoja técnica mercurio alta presión HPL-N 125W Philips
- La tecnología del led con ICTT
- Luminaria con tecnología led de ICTT
- Documento TARIFA INTEESA 2009
- Catalogo lámparas led alta potencia INTEESA
- Guía práctica de lámparas y balastos Philips iluminación

Normativa consultada

- PROTOCOLO DE AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO EXTERIOR: http://www.idae.es
-
- UNE EN 60922: prescripciones de seguridad balastos lámparas descarga

- UNE EN 60926: prescripciones de seguridad arrancadores.
- Compatibilidad electromagnética: UNE EN 61547: equipos para alumbrado de uso general. Requisitos de inmunidad.
- UNE EN 6100-3-2: limites para la corriente armónica en equipos con corriente de entrada < 16 A fase.
- UNE EN 55015: limites y métodos de medida de las perturbaciones radioeléctricas en los equipos de iluminación.
- REGLAMENTO (CE) N 245/2009 DE LA COMISIÓN de 18 de marzo de 2009 por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balastos integrados, para lámparas de descarga de alta intensidad y para balastos y luminarias que puedan funcionar con dichas lámparas
- BOE de 31 de Diciembre de 2.008 se publica la Orden ITC 3801/2008 de 26 de Diciembre, donde se indica la tarifa aplicada en el estado Español, especialmente la correspondiente a la provincia de Huesca