

GESTIÓN Y EXPLOTACIÓN DE INSTALACIONES: ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS

San Martín Páramo, R.¹ ; Manzano E.²

¹ Universidad Politécnica de Cataluña, Depto. Proyectos de Ingeniería, ETSEIB
Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona, España. Fax:+ 34 3 334 02 55

² Universidad Nacional de Tucumán, Instituto de Luminotecnia Luz y Visión
Av. Independencia 1800, (4000) Tucumán, Argentina. Email: manzano@pe.upc.es

Resumen. - La elaboración de un proyecto debe tomar en consideración todo el ciclo de vida del objeto proyectado lo cual involucra en el caso de las instalaciones aspectos de operación, gestión, mantenimiento, consumo, eliminación, etc. todos estos aspectos de la explotación posterior pueden verse favorecidos o perjudicados en función de los planteamientos del proyecto constructivo ya que medidas que en la fase inicial pueden resultar económicas y factibles pueden ser muy costosas o de difícil factibilidad en fases posteriores. La ponencia analiza estos temas tomando como referencia concreta el campo del alumbrado que puede considerarse representativo de una generalidad mas amplia.

1. INTRODUCCIÓN

Frecuentemente el estudio y elaboración de un proyecto es abordado con criterios técnicos - económicos desde la perspectiva de una instalación a construir y en general sin poner en consideración aspectos de la explotación los que pueden superar en importancia a los aspectos constructivos.

Un proyecto debe tomar en consideración el ciclo de vida del objeto proyectado lo cual involucra en el caso de las instalaciones aspectos de operación, gestión, mantenimiento, consumo, eliminación, etc. Todos estos aspectos de la explotación posterior pueden verse favorecidos o perjudicados en función de los planteamientos del proyecto constructivo ya que medidas que en la fase inicial pueden resultar económicas y factibles pueden ser muy costosas o de difícil factibilidad en fases posteriores.

En base al enfoque anteriormente mencionado los principales puntos en la etapa del proyecto que se ponen a consideración y que se analizan en la presente ponencia son^{1,2}:

- Estudio de la adecuación del servicio a las necesidades reales y sus posibles variaciones
- Selección de los sistemas técnicos considerando la explotación.
- Dimensionamiento y calculo de la instalación considerando no solo las condiciones iniciales.
- Aspectos de la instalación eléctrica que puedan afectar la explotación posterior.
- Previsión del control en obra y recepción de aquellos aspectos que pueden afectar la eficiencia de la explotación.
- Estudios económicos basados no solo en el coste inicial sino además en los costes de explotación.

A continuación se desarrollan estos aspectos en el campo concreto del proyecto de alumbrado.

2.- CONDICIONES DE ILUMINACIÓN Y RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO

Los criterios técnicos de proyecto de una instalación de alumbrado se basan en proveer condiciones de iluminación apropiadas que satisfagan aspectos funcionales y de confort de los usuarios a un costo razonable. Dichas condiciones deben mantenerse durante el transcurso de la vida útil de las instalaciones lo cual puede preverse en la etapa del proyecto.

Los aspectos funcionales pueden quedar garantizados con un nivel elevado de iluminación sin embargo esto determina un elevado consumo energético. Se hace necesario establecer una escala de niveles acorde a la exigencia visual y a las características de la zona a iluminar, proporcionando en cada caso una iluminación adecuada pero no excesiva. Los criterios para establecer el escalonamiento se basan en:

- tipo de usuarios: peatones, conductores, mixtos.
- características del tráfico: densidad y velocidad de vehículos, densidad de peatones
- características ambientales: percepción del espacio, seguridad ciudadana

Establecido el nivel de iluminación es importante alcanzar además cierta uniformidad según se pretenda enfatizar la economía o el confort del usuario. Es conveniente también respetar las magnitudes relativas entre zonas para evitar problemas de adaptación visual.

En forma simultánea, el grado de molestia que pueda producir la instalación debido al marcado contraste entre el brillo de la misma y el fondo, debe ser limitado ya que esta relacionado a aspectos funcionales y de confort visual.

La posibilidad de adoptar políticas de regulación del régimen de funcionamiento reduciendo niveles de iluminación en determinadas horas o períodos del año es una alternativa interesante para racionalizar energía. Contemplada en la etapa del proyecto puede implicar un costo reducido comparado con modificaciones sobre obras existentes. Además de decidir la implantación de regulación del régimen de funcionamiento es preciso estudiar los siguientes aspectos:

- a) que la reducción del nivel de una zona sea como consecuencia de una reducción de las exigencias visuales (por ejemplo reducción de la densidad de tráfico o presencia de peatones) y que no este acompañada de un efecto indirecto como aumento de la inseguridad ciudadana.
- b) que la aplicación del sistema sea rentable dado que el costo suplementario debe amortizarse (3 a 5 años) con la reducción del costo energético obtenido aun cuando el uso sea en horas valle donde el costo de la energía es mas bajo.

Con el tiempo las condiciones de iluminación varían debido a depreciación de la instalación. Si se prevé en la etapa del proyecto el dimensionado adecuado de la instalación y además se aplican estrategias de conservación se pueden mantener las condiciones de iluminación durante la vida útil de las instalaciones a los niveles deseados.

3.- SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO

El proyectista definirá el sistema de alumbrado mediante una elección de lámparas, luminarias y geometría de la instalación. La elección condicionará la eficiencia energética del alumbrado y por tanto los costos de explotación a través de los siguientes aspectos:

- *eficiencia energética* de las lámparas
- *eficiencia luminica* de la conjunción de lámpara luminaria y geometría
- *factor de depreciación* que relaciona las condiciones de servicio con las iniciales.

3.1.- SELECCIÓN DE LA LÁMPARA Y SU EQUIPO AUXILIAR

Generalmente el condicionante principal en la selección es la eficacia (Lúmenes/watt) ya que cuando mas grande sea esta menor será el consumo energético para conseguir la misma iluminación. No obstante no siempre es posible efectuar una decisión basada únicamente en este aspecto³. Un proceso de selección a seguir puede ser el siguiente:

- En primer lugar se debe tener en cuenta las exigencias propias del proyecto considerando: exigencias de color, potencia luminica necesaria por punto de luz, exigencias de vida útil, condiciones particulares de funcionamiento, mantenimiento previsto
- De los tipos de lámparas que pasan la primera selección el mas adecuado será aquel que presente mayor eficacia pero se debe tener en cuenta que la eficacia global depende del conjunto lámpara luminaria. En principio se podría seleccionar una lámpara con gran flujo luminoso pero que no es fácilmente controlable.
- Finalmente entre las alternativas que superen la instancia anterior se efectúa un balance económico comparativo que contemple:
 - Costo de la fuente de iluminación incluyendo el de todos los elementos necesarios para su instalación y mantenimiento.
 - Costo de reposición de lámparas que es función de la vida útil de las mismas.
 - Costo de consumo energético de las lámparas incluido el consumo propio de los accesorios para su funcionamiento.

En la elección del equipo auxiliar el condicionante esencial es que forme un conjunto armonizado con la lámpara es decir que sus características de funcionamiento sigan las demandas de la lámpara para alcanzar un funcionamiento eficaz. Otro factor a tener en cuenta es que si la instalación necesita regulación de flujo el equipo auxiliar debe ser el apropiado.

Satisfechos los condicionantes antes mencionados, ahora desde el punto de vista energético dos son los requisitos esenciales para la selección de equipos auxiliares que influirán en la explotación de la instalación:

- Perdidas propias reducidas
- Capacidad para proporcionar un factor de potencia próximo a la unidad.

3.2.- SELECCIÓN DE LA LUMINARIA

La eficiencia energética de una luminaria depende del flujo luminoso útil que es capaz de proyectar sobre la zona u objetos de interés. Cuanto mayor será el flujo luminoso útil menor la energía consumida para lograr las condiciones de iluminación deseadas. Cuando la zona de interés es la superficie del pavimento de la calle, se define el factor de utilización como la relación entre el flujo luminoso útil sobre el pavimento respecto del flujo luminoso de la lámpara. Al iniciar un proceso de selección de la luminaria se tendrá en cuenta:

- La luminaria que presente mayor factor de utilización y simultáneamente un grado de molestia o deslumbramiento aceptable será la mas adecuada en primera instancia.
- Se debe verificar el cumplimiento de modernas recomendaciones basadas en el control de la polución luminica que establecen limitaciones de emisión de flujo en el hemisferio superior.
- Finalmente entre las alternativas que superan las instancias anteriores, se ha de efectuar un balance económico considerando los costos de adquisición de la luminaria, de instalación, costos de mantenimiento y costo de consumo energético de la instalación.

3.3.- GEOMETRÍA DE LA INSTALACIÓN

Afecta la explotación posterior influyendo sobre aspectos energéticos y de mantenimiento, de dos maneras diferentes:

- El flujo luminoso útil y el factor de utilización dependen de la relación ancho de la zona a iluminar / altura del punto de luz. Cuanto mas elevada esta relación mayor será el factor de utilización hasta un punto en que iguala al rendimiento de la luminaria (relación entre el flujo luminoso emitido por la luminaria respecto del de la lámpara).
- La geometría de la instalación puede afectar la explotación y la facilidad de mantenimiento. La situación de los puntos de luz , altura , han de fijarse de manera que favorezcan el acceso, control y mantenimiento de las instalaciones. De otro modo la depreciación crecerá con el tiempo y con ella la reducción de las condiciones de iluminación derrochando energía.

4.- DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULOS DE LA INSTALACIÓN

La realización de cálculos luminotécnicos de dimensionamiento del sistema de alumbrado de una forma fiable permite unos márgenes de seguridad mas ajustados acordes a la realidad con soluciones económicamente mas favorables para la explotación. En este sentido el empleo de software de calculo y la aplicación de técnicas mas sofisticadas y realistas, (como la técnica de la Luminancia que tiene en cuenta la reflexión del pavimento) son cada vez es mas frecuentes en los proyectos de alumbrado.

Una variable importante a considerar en el calculo es el factor de depreciación. Su empleo significa sobredimensionar la instalación de alumbrado para contrarrestar las reducciones graduales de las condiciones de iluminación con la depreciación de los componentes del sistema por envejecimiento, ensuciamiento etc.

El factor de depreciación se elige en función de los períodos de limpieza y mantenimiento que se realizará sobre la instalación a lo largo de su vida útil. Cuanto mas bajo sea este factor significará que se realizará un mantenimiento escaso o que las condiciones ambientales son muy adversas.

Referente a los cálculos eléctricos de dimensionamiento de líneas, la mejor solución considerando limitación de corriente y caída de tensión admisible no siempre es la mas conveniente si se valoran las perdidas por efecto Joule las que disminuyen con el aumento de sección. En casos de transmisión de energía a cortas distancias con elevada potencia instalada es conveniente su revisión.

5.- ASPECTOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica se refiere al conjunto de dispositivos mediante los cuales se provee al alumbrado de energía eléctrica. Los elementos mas destacables a considerar en el proyecto que pueden afectar la explotación posterior son:

- Los ***componentes de la instalación***, la calidad y adecuación evitara el mal funcionamiento que puede repercutir en un incremento del consumo. Se debe limitar las perdidas propias de los componentes o indirectas que produzcan, especialmente en :
 - *conductores* : las perdidas por efecto Joule, mencionadas anteriormente.
 - *líneas* : la buena protección y calidad reduce la probabilidad de derivaciones, fugas, y conexiones fraudulentas evitando así consumos innecesarios.
 - *condensadores* : la calidad y durabilidad reduce el recargo en la facturación por consumo de energía reactiva.
 - *dispositivos de encendido* : la elección de tecnología con menor necesidad de mantenimiento reduce el funcionamiento fuera del período necesario.
- El ***suministro***, la calidad del mismo afecta no solo el funcionamiento y duración de los componentes sino también el rendimiento de los componentes, perdidas propias, etc. En lámparas de descarga una sobretensión del 10% provoca un 20% de sobreconsumo y una reducción de la vida útil.
- Al proyectar el ***cuadro de alumbrado público***: es conveniente mencionar ciertas previsiones.
 - El *armario* debe disponer del espacio suficiente para albergar los elementos que lo constituyen. Es recomendable prever espacio adicional para alojar equipos de telegestión para gestión y control del suministro y consumo.
 - Los *contadores de energía* han de ser adecuados a la modalidad de contratación prevista . Los contadores electrónicos de impulsos permiten la adaptación temporal a cualquier tipo de discriminación horaria sin necesidad de efectuar sustituciones.
- Los ***dispositivos de control de potencia*** se deben adecuar a las características de la instalación. Si se utiliza un interruptor de control de potencia (ICP) para evitar sobrecostos de energía consumida se debe tener en cuenta que:

- La distribución de *cargas entre fases* ha de ser la mas equilibrada posible para evitar que un exceso de potencia en una de ellas interrumpa el suministro total.
- Al seleccionar la *curva de disparo del I'ICP* que soporta las sobrecargas transitoria especialmente la puesta en marcha de las lámparas de descarga.
- Los *sistemas de encendido y apagado* deben evitar la prolongación innecesaria de los períodos en que el alumbrado esta encendido evitando así consumos inútiles
- Considerar la conveniencia de emplear *sistemas de regulación de flujo* o media apagada para lo cual se debe prever la sectorización correcta de las líneas.

6.- PREVISIÓN DEL CONTROL Y EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Todos los aspectos descriptos hasta el momento pueden quedar en buenas intenciones sino se traducen en realidades practicas en la ejecución de las obras. La dinámica normal tiende, por motivos de economía, cumplimiento de términos o comodidad, a desviarse de los planteamientos iniciales mediante la adquisición de materiales mas baratos o de fácil adquisición o en la búsqueda de procesos mas sencillos o cortos. Contrarrestar esta tendencia implica un esfuerzo basado principalmente en los siguientes aspectos:

- ***Pliego de condiciones***, se debiera incluir en la documentación del proyecto con las características necesarias para garantizar la calidad de los materiales y trabajos. Debiera ser obligatoria desde el punto de vista contractual con la suficiente difusión para que el contratista no pueda alegar su desconocimiento. En la practica es frecuente la redacción de proyectos que no incluyen pliegos de condiciones detallados o la contratación mediante solo planos y presupuestos. En ambos casos no existe ninguna garantía de cumplimiento de las exigencias previstas.
- ***Control de ejecución*** : Una vez adjudicados los trabajos es necesario acompañar su realización con un control de la ejecución que comprenda tanto la inspección de materiales como la realización de los trabajos. Ciertos controles no pueden efectuarse “a posteriori” debido a que muchos aspectos pueden quedar ocultos (fosas, puestas a tierra, instalaciones interiores), o bien la corrección de posibles defectos puede ser mas difícil y costosa.
- ***Recepción de las instalaciones*** : La vigilancia en el transcurso de la obras han de completarse con unas pruebas de recepción al final, las cuales han de incluir ensayos en servicio es decir puesta en marcha real de la instalación y comprobación de las características de funcionamiento.

7.- PREVISIÓN DEL CONSUMO Y COSTO DE LA ENERGÍA

Al abordar el proyecto de una nueva instalación de alumbrado público o al efectuar estudios sobre una ya existente es importante prever el consumo energético que ocasionará su funcionamiento y el costo derivado. Esta previsión permitirá seleccionar alternativas y conocer los recursos necesarios para la explotación pudiendo además controlar si los resultados reales se ajustan a las previsiones y en caso contrario estudiar las desviaciones.

El *consumo* resultara de la conjunción de la *potencia absorbida* por la instalación y de las *horas de funcionamiento*.

La componente principal de la potencia eléctrica será la suma de las potencias de las lámparas utilizadas. A esto se debe agregar el consumo de los equipos auxiliares, el consumo propio de las líneas de alimentación, el consumo por fallas y derivaciones, el consumo por conexiones de elementos ajenos a la instalación de alumbrado (señalización, etc.). En el caso de instalaciones existentes, un indicador del factor de pérdidas global de la instalación de alumbrado, se obtiene mediante mediciones de la potencia real referidas a la potencia instalada. Normalmente se considera un factor de pérdidas entre 1,1 a 1,2 con el cual se afecta la potencia de las lámparas. Se agrega a esto el consumo por alteración de la potencia en función de la tensión de alimentación. A título orientativo un incremento de la tensión en un 10% sobre el valor nominal origina una sobre potencia del 20%.

Otro aspecto que afecta la potencia demandada es la frecuencia y duración de las averías, reduciendo entre un 1,5 y un 2% la potencia total.

El tiempo de funcionamiento de la instalación esta determinado por los dispositivos de apagado y encendido que se ajustan de acuerdo a ciclo astronómico y a la latitud y longitud del sitio. Como cifra orientativa para Barcelona, 4277,5 horas se consideran como período de funcionamiento anual, valor que dependerá del sistema de accionamiento, retardos y adelantos voluntarios, posibles fallas y desviaciones de horarios, etc..

En caso de que la instalación este sometida a un régimen de funcionamiento diferente (reducción de flujo en horas de baja circulación) será preciso distinguir el horario correspondiente para poder afectarlo por la potencia correspondiente.

La previsión de consumo de energía resultante se obtendrá del producto:

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \times \text{tiempo} \quad [1]$$

La previsión del costo energético se efectúa en base al precio unitario de la energía el cual varía de acuerdo al tipo de tarifa contratada y a las características de la instalación de alumbrado (potencia contratada, horarios, régimen de funcionamiento, etc.).

El precio de la energía dependerá de los siguientes aspectos:

- **Tarifa de contratación:** Existen distintas modalidades de tarifas para contratar. Es conveniente estudiar cual resulta mas económica ya que depende de la ubicación geográfica y características de la instalación. Una tarifa especifica destinada a alumbrado público se identificada como B.0., sin embargo no siempre indica ser la mas conveniente.
- **Discriminación horaria:** Las diferentes tarifas admiten distintas modalidades de discriminación horaria favoreciendo con descuentos a los consumos durante los periodos de “horas valle”. La modalidad mas adecuada se elige en base a una simulación de la facturación.
- **Potencia contratada:** Se calcula sumando la potencia de las lámparas sin considerar factores de simultaneidad. Las pérdidas pueden quedar incluidas al adoptar el escalón de contratación normalizado inmediatamente superior.

En caso de usar ICP pueden surgir dificultades debidas a:

- Intensidades transitorias en el período de encendido, se deben utilizar dispositivos cuya curva de respuesta este adaptada a las lámparas de descarga.
 - Desequilibrio de fases, ya que el accionar del ICP estará dado por la fase que soporte mayor carga. La solución radica en la redistribución de las conexiones a fin de equilibrar la repartición de cargas.
- **Energía reactiva:** Generada por los equipos auxiliares inductivos de las lámparas de descarga se traduce en un recargo sobre la facturación. Se corrige mediante la instalación de condensadores, con los cuales pueden lograrse factores de potencia ($\cos\phi$) elevados que pueden hasta invertir el sentido del complemento convirtiéndolo en un descuento (para $0,9 < \cos\phi < 1$ hasta un 4% de descuento). En la practica es difícil mantener valores elevados (variaciones en las características de las lámparas, averías de los condensadores etc.) a no ser que exista un mantenimiento eficaz.
 - **Alquiler de los equipos de medición:** Los dispositivos de medición pueden ser de propiedad o bien alquilados a los importes previstos en las tarifas

8.- CONCLUSIONES

En una apretada síntesis se ponen a discusión los principales aspectos a considerar en la etapa de planteamiento del proyecto de un sistema de alumbrado que afectan directa o indirectamente la gestión y explotación los cuales pueden en determinados casos significar hasta un 50% de ahorro por eficiencia energética y gastos de mantenimiento^{4, 5}. Detalles de casos reales serán expuestos durante la ponencia los que dejan de manifiesto varios de los aspectos analizados en el presente trabajo.

9. REFERENCIAS

1. San Martín R., “Manuals de Auditoria energètica I. Enllumenat públic” ,Diputació de Barcelona Servei del Medi Ambient, ISBN 84-505-2352-4, Barcelona 1985.
2. San Martín R., Martín Manzanares L., “Guía de ahorro y eficiencia energética en iluminación”, Comité Español de Iluminación, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, ISBN 84-86850-51-7, 1994
3. Sandoval J., Manzano E., Alvarez M., “Considerations about colour lighting preferences in roads inside a park” 23rd Session Commission Internationale de L'Eclairage Proceeding vol. II, New Delhi, India, 1995.
4. Saro O., Albert V. “Auditoría Energética de Instal.lacions d'Enllumenat públic” Informe técnico, Universitat Politecnica de Catalunya, Febrero 1997
5. San Martín R., Pecanins F. , “Estudi de millora energètica enllumenat públic” Institut Català d'Energia, Generalitat de Catalunya. 1994