

nudo final. Como se dijo, las funciones SUMAR.SI o equivalentes están disponibles en las hojas de cálculo habituales en ofimática al menos desde el año 1998.

2. Ambas fórmulas crean lo que suele llamarse una "referencia circular", que es la situación en la que la fórmula de una celda hace referencia a su misma celda. Las hojas de cálculo las resuelven rápidamente iterando sucesivamente tantas veces como se indique o bien, como será en este caso, hasta que cada resultado coincida sustancialmente con el anterior. El proyectista probablemente ni llegue a advertir que tal proceso tiene lugar en su ordenador cada vez que se actualizan los datos.

La hoja de cálculo mostrada incluye las celdas G12, G13 y G14 que condicionan los cálculos de la hoja para cada fase R, S y T respectivamente: escribiendo cualquier cosa distinta de Sí en ellas, en la de la fase R por ejemplo, se obtiene el comportamiento de la red en caso de fallo de la alimentación en R. Esto resulta muy útil para estudiar, por ejemplo, redes de alumbrado y el arranque de una o dos fases por separado.

#### REFERENCIAS

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, *por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión*, BOE 224, de 18 de septiembre de 2002.
- L. M. CHECA, *Líneas de transporte de energía*, Marcombo, Barcelona 1988.
- F. REDONDO QUINTELA, *Redes con excitación sinusoidal*, ed. Revide, Béjar, 1997.

### 3 EFICIENCIA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

#### 3.1 Tecnología de alumbrado exterior eficiente

Extraído de:

IDAE / CEI, *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Alumbrado público*, Publicaciones Técnicas IDAE, Madrid, 2001 <sup>(2)</sup>.

##### 3.1.1 Equipos auxiliares

Las lámparas de descarga, en general, tienen una característica tensión-corriente no lineal y ligeramente negativa, que da lugar a la necesidad de utilización de un elemento limitador de la intensidad que se denomina genéricamente reactancia, tanto electromagnética como electrónica, para evitar el crecimiento ilimitado de la corriente y la destrucción de la lámpara cuando ésta ha encendido. Asociado a la reactancia electromagnética deberán preverse los elementos adecuados para la corrección del factor de potencia (el condensador).

Además de los dispositivos de regulación de la corriente de lámpara y de corrección del factor de potencia, requeridos por todas las lámparas de descarga para su funcionamiento, algunos tipos de lámparas de alta corriente de descarga, como son las de vapor de sodio a alta presión (VSAP), lámparas de mercurio con halogenuros metálicos (HM) de tipo europeo y las de vapor de sodio a baja presión (VSBP), necesitan una tensión muy superior a la de la red para iniciar o "cebar" la corriente de arco. Se precisa, por tanto, incluir en el equipo auxiliar un dispositivo que proporcione y soporte en el instante de encendido la alta tensión necesaria para el cebado de la corriente de arco de la lámpara. Dicho dispositivo se denomina arrancador. Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento un cebador, mientras que las de vapor de sodio a baja presión también pueden funcionar con una reactancia autotransformadora.

<sup>2</sup>

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, [www.idae.es](http://www.idae.es).  
CEI: Comité Español de Iluminación

En general, para todos los equipos auxiliares de las lámparas de descarga se tendrán en cuenta las partes aplicables de la norma CEI-61347 (*Lamp Controlgear*).

## REACTANCIAS

Son dispositivos limitadores y estabilizadores de la corriente de arco o de lámpara, que impiden que dicha corriente crezca indefinidamente hasta la destrucción de la propia lámpara. Comprenden dos grandes grupos: las reactancias electromagnéticas y los electrónicas, cuyos tipos más utilizados son los siguientes:

- Reactancia en serie de tipo inductivo
- Reactancia en serie de tipo inductivo para dos niveles de potencia
- Reactancia autorreguladora
- Reactancia autotransformadora
- Reactancia electrónica

Aun cuando la reactancia en serie de tipo inductivo es la más utilizada, proporciona una baja regulación de corriente y de potencia frente a las oscilaciones de la tensión de la red de alimentación, por lo que su uso será adecuado siempre que dicha tensión no fluctúe más del 5%. Cuando se prevean variaciones constantes o permanentes a lo largo del tiempo superiores en la tensión de la red, resultará idónea la instalación de reactancias en serie de tipo inductivo con dos tomas de tensión, conectando la más conveniente. Si dichas oscilaciones de tensión son variables en el tiempo, bien durante las horas de encendido diario, a lo largo del fin de semana o bien estacionales, será adecuado utilizar reactancias autorreguladoras, electrónicas, o mejor, un sistema de estabilización de tensión en cabecera de línea.

### Características de las reactancias

Las reactancias deberán cumplir unas determinadas exigencias básicas referentes a las calidades y tipos de materiales utilizados en los aislamientos, bobinados y núcleos. Su idónea construcción garantizará la protección contra contactos eléctricos y el correcto funcionamiento de las lámparas a las que se asocia. Además se adecuarán a concretas especificaciones térmicas, geométricas, etc., ajustándose en todo momento a las exigencias de las normas UNE - EN de seguridad y aptitud a su función, números 60.920 y 60.921 para lámparas tubulares fluorescentes, 60.922 y 60.923 para lámparas de descarga, 60.924 y 60.925 en el caso de reactancias electrónicas para tubos fluorescentes en corriente continua, así como 60.928 y 60.929 en corriente alterna y, por último, 60.968 y 60.969 para lámparas fluorescentes con reactancia propia.

### Reactancias electrónicas

La reactancia electrónica es un dispositivo compacto que realiza las funciones del equipo auxiliar y, por tanto, sustituye a la electromagnética, al condensador y al arrancador en las lámparas de sodio a alta presión.

La reactancia electrónica estabiliza la potencia en lámpara y, consecuentemente, el consumo, frente a variaciones de tensión comprendidas entre 180 y 250 V. Como resultado, al estabilizar la potencia, alarga la vida media de la lámpara, lo que implica una ventaja sobre las electromagnéticas. Por el contrario, las electrónicas son equipos más sensibles y menos robustos que las electromagnéticas.

En las condiciones de funcionamiento normal las pérdidas propias de la reactancia electrónica no superan el 4 ó 5% de la potencia eléctrica consumida en lámpara, lo cual resulta ventajoso frente al consumo real del equipo auxiliar (reactancia electromagnética, condensador y arrancador) que oscila entre un 9,3 y un 27,5% de la potencia nominal de la lámpara.

EL inconveniente de las reactancias electrónicas frente a las electromagnéticas, dada su mayor sensibilidad, es la especial protección que debe tenerse en cuenta frente a las tormentas entre nubes y tierra con descargas eléctricas, elevadas temperaturas, y todas las perturbaciones eléctricas que suelen sufrir las redes de distribución.

### CONDENSADORES

En equipos para lámparas de descarga el condensador deberá ir asociado a la reactancia, bien en paralelo con la red de alimentación para corregir el factor de potencia, o bien instalado en serie con la reactancia y la lámpara, sirviendo como elemento regulador de corriente y compensación, como ocurre con las reactancias autorreguladoras.

Generalmente las reactancias electrónicas no requieren dispositivos adicionales para la corrección del factor de potencia, al incluir un circuito electrónico diseñado a tal efecto.

### Características de los Condensadores

Todos los condensadores deberán cumplir unas determinadas especificaciones básicas, eléctricas, térmicas, de terminales para el conexionado y geométricas. Estos se adecuarán a lo exigido en las normas UNE-EN 61.048 y 61.049 relativas a condensadores para utilización en los circuitos fluorescentes tubulares y otras lámparas de descarga.

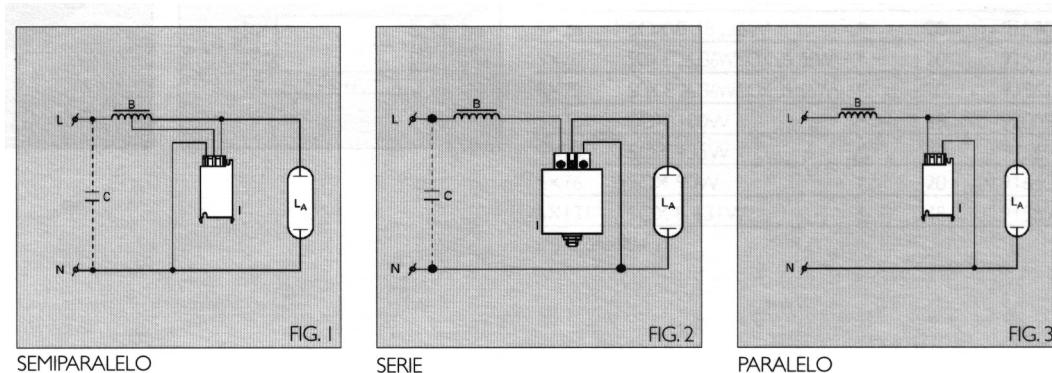
### ARRANCADORES

El arrancador es un dispositivo eléctrico, electrónico o electromecánico que por sí mismo o en combinación con la reactancia, genera y superpone a la tensión de la red el impulso o los impulsos de alta tensión necesarios para el cebado o encendido de la lámpara.

Los tipos de arrancadores para lámparas de descarga, excepto las lámparas fluorescentes tubulares, son los siguientes:

- En serie con la lámpara (de impulsos independientes)
- En semiparalelo (de impulsos dependientes del balasto al que va asociado)
- En paralelo (independiente de dos hilos)

En el caso de lámparas fluorescentes tubulares se instalarán cebadores, ya sean de efluvios o electrónicos.



Diversas formas de conectar los equipos auxiliares.  
B es la reactancia, I el arrancador, C el condensador y  $L_A$  la lámpara.

### Características de los arrancadores

En lo que respecta a las prescripciones generales y de seguridad, así como prescripciones de funcionamiento, los arrancadores y cebadores, excepto los de efluvios, se ajustarán a lo exigido en las normas UNE-EN 60926 y 60.927, mientras que los cebadores de efluvios para lámparas fluorescentes tubulares cumplirán lo establecido en la norma UNE-EN 60.155.

#### 3.1.2 Lámparas

Las lámparas utilizadas en alumbrado público deben caracterizarse por ciertas cualidades que vienen impuestas por las exigencias específicas de funcionamiento. Las dos características esenciales son las siguientes:

- 1- Eficacia luminosa: una eficacia luminosa elevada disminuye a la vez los costes de instalación (potencia instalada) y los gastos de explotación o funcionamiento (energía)

consumida).

- 2- Duración de la vida económica: definida como la duración de vida óptima desde el punto de vista de su coste de funcionamiento (el precio más bajo del lumen hora). Esta duración depende de un cierto número de factores:
- La duración de la vida real de las lámparas en las condiciones de utilización y de instalación.
  - El flujo luminoso de la lámpara y su evolución en el transcurso del tiempo
  - Factores económicos como el precio inicial de la lámpara y su coste de instalación y de reemplazamiento.

Además deben considerarse otros parámetros de menor importancia para las instalaciones de alumbrado público:

Temperatura de color: color de la luz emitida por la lámpara

- Cálido: aspecto blanco-amarillento  $T_c \leq 3300$  K
- Intermedio: apariencia blanco-neutro  $3300 K < T_c \leq 5300$  K
- Frío: tonalidad blanco-azulado  $T_c > 5300$  K

Rendimiento de color: o capacidad de reproducción cromática, es una característica esencial en el alumbrado interior, pero no en alumbrado público, en la mayoría de los casos. En el alumbrado ornamental sí debe tenerse en cuenta el rendimiento de color.

#### TIPOS Y PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS DE LAS LÁMPARAS

Los tipos de lámparas utilizadas en instalaciones de alumbrado público, en el orden de aparición en el mercado, son los siguientes:

1. Lámparas fluorescentes
2. Lámparas de vapor de mercurio a alta presión - prohibida su comercialización ya -
3. Lámparas de vapor de sodio a baja presión
4. Lámparas de vapor de sodio a alta presión
5. Lámparas de mercurio con halogenuros metálicos - sin mercurio -
6. Lámparas de descarga por inducción

#### CRITERIOS DE ELECCIÓN DE LÁMPARAS

Se recomienda la utilización de lámparas del tipo de descarga, cuya elección deberá ser adecuada para lograr los fines previstos dentro de la economía disponible. En carreteras se utilizarán preferentemente lámparas de vapor de sodio a alta presión, debido a su adecuada eficacia luminosa ( $lm/W$ ) y mejor rendimiento de color que las lámparas de vapor de sodio a baja presión, cuyo uso podría ser también recomendable en carreteras a campo abierto, zonas rurales y áreas que requieran alumbrado de seguridad. Asimismo, en determinados casos podrían emplearse lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos, etc., adoptando las potencias idóneas para cada tipo de instalación. Todo ello de conformidad con la eficacia luminosa de las lámparas y sus parámetros significativos.

#### CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS LÁMPARAS NORMALIZADAS

A continuación se reflejan las Normas que especifican las características eléctricas a las que deberá acomodarse cada tipo de lámpara:

- Fluorescentes UNE-EN 60.081, UNE-EN 60.091, UNE-EN 60.968, UNE-EN 60.969
- Vapor de Mercurio -utilización ya prohibida-
- Vapor de Sodio a Baja Presión UNE-EN 60.192
- Vapor de Sodio a Alta Presión UNE-EN 60.662
- Halogenuros Metálicos UNE-EN 61.167

En lo que respecta a las características eléctricas de las lámparas normalizadas, características fotométricas, colorimétricas, de duración y seguridad, así como el control de la calidad de las lámparas, se estará a lo dispuesto en las "Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles" del Ministerio de Fomento 1999.

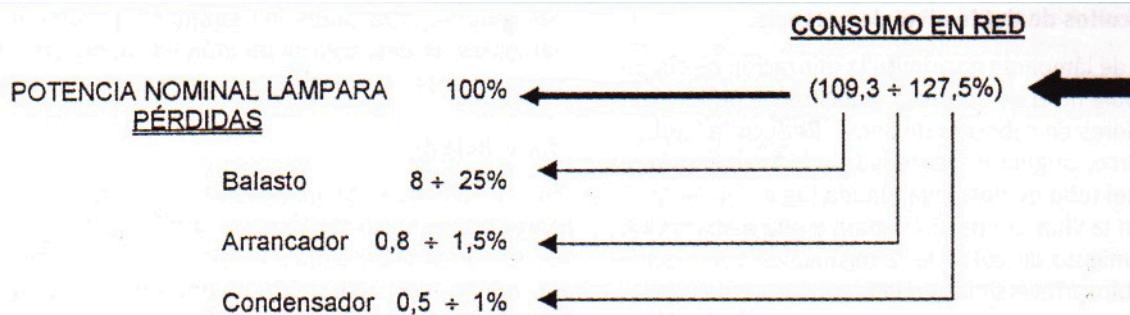
#### ALARGAMIENTO DE LA VIDA DE LAS LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

Durante la vida de la lámpara de sodio a alta presión aumenta su tensión de arco sobre el valor inicial hasta que alcanza valores en torno a 140 V, para los cuales la lámpara deja de ser estable, produciéndose apagados intempestivos de la misma: la lámpara se considera agotada. Para alargar la vida útil de las lámparas de vapor de sodio a alta presión hay que limitar el crecimiento de la tensión de arco de la lámpara, lo que requiere considerar lo siguiente:

##### Eficiencia energética del equipo auxiliar

En los equipos auxiliares (reactancia, condensador y arrancador) necesarios para el funcionamiento de las lámparas, se generan pérdidas que, en las reactancias electromagnéticas estándar oscilan entre el 8 y 25% de la energía total consumida. A ello hay que añadir las pérdidas que corresponden al condensador, que oscilan entre un 0,5 y un 1%, y las que son achacables al arrancador que varían entre un 0,8 y un 1,5%.

Si se efectúa una estimación ponderada en función del tipo de alumbrado, potencia utilizada y componentes del equipo auxiliar, el consumo real de potencia en la red, debido a las pérdidas originadas por dicho equipo, supone entre un 9,3% y un 27,5% de la potencia nominal de la lámpara, tal y como se representa en la figura siguiente (donde dice 'balasto' quiere decir 'reactancia'):



##### Reactancia

En el caso de instalar una reactancia de tipo electromagnético, su impedancia será lo más ajustada posible a la nominal y con buena regulación, de forma que su característica deberá estar dentro de los límites de trabajo establecidos para cada lámpara.

##### Luminaria

Como consecuencia de la situación de la lámpara encerrada en el interior de la luminaria entre el reflector y el cierre, se origina un aumento de la temperatura de la lámpara y de la tensión de arco en la misma. Las normas EN 60.662 y CEI-662 establecen como máxima una elevación de dicha tensión de 5 V para la lámpara de 150 W, 10 V para la de 250 W y 12 V para la de 400 W y hasta 20 V para lámpara de 1000 W.

La instalación de lámparas de potencias superiores a las nominales para las que se han diseñado las luminarias aumenta la temperatura y tensión de arco de la lámpara considerablemente, acortándose la vida útil de la misma.

##### Posición de lámpara respecto al reflector

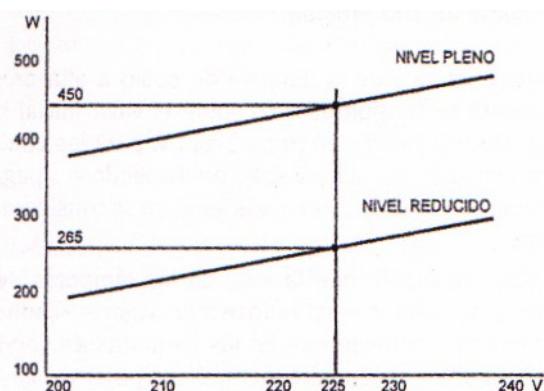
Debe cuidarse la posición de la lámpara con relación al reflector, al objeto de evitar la concentración por reflexión de la energía emitida por la propia lámpara sobre ella misma, lo

cual aumenta su temperatura y con ello la tensión de arco, en perjuicio de su vida útil, pudiéndose llegar incluso a su destrucción.

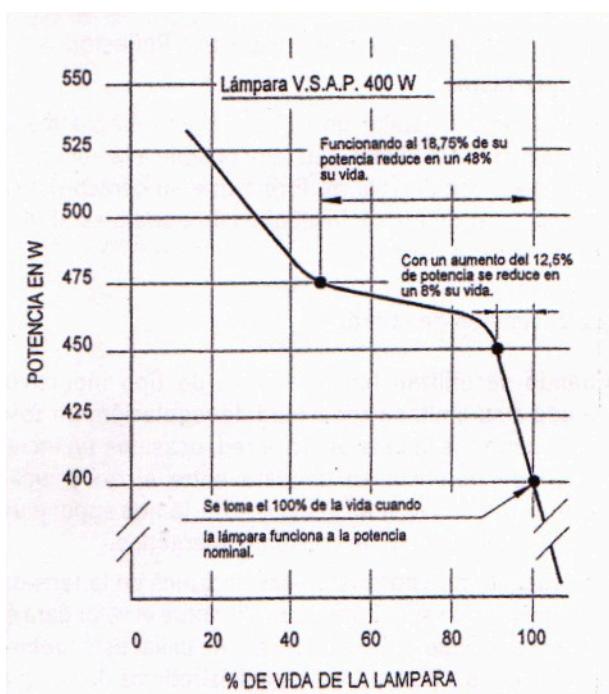
### Tensión de la red

Cuando se utilizan reactancias en serie de tipo inductivo (habituales), que tienen limitada capacidad de regulación, un 10% de aumento de la tensión de la red ocasiona un incremento de potencia en lámpara entre el 20 y 25%, pudiéndose alcanzar incluso un 30%, lo que supone un considerable exceso de consumo energético.

Es deseable que no existan desviaciones en la tensión de alimentación superiores a un 5% sobre el valor para el que está prevista la reactancia. Se puede paliar este problema exigiendo a las empresas suministradoras de energía eléctrica el control de la tensión de la red, como mínimo a los valores establecidos en la reglamentación vigente ( $\pm 7\%$  de la tensión nominal).



A pesar de ello, y dado lo amplio del margen permisible, resulta adecuado instalar bien reactancias en serie de tipo inductivo con dos tomas de corriente y utilizar aquella más adecuada a la efectiva tensión de la red, o bien implantar reactancias autorreguladoras, que pueden ser electrónicas. Lo mejor, sin embargo, es instalar estabilizadores de tensión en cabeza de las líneas eléctricas de alimentación.

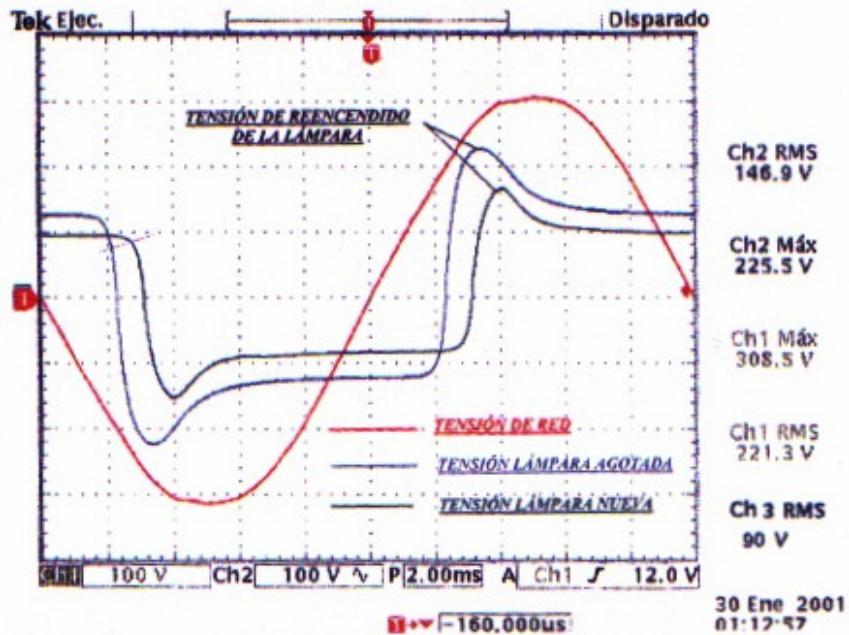


Asimismo, en la figura siguiente, para la misma lámpara de 400 W y 220 V, se representa la influencia de los excesos de potencia sobre la vida media de la lámpara.

### Tensión de arco de la lámpara

Las normas EN 60.662 y CEI-662 sobre lámparas de vapor de sodio alta presión admiten una tolerancia de  $\pm 15$  V sobre la tensión de arco establecida, lo que supone un 30% de margen en el caso de lámparas de 150 y 250 W. Esto, en principio, parece excesivo, ya que si la tensión nominal de arco es de 100 V, que se admitan como válidas tensiones entre 85 y 115 V con una diferencia de 30 V, parece implicar repercusiones negativas en la vida útil de las lámparas. Y en efecto es así: dejando aparte las instalaciones con doble nivel de flujo luminoso, que se verán más adelante, como máximo resulta aconsejable admitir una tolerancia de  $\pm 10$  V.

Las lámparas, a lo largo de su vida útil, sufren un envejecimiento natural, que se manifiesta en incrementos de la tensión de arco, a la vez que una disminución del desfase entre la tensión de arco y la tensión de red, tal y como se representa en la figura adjunta, obtenida mediante ensayos en el Laboratorio Oficial del Ayuntamiento de Zaragoza acreditado por ENAC.



Cuando a tensión de reencendido de la lámpara iguala o supera el valor instantáneo correspondiente en la tensión de red, se produce la extinción del arco de la lámpara y se alcanza el final de la vida útil de la misma que pasa a ser una 'lámpara agotada'.

#### PARTICULARIDADES DE LAS LÁMPARAS DE HALOGENUROS METÁLICOS

Aún cuando sus condiciones de funcionamiento son similares a las lámparas de vapor de mercurio, la adición de los halogenuros hace necesaria una tensión de encendido elevada, por lo que necesitan, salvo raras excepciones, de un arrancador que proporcione tensiones de pico entre 0,8 y 5 kV. Estas lámparas reúnen unas determinadas particularidades cuyo conocimiento evita posibles problemas. Dichas particularidades se describen a continuación:

##### Temperatura de color

Por la propia naturaleza de estas lámparas y al objeto de evitar una apariencia cromática dispar, que resulte desagradable para la visión, se hace necesario controlar su temperatura de color. Para ello es conveniente exigir una tolerancia máxima de un  $\pm 5\%$  en a temperatura de color

##### Posición de funcionamiento

Para lograr el rendimiento previsto de la lámpara es importante tener en cuenta la posición de funcionamiento de la misma, ya que son más sensibles que otras lámparas de descarga y deben respetarse los condicionamientos establecidos por los fabricantes para cada caso concreto.

##### Tensión de la red

Estas lámparas se ven más afectadas por las variaciones de la tensión de la red que otras de descarga, no debiendo diferir en más de un 5% del valor nominal de red, ya que además de actuar de forma negativa sobre la vida de la lámpara, acortando su duración, varía el rendimiento de color de la misma, lo cual es grave dado que dicho parámetro es un factor fundamental en la elección de este tipo de lámparas. Por ello, si se prevén tensiones distintas de 220 ó 230 V, deben instalarse reactancias para esa tensión de red, o bien reactancias bitensión, o incluso electrónicas. Pero siempre resulta preferible, como se dijo antes, un sistema de estabilización de tensión en cabeza de las líneas de alimentación.

Este tipo de lámparas no puede utilizarse en sistemas de doble nivel de potencia para ahorrar energía: reducir la intensidad de arco origina el descenso de la temperatura y presión en el tubo de descarga, dando lugar a un acortamiento en la vida útil de la lámpara y una disminución del rendimiento de color de la misma, así como posibles cambios irreversibles en la temperatura de color

#### Reactancia y arrancador

Dado el efecto rectificador que suelen producir las lámparas, de forma transitoria en el encendido y de forma permanente al final de su vida, conviene dimensionar de forma idónea las reactancias y adoptar determinadas precauciones en los arrancadores de tipo independiente a instalar. Para su protección es recomendable colocar en el circuito de la lámpara un disyuntor térmico.

#### Luminaria

La temperatura idónea que debe alcanzar la lámpara es aproximadamente de 150 °C, por lo que resulta conveniente el uso de luminarias cerradas, al objeto que pueda alcanzarse dicha temperatura y se evite su enfriamiento, de forma que la lámpara pueda proporcionar las prestaciones adecuadas.

#### Fabricante de la lámpara

Como no existe normativa para toda la gama de este tipo de lámparas, para una misma potencia los distintos fabricantes ofertan características eléctricas diferentes. Por ello deben tenerse en cuenta los parámetros de cada lámpara para instalar la reactancia y arrancador adecuados.

### 3.1.3 Elección de equipos de iluminación

Extraído de:

OSRAM, *Equipos electrónicos de conexión: la mejor elección*  
Artículo técnico disponible (entre otros) en: <<http://www.voltium.es>> (Septiembre 2007)

Después de que, ya desde mayo de 2002, no esté permitido poner en circulación dentro de la Unión Europea los equipos de conexión convencionales (ECC) de la clase de eficiencia energética D, el 21 de noviembre de 2005 llegó también el final para los equipos de la clase de eficiencia energética C. Como alternativa están disponibles los equipos de conexión de baja pérdida (EBP) y los equipos de conexión electrónicos (ECE). No obstante, el que quiera tomar una decisión segura para el futuro, se decidirá por la variante electrónica (\*).

Sólo en los países industrializados, la iluminación supone el 15% del consumo energético, del cual una parte importante corresponde a lámparas fluorescentes y fluorescentes compactas. La directriz UE 2000/55/EG surgió del deseo de utilizar instalaciones de iluminación energéticamente eficientes para reducir la emisión de gases con efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono. Esta directriz subdivide el sistema de lámparas fluorescentes y equipos de conexión en siete clases energéticas:

- Clase D: equipos de conexión magnéticos con pérdidas muy altas
- Clase C: equipos de conexión magnéticos con pérdidas moderadas
- Clase B2: equipos de conexión magnéticos de bajas pérdidas
- Clase B1: equipos de conexión magnéticos con muy bajas pérdidas
- Clase A3: equipos de conexión electrónicos
- Clase A2: equipos de conexión electrónicos de pérdidas reducidas
- Clase A1: equipos de conexión electrónicos regulables

\* La familia Quicktronic-Economic de Osram, contiene once tipos de ECE en dos típicas medidas de ECC. La mayor parte sirven para varias potencias y cubren una amplia gama de las mismas: 4-16 W, 18-24 W, 18-21 W, 26 W, 36 W y 58 W para una lámpara, o bien hasta 2x 5-11 W, 2x18 W y 2x26 W para dos lámparas. En total, con estos ECE pueden funcionar 33 lámparas fluorescentes lineales, circulares y compactas. Al QT-ECO 1x4-16/220-240 se adaptan, por ejemplo, 15 tipos de lámparas diferentes.

Los equipos de conexión regulables se incluyen en la clase A1 si al 100% del flujo luminoso alcanzan, como mínimo, los requisitos estipulados en la Clase A3 y al 25% del flujo luminoso, la potencia total de entrada es igual o inferior al 50% de la correspondiente al 100%. Además el flujo luminoso debe poder reducirse al 10% o menos del flujo máximo.

Según la directiva, actualmente sólo pueden ponerse en circulación en el mercado equipos de conexión de las clases A (ECE) y B (EBP). El siguiente ejemplo de cálculo muestra por qué:

- Una lámpara fluorescente de 18W funciona conectada a un equipo de conexión magnético convencional de la clase de eficiencia energética C, con una potencia máxima del sistema de hasta 28W. Aquí, el equipo de conexión sólo consume ya un tercio de la energía. Con un equipo de conexión magnético de la clase D, el consumo total de energía sería aún mayor.
- Los equipos de conexión de baja pérdida, gracias a un bobinado de cobre más grueso y a un núcleo de hierro de pérdida más baja, ofrecen una menor energía disipada. Estos hacen funcionar la lámpara con una potencia total de hasta 26W (B2), que sólo significa ahorrar 2W respecto de la solución clase C.
- Como verdaderos ahorreadores de energía se muestran los equipos de conexión electrónicos. Con ECE, la misma lámpara puede funcionar con 19W de potencia total máxima (A2). Con ECE regulable (A1), en combinación con la luz diurna y sensor de movimiento, se puede conseguir hasta incluso un 80% de ahorro energético.

Incluso cuando se puede ahorrar energía con los EBP, estos se consideran una solución de emergencia o intermedia, ya que trabajan según el mismo principio que los ECC. La corriente de la lámpara sigue en las dos variantes la frecuencia de la tensión de la red. Esto puede producir efectos estroboscópicos, los cuales encierran un peligro potencial, especialmente en relación con las partes giratorias de las máquinas. Los pasos por cero de la fase pueden simular una máquina lenta o parada y producen un lapso en la corriente hasta el reencendido de la lámpara, y cada reencendido más consumo de potencia. Esto reduce la eficiencia de la lámpara.

La corriente de una lámpara fluorescente que funciona con un ECE ya no depende de la frecuencia de la tensión de la red, pues el dispositivo provoca destellos de alta frecuencia. Se produce así una corriente de iones o electrones a través del tubo de descarga prácticamente constante, por lo que no se producen efectos estroboscópicos y tampoco reencendidos. Por tanto, para el mismo tipo de lámpara, con una tensión de alimentación a alta frecuencia, se requiere menos potencia eléctrica. El menor consumo de potencia reduce la carga de la lámpara y prolonga la vida de la misma.

En consecuencia, merece la pena el cambio directo de los equipos de conexión convencional a equipos de conexión electrónicos. Las ventajas de hasta un 30% menos de consumo energético, una clara prolongación de la vida y mayor confort luminoso, hacen que los costes de inversión sean rápidamente compensados.

Los costes de mantenimiento son también menores porque los estados de funcionamiento crítico se detectan inmediatamente: tanto en caso de defectos de la lámpara, como al final de su vida útil, tiene lugar una desconexión segura, y una función electrónica de parada evita los irritantes intentos de arranque sin éxito. Así se puede evitar una sobrecarga térmica y aumentar la seguridad en las instalaciones de iluminación.

### 3.2 Sistemas de gestión de las instalaciones de alumbrado público

Extraído de:

IDAЕ / CEI, *Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Alumbrado público*,  
Publicaciones Técnicas IDAE, Madrid, 2001

#### 3.2.1 Sistemas de encendido y apagado

Los ciclos de funcionamiento de las instalaciones de alumbrado público vienen determinados por el encendido y apagado de las instalaciones, así como por la reducción del nivel luminoso a altas horas de la madrugada.

El encendido y apagado de las instalaciones debe efectuarse adecuadamente, sin que se adelante el encendido ni se retrase el apagado, de forma que el consumo energético sea el estrictamente necesario.

Además de los sistemas de gestión centralizada que no se incluyen aquí, el encendido y apagado de las instalaciones se lleva a cabo mediante interruptores crepusculares, interruptores astronómicos o ambos.

#### INTERRUPTOR CREPUSCULAR

El interruptor crepuscular genera las órdenes de maniobra en función de la luminosidad ambiental, al estar constituido por una célula fotoeléctrica que detecta la cantidad de luz natural que existe en una determinada ubicación geográfica, transformando las variaciones de luminosidad en modificaciones de parámetros eléctricos, como pueden ser tensión, intensidad o resistencia.

Al comparar los parámetros eléctricos con un valor de referencia o umbral, y cuando el valor medido es diferente al de referencia, se acciona un contactor que enciende, bien el punto de luz, o la instalación de alumbrado, apagándose la misma cuando el valor medido es asimismo distinto al de referencia o umbral.

El sistema de interruptor crepuscular está provisto de una temporización o histéresis en la conmutación que permite eliminar fallos de encendidos o apagados debidos a fenómenos meteorológicos transitorios, tales como el paso de nubes u otros objetos que obstruyan la llegada de la luz solar.

Aun cuando este sistema puede ser de utilización individual, normalmente su uso es global, situándose la célula cerca del armario de mando para accionar el encendido y apagado de un cuadro de alumbrado para todo un sector.



Interruptor crepuscular



Interruptor astronómico

#### INTERRUPTOR ASTRONÓMICO

Es un programador electrónico - digital diseñado para la maniobra automática de encendido y apagado de las instalaciones de alumbrado público.

El reloj horario astronómico se basa en el cálculo de los ortos y ocasos en función de la longitud y latitud donde está situada la instalación de alumbrado. Las fechas de cambio automático verano / invierno están programadas en la memoria.

En lo que concierne a la compatibilidad electromagnética, el interruptor horario astronómico debe cumplir la norma EN relativa a perturbaciones radioeléctricas y las normas UNE EN 60555-P2 y UNE EN 61000-3.2 respecto a perturbaciones en redes (armónicos y límites), así como la norma UNE EN 61547 sobre requisitos de inmunidad. Asimismo deben ajustarse a la norma UNE EN 61038 sobre interruptores horarios.

### 3.2.2 Sistemas de regulación del nivel luminoso

Las instalaciones de alumbrado público están diseñadas de forma que durante las horas de tráfico intenso de vehículos y peatones, el nivel medio de iluminación tenga un valor suficiente para satisfacer las necesidades visuales, pero que después, es decir, durante la mayor parte del tiempo en la mayoría de los casos, proporcionen menor cantidad de luz, consumiendo menos energía y favoreciendo el ahorro en la instalación.

Para conseguir este ahorro energético hay otras alternativas: una técnica ya en desuso, pero muy simple, consistía en apagar alternativamente puntos de luz, o apagar los de un lado solo de la calzada. Ello se llevaba a cabo desconectando una o dos fases de la alimentación eléctrica trifásica, o instalando dobles circuitos eléctricos de alimentación por cada calle, o instalando luminarias bi-lámpara y apagando una de ellas mediante líneas de mando o dobles circuitos también. E incluso había sitios en los que el apagado se conseguía manualmente, mediante la retirada de los fusibles que, situados en la base de las columnas, protegen a la luminaria. Estos sistemas en la actualidad están prácticamente descartados, excepto quizás el sistema bi-lámpara, por cuanto se producen zonas oscuras que pueden afectar tanto a la visibilidad como a la seguridad, con unas uniformidades en la iluminación inaceptables.

Una mala uniformidad en la iluminación viaria implica una inversión del contraste positivo a negativo o viceversa, lo que supone la creación de zonas de invisibilidad con grave pérdida de la seguridad vial. Además, una deficiente uniformidad en el alumbrado, alternando zonas de la calzada con fuerte iluminación con otras con débil alumbrado, fatiga al conductor e influye negativamente sobre el deslumbramiento (no se garantiza la visibilidad de los obstáculos, disminuyendo considerablemente la seguridad de los usuarios, tanto de conductores como de peatones).

En la actualidad se han desarrollado sistemas que solucionan los citados inconvenientes y que tienen como finalidad común reducir simultáneamente el flujo emitido por todas las lámparas, disminuyendo el nivel de iluminación pero manteniendo la uniformidad de la misma.

Los tres sistemas de regulación del nivel luminoso son los siguientes:

- Reguladores - estabilizadores en cabecera de línea
- Reactancias en serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia
- Reactancias electrónicas para doble nivel de potencia

A la hora de establecer el porcentaje de ahorro energético proporcionado por los diferentes sistemas de regulación del nivel luminoso, deberán tenerse en cuenta:

- Las variaciones de tensión de la red
- El estado de las líneas eléctricas de alimentación de los puntos de luz: secciones, equilibrio de fases, armónicos, etc.
- El tipo de lámpara: vapor de sodio o vapor de mercurio.
- Las horas de funcionamiento: en el caso de las lámparas de vapor de sodio, los porcentajes de ahorro de energía no son constantes a lo largo de la vida de la lámpara, ya que cuanto mayor es la tensión de arco (lámparas más viejas) menor es el ahorro.

Con las salvedades reflejadas, y a título simplemente orientativo, con los sistemas de regulación del nivel luminoso y durante el período de funcionamiento de los mismos, se pueden alcanzar los siguientes ahorros:

SISTEMAS DE REGULACIÓN DEL NIVEL LUMINOSO.  
AHORRO MÁXIMO DURANTE EL PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO DEL NIVEL O POTENCIA REDUCIDA

	Nivel máximo	Nivel reducido
Potencia absorbida de la red	100%	60-64%
Flujo luminoso de la lámpara	100%	45-55%
Ahorro obtenido	--	40-36%

Una instalación de alumbrado público, dependiendo de la latitud y longitud del lugar donde esté ubicada, permanece encendida en torno a 4000 horas al año, mientras que el tiempo de permanencia del nivel o potencia reducida es, como mínimo, de un 55%, lo que significa un total de horas anuales

de funcionamiento de dicho nivel reducido de al menos 2200. Por ello, el ahorro energético referido a la totalidad de las horas anuales de funcionamiento de las instalaciones de alumbrado es, como mínimo, un 55% del establecido en la tabla anterior. Es decir, el ahorro producido por los sistemas de regulación del nivel luminoso supone, como mínimo, entre un 20 y un 22% del consumo total anual de la instalación.

Pero en el ahorro deben considerarse otros factores tan importantes como la disminución del consumo de energía: debe considerarse la distinta velocidad de envejecimiento de la lámpara de descarga (especialmente la de vapor de sodio a alta presión), que al durar más gracias a ciertas ventajas de alguno de estos sistemas, reduce considerablemente los costes de mantenimiento.

#### REGULADORES ESTABILIZADORES EN CABECERA DE LÍNEA

Los reguladores estabilizadores en cabecera de línea estabilizan y reducen la tensión de alimentación al conjunto lámpara - reactancia, con lo que se obtienen disminuciones de potencia en torno al 40% para reducciones del flujo luminoso de la lámpara aproximadamente del 50%.



En la actualidad son equipos electrónicos estáticos, que actúan de forma independiente sobre cada una de las fases de la red, al objeto de estabilizar la tensión de cada una de éstas respecto al neutro común en el circuito de salida o utilización, y disminuir el nivel de dicha tensión a partir de la orden apropiada, para finalmente producir una reducción del flujo luminoso de la lámpara y el consiguiente ahorro energético.

Para tensiones de alimentación nominales al conjunto lámpara - reactancia de 220V, la reducción de tensión es a 175 V, pudiendo admitirse hasta 180 V y para el vapor de sodio a alta presión, y a 195 V para el vapor de mercurio a alta presión.

Se instalan en cabecera de línea, alojándose junto al armario de maniobra y medida, siendo muy importante que las líneas eléctricas estén bien dimensionadas (secciones adecuadas), para evitar apagados en los puntos de luz más alejados del regulador - estabilizador en cabecera, debidos a la caída de tensión en las líneas.

A la misión fundamental de estabilización y reducción de tensión, distintos fabricantes añaden diferentes funciones complementarias, como pueden ser curvas en rampa de distintas formas para el encendido en frío o en caliente, protecciones o dispositivos de seguridad, elementos de maniobra, medida, telecontrol, etc.

#### Ventajas e inconvenientes

La primordial ventaja de los reguladores estabilizadores en cabecera de línea sobre otros sistemas para doble nivel de potencia, es la estabilización de la tensión de alimentación, tanto en el nivel máximo de plena potencia, como en el nivel reducido o segundo nivel. Esta ventaja tiene importancia por cuanto al mantenerse estabilizada la tensión de alimentación en los dos niveles, reducido y pleno, no se ocasiona un incremento de potencia en lámpara y, en consecuencia, no existe influencia sobre la vida de la lámpara, que no se sobrecalienta, ni exceso de consumo energético por sobrepotencia.

También cabe destacar que su implantación en alumbrados existentes es relativamente fácil y sencilla, sin que se precise una intervención, siempre costosa, en cada uno de los puntos de luz del alumbrado.

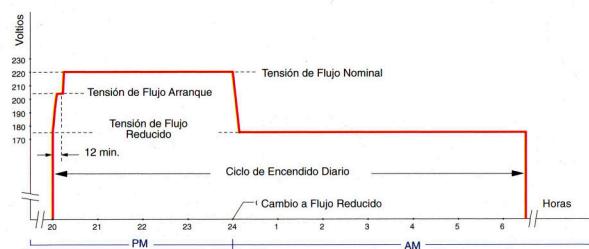


Figura 3: Curva régimen de arranque, normal y reducido hasta el amanecer del equipo ESDONI-N

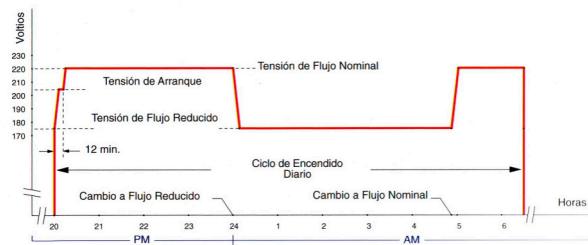


Figura 4: Curva régimen de arranque, normal, reducido y vuelta a régimen normal del equipo ESDONI-N

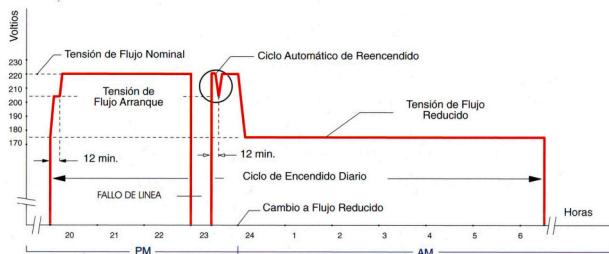


Figura 5: Corte de red con ESDONI-N trabajando a régimen normal

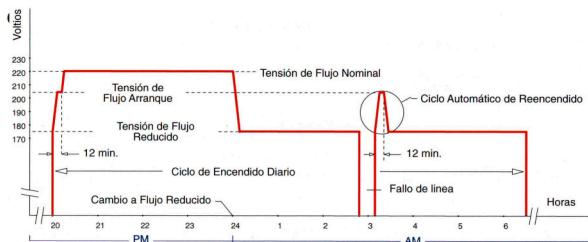


Figura 6: Corte de red con ESDONI-N trabajando a régimen reducido

Por el contrario, la reducción del valor instantáneo de la tensión de la red producida por el regulador estabilizador en cabecera de línea, unida al incremento de la tensión de arco de la lámpara debido a su envejecimiento, da lugar a un cierto recorte de la vida útil de las lámparas, evaluable en un 10% aproximadamente, según los resultados obtenidos en laboratorio. Esta reducción hay que ponderarla, no obstante, frente al alargamiento de la vida útil derivado de la estabilización de la tensión que se consigue.

Por otra parte, cabe señalar la incompatibilidad, o cuando menos, el bajo aprovechamiento de los reguladores estabilizadores en cabecera de línea en aquellas instalaciones de alumbrado en las que se mezclan las lámparas de vapor de sodio y las de vapor de mercurio, ambas a alta presión: como las lámparas de mercurio no permiten reducir la tensión al nivel que soportarían las de sodio, éstas quedarán funcionando por encima del punto óptimo de ahorro.

El efecto reseñado de las dos acciones de incremento de la tensión de arco de la lámpara y de disminución del valor instantáneo de la tensión de la red, se acentúa o aumenta en aquellas lámparas más alejadas del equipo regulador estabilizador en cabecera de línea, debido a las caídas de tensión a lo largo de los conductores eléctricos que alimentan los puntos de luz de la instalación de alumbrado público. Resulta crítico, por tanto, diseñar escrupulosamente las líneas, para prevenir estos efectos.

La precisión propia de cada equipo de regulación va a influir también en el ahorro energético, dado que si la tensión es inferior a 175 V, podrían producirse apagados aleatorios de lámparas en la instalación de alumbrado público, y en el caso contrario, de que dicha tensión sea superior a 175 V, no se obtendría el ahorro energético óptimo previsto.

#### Normativa

Aun cuando los reguladores estabilizadores en cabecera de línea en la actualidad carecen de normativa específica que los regule, se recomienda aplicar las partes concernientes de la norma UNE EN 60439 "Conjuntos de Aparatamiento de Baja Tensión".

En lo que atañe a la compatibilidad electromagnética cumplirán la norma EN 55015 relativa a perturbaciones radioeléctricas y las normas UNE EN 60555.P2 y UNE EN 61000-3.2 respecto a perturbaciones en redes (armónicas y límites), así como la norma UNE EN 61547 sobre requisitos de inmunidad.

#### REACTANCIAS EN SERIE DE TIPO INDUCTIVO CON DOBLE NIVEL DE POTENCIA

Se trata de los primeros equipos que aparecieron en el mercado europeo para ahorro energético, aportando una primera solución adecuada para la regulación del nivel luminoso de las instalaciones de alumbrado público. Pueden estar dotados con línea de mando o sin línea de mando (temporizados), aplicándose a las lámparas de vapor de sodio a alta presión y de vapor de mercurio.

Son reactancias de tipo inductivo para conectar en serie con la lámpara, de construcción semejante a los modelos estándar, pero a los que se ha añadido un bobinado adicional sobre un mismo núcleo magnético, de manera que pueda obtenerse la impedancia nominal para la potencia nominal de lámpara (primer nivel), y por conmutación a la conexión del bobinado adicional, una impedancia superior que da lugar a la potencia reducida en lámpara (segundo nivel). La conmutación se lleva a cabo mediante un relé que a su vez está comandado a través de una línea de mando auxiliar.

Una versión posterior alternativa de este sistema es la denominada "sin línea de mando" en la que se ha dotado al rejé de conmutación de un temporizador con retardo a la conexión de forma que, al cabo de un tiempo predeterminado a partir de la puesta en servicio del alumbrado, se conmuta automáticamente a la posición de nivel reducido.

##### Inconvenientes

En las instalaciones de alumbrado público existentes, la implantación de las reactancias de doble nivel de potencia con o sin línea de mando requiere una intervención punto a punto de luz, lo que supone un coste económico a considerar.

Pero sin duda el principal inconveniente lo constituyen las averías: una única línea de mando controla una gran cantidad de relés, y en el caso frecuente de que alguno de ellos se dañe, quedando cortocircuitado por ejemplo, provoca el disparo de la protección de la línea de mando, quedando ésta inoperante. La instalación permanece entonces funcionando a plena potencia, hasta que se localice el relé dañado y se sustituya, liberando del cortocircuito la línea de mando. Pero localizar dicha avería requiere una intervención en cada punto de luz, con un coste elevadísimo, de forma que no es infrecuente encontrarse con sistemas de doble nivel con línea de mando en el que éste lleva años sin utilizarse.

##### Normativa

Las reactancias serie tipo inductivo con doble nivel de potencia deberán cumplir lo dispuesto en las normas UNE EN 60922 y 60923, además de la especificación técnica del Comité Técnico de Certificación CTC-007 "Lámparas y Equipos Asociados" (AENOR). Asimismo, se ajustarán a lo establecido en las normas UNE EN 60555.R2 y 61000.3.2 en lo relativo a perturbaciones en redes (armónicos y límites), así como la norma UNE EN 61547 sobre requisitos de inmunidad.

#### REACTANCIAS ELECTRÓNICAS

Dispositivo compacto que realiza las funciones del equipo auxiliar y, por tanto, sustituye a la reactancia electromagnética, condensador y arrancador (en las lámparas de sodio a alta presión). Lleva incorporado los elementos necesarios para efectuar de forma autónoma y automática y, en consecuencia, sin necesidad de una línea auxiliar de mando, la reducción del flujo luminoso de la lámpara y la potencia en determinados períodos de funcionamiento del alumbrado (potencia reducida o segundo nivel), con el consiguiente ahorro energético.

La reactancia electrónica estabiliza la potencia en lámpara y, consecuentemente, el consumo en red tanto en funcionamiento a régimen reducido como a máxima potencia, frente a variaciones de tensión comprendidas entre 180 y 250 V. Como resultado, al estabilizar la potencia, mantiene la vida media de la lámpara, a la que hay que restar un 10% por las razones que se explicaron a propósito de la regulación en cabecera.

En todas las condiciones de funcionamiento (máxima potencia y nivel reducido), las pérdidas propias del equipo electrónico no superan el 4 ó 5% de la potencia eléctrica consumida en lámpara, lo cual resulta ventajoso frente al consumo real del equipo auxiliar tradicional (reactancia electromagnética, condensador y arrancador) que oscila entre un 9,3 y un 27,5% de la potencia nominal de la lámpara.

### Ventajas e inconvenientes

Las reactancias electrónicas presentan, además de menores pérdidas propias por consumo del equipo auxiliar, las mismas ventajas e inconvenientes que los reguladores estabilizadores en cabecera de línea.

Sin embargo resulta, generalmente, una solución sensiblemente más cara, y su implantación en instalaciones de alumbrado existentes precisa una intervención punto a punto de luz, lo que implica un sobre coste económico añadido que resulta difícil de justificar. Por último, son equipos sensibles a las tormentas (rayos), elevadas temperaturas, y perturbaciones eléctricas de la red.

### Normativa

En lo que concierne a la normativa a cumplir, los balastos electrónicos se ajustarán a lo dispuesto en las partes aplicables de las normas:

- UNE EN 60928 y UNE EN 60929
- EN 55015 respecto a compatibilidad electromagnética y perturbaciones radioeléctricas.
- UNE EN 60555.P2 y UNE EN 61000.3.2 relativa a perturbaciones en redes (armónicos y límites)
- UNE EN 61547 sobre requisitos de inmunidad.

## 3.3 Un caso real algo distinto

El ejemplo de páginas anteriores, sobre la resolución de redes trifásicas ramificadas, ha sido aplicado satisfactoriamente a redes de distribución de energía eléctrica de cuatro hilos. Pero en ocasiones la distribución tiene que hacerse a tres hilos. Esto ocurre generalmente cuando la máxima tensión disponible son 230 V entre fases y 127 V entre fase y neutro, en cuyo caso es normal no incluir el conductor neutro en la distribución, y si se incluye no se usa, porque ya no quedan casi receptores de 127 V de tensión nominal.

Prácticamente todas las instalaciones de mediana y gran antigüedad se ejecutaron solo con tres hilos, y con materiales algo sorprendentes hoy día. Porque al ser entonces menores las tensiones usadas que la actual más común de 400 V, también podían ser menores los aislamientos y valía el algodón y otras fibras. Ahora el desarrollo de los plásticos ha cambiado el panorama, contribuyendo a la generalización de la tensión de 400 V.

En muchos pueblos de nuestro entorno, no obstante, la energía eléctrica sigue distribuyéndose a 230 V de tensión entre fases y sin utilizar, ni por tanto distribuir, el conductor neutro. Puede ocurrir que las reformas que se deban hacer en la red hayan de respetar esta condición, es decir, que haya que mantener el suministro trifásico a 230 V y solo 3 hilos. No es aconsejable hacerlo siempre, pues a menudo resulta preferible, de cara a una futura elevación de la tensión, adoptar un esquema de 4 hilos válido para 400 V e instalar en cabecera un autotransformador trifásico que eleve la tensión. Pero si no hay más remedio que trabajar con 3 hilos, la solución del apartado anterior no vale y hay que desarrollar otra similar.

Se expone ahora un Estudio justificativo de la reforma del alumbrado de un pueblo castellano. El trabajo parte de un estudio luminotécnico, en el que se justifica con cálculos manejando diferentes opciones la solución luminotécnica adoptada, se evalúa el ahorro que se pretende conseguir respecto de la situación inicial conocida, y luego se diseñan los circuitos calculando secciones, se fijan las conexiones de las lámparas para lograr el equilibrio de la carga, se varían parámetros para optimizar la instalación desde el punto de vista económico, se justifica la inversión, el ahorro en consumo y, finalmente, el plazo de amortización consecuente.

### 3.3.1 Datos disponibles

Se trata del diseño eficiente de la instalación de alumbrado público de que dispone un municipio. Es un caso muy aproximadamente real, y la situación descrita se repite con cierta frecuencia, de forma que resulta de especial interés práctico y teórico.

Supóngase el municipio cuyo plano se adjunta, que dispone de una instalación de alumbrado controlada por un solo centro de mando del que parten cuatro líneas para alimentar todas las luminarias representadas.

En la figura pueden observarse la ubicación de los puntos de luz, el trazado aproximado que siguen las líneas y el lugar que ocupa el centro de mando.

Aunque la distribución existente es de 230 V a tres hilos, en este caso se colocará en el centro de mando un autotransformador trifásico con neutro accesible, elevador de tensión hasta 400 V entre fases. Luego hay que diseñar la instalación para cuatro hilos y tensión nominal de 400 V.

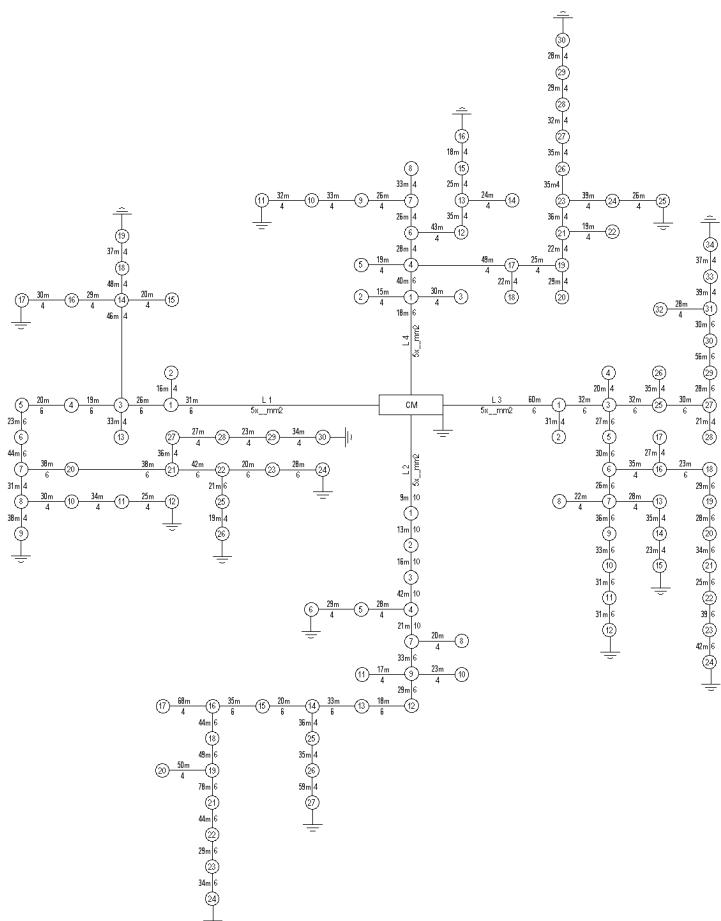
También se incluye un posible esquema unifilar del centro de mando, al objeto de poder apreciar sus funciones y capacidades de maniobra. Como se ve, es posible alimentar cada fase por separado, y el neutro no se interrumpe nunca.

El esquema unifilar de la instalación de alumbrado es el del croquis adjunto. Se representan las luminarias y la distancia entre ellas (longitud de los tramos). También se ha incluido, como una posible solución, la sección de la línea en cada uno, en  $\text{mm}^2$ .

En el Estudio se confirma la validez de la solución adoptada o y se compara con alguna alternativa mejor, que no signifique variación de las posiciones de luminarias ni de trazado de líneas.

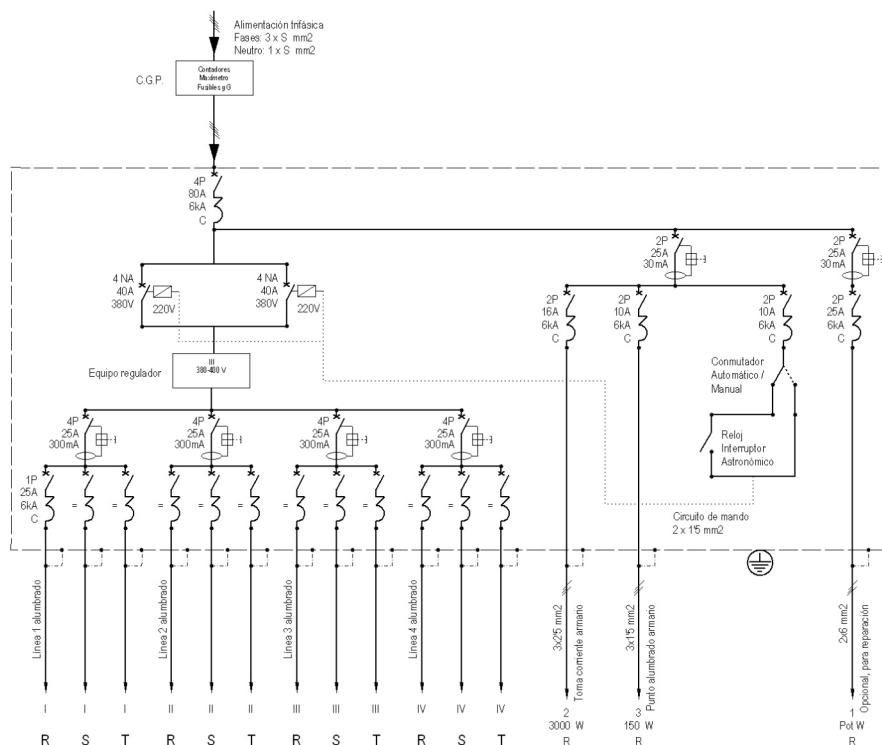
Se determina también cuál debe ser el tipo de conexión de cada luminaria para conseguir que cada línea constituya, vista desde el centro de mando, un receptor trifásico equilibrado.

Se procurará, además, lograr el mejor equilibrio de potencias asignadas a cada fase y que las caídas de tensión más desfavorables sean, también, lo más parecidas posible, para garantizar un comportamiento homogéneo de todos los circuitos de la instalación.



Esto implica la necesidad de estudiar el comportamiento de la red en el arranque de dos de las tres fases, y determinar las consecuencias de tal proceder que, generalmente, es totalmente desaconsejable.

Se utiliza una hoja de cálculo que permite simular la activación de las fases por separado, para analizar lo que ocurre con solo dos de las tres fases conectadas (es una estimación de la versatilidad de la instalación).



### 3.3.2 Eficiencia en el alumbrado exterior

La eficiencia energética de la instalación depende también del nivel de iluminación que se considere suficiente conseguir, pues niveles excesivamente altos son un despilfarro de energía que debe combatirse.

Los niveles de alumbrado y otros requisitos de eficiencia energética directamente relacionados aparecen ya regulados en España en la norma aprobada por el

Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07, BOE nº 279, de 19 de noviembre de 2008.

Este Reglamento está en vigor desde el 1 de abril de 2009, y se aplica desde entonces a todas las instalaciones nuevas y a la reforma de las existentes, si las modificaciones afectan a más del 50% de la instalación. También alcanza al alumbrado de fuentes y el festivo o navideño exterior.

En el caso de viales, según esta norma, es necesario fijar en primer lugar la “situación de proyecto”, que es clasificar la calle o carretera a iluminar de acuerdo con una tipología basada en la categoría de la vía, el uso a que se destina, la intensidad media diaria (IMD) de vehículos que la transitan, la existencia de aceras y tráfico peatonal, y parámetros similares. Se establecen cinco tipos básicos, con varios subtipos cada uno, ordenados de mayor a menor exigencia de iluminación. Para autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras de alta velocidad (tipos A y B), se aplica la tabla siguiente:

CLASES DE ALUMBRADO PARA VÍAS DE TRÁFICO RODADO DE ALTA Y MEDIA VELOCIDAD			
	Tipos de vías	Intensidad de tráfico (IMD)	Nivel de iluminación
A1	Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías)	Alta: IMD > 25000 Media: $15000 \leq IMD \leq 25000$ Baja: $IMD < 15000$	ME1 ME2 ME3
	Carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas)	Alta: IMD > 15.000 Media y baja: $IMD \leq 15000$	ME1 ME2
	Carreteras locales a campo abierto con accesos no restringidos	IMD > 7000 IMD $\leq 7000$	ME1 ó ME2 ME3
A3	Vías colectoras, rondas de circunvalación, carreteras interurbanas, vías urbanas de tráfico importante, vías principales en ciudad, travesías de poblaciones	IMD > 25000	ME1
		$15000 \leq IMD \leq 25000$	ME2
		$7000 \leq IMD < 15000$	ME3
		IMD < 7000	ME4
B1	Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante, vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas	IMD > 7000	ME2 ó ME3
		IMD $\leq 7000$	ME4, ME5 ó ME6
B2	Carreteras locales en áreas rurales	IMD > 7000	ME 2 ó ME3
		IMD $\leq 7000$	ME4 ó ME5

Las anteriores situaciones de proyecto se estudian mediante los métodos que permiten evaluar la luminancia ( $cd/m^2$ ) que cada alumbrado consigue sobre la calzada, medida en condiciones normalizadas. Es preciso alcanzar, en cada caso, los siguientes valores mínimos, en funcionamiento a potencia normal y descontando las pérdidas de rendimiento (en un factor nunca mayor de 0'8):

NIVELES DE ALUMBRADO DE LA SERIE ME				
Clase de alumbrado	Luminancia ( $cd/m^2$ )	Relaciones de luminancia		
		Global $U_o$	Longitudinal $U_l$	
ME1	2,00	0,40	0,70	
ME2	1,50	0,40	0,70	
ME3	1,00	0,40	0,60	
ME4	0,75	0,40	0,50	
ME5	0,50	0,35	0,40	
ME6	0,30	0,35	0,40	

Para vías de tráfico rodado de baja velocidad, e incluso vías peatonales (tipos C, D y E), se aplican las situaciones de proyecto de la tabla que se incluye más adelante.

En este tipo de vías, salvo en los aparcamientos, no es posible evaluar la luminancia conseguida, porque se requiere estimar la percepción de un observador situado a 60 m de distancia en línea recta, y generalmente esta distancia no suele estar disponible en este tipo de vías. Como tampoco resulta crítico este criterio, se adopta el método de estimar la iluminancia o cantidad de luz (en lux) vertida sobre la calzada. Se deben conseguir los niveles mínimos de la "serie S" (ver tabla).

CLASES DE ALUMBRADO PARA VÍAS DE TRÁFICO RODADO DE BAJA VELOCIDAD, CICLISTAS Y PEATONES			
Tipos de vías	Intensidad de tráfico (IMD)	Nivel de iluminación	
C1 Carriles bici independientes a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas urbanas	Flujo de ciclistas alto	S1 ó S2	
	Flujo de ciclistas normal	S3 ó S4	
D1 Áreas de aparcamiento, estaciones de autobuses	Flujo de peatones alto	ME1 ó ME2	
	Flujo de peatones normal	ME3 ó ME4	
D3 Calles residenciales suburbanas, con aceras para peatones a lo largo de la calzada. Zonas de velocidad limitada	Flujo de vehículos, peatones y ciclistas alto	S1 ó S2	
	Flujo de vehículos, peatones y ciclistas normal	S3 ó S4	
E1 Espacios peatonales de conexión, calles peatonales, aceras a lo largo de la calzada, paradas de autobús con zona de espera, áreas comerciales peatonales	Flujo de peatones alto	S1	
	Flujo de peatones normal	S2, S3 ó S4	
E2 Zonas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones	Flujo de peatones alto	S1	
	Flujo de peatones normal	S2, S3 ó S4	

NIVELES DE ALUMBRADO DE LA SERIE S			
Relaciones de luminancia			
Clase de alumbrado	Iluminancia media $E_m$ (lux)	Iluminancia mínima $E_{min}$ (lux)	Uniformidad media $U_m$ (%)
S1	15	5	33
S2	10	3	30
S3	7,5	1,9	25
S4	5	1	20

En el caso del Estudio que se comenta parece conveniente clasificar las calles del pueblo dentro de la situación de proyecto D4, lo que implica alcanzar niveles de iluminancia, en servicio, correspondientes al tipo S3. Pueden probarse luminarias suspendidas entre 6 y 8 m de altura, dotadas de lámparas de vapor de sodio de alta presión de 70 W, colocadas unilateralmente a una equidistancia de entre 23 a 28 m. Esta configuración podría bastar para una calle tipo de 5'50 m de ancho con dos aceras de 0'60 m cada una.

Se llama la atención sobre el hecho de que el Reglamento de eficiencia (RD 1890/2008) exige que no se superen en más del 20% los niveles de iluminación determinados más arriba, que son MÁXIMOS. En viales tipos A y B también exige superar los niveles de uniformidad e iluminación del entorno requeridos por la clase de alumbrado seleccionada, y no sobrepasar los umbrales de deslumbramiento a ella asociados.

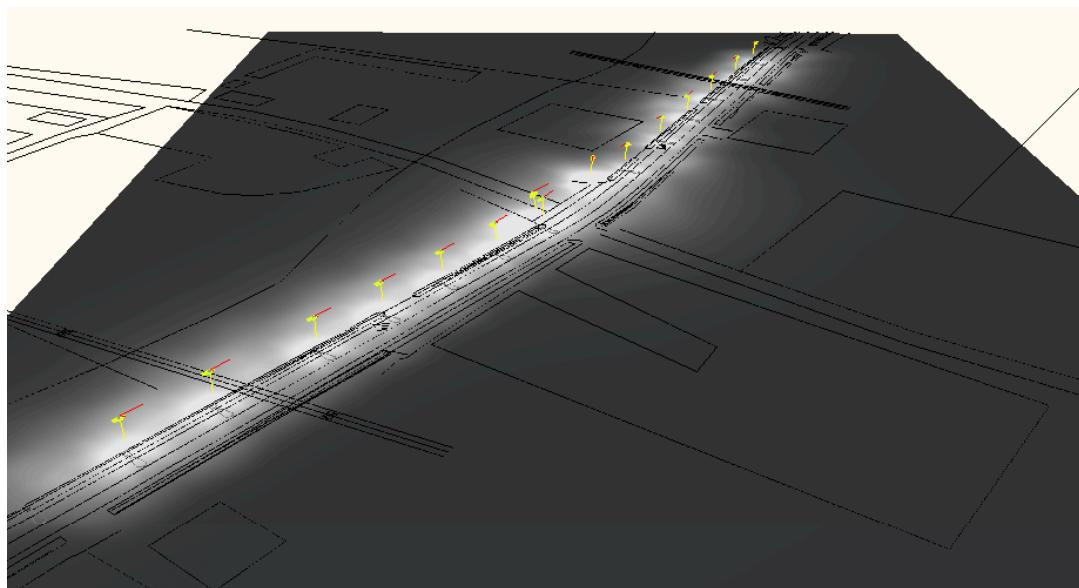
Los cálculos luminotécnicos pueden efectuarse con cualquier programa gratuito que los fabricantes de luminarias ofrecen en internet, y el resultado puede plasmarse como se indica a continuación, en un ejemplo extraído de otro trabajo real resuelto en 2009.

### 3.4 Otro ejemplo: instalación de alumbrado vial

Se resumen a continuación, a modo de ejemplo, los detalles más relevantes de una instalación de alumbrado exterior diseñada y calculada según el citado Reglamento de eficiencia (RD 1890/2009).

Se trata de la reforma y ampliación del alumbrado de una travesía de una carretera regional por un pequeño municipio zamorano. El proyecto lo encargó la Administración regional promotora de las

obras, pero el titular de la instalación resultante es el municipio.



Idealización tridimensional de parte de la travesía objeto de este ejemplo.  
Categoría A3, para  $15000 \leq \text{IMD} \leq 25000$ .

SERIES ME DE CLASE DE ALUMBRADO PARA VIALES SECOS TIPOS A Y B

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores	Situación adoptada en proyecto
	Luminancia Media $L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )(1)	Uniformidad Global $U_o$ [mínima]	Uniformidad Longitudinal $U_L$ [mínima]	Incremento Umbral $TI\% (2)$ [máximo]	Relación Entorno SR (3) [mínima]	
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50	
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50	X
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50	
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50	
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50	
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50	
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50	
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50	
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos	

(1) Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de ( $TI$ ), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( $f_m$ ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

(2) Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral ( $TI$ ).

(3) La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas contiguas a la calzada que tengan sus propios requisitos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

(4) Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente  $R$  (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA SOLUCIÓN  
ADOPTADA**

Nº de luminarias	47
Potencia instalada	7,05 kW
Potencia máxima	15,0 kVA
Criterios de iluminación seguidos	Según directrices IDAE 2001 y Reglamento alumbrado exterior
Nº de circuitos	2
Longitud de líneas	421 + 585 = 1.006 m
Nº centros de mando necesarios	1
Reducción nivel luminoso de madrugada	Reductor / estabilizador de tensión en cabecera
Consumo esperado (*)	22.560 kWh/año
Ahorro por reducción madrugada	845 €/año
Coste de explotación anual (a 0'15 €/kWh)	3.385 €/año
Presupuesto total	73.139,54 €

(\*) Sobre la base de 4.000 h de funcionamiento anual, un 45% de las cuales a régimen de consumo reducido, consiguiendo un ahorro global del 20%.

**JUSTIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA ITC-EA-05**

- a) Titular de la instalación: Ayuntamiento de ...  
 b) Emplazamiento : Travesía de la carretera ...  
 c) Uso al que se destina: Alumbrado vial  
 d) Relación de luminarias, lámparas y equipos auxiliares, con su potencia:

Ud.	Luminaria	Lámpara	Equipo auxiliar	Potencia total unitaria
47	Indalux IVH1 150St o similar	VSAP 150W 17.500lm	Electromagnético 15W con arrancador y condensador	150 +15 = 165W

- e) Parámetros de eficiencia y mantenimiento:
- Factor de utilización  $f_u$ : ..... 0,69
  - Factor de mantenimiento  $f_m$ : ..... 0,86
  - Eficiencia de las lámparas y equipos  $\varepsilon_L$ : ..... 106 lum/W
  - Rendimiento de las luminarias  $\eta$ : ..... 78,9%
  - Flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{inst}$ : ..... 0,91
  - Disposición espacial adoptada: ..... unilateral, cada 23,36 m
  - Relación luminancia / iluminancia  $L/E$ : ..... 0'07 cd/(m<sup>2</sup>·lux)

- f) Régimen de funcionamiento:
- Horas de utilización anual: ..... 4000 h/año
  - Sistemas de accionamiento: ..... interruptor astronómico
  - Regulación del nivel luminoso: ..... reductor flujo en cabecera

g) Medidas de mejora adoptadas:

- Eficiencia y ahorro energético: ..... *reducción de demanda global*
- Limitación resplandor nocturno: ..... *según RD 1890/2008 - EA-03*
- Reducción de luz intrusa o molesta: ..... *no aplicable*

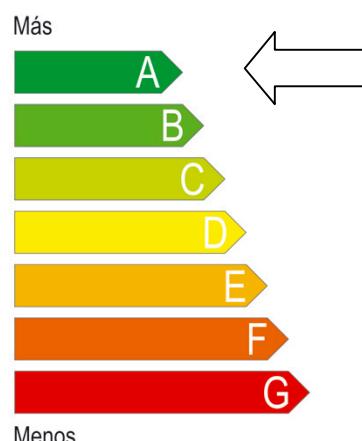
h) Eficiencia energética de la instalación:

- Calle tipo  $\varepsilon$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W}$ ): ..... 40,2

i) Calificación energética de la instalación:

- Índice de eficiencia  $I_\varepsilon$ : ..... 1,48
- Clasificación energética: ..... A
- Consumo energía anual (kWh): ..... 22.560
- Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año) (\*): ..... 9.994
- Iluminancia media servicio  $E_m$  (lux) ..... 21,87
- Uniformidad ( $U_o$ ): ..... 51%

(\*) Se ha utilizado la relación de 0,443 toneladas CO<sub>2</sub> por cada MWh producido en el sistema eléctrico español, que es función del *mix* energético involucrado en la producción de toda la energía eléctrica de origen nacional en 2007. Fuente: UNESA "Información sobre el impacto en el medio ambiente" (dato 2007), en <[http://www.unesa.es/documentos/impacto\\_ma.pdf](http://www.unesa.es/documentos/impacto_ma.pdf)>.



La calificación energética de la instalación y los valores que conducen a ella se deben determinar según establece la ITC EA-01. El procedimiento puede ser el siguiente:

A) Un primer método de cálculo de la eficiencia energética es:

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P_{total}}$$

$S$  = superficie total de la zona estudiada en metros cuadrados

$E_m$  = iluminancia media en servicio de la instalación en lux

$P_{total}$  = potencia total consumida por lámparas más equipos auxiliares

En este caso se tiene que:

$$S = 23,36 \times 6 \times 13 = 1.822 \text{ m}^2$$

$$E_m = 21,87 \text{ lux}$$

$$P_{total} = 990 \text{ W}$$

$$\varepsilon = 40,2 \text{ m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W}$$

B) La eficiencia energética se puede determinar también como:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u$$

$\varepsilon_L$  = eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ( $\text{lum}/\text{W} = \text{m}^2 \cdot \text{lux}/\text{W}$ )

$f_m$  = factor de mantenimiento de la instalación (en valores por unidad)

$f_u$  = factor de utilización de la instalación (en valores por unidad)

En este caso se tiene que:

$$\varepsilon_L = 106 \text{ lum}/\text{W}$$

$$f_m = 0,86$$

$$f_u = 0,67$$

$$\varepsilon = 61,1 \text{ lum}/\text{W}$$

Se toma el valor más pequeño, por ser el más desfavorable:

Eficiencia energética de la instalación  
 $\varepsilon = 40,2 \text{ m}^2\text{-lux/W}$

REQUISITOS MÍNIMOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Iluminancia media en servicio $E_m$ (lux)	Eficiencia energética mínima $\text{m}^2\text{-lux/W}$	Valor del ejemplo (interpolación lineal)
$\geq 30$	22	
25	20	
20	17,5	
15	15	
10	12	
$\leq 7,5$	9,5	Cumple

El índice de eficiencia energética  $I_\varepsilon$  se define como

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}$$

$\varepsilon$  = eficiencia energética de la instalación

$\varepsilon_R$  = valor de eficiencia energética de referencia en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada

VALORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE REFERENCIA

Iluminancia media en servicio proyectada $E_m$ (lux)	Eficiencia energética de referencia $\varepsilon_R$ $\text{m}^2\text{-lux/W}$	Valor del ejemplo (interpolación lineal)
$\geq 30$	32	
25	29	
20	26	
15	23	
10	18	
$\leq 7,5$	14	$E_m = 21,87 \text{ lux}$ $\varepsilon_R = 27,1 \text{ m}^2\text{-lux/W}$

Índice de eficiencia energética  
 $I_\varepsilon = 1,48$

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía). El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es igual al inverso del índice de eficiencia energética:

$$ICE = \frac{1}{I_\varepsilon}$$

Índice de consumo energético  
 $ICE = 0,67$

La calificación energética que corresponde a esta instalación se fija en función del índice de consumo energético y del índice de eficiencia energética, según la tabla siguiente:

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO

Calificación energética	Índice de consumo energético	Índice de eficiencia energética	Calificación del ejemplo
A	ICE < 0,91	$I_e > 1,1$	X
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_e > 0,92$	
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_e > 0,74$	
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_e > 0,56$	
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_e > 0,38$	
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_e > 0,20$	
G	ICE $\geq 5,00$	$I_e \leq 0,20$	

Luego la clasificación que le corresponde es la A, como figura en la etiqueta que se reprodujo más arriba.

### 3.5 Alumbrado interior

La herramienta gratuita de referencia para el estudio de la iluminación interior, que permite lograr un diseño eficiente que cumpla todos los requisitos luminotécnicos, vuelve a ser DiaLux. En clase se mostrarán sus fundamentos de uso, que es sencillo y práctico, y permite llegar a resultados con mucha rapidez.

Las normas de referencia en España para determinar los niveles luminosos requeridos en multitud de situaciones cotidianas son las siguientes:

- UNE-EN 12464-1: 2003. Iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interiores
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, de disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo
- Norma UNE EN 12193: Iluminación. Alumbrado de instalaciones deportivas
- CTE SU-4 Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada
- Recomendaciones de diseño:
  - o UNE 72112 Tareas visuales.
  - o Clasificación UNE 72163 Niveles de iluminación.
  - o Publicaciones CIE: Comisión Internacional del Alumbrado.

Además hay criterios de eficiencia en el Código Técnico de la Edificación, documento CTE HE 3, obligatorio en virtud del RD 314/2006. Esta norma exige:

- Calcular el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI en cada zona (potencia por metro cuadrado para conseguir 100 lux sobre él), constatando que no se superan los valores límite consignados en la Tabla 2.1 del apartado 2.1 del CTE HE-3.
- Diseñar un sistema de control y, en su caso, de regulación, que optimice el aprovechamiento de la luz natural, cumpliendo lo dispuesto en el apartado 2.2 del CTE HE-3 (tener en cuenta el aporte de luz natural).
- Programar un plan de mantenimiento, que cumpla con el apartado 5 del CTE HE-3.

### 3.6 Ejercicio propuesto

Es interesante dominar las técnicas de diseño eficiente del alumbrado, tanto exterior como interior.

En el caso del alumbrado exterior los ejemplos sirven para ilustrar cómo debe reformarse una

instalación para elegir aquella que resulte más eficiente desde el punto de vista energético, algo que resulta ya obligatorio tras la entrada en vigor del Reglamento sobre eficiencia en el alumbrado exterior español.

En el caso del alumbrado interior deben alcanzarse los requisitos de la normas sobre niveles luminosos y respetarse los límites recogidos en el Código Técnico de la Edificación, sección HE 3.

Para ambas situaciones se recomienda utilizar el DiaLux como herramienta de diseño y cálculo de eficiencia luminotécnica, como se ha visto en clase.

#### **4 OPTIMIZACIÓN DEL COSTE DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO**

Un sencillo ejercicio, pero muy útil en muchas ocasiones, consiste en emular mediante una hoja de cálculo la facturación eléctrica más común, en régimen de libre mercado, de la mayoría de los grandes consumidores en baja tensión.

Extraído de: STS PROYECTOS DE INGENIERÍA  
<http://www.stsproyectos.com/descargas/tarifa-electrica-30a.html>  
Febrero 2011

##### **4.1 Tarifa eléctrica 3.0A**

Sigue a continuación una sencilla explicación del modo de calcular los costes de un suministro eléctrico en baja tensión en las condiciones del Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica en España:

En España el suministro eléctrico es un negocio libre, pero no lo son ni el transporte ni la distribución de energía eléctrica, que son monopolios territoriales. Luego para que un suministrador pueda vender energía a un cliente, debe pagar un canon por el uso de las redes, que nunca pertenecen a dicho suministrador.

El canon o peaje está regulado en el Real Decreto de tarifas acceso, que establece los precios según una estructura de tarifas en la que se encuentra la 3.0A, dedicada a baja tensión y tres períodos: P1-punta, P2-llano y P3-valle.

###### **4.1.1 Parámetros de suministro**

Precio de la potencia (€/kW·año):

Precio en euros por kilovatio y año en cada uno de los tres períodos de la potencia facturada. El precio en euros por kilovatio de cada recibo se obtiene multiplicando por el tiempo, en años, facturado. Normalmente es 1/12 de año, un mes.

Potencia contratada (kW):

Cantidad de kilovatios que sirve de referencia para fijar la potencia facturada cada mes. Generalmente refleja la potencia normalmente absorbida por la instalación.

Precio de la energía (€/kWh):

Precio, normalmente en céntimos de euro por kilovatio hora en cada uno de los tres períodos:

Período	Invierno	Verano
Punta (P)	18:00 - 22:00 h	11:00 - 15:00 h
Llano (LL)	El resto	El resto
Valle (V)	0:00 - 8:00 h	0:00 - 8:00 h

Precio de la energía reactiva (€/kVArh): Se cobra por el exceso de energía reactiva contabilizada a partir de factores de potencia (fdp) menores de 0,95 inductivo. El precio varía:

si  $0,95 > fdp \geq 0,80$ : 0,041554 €/kVArh

si  $0,80 > fdp$ : 0,062332 €/kVArh

Impuesto eléctrico (€): Un impuesto especial de fabricación, recogido en el título I, art.64, de la Ley 38/1992, de 28 de diciembre, de impuestos especiales.

La base imponible es la suma del coste facturado por potencia, por energía, y por energía reactiva, antes del IVA.

El tipo es del 4,864%, si bien se convierte en 5,11270% en aplicación de la ley del IVA (impuesto sobre el valor añadido;  $100/(100-4,864) = 1,05113$ ;  $1,05113 \times 4,864\% = 5,11270\%$ ).

Alquiler de contador (€/mes): Un precio, también regulado, que valora el alquiler de contadores, transformadores de medida, equipo auxiliar e interruptores limitadores, entre otros, que forman parte del equipo para medir la potencia, la energía activa y la energía reactiva proporcionadas por la red.

#### 4.1.2 Cálculo de la factura

Lecturas de contador:

Los modernos equipos de medida son aptos para cualquier estructura tarifaria, y la más compleja incluye 6 períodos diferentes (P1, P2, P3, P4, P5 y P6). Generalmente la información de consumos que aparece en la factura, como medidas de contador, incluye todos esos períodos aunque contractualmente se requieran solo 3.

En el caso de la tarifa 3.0A la asociación que se hace es la siguiente:

Período Punta (P): P1 + P4

Período Llano (LL): P2 + P5

Período Valle (V): P3 + P6

Término de potencia:

Producto del precio en €/kW aplicable al mes (o fracción) facturado, por la potencia facturable. Este término, para cada período, se calcula así:

- Sea PM la potencia medida por el máxímetro en el período (valor máximo de los parciales integrados en intervalos de 15 minutos durante todo el período medido), en kW.

- Sea PC la potencia contratada para el mismo período, en kW.

- La potencia facturable se calcula como:

si  $PM \leq 0,85 \times PC$  se facturará siempre  $0,85 \times PC$

si  $0,85 \times PC \leq PM \leq 1,05 \times PC$  se facturará PM

si  $PM \geq 1,05 \times PC$  se facturará  $PM + 2(PM - 1,05 \times PC)$

Término de energía:

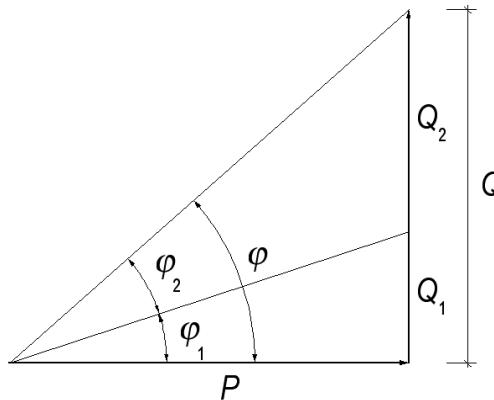
Producto del precio en €/kWh de cada período por el consumo registrado en kWh.

Término de energía reactiva:

Este complemento penaliza a los consumidores que, según los registros del contador instalado, se caractericen por factores de potencia inferiores a 0,95 inductivo.

- Sean P (kWh) y Q (kVArh) las mediciones, para cada período, de las energías activa y reactiva registradas por el contador.

- La cantidad  $Q_1$  está exenta de penalización. La cantidad  $Q_2$  se calcula con la expresión siguiente, que se deduce del gráfico adjunto:



$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2; \quad \varphi_1 = \arccos(0,95)$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_2 = Q - Q_1 = Q - P \tan \varphi_1$$

El precio de la penalización varía según el factor de potencia calculado para cada período, teniendo en cuenta el consumo  $Q$  total, según se explicó más arriba.

Es importante notar que, por la exigencia legal de redondeo a dos decimales, al final la energía reactiva facturable resulta ser

$$Q_2 = Q - 0,33 P$$

Resto de términos:

El impuesto se calcula con el tipo de 5,11270% como se ha explicado más arriba, no con el nominal de 4,864%.

El alquiler equipo de medida se calcula sobre el período que abarque la factura (que es un plazo contable), que puede no coincidir exactamente con el de facturación (que es un plazo con precisión horaria que está incorporado a las lecturas automáticas que pasan los contadores al sistema de facturación).

#### 4.1.3 Ejercicio propuesto

Se propone comprobar la facturación de un suministro *real* abonado a una tarifa 3.0A correspondiente a los últimos 12 meses disponibles, para comprobar la inexistencia de errores y poder estudiar con rapidez cualquier otra oferta económica de otro suministrador.

Para ello es conveniente programar una hoja de cálculo como la que se sugiere, que permita simular la facturación bajo los parámetros contratados y cualesquiera otros, de manera que se pueda optimizar el coste de la energía consumida.

A partir de ella, y suponiendo que el consumo del año próximo será como el año estudiado, obténgase la cifra más conveniente de la potencia contratada, estímense los beneficios de corregir la penalización por energía reactiva (si procede) y determinense las demás posibilidades de ahorro que puedan llevarse a cabo.

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						
82						
83						
84						
85						
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92						
93						
94						
95						
96						
97						
98						
99						
100						
101						
102						
103						
104						
105						
106						
107						
108						
109						
110						
111						
112						
113						
114						
115						
116						
117						
118						
119						
120						
121						
122						
123						
124						
125						
126						
127						
128						
129						
130						
131						
132						
133						
134						
135						
136						
137						
138						
139						
140						
141						
142						
143						
144						
145						
146						
147						
148						
149						
150						
151						
152						
153						
154						
155						
156						
157						
158						
159						
160						
161						
162						
163						
164						
165						
166						
167						
168						
169						
170						
171						
172						
173						
174						
175						
176						
177						
178						
179						
180						
181						
182						
183						
184						
185						
186						
187						
188						
189						
190						
191						
192						
193						
194						
195						
196						
197						
198						
199						
200						
201						
202						
203						
204						
205						
206						
207						
208						
209						
210						
211						
212						
213						
214						
215						
216						
217						
218						
219						
220						
221						
222						
223						
224						
225						
226						
227						
228						
229						
230						
231						
232						
233						
234						
235						
236						
237						
238						
239						
240						
241						
242						
243						
244						
245						
246						
247						
248						
249						
250						
251						
252						
253						
254						
255						
256						
257						
258						
259						
260						
261						
262						
263						
264						
265						
266						
267						
268						
269						
270					</td	