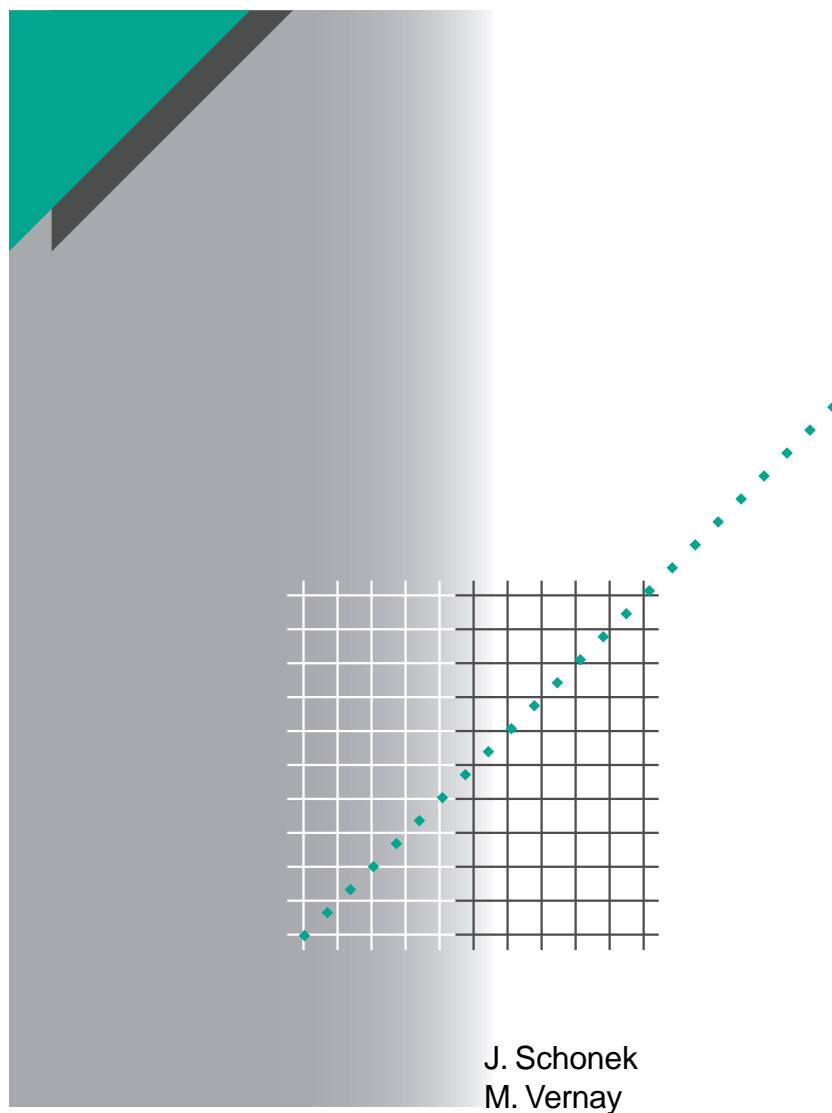


Cuaderno Técnico nº 205

Alimentación de circuitos de alumbrado



J. Schonek
M. Vernay



La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades electrotécnicas y electrónicas. Están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica o más amplia, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas.

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet:

<http://www.schneiderelectric.es>

Centro de Formación Schneider

C/ Miquel i Badia, 8 bajos

08024 Barcelona

Telf. (93) 285 35 80

Fax: (93) 219 64 40

e-mail: formacion@schneiderelectric.es

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» de **Schneider Electric España S.A.**

Advertencia

Los autores declinan toda responsabilidad derivada de la incorrecta utilización de las informaciones y esquemas reproducidos en la presente obra y no serán responsables de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones o esquemas contenidos en la presente edición.

La reproducción total o parcial de este Cuaderno Técnico está autorizada haciendo la mención obligatoria: «Reproducción del Cuaderno Técnico nº 205 de Schneider Electric».

Cuaderno Técnico nº 205

Alimentación de circuitos de alumbrado



Jacques SCHONEK

Ingeniero ENSEEIHT y Doctor-Ingeniero por la Universidad de Toulouse. Entre 1980 y 1995 participó en el diseño de los variadores de velocidad de la marca Telemecanique.

A continuación, fue gerente de la sección de Filtrado de Armónicos. Actualmente es responsable de Aplicaciones y Redes Electrotécnicas en la Oficina de Estudios de Previsión de la División Baja Tensión de Schneider Electric.



Marc VERNAY

Ingeniero por el Conservatoire National des Arts e Métiers (CNAM) de Grenoble.

En la empresa Merlin Gerin, de 1991 a 1996 fue responsable del proyecto «aparatos de regulación de luminosidad»; y posteriormente proporcionó soporte técnico en trabajos sobre aplicaciones de alumbrado.

Actualmente, se encarga de los avances electrónicos para las aplicaciones de baja tensión en la división de Distribución Eléctrica de Schneider Electric.

Trad.: J.M. Giró

Original francés: abril 2002

Versión española: setiembre 2004



«Arco eléctrico» y «Descarga luminiscente»

Un arco eléctrico es una conducción gaseosa en la que los portadores de carga son los electrones producidos por una emisión primaria (arrancados del cátodo).

Una descarga luminiscente es una conducción gaseosa en la cual los portadores de carga son los electrones producidos por emisión secundaria (arrancados a los átomos de gas en el que se produce la descarga).

Condensador antiparasitario

Condensador de bajo valor (algunas decenas de nanofaradio) colocado en los bornes de los circuitos de alimentación de los aparatos electrónicos y destinado a protegerlos contra las perturbaciones de AF transportadas por la red.

Condensador de filtro

Condensador, generalmente situado en la salida de un circuito rectificador y destinado a reducir el rizado de la tensión continua.

Convertidor

Dispositivo destinado a modificar al menos una de las características de la energía eléctrica (tensión, amplitud, frecuencia).

Índice de respuesta cromática –IRC–

Cifra, designada por IRC o Ra, que caracteriza la capacidad de una fuente luminosa para reproducir los diferentes colores del espectro visible de un objeto iluminado, sin pérdida o coloración.

La Comisión Internacional del Alumbrado (C.I.E.: Commission Internationale de l'Eclairage) ha definido un índice general de respuesta cromática, Ra, cuyo valor máximo es 100.

K (grado Kelvin)

Unidad de temperatura de color que caracteriza el color aparente de una luz. Esta magnitud no es representativa de la temperatura real de la fuente luminosa.

Luminaria

Aparato que sirve para repartir, filtrar o transformar la luz de una o varias lámparas. A diferencia de las lámparas, incluye las piezas de fijación, los circuitos auxiliares (cebador y balasto) y los dispositivos de conexión al circuito de alimentación.

Regulador

Convertidor destinado a hacer variar la amplitud de una tensión alterna por medio de un interruptor electrónico cuyo tiempo de conducción se limita a una fracción del periodo de esta tensión.

Rendimiento luminoso (lm/W)

Cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia consumida.

Tubo «fluorescente» y tubo «neón»

Un tubo «fluorescente» es una lámpara constituida por una ampolla revestida interiormente por una cubierta de sustancia luminiscente y que contiene un gas (vapor de mercurio); la luz que proporciona es emitida por la cubierta luminiscente excitada por la radiación UV de una descarga eléctrica.

Un «tubo neón» es una lámpara constituida por una ampolla en la que la luz es producida mediante la descarga eléctrica que atraviesa el gas que contiene (mezcla neón/argón: 75/25). Los diferentes colores de estos tubos, utilizados para letreros luminosos, se consiguen depositando polvo en su interior o utilizando vidrio totalmente teñido.

Alimentación de circuitos de alumbrado

Fuente de comodidad y de productividad, el alumbrado representa el 15% de la energía eléctrica consumida en la industria y el 40% en los edificios de viviendas. La calidad del alumbrado (estabilidad de la luz y continuidad de servicio) depende a su vez de la energía eléctrica que recibe. Por tanto, la alimentación eléctrica de las redes de alumbrado tiene una gran importancia.

Para ayudar al diseño y facilitar la elección de los dispositivos de protección, los autores presentan en este documento un análisis de las diversas tecnologías de lámparas y las principales innovaciones tecnológicas que se están desarrollando. Sigue después una síntesis de las particularidades de los circuitos de alumbrado y de su importancia en los dispositivos de mando y de protección; por último, se refieren a la elección de los aparatos que hay que instalar.

Índice

1 Las diversas tecnologías de lámparas	1.1 La luz artificial	p. 6
	1.2 Lámparas de incandescencia	p. 6
	1.3 Lámparas fluorescentes	p. 7
	1.4 Lámparas de descarga	p. 8
	1.5 Diodos electroluminiscentes o LED (Light Emitting Diodes)	p. 9
	1.6 Lámparas para usos especiales	p. 9
2 La alimentación de las lámparas de incandescencia	2.1 Lámparas con alimentación directa	p. 10
	2.2 Lámparas halógenas de baja tensión	p. 11
3 La alimentación de luminarias con balastos magnéticos	3.1 El balasto magnético o reactancia	p. 12
	3.2 El cebador	p. 12
	3.3 La compensación	p. 12
	3.4 Una evolución tecnológica	p. 14
4 La alimentación de luminarias con balastos electrónicos	4.1 Principio y características	p. 15
	4.2 Esquema	p. 15
	4.3 Inconvenientes	p. 16
5 Características técnicas y utilización de los dispositivos de alumbrado	5.1. Principales características técnicas	p. 18
	5.2 Campos de utilización, ventajas e inconvenientes	p. 18
	5.3 Los diversos modos de alimentación	p. 19
6 Dificultades y recomendaciones	6.1 Exigencias relativas a los dispositivos de alumbrado y recomendaciones	p. 20
	6.2 Sensibilidad de los dispositivos de alumbrado a las perturbaciones de tensión de la red	p. 22
	6.3 Elección de variadores de luminosidad	p. 23
7 Conclusiones: evolución tecnológica y exigencias profesionales	7.1 Evolución de las luminarias	p. 25
	7.2 Evolución de la aparamenta de mando y protección	p. 25
	7.3 La necesidad de una buena adecuación	p. 25
Bibliografía		p. 26

1 Las diversas tecnologías de lámparas

1.1 La luz artificial

Una radiación luminosa artificial puede producirse con la energía eléctrica aplicando dos principios: la incandescencia y la electroluminiscencia.

La incandescencia

Es la producción de luz por elevación de temperatura. Los valores de energía son muy elevados y, por tanto, el espectro de la radiación emitida es continuo. La mayor parte de veces se tiene un filamento calentado hasta el rojo-blanco por la circulación de una corriente eléctrica. La energía suministrada se transforma, por efecto Joule, en un flujo luminoso.

La luminiscencia

Consiste en el fenómeno de emisión por la materia de una radiación luminosa visible o próxima a lo visible.

■ Electroluminiscencia de un gas

Un gas (o vapor) sometido a una descarga eléctrica emite una radiación luminosa.

Puesto que este gas no es conductor a temperatura y presión ordinarias, la descarga se produce generando partículas cargadas que permiten la ionización del gas. El espectro, en forma de rayos, depende de los niveles de energía específica del gas (o vapor) empleado. La presión y la temperatura del gas determinan la longitud de onda de la radiación emitida y la naturaleza del espectro.

■ La fotoluminiscencia

Es la luminiscencia de una sustancia expuesta a una radiación visible o próxima al espectro visible (ultravioleta, infrarrojo).

Cuando la sustancia absorbe una radiación ultravioleta y emite una radiación visible que se detiene poco tiempo después de la excitación, se habla de fluorescencia. No todos los fotones recibidos se transforman en fotones emitidos. El mejor rendimiento con las sustancias actuales es de 0,9.

Cuando la emisión luminosa persiste después de suprimir la excitación, se habla de fosforescencia.

1.2 Lámparas de incandescencia

Las lámparas de incandescencia son históricamente las más antiguas (patente de Thomas Edison en 1879) y las más extendidas entre el gran público.

Su funcionamiento se basa en hacer llegar a la incandescencia un filamento, en el vacío o en una atmósfera neutra, para evitar su combustión.

Se distingue:

■ Las ampollas estándar

Tienen un filamento de tungsteno y están llenas de un gas inerte (nitrógeno con argón o kriptón).

■ Las ampollas halógenas

Tienen también un filamento de tungsteno, pero están rellenas con un compuesto halogenado (yodo, bromo o flúor) y con un gas inerte (kriptón o xenón). Este compuesto halogenado es el responsable del fenómeno de regeneración del filamento, lo que permite

aumentar la esperanza de vida de las lámparas y evitar su ennegrecimiento. Además, se puede aumentar mucho la temperatura del filamento, y, por tanto, conseguir una mayor luminosidad con ampollas de pequeño tamaño.

El inconveniente principal de las lámparas de incandescencia es su gran disipación térmica, y, por tanto, su bajo rendimiento luminoso; pero en cambio tienen la ventaja de un buen IRC (Índice de Rendimiento Cromático) puesto que su espectro de emisión está muy próximo al espectro de recepción del ojo (**figura 1**).

Su esperanza vida es, aproximadamente, de 1000 horas para las lámparas estándar, y de 2000 a 4000 horas para las lámparas halógenas. Hay que tener presente que esta esperanza de vida se reduce al 50% cuando la tensión de alimentación aumenta tan sólo en un 5%.

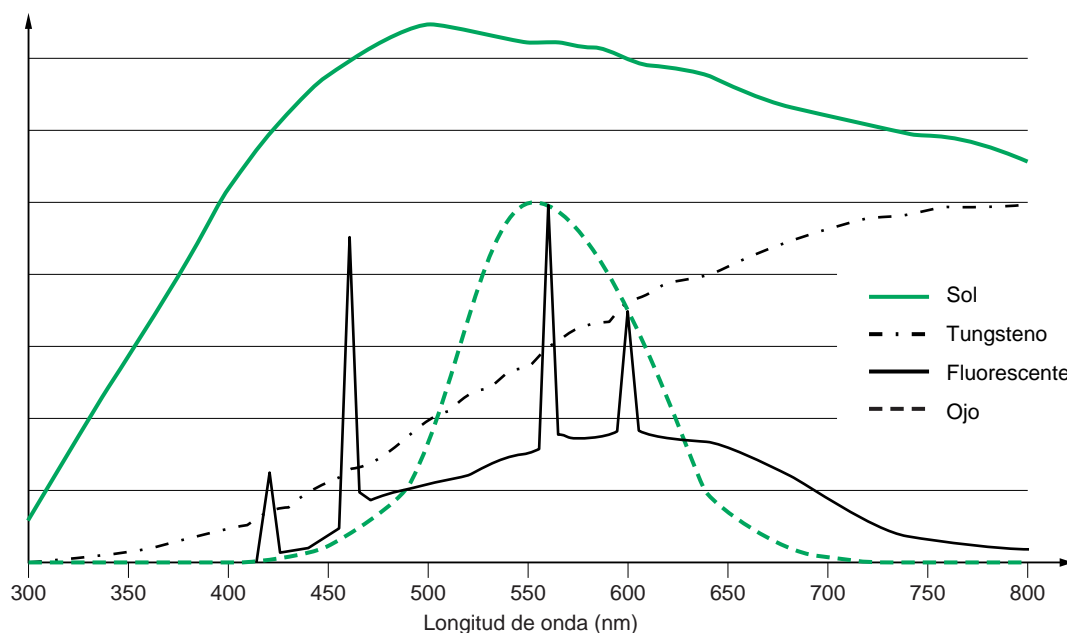


Fig. 1: Curva de respuesta del ojo y espectros de emisión de diferentes fuentes de luz visible.
 Nota: el espectro de las fuentes fluorescentes es diferente según el modelo de lámpara.

1.3 Lámparas fluorescentes

Se incluyen en este grupo los tubos fluorescentes y las lámparas flúo-compactas. Su tecnología se llama generalmente «mercurio a baja presión».

Los tubos fluorescentes

Aparecieron en 1938.

En estos tubos, una descarga eléctrica provoca la colisión de los electrones con los iones del vapor de mercurio, lo que produce una radiación ultravioleta por excitación de los átomos de mercurio. Entonces, la sustancia fluorescente que recubre el interior de los tubos, transforma esta radiación en luz visible.

Esta tecnología tiene el inconveniente de proporcionar un IRC mediocre, porque el espectro de emisión es discontinuo. Existen sin embargo actualmente diversas familias de productos que responden a múltiples necesidades de IRC, por ejemplo, los tubos llamados de «luz de día».

Los tubos fluorescentes disipan menos calor y tienen una esperanza de vida más larga que las lámparas de incandescencia; en cambio,

necesitan utilizar dos dispositivos: uno para el encendido, llamado «cebador» y otro para la limitación de la corriente del arco después del encendido. Este último, llamado «balasto» o «reactancia», es normalmente una inductancia colocada en serie con el arco. Las limitaciones debidas a la exigencia de este balasto se detallan a lo largo de este documento.

Lámparas flúo-compactas

Su principio de funcionamiento es idéntico al de un tubo fluorescente. Un circuito electrónico (integrado en la lámpara) realiza las funciones del cebador y la reactancia o balasto, con lo que se obtienen lámparas de menores dimensiones y que no necesitan equipos adicionales.

Las lámparas flúo-compactas se han desarrollado para sustituir a las lámparas de incandescencia: se consigue una economía de energía significativa (15 W frente a 75 W para una misma luminosidad) y un aumento de la duración (8000 h, de media, y hasta 20000 h en algunos casos).

Las lámparas flúo-compactas estándar tardan un poco en encenderse y su esperanza de vida se reduce con el número de encendidos. Si se multiplica por 3 el número de encendidos, se reduce a la mitad la duración prevista.

Las lámparas llamadas «de inducción» o «sin electrodos» (**figura 2**) son de encendido instantáneo y el número de éstos no afecta a su duración. Su principio de funcionamiento es una ionización del gas que contiene el tubo mediante un campo electromagnético de muy alta frecuencia (hasta 1 GHz). Su esperanza de vida puede alcanzar las 100 000 h.

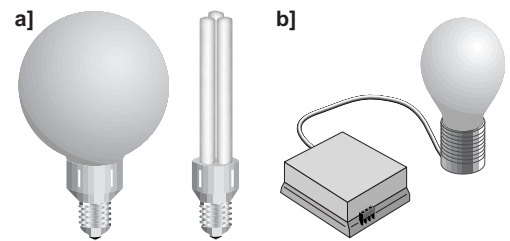


Fig. 2: Lámparas flúo-compactas:
a) estándar; **b)** de inducción.

1.4 Lámparas de descarga

La luz se produce mediante una descarga eléctrica entre dos electrodos en el seno de un gas contenido en una ampolla de cuarzo. Así pues, todas estas lámparas (**figura 3**) necesitan un balasto para limitar la corriente del arco.

El espectro de emisión y el IRC dependen de la composición del gas y se mejoran al aumentar la presión. Se han desarrollado diversas tecnologías para diferentes aplicaciones.

Lámparas de vapor de sodio de baja presión

Tienen mejor rendimiento luminoso, pero su respuesta cromática es peor, puesto que su radiación es monocromática y de un color anaranjado.

Aplicaciones: alumbrado de autopistas, túneles.

Lámparas de vapor de sodio de alta presión

Emiten luz blanca ligeramente anaranjada.

Aplicaciones: alumbrado urbano, monumentos.

Lámparas de vapor de mercurio de alta presión

La descarga se produce en el interior de una ampolla de cuarzo o cerámica a presiones

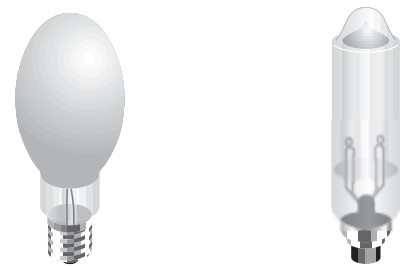


Fig. 3: Lámparas de descarga.

superiores a 100 kPa. Emiten una luz característica de color blanco azulado.

Aplicaciones: aparcamientos, almacenes, supermercados.

Lámparas con halogenuros metálicos

Es la tecnología más reciente. Emiten un color que tiene un amplio espectro.

La utilización de un tubo cerámico proporciona un buen rendimiento luminoso y una mejor estabilidad de los colores.

Aplicaciones: estadios, comercios, proyectores.

1.5 Diodos electroluminiscentes o LED (Light Emitting Diodes)

El principio de funcionamiento de los diodos electroluminiscentes es la emisión de luz de un semiconductor al pasar por él una corriente eléctrica. Los LED son de uso corriente en muchas aplicaciones, pero el actual desarrollo de diodos de color blanco o azul y de alto rendimiento luminoso abre nuevas perspectivas, especialmente para la señalización (semáforos, señalización de salidas de emergencia, alumbrado de socorro). La intensidad de corriente media en un LED es de 20 mA, con una caída de tensión comprendida entre 1,7 y 4,6 V, según el color.

Estas características son especialmente adecuadas para la alimentación en muy baja tensión, en concreto, con baterías. La alimentación con la red necesita un convertidor.

La ventaja de los LED es su bajo consumo de energía y, como consecuencia, que trabajan a baja temperatura, lo que aumenta mucho su duración. Sin embargo, tienen una potencia luminosa muy baja. Por tanto, un sistema de alumbrado necesita conectar un gran número de unidades.

Estos diodos se utilizan sobre todo cuando la potencia disponible es baja.

1.6 Lámparas para usos especiales

Los tipos de lámparas citados en este apartado son, excepto los dos últimas, de empleo unitario. En todos los casos, su alimentación eléctrica debe de estudiarse según las informaciones técnicas específicas proporcionadas por sus fabricantes.

Lámparas de incandescencia especiales para semáforos

Se diseñan para aumentar su duración y su montaje especial les permite resistir las vibraciones.

Lámparas especiales de vapor de mercurio

Emiten un haz homogéneo de luz blanca-azul utilizándose para reprografía, serigrafía o alumbrado especial para joyerías.

Lámparas que emiten una luz blanca con una radiación de unos 655 nm

Se utilizan para acelerar la fotosíntesis de las plantas. Las aplicaciones son, por ejemplo, los almacenes de floristas, los vestíbulos de entrada, los invernaderos industriales.

Lámparas germicidas

Emiten luz ultravioleta de una longitud de onda de 253,7 nm. Se utilizan para la purificación, la esterilización del aire, del agua y de los instrumentos en la industria farmacéutica, en los hospitales, en las estaciones de tratamiento o en los laboratorios. Estas lámparas emiten una radiación peligrosa para los ojos y la piel.

Lámparas generadoras de UVA

Se utilizan para el bronceado de la piel y la fototerapia.

Lámparas de luz negra

Producen una emisión ultravioleta con grandes longitudes de onda que tienen el efecto de activar los pigmentos fluorescentes. Se utilizan para la búsqueda de defectos en industria o para descubrir falsificaciones (billetes, cuadros...) y para iluminación espectacular.

Lámparas halógenas especiales

Se utilizan para la proyección de imágenes (proyectores, retroproyectores, lectura de microfichas); su radiación calorífica hacia la película se reduce un 60% respecto a la de una lámpara clásica.

Lámparas para proyectores de estudios y teatros

Su temperatura de color es de 3200 K. Sus potencias pueden llegar a los 5000 W. Estas lámparas tienen mejor rendimiento luminoso y mayor flujo luminoso, pero su duración es reducida (12 h, 100 h, 500 h).

Lámparas calentadoras

Producen un haz de energía calorífica en la banda del infrarrojo corto. Unos tipos se destinan a la ganadería, otros al secado de pinturas, al calentamiento en los procesos industriales o al calentamiento por radiación.

2 La alimentación de las lámparas de incandescencia

2.1 Lámparas con alimentación directa

Problemática

Debido a la gran temperatura del filamento durante su funcionamiento (hasta 2500° C), su resistencia varía mucho dependiendo de que la lámpara esté apagada o encendida. La resistencia en frío es baja, por lo que el pico de corriente de conexión puede llegar a ser 10 a 15 veces mayor que la corriente nominal, durante algunos milisegundos y hasta decenas de milisegundo.

Este fenómeno afecta tanto a las lámparas ordinarias como a las halógenas: esto limita el número máximo de lámparas que pueden ser conectadas por un mismo dispositivo, como un telerruptor, un contactor o un relé en las canalizaciones prefabricadas.

La variación de la luminosidad

Se puede conseguir variando la tensión aplicada a la lámpara.

Esta variación de tensión se lleva a cabo normalmente mediante un dispositivo del tipo regulador con triac, con el que se hace variar el ángulo de disparo dentro de cada período de la tensión de red. La forma de onda de la tensión aplicada a la lámpara se puede ver en la **figura 4a**. Esta técnica, llamada de «retraso de encendido» o «cut-on control» sirve para alimentar circuitos resistivos o inductivos. Con componentes electrónicos tipo MOS o IGBT, se ha desarrollado otra técnica que sirve para alimentar circuitos capacitivos. Efectúa la variación de tensión bloqueando la corriente antes del final del semiperíodo (**figura 4b**); se denomina «avance de la extinción» o «cut-off control».

Los últimos dispositivos que utilizan estas dos técnicas, se adaptan automáticamente a la naturaleza de su carga.

La alimentación progresiva de la lámpara permite también reducir, y hasta eliminar, el pico de corriente de conexión.

Para el aviso de apagado de los minuterios se utiliza otra técnica. Estos dispositivos advierten de que el apagado de la luz está próximo reduciendo su luminosidad al 50% durante algunas decenas de segundos. Esta reducción de luminosidad se consigue aplicando a las lámparas una semionda de tensión, positiva o negativa, con intervalos de un segundo, mediante un dispositivo con triac.

Hay que indicar que la variación de luz:

- origina necesariamente una variación de la temperatura del color,
- es perjudicial para la duración de las lámparas halógenas cuando se mantiene durante largo tiempo un valor muy bajo de tensión. En efecto, el fenómeno de regeneración del filamento es menos eficaz cuando la temperatura del mismo es menor.

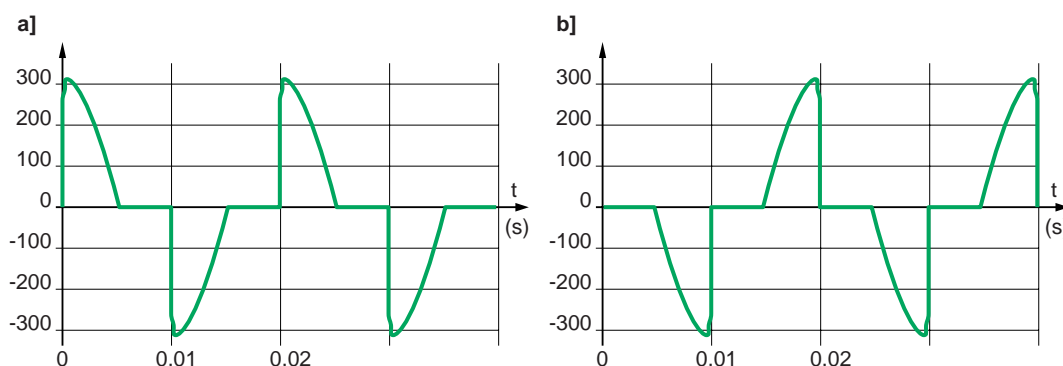


Fig. 4: Aspecto de la tensión proporcionada por un regulador de luz con el 50% de la tensión máxima, con las técnicas:

- a] «retraso del encendido» o «cut-on control»,
b] «avance de la extinción» o «cut-off control».

2.2 Lámparas halógenas de baja tensión

Problemática

Ciertas lámparas halógenas de baja potencia se alimentan con MBT de 12 ó 24 V, mediante el uso de un transformador o un convertidor electrónico.

■ Con un transformador, al conectar la tensión, además del fenómeno de variación de resistencia se produce el fenómeno de magnetización. La corriente de conexión o de llamada puede llegar, durante algunos milisegundos, a 50 ó 75 veces la corriente nominal.

La utilización de reguladores de luminosidad colocados aguas arriba reduce mucho este sobreesfuerzo.

■ A igual potencia, los convertidores electrónicos tienen un coste mayor que la solución con transformador. Este inconveniente comercial se compensa con una mayor facilidad de instalación, pues su baja disipación térmica los hace aptos para su fijación en un soporte inflamable. Además, suelen disponer de una protección térmica integrada. Por tanto, estos aparatos pueden llevar el marcado (CEI 60417. 1º Octubre 2000):



ininflamable



soporta 75° C

La variación de la luminosidad

Existen diversas soluciones técnicas:

- regulador y transformador,
- convertidor electrónico controlado mediante una señal exterior 0-10 V,
- regulador y convertidor; esta solución permite el control de la luminosidad de varias lámparas con un mismo regulador, pero es importante verificar la compatibilidad entre el regulador y los convertidores.

Evolución

Actualmente, ha aparecido un nuevo tipo de lámparas halógenas MBT con el transformador integrado en el casquillo. Pueden alimentarse directamente desde la red BT y sustituir, sin ningún adaptador, las lámparas de incandescencia normales.

3 La alimentación de luminarias con balastos magnéticos

3.1 El balasto magnético o reactancia

Los tubos fluorescentes y las lámparas de descarga necesitan limitar la intensidad del arco; esta función se realiza con una inductancia (o balasto magnético) instalado en serie con la lámpara (**figura 5**).

Esta disposición se utiliza en aplicaciones domésticas en las que el número de tubos es limitado, sin que ello suponga un sobreesfuerzo especial para los interruptores.

Los variadores de luminosidad del tipo regulador no son compatibles con los balastos magnéticos: la anulación de la tensión durante una fracción de período provoca la interrupción de la descarga y el apagado total de la lámpara.

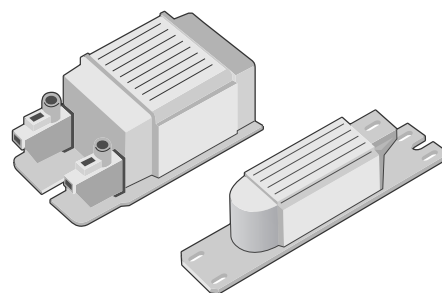


Fig. 5: Balastos magnéticos.

3.2 El cebador

La función del cebador es doble: asegurar el precalentamiento de los electrodos del tubo y después generar una sobretensión para el cebado del arco. Esta sobretensión se genera al abrirse los contactos (mando por lámina bimetálica), lo que interrumpe la corriente que circula por el balasto magnético o reactancia.

Durante el funcionamiento del cebador (alrededor de 1 s), la corriente absorbida por la luminaria es unas 2 veces mayor que la corriente nominal.

3.3 La compensación

Puesto que la corriente absorbida por el conjunto tubo y balasto es esencialmente inductiva, el factor de potencia es muy bajo (entre 0,4 y 0,5 de media). En las instalaciones que tienen un gran número de tubos es necesario prever una compensación para mejorar el factor de potencia.

Los esquemas posibles

Para las grandes instalaciones de alumbrado, puede preverse una compensación centralizada con baterías de condensadores, pero más frecuentemente, esta compensación se realiza en cada una de las luminarias con diversos esquemas (**figura 6**).

En este caso, los condensadores de compensación se dimensionan para que el factor de potencia global sea superior a 0,85.

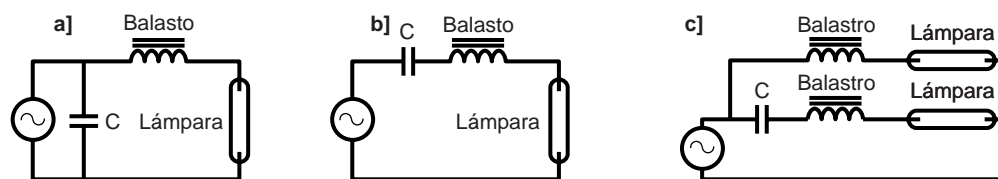
En el caso más frecuente, el de la compensación paralela, su capacidad media es, para todo tipo de lámpara, de 1 μF por cada

10 W de potencia activa. Pero esta compensación es sin embargo incompatible con los variadores de luminosidad de tipo regulador.

Limitaciones de la compensación

El esquema de compensación paralela provoca sobreesfuerzos adicionales al conectar la lámpara. Si al conectar, el condensador está descargado, aparece una sobreintensidad. Y además, se genera una sobretensión debida a las oscilaciones en el circuito formado por el condensador y la inductancia de alimentación. El ejemplo siguiente fija el orden de magnitud:

- Sea un conjunto formado por 50 tubos fluorescentes de 36 W cada uno:
- potencia activa total: 1800 W,
- potencia aparente: 2 kVA,
- corriente eficaz (rms) total: 9 A,
- corriente de cresta: 13 A.



Esquema de compensación	Utilización	Comentarios
Sin compensación	Doméstico	Montaje unitario
Paralelo [a]	Oficinas, talleres, grandes superficies	Riesgo de sobreintensidades para los aparatos de control
Serie [b]		Elegir condensadores con tensión de servicio elevada (450 a 480 V)
Dúo [c]		Evita el parpadeo

Fig. 6: Diferentes esquemas de compensación: **a)** paralelo; **b)** serie; **c)** doble-serie, también llamado «dual» y sus campos de utilización.

- Con:
- una capacidad total: $C = 175 \mu\text{F}$,
- una inductancia de línea (correspondiente a una corriente de cortocircuito de 5 kA): $L = 150 \mu\text{H}$.

La corriente máxima de cresta al conectar la tensión es:

$$I_c = V_{\text{máx}} \sqrt{\frac{C}{L}} = 230 \sqrt{2} \sqrt{\frac{175 \cdot 10^{-6}}{150 \cdot 10^{-6}}} = 350 \text{ A}$$

Por tanto, el pico teórico de corriente al conectar la tensión puede por tanto llegar a 27 veces la corriente de cresta de funcionamiento normal.

La forma de onda de la tensión y la corriente de encendido, al cerrar el interruptor en el momento de la cresta de tensión de red, puede verse en la **figura 7**.

Hay pues riesgo de soldadura de los contactos de los dispositivos electromecánicos de mando (telerruptor, contactor, interruptor automático) o de destrucción de los interruptores estáticos con semiconductores.

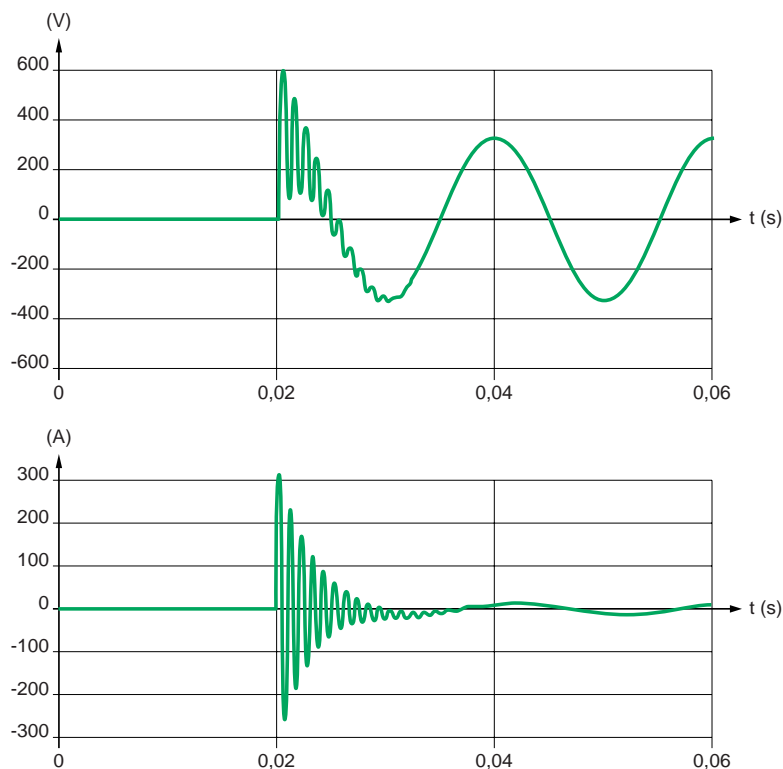


Fig. 7: Tensión de alimentación al conectar e intensidad de conexión.

En realidad, debido a la impedancia de los cables, las sobrecargas son normalmente menos severas. La norma CEI 60669-1 (interruptores para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas, prescripciones generales) determina las capacidades a tener en cuenta en el diseño de los interruptores (para una corriente de cortocircuito prevista I_{cc} de 3 kA):

- calibre <6 A: 70 μ F,
- calibre \geq 6 A: 140 μ F.

Situación especial de sobrecarga al encender varios grupos de tubos fluorescentes

Cuando se tiene un grupo de fluorescentes encendido, los condensadores de

compensación de estos tubos, ya con tensión, hacen aumentar la corriente de conexión del segundo grupo de tubos: «amplifican» la punta de corriente en el interruptor de mando en el momento de conectar el segundo grupo.

La tabla de la **figura 8**, resultante de medidas reales, indica la amplitud de la primera punta de corriente, para diversos valores de corriente de cortocircuito prevista I_{cc} . Se observa que el pico de corriente puede multiplicarse hasta por 2 ó por 3, según el número de tubos que haya en funcionamiento en el momento de conexión de un nuevo grupo de tubos.

Sin embargo, para reducir el pico de corriente en el interruptor general, se recomienda el encendido secuencial de los grupos de tubos.

Número de tubos ya conectados	Número de tubos conectados (segundo grupo)	Pico de corriente de conexión (A)		
		$I_{cc} = 1500 \text{ A}$	$I_{cc} = 3000 \text{ A}$	$I_{cc} = 6000 \text{ A}$
0	14	233	250	320
14	14	558	556	575
28	14	608	607	624
42	14	618	616	632

Fig. 8: Amplitud del pico de intensidad en el interruptor de mando en el momento de conectar un segundo grupo de tubos.

3.4 Una evolución tecnológica

A los balastos magnéticos más recientes se les denomina «de bajas pérdidas». Su circuito magnético se ha optimizado, pero el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo. Esta

nueva generación de balastos está destinada a generalizarse, bajo la influencia de las nuevas reglamentaciones (Directiva Europea, Energy Policy Act - USA).

4 La alimentación de luminarias con balastos electrónicos

Los balastos electrónicos se utilizan para sustituir a los balastos magnéticos en la alimentación de tubos fluorescentes (incluidas las lámparas flúo-compactas) y en la de las lámparas de descarga.

Aseguran un arranque perfecto y no necesitan de condensador de compensación. Aparecieron a mediados de la década de los 80.

4.1 Principio y características

El principio de funcionamiento de los balastos electrónicos (**figura 9**) consiste en alimentar el arco de la lámpara mediante un dispositivo electrónico que genera una tensión alterna de forma rectangular.

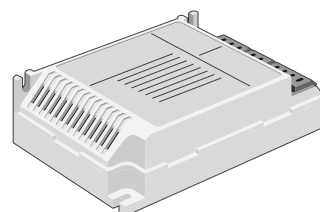
Se distinguen los dispositivos de baja frecuencia o híbridos, cuya frecuencia está comprendida entre 50 y 500 Hz, y los dispositivos de alta frecuencia cuya frecuencia está comprendida entre 20 y 60 kHz.

La alimentación del arco mediante una tensión de alta frecuencia permite eliminar totalmente el fenómeno de parpadeo y los efectos estroboscópicos. El balasto electrónico es totalmente silencioso.

Durante el período de precalentamiento de una lámpara de descarga, este tipo de balasto suministra a la lámpara una tensión creciente, produciendo una corriente casi constante. En régimen permanente, regula la tensión aplicada a la lámpara independientemente de las fluctuaciones de la tensión de red.

Puesto que el arco se alimenta en las condiciones óptimas de tensión, se consigue un ahorro de energía del 5 al 10% y un aumento de la esperanza de vida de la

Fig. 9: Balasto electrónico.



lámpara. Por otra parte, el rendimiento de un balasto electrónico puede sobrepasar el 93%, mientras que el rendimiento medio de un dispositivo magnético no es más que del 85%. El factor de potencia es elevado ($> 0,9$).

El balasto electrónico permite también añadir la función de variación de luminosidad. En efecto, la variación de la frecuencia permite cambiar la amplitud de la corriente del arco, y por tanto, la intensidad luminosa.

4.2 Esquema

Un balasto electrónico se compone esencialmente de una etapa rectificadora (eventualmente con corrección del factor de potencia, Power Factor Correction -PFC-), un

condensador de filtro de la tensión rectificada, y una etapa con un ondulator de media onda (**figura 10**). Se puede alimentar también con corriente continua.

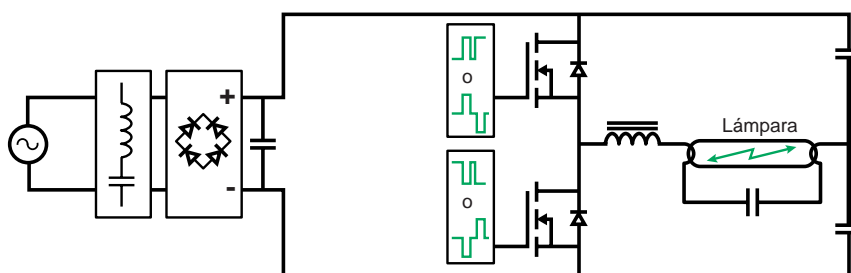


Fig. 10: Esquema de principio de una lámpara alimentada por un balasto electrónico.

4.3 Inconvenientes

Corriente de conexión

El principal inconveniente que tienen los balastos electrónicos es la gran corriente de conexión que se produce en la red al conectar la tensión, debido a la carga inicial de los condensadores de filtro (**figura 11**).

Tecnología	Corriente máx. de conexión	Duración
Rectificador con PFC	30 a 100 In	≤ 1 ms
Rectificador con choque	10 a 30 In	≤ 5 ms
Balasto magnético	≤ 13 In	5 a 10 ms

Fig. 11: Órdenes de magnitud de los valores máximos de corrientes de conexión, según las tecnologías utilizadas.

En la práctica, debido a la impedancia del cableado, la corriente de conexión para un conjunto de lámparas resulta muy inferior a los valores de esta tabla, del orden de 5 a 10 In durante menos de 5 ms. Por el contrario, en los balastos electrónicos, la corriente de conexión no produce sobretensiones.

Corrientes armónicas

En los balastos asociados a lámparas de descarga de gran potencia, la corriente absorbida de la red tiene una baja tasa de distorsión armónica (< 20% en general y, < 10% en los dispositivos más evolucionados). Por el contrario, los dispositivos asociados a lámparas de baja potencia, en especial las flúo-compactas, absorben una corriente muy deformada (**figura 12**). La tasa de distorsión armónica puede alcanzar el 150%. En estas condiciones, la corriente eficaz absorbida de la

red vale 1,8 veces la corriente correspondiente a la potencia activa de la lámpara, lo que corresponde a un factor de potencia de 0,55.

Para equilibrar la carga entre las diferentes fases, los circuitos de alumbrado están normalmente conectados entre las fases y el neutro de forma equilibrada. En estas condiciones, la gran tasa de armónicos de tercer orden y sus múltiplos puede provocar una sobrecarga en el conductor neutro. En el peor de los casos, la corriente de neutro puede alcanzar $\sqrt{3}$ veces la corriente de cada una de las fases. Para más información leer el Cuaderno Técnico nº 202 «Las particularidades del tercer armónico».

La norma CEI 61000-3-2 fija los límites de emisión armónica de los sistemas de alumbrado. Por ejemplo, en los dispositivos de potencia superior a 25 W, el porcentaje de armónico 3 debe ser inferior al 30% de la corriente fundamental.

Corrientes de fuga

Los balastos electrónicos tienen en general condensadores conectados entre los conductores de alimentación y la tierra. Estos condensadores de antiparasitarios son responsables de la circulación de una corriente de fuga permanente del orden de 0,5 a 1 mA por balasto. Esto obliga a limitar el número de balastos que es posible alimentar mediante un Dispositivo de corriente Diferencial Residual (DDR). (Ver Cuaderno Técnico nº 114).

Del mismo modo, al conectar la tensión, la carga inicial de estos condensadores puede provocar la circulación de una punta de corriente cuya amplitud puede llegar a varios amperios durante 10 μ s. Esta punta de corriente puede provocar el disparo intempestivo de dispositivos mal adaptados.

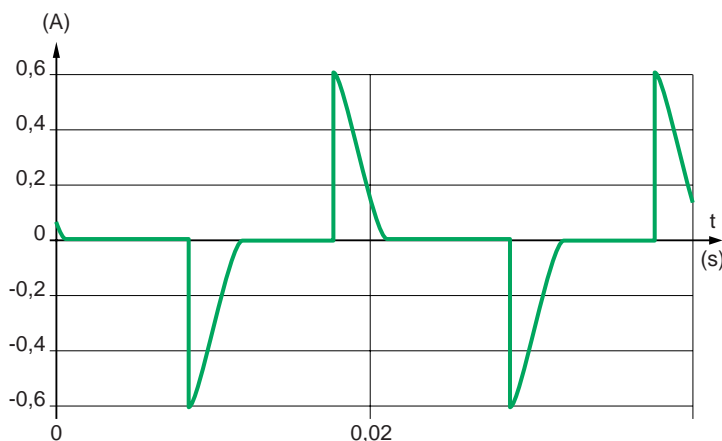


Fig. 12: Gráfica de la corriente absorbida por una lámpara flúo-compacta.

Emisiones de alta frecuencia

Los balastos electrónicos provocan emisiones conducidas y radiadas de alta frecuencia.

Los frentes de subida muy rápidos que se aplican a los conductores de salida del balasto provocan impulsos de corriente que circulan por las capacidades parásitas a tierra (figura 13). Por tanto, circulan corrientes parásitas en el conductor de tierra y en los conductores de alimentación. Debido a la elevada frecuencia de estas corrientes, hay también una radiación electromagnética. Para limitar estas emisiones de alta frecuencia, la lámpara debe estar situada lo más cerca posible del balasto para reducir así la longitud de los conductores que más radian.

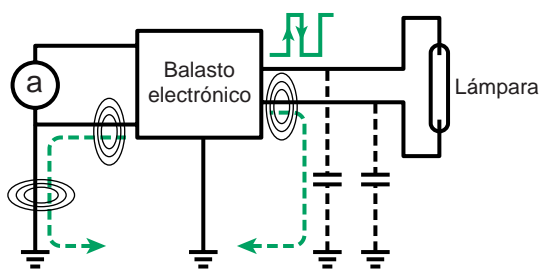


Fig. 13: Los bucles de emisiones de AF originados por un balasto electrónico.

Para evitar que estas emisiones conducidas y radiadas perturben ciertos sistemas sensibles (dispositivos de comunicación con corrientes portadoras u ondas de radio), se incorporan en el propio balasto filtros antiparásitos.

La conformidad con la norma EN 55015 obliga a limitar las emisiones en la banda de 9 kHz a 30 MHz.

Variadores de luminosidad para balastos electrónicos

La utilización de balastos electrónicos posibilita la variación de luminosidad de los tubos fluorescentes. Hay varias posibilidades según la tecnología de los balastos:

- Balasto alimentado mediante un regulador que varía la tensión por ancho de fase. La corriente proporcionada al tubo es función de la tensión aplicada a la entrada del balasto.

- Balasto controlado con una señal exterior de 0 a 10 V. En este caso, el balasto alimenta el tubo mediante una tensión de frecuencia variable, lo que permite hacer variar la corriente y por tanto la luminosidad emitida. Actualmente es la solución más empleada (figura 14).

- Balasto controlado por una señal digital.

Asimismo, la utilización de variadores permite ahorrar energía, reduciendo el alumbrado a ciertas horas y según la utilización del local. Los balastos electrónicos son incompatibles con los minuteros con preaviso de extinción.

Nota: en caso de alimentación del balasto electrónico mediante un interruptor electrónico, existe riesgo de encendido intermitente de los tubos fluorescentes. En efecto, normalmente, para proteger al interruptor de las sobretensiones transitorias, se coloca en paralelo con él un condensador (0,1 a 0,2 μ F). Como consecuencia, se produce una corriente de fuga que puede provocar el encendido intempestivo del alumbrado. Por tanto, es obligatorio utilizar un circuito de precarga que permita derivar la corriente de fuga.



Fig. 14: Televariador para balasto electrónico (marca Merlin Gerin).

5 Características técnicas y utilización de los dispositivos de alumbrado

5.1 Principales características técnicas

Tecnología	Potencia (vatios)	Rendimiento (lumen/vatio)	Esperanza de vida (horas)
Incandescencia estándar	3 – 1 000	10 – 15	1000 – 2 000
Incandescencia halógena	5 – 500	15 – 25	2000 – 4 000
Tubo fluorescente	4 – 56	50 – 100	7 500 – 24 000
Lámpara flúo-compacta	5 – 40	50 – 80	10 000 – 20 000
Vapor de mercurio, alta presión	40 – 1 000	25 – 55	16 000 – 24 000
Sodio, alta presión	35 – 1 000	40 – 140	16 000 – 24 000
Sodio, baja presión	35 – 180	100 – 185	14 000 – 18 000
Halogenuros metálicos	30 – 2 000	50 – 115	6 000 – 20 000
LED	0,05 – 0,1	10 – 30	40 000 – 100 000

En todos los casos, la esperanza de vida de las lámparas se reduce con encendidos

frecuentes, con excepción de las lámparas flúo-compactas de inducción y los LED.

5.2 Campos de utilización, ventajas e inconvenientes

Tecnología	Utilización	Ventajas	Inconvenientes
Incandescencia estándar	- Uso doméstico - Iluminación localizada decorativa	- Conexión directa sin aparatos intermedios - Precio bajo - Dimensiones reducidas - Encendido instantáneo - Buen rendimiento cromático	- Eficiencia luminosa baja y consumo importante - Gran disipación de calor - Poca duración
Incandescencia halógena	- Iluminación puntual - Iluminación intensiva	- Conexión directa - Encendido instantáneo - Excelente rendimiento cromático	- Eficiencia luminosa media
Tubo fluorescente	- Almacenes, oficinas, talleres - Exteriores	- Gran rendimiento luminoso - Rendimiento cromático medio	- Baja potencia luminosa unitaria - Sensible a temperaturas extremas
Lámpara flúo-compacta	- Uso doméstico - Oficinas - Sustitución de lámparas de incandescencia	- Buen rendimiento luminoso - Buen rendimiento cromático	- Inversión económica elevada respecto a las de incandescencia
Vapor mercurio alta presión	- Talleres, vestíbulos, hangares - Naves industriales	- Buen rendimiento luminoso - Rendimiento cromático aceptable - Dimensiones reducidas - Gran esperanza de vida	- Tiempo de encendido y reencendido de algunos minutos
Sodio alta presión	- Exteriores - Vestíbulos de grandes dimensiones	- Muy buen rendimiento luminoso	- Tiempo de encendido y reencendido de algunos minutos
Sodio baja presión	- Exteriores - Alumbrado de seguridad	- Buena luminosidad con niebla - Explotación económica	- Tiempo de encendido largo (5 minutos) - Rendimiento cromát. mediocre
Halogenuros metálicos	- Grandes espacios - Vestíbulos de gran altura	- Buen rendimiento luminoso - Buen rendimiento cromático - Gran duración	- Tiempo de encendido y reencendido de algunos minutos
LED	- Señalización (semáforos, de avería, de «salida» y alumbrado de socorro)	- Insensibles al número de conmutaciones - Bajo consumo de energía - Baja temperatura	- Número limitado de colores - Baja luminosidad unitaria

5.3 Diversos modos de alimentación

Tecnología	Modo de alimentación	Otro dispositivo
Incandescencia estándar	Alimentación directa	Regulador de luminosidad
Incandescencia halógena		
Incandescencia halógena MBT	Transformador	Convertidor electrónico
Tubo fluorescente	Balasto magnético y cebador	Balasto electrónico Balasto + regulador electrónico
Lámpara flúo-compacta	Balasto electrónico integrado	
Vapor de mercurio	Balasto magnético	Balasto electrónico
Sodio alta presión		
Sodio baja presión		
Halogenuros metálicos		

6 Dificultades y recomendaciones

6.1 Exigencias relativas a los dispositivos de alumbrado y recomendaciones

Corriente real absorbida por las luminarias

■ El problema

Esta característica es la primera que se ha de definir para realizar una instalación, si no es muy probable que actúen las protecciones de sobrecarga dejando con frecuencia a oscuras al usuario.

La experiencia indica que para su determinación hay que tener presente el consumo de todos los elementos, especialmente en el caso de alumbrado fluorescente, porque la potencia consumida por los balastos debe sumarse a la de los tubos y las lámparas.

■ La solución

Para los alumbrados fluorescentes, hay que indicar que a falta de datos, la potencia de los balastos magnéticos puede llegar al 25% de la de los tubos. Para los balastos electrónicos, esta potencia es menor, del orden de 5 al 10%.

Para los alumbrados incandescentes, hay que tener cuenta que la tensión de la red puede ser superior al 10% de su valor nominal, provocando un aumento de la corriente absorbida.

Los umbrales de disparo de las protecciones de sobreintensidad se determinarán en función de las potencias totales y del factor de potencia calculados para cada circuito.

Las sobreintensidades en el momento de la conexión

■ El problema

Los aparatos utilizados para el encargo y la protección de circuitos de alumbrado son relés, triacs, telerruptores, contactores o interruptores automáticos.

El problema principal en la utilización de estos aparatos es el pico de conexión, descrito en los capítulos 3 y 4.

Este pico de corriente depende de la tecnología de las lámparas utilizadas, pero además de las características de la instalación (potencia del transformador de alimentación, longitud de los cables, número de lámparas) y del instante de conexión dentro del periodo de la tensión de red. Un pico de corriente elevado, aunque breve, puede provocar la soldadura de los contactos de un mecanismo de mando electromecánico o la destrucción de uno con semiconductores.

■ Dos soluciones

Debido a la corriente de conexión, la mayor parte de los relés ordinarios son incompatibles con la alimentación de dispositivos de alumbrado. Por tanto, se aconseja habitualmente:

□ limitar el número de lámparas conectadas a un mismo aparato para que su potencia total sea inferior a la potencia máxima que soporta el aparato,

□ verificar con los constructores los límites de empleo de los aparatos que proponen. Esta precaución es especialmente aconsejable cuando se sustituyen lámparas de incandescencia por lámparas flúo-compactas.

A título de ejemplo, el cuadro de la **figura 15** indica el número máximo de tubos fluorescentes compensados que pueden conectarse mediante diversos dispositivos de calibre 16 A. Se comprueba que el número de tubos mandados es muy inferior al número que correspondería a la potencia máxima de estos dispositivos.

Estos límites de empleo deben respetarse forzosamente cuando se modifican instalaciones ya existentes. Sin embargo, existe una técnica para limitar el pico de corriente de conexión de los circuitos con componente capacitativa (balastos magnéticos con compensación paralela y balastos

Potencia unitaria de los tubos (W)	Número de tubos correspondientes a la potencia 16 A x 230 V	Número máximo de tubos que pueden ser controlados por		
		Contactores GC16 A CT16 A	Telerruptores TL16 A	Interrupt. automat. C60-16 A
18	204	15	50	112
36	102	15	25	56
58	63	10	16	34

Fig. 15: El número de tubos controlados es muy inferior al número que correspondería por la potencia máxima de los dispositivos de mando.

electrónicos), consistente en efectuar la conexión en el instante de paso por cero de la tensión de red. Solamente los dispositivos estáticos con semiconductores ofrecen esta posibilidad. Resulta especialmente interesante al diseñar nuevos circuitos de alumbrado. Recientemente se han diseñado dispositivos de tecnología híbrida que asocian un interruptor estático (conexión al paso por cero de la tensión) y un contactor electromecánico que cortocircuita el interruptor estático (reducción de pérdidas en los semiconductores) (**figura 16**).



Fig. 16: Aparata Merlin Gerin:

[a] Contactor CT+ «estándar»;

[b] contactor CT+ mando manual, con pulsador para selección de modo de funcionamiento y visor indicador del modo de funcionamiento actual;

[c] telerruptor TL+.

La sobrecarga del conductor de neutro

■ El problema

En una instalación que tiene, por ejemplo, numerosos tubos fluorescentes con balastos electrónicos alimentados entre fases y neutro, la tasa de armónicos de tercer orden y sus múltiplos puede provocar una sobrecarga del conductor neutro.

■ La solución

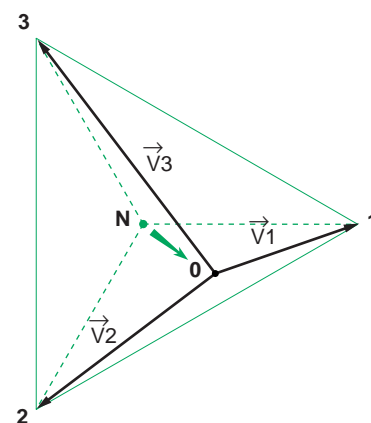
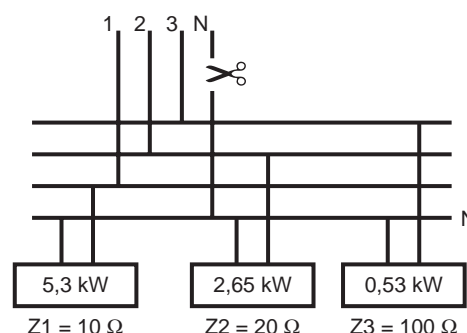
En primer lugar, indicar que, para el neutro, está prohibido utilizar un conductor de sección reducida (la mitad).

Las normas de instalación CEI 60364, sección 523-5-3, y NF C 15-100 indican respecto a esto que: «Si el conductor neutro transporta corriente sin el factor de reducción correspondiente a la carga de los conductores de fase, el conductor neutro debe de tenerse en cuenta para la corriente asignada del circuito. Estas corrientes pueden deberse a las corrientes armónicas significativas del circuito trifásico. Si el valor de los armónicos sobrepasa el 10%, el conductor neutro no debe tener una sección inferior a la de los conductores de fase».

Por lo que respecta a las protecciones contra sobrecorrientes, es necesario prever interruptores automáticos tetrapolares con el neutro protegido (excepto en el esquema TN-C en el que el CPN, con la función conjunta de conductor de protección y neutro, no debe de ser cortado).

Asimismo, este tipo de aparamenta permite el corte omnipolar necesario para no alimentar las luminarias con tensión compuesta en caso de defecto. En efecto, como muestra el ejemplo de la **figura 17**, un corte de este tipo puede provocar el que ciertos receptores monofásicos queden alimentados con una tensión netamente superior a la nominal, provocando su destrucción por efecto térmico o por perforación del dieléctrico debido a la sobretensión.

Un dispositivo de corte debe, pues, interrumpir **simultáneamente** los circuitos de fases y de neutro.



Tensiones (V) entre fases y neutro:

	en servicio normal	después del corte de neutro
V1	230	150
V2	230	275
V3	230	375

Fig. 17: Consecuencias del fallo o corte de neutro en una instalación con cargas monofásicas poco equilibradas.

Las corrientes de fuga tierra

■ El problema

Al conectar estos circuitos, las capacidades a tierra de los balastos electrónicos provocan picos de corriente diferencial que pueden originar el disparo intempestivo de las protecciones.

■ Dos soluciones

Se recomienda, y hasta es imprescindible en instalaciones ya existentes, la utilización de DDR inmunizados contra este tipo de corrientes impulsionales (**figura 18**).

En instalaciones nuevas, es práctico prever la utilización de aparatos de mando (contactores y telerruptores) estáticos o híbridos que reducen estas corrientes impulsionales (conexión al paso por cero de la tensión).

Las perturbaciones de AF

■ El problema

Las emisiones de AF, conducidas y radiadas, pueden afectar a ciertos sistemas sensibles (dispositivos de comunicación mediante corrientes portadoras u ondas de radio).

■ La solución

Es posible, al instalar, reducir las emisiones de AF: para conseguirlo se aconseja situar la lámpara junto al balasto para limitar de esta manera la longitud de los conductores sometidos a este gradiente de tensión.

Las sobreintensidades

■ El problema

La conexión de un circuito de alumbrado provoca, como se acaba de explicar anteriormente, un régimen transitorio que se

manifiesta por una sobreintensidad importante. Esta sobreintensidad se acompaña de una gran fluctuación de la tensión aplicada a los bornes de las cargas conectadas al mismo circuito.

Estas fluctuaciones de tensión pueden preverse para el buen funcionamiento de las cargas sensibles (equipos de microinformática, reguladores de temperatura...).

■ La solución

Se recomienda separar la alimentación de estas cargas sensibles de la alimentación de los circuitos de alumbrado.



Fig. 18: Interruptores automáticos diferenciales «si» (superinmunizados) inmunizados contra las corrientes impulsionales (marca Merlin Gerin).

6.2 Sensibilidad de los dispositivos de alumbrado a las perturbaciones de tensión de la red

Cortes breves

■ El problema

Las lámparas de descarga necesitan un tiempo de calentamiento, del orden de algunos minutos, antes de cortar su alimentación.

■ La solución

Por motivos de seguridad, debe preverse una iluminación parcial con encendido instantáneo (lámparas de incandescencia o tubos fluorescentes). Este circuito de alumbrado, según las diversas reglamentaciones en vigor, suele ser distinto del circuito de alumbrado principal.

Fluctuaciones de la tensión

■ El problema

La mayor parte de los dispositivos de alumbrado (con excepción de las lámparas alimentadas con balastos electrónicos) son sensibles a las fluctuaciones rápidas de la tensión de alimentación. Estas fluctuaciones provocan un fenómeno de parpadeo o «flicker» que perjudica el confort de los usuarios y puede provocar molestias importantes. Estas molestias son función a su vez de la frecuencia de las variaciones y de su amplitud.

La norma CEI 61000-2-2 («niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia») precisa la amplitud máxima admisible de las variaciones de tensión en función de el número de variaciones por segundo o por minuto.

Estas fluctuaciones de tensión pueden ser provocadas por cargas fluctuantes de gran potencia (hornos de arco, aparatos de soldadura, arranque de motores) o por señales de telemando (ejemplo: Pulsadis EDF, a 175 ó 188 Hz). Para más detalles, leer el Cuaderno Técnico nº 176: «Flicker o parpadeo de las fuentes luminosas».

■ La solución

Para reducir las fluctuaciones de tensión pueden aplicarse medios específicos. Sin embargo, se recomienda, en la medida de lo posible, alimentar los circuitos de alumbrado mediante una red independiente.

Para aplicaciones en las que se requieren precauciones especiales (hospitales, salas de trabajo descontaminadas, centros de control, centros de proceso de datos...), se recomienda la utilización de balastos electrónicos controlados con una señal de 1-10 V.

Tensión elevada de la red

■ El problema

La esperanza de vida de las lámparas de incandescencia se reduce mucho cuando se eleva la tensión de la red. Esta dificultad es especialmente importante en zonas donde la regulación de tensión proporcionada por el distribuidor de energía es mala.

■ La solución

Aunque es poco frecuente, pueden utilizarse variadores. Si la instalación lo permite, se recomienda la utilización de lámparas flúo-compactas.

6.3 Elección de variadores de luminosidad

La tecnología de los variadores de luminosidad debe de estar adaptada a la tecnología de las lámparas y de las luminarias:

- lámparas de incandescencia: reguladores con triac, en los que la variación de tensión sigue un ángulo de disparo,
- balastos electrónicos de tensión variable: reguladores con triac, cuya variación de tensión sigue el ángulo de disparo (esta tecnología tiende a desaparecer),
- balastos electrónicos controlados mediante una señal 1-10 V,
- reguladores con adaptación automática a transformadores MBT o a convertidores electrónicos.

Los variadores de luminosidad alimentan progresivamente las lámparas, reduciendo así las importantes corrientes de conexión. Su utilización evita por tanto la desclasificación de los aparatos de mando y protección y el sobredimensionamiento de los conductores.

Sin embargo, hay que tomar precauciones especiales para conseguir la máxima fiabilidad de las instalaciones; asimismo, se debe prestar atención a no sobrecargar los dispositivos electrónicos consultando, por ejemplo, las informaciones de los constructores de la armadura (figura 19).

Tipo de lámpara	Aparamenta auxiliar necesaria	Televariador o regulador -Merlin Gerin-	Margen de variación	Potencia unitaria máx. (W)	Dispositivo de precarga
Incandescencia o halógena BT 230 V		TV700 TVe700 TVo1000 Vo1000	5 a 95%	700 500 1000 1000	
HalógenaMBT 12/24 V	Transformador ferromagnético	TVe700 TVo1000 Vo1000		550 800 800	PTV1
	Transformador electrónico «universal»	TVe700 TVo1000 Vo1000		650 800 800	PTV1
	Transformador electrónico «estándar»	TVe700		650	PTV1
Tubo fluorescente estándar (18, 36 ó 58 W)	Balasto ferromagnético y cebador	Sin posibilidad de regulación			
	Balasto electrónico estándar				
	Balasto electrónico telecontrolado 1-10 V	TVBo	Según especificación del balasto	1500	
Flúo-compacta	Balasto electrónico Integrado en la lámpara	Sin posibilidad de regulación			

Nota:

Además de los límites presentados en este cuadro, es necesario prever una reducción del 30% de la potencia admisible en los siguientes casos:

- aparamenta instalada en cajas pequeñas, sin ventilación, o en armarios con gran densidad de aparamenta de potencia (interruptores automáticos, contactores, contactores estáticos, televariadores...),
- temperatura ambiente del local susceptible de sobrepasar los 30 °C.

Para reducir los esfuerzos térmicos en los dispositivos electrónicos modulares, se aconseja separarlos de los dispositivos próximos con gran disipación mediante tabiques o separadores,

Fig. 19: Datos de el constructor para la elección de variadores de luz (marca Merlin Gerin).

7 Conclusiones: evolución tecnológica y exigencias profesionales

7.1 Evolución de las luminarias

Los principales avances tecnológicos a prever son los que dependen de los costes de la energía, apoyados en diversas disposiciones reglamentarias (Directiva Europea y Energy Policy Act en USA). Por este motivo, las instalaciones nuevas se dotan de lámparas de alto rendimiento luminoso; las instalaciones antiguas son frecuentemente objeto de renovación («retrofit»).

En estas condiciones, la utilización de balastos electrónicos debe preferirse a la de los balastos magnéticos. La principal preocupación de los constructores de luminarias es actualmente reducir los sobreesfuerzos de conexión y las corrientes armónicas, especialmente en las lámparas flúo-compactas.

Asimismo, en la fabricación de lámparas, se observa una tendencia a la reducción, y hasta la supresión si es posible, del mercurio.

7.2 Evolución de la aparamenta de mando y protección

Cada vez es más frecuente la utilización de reguladores de luminosidad. De este modo las sobrecargas debidas al alumbrado se reducen, perdiendo importancia la desclasificación de los aparatos de mando y protección.

Van apareciendo nuevos aparatos de protección adaptados a las exigencias de los circuitos de alumbrado, por ejemplo los interruptores automáticos e interruptores

diferenciales modulares de la marca Merlin Gerin especialmente inmunizados, como los interruptores ID y los interruptores automáticos Vigi del tipo «si». Del mismo modo, los dispositivos de mando y protección evolucionan permitiendo algunos de ellos el telemando, la gestión horaria, la regulación del alumbrado, la reducción de consumo...

7.3 La necesidad de una buena adecuación

Para satisfacer a todos los usuarios del alumbrado eléctrico, los constructores están sujetos a la evolución de las normas de los materiales que utilizan. Pero la calidad y continuidad del servicio de alumbrado depende mucho de la adecuación entre las lámparas y la aparamenta de protección.

Por este motivo, ciertos constructores, conscientes de las dificultades que pueden encontrar todos los profesionales de las

instalaciones eléctricas en la elección de las luminarias y la aparamenta de mando y protección, proponen diversas herramientas, por ejemplo, Schneider Electric edita guías de elección asociadas a sus catálogos y a este Cuaderno Técnico.

Así, los diseñadores y los instaladores tienen los medios para realizar los circuitos de alumbrado aportando seguridad de servicio y confort de utilización.

Bibliografía

Normas «Producto» que se aplican especialmente a los dispositivos de iluminación

La presentación de las normas citadas a continuación, sin ser exhaustiva, demuestra la importancia que da la normalización a este campo.

■ CEI 60570: Sistemas de alimentación eléctrica por carril para luminarias.

■ CEI 60598: Luminarias.

Parte 1: Prescripciones generales y ensayos.

Parte 2: Reglas particulares, de las que se citan, a título de ejemplo, de entre las 25 en aplicación o en proyecto:

Sección 1: Luminarias fijas de uso general.

Sección 2: Luminarias para alumbrado de socorro.

Sección 10: Luminarias portátiles atractivas para los niños.

■ CEI 60669: Interruptores para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas.

Parte 1: Prescripciones generales.

Parte 2: Prescripciones particulares, de entre las cuales:

Sección 1: Interruptores electrónicos.

Sección 2: Interruptores de mando electromagnético a distancia (telerruptores).

Sección 3: Prescripciones particulares - interruptores temporizados (minuterios).

■ CEI 60730: Dispositivos de mando eléctrico automáticos de uso doméstico o análogo.

Parte 2-3: Reglas particulares para protecciones térmicas de balastos para lámparas fluorescentes tubulares.

Parte 2-7: Reglas particulares para minuterios y minuterios cíclicos.

Parte 2-11: Reglas particulares para los reguladores de energía.

■ CEI 60742: Transformadores de separación de circuitos y transformadores de seguridad. Reglas.

■ CEI 60921: Balastos para lámparas tubulares fluorescentes. Prescripciones de prestaciones.

■ CEI 60927: Aparatos auxiliares para lámparas - Dispositivos de disparo (excepto

cebadores de efluvios). Prescripciones de prestaciones.

■ CEI 60929: Balastos electrónicos alimentados en corriente alterna para lámparas fluorescentes tubulares. Prescripciones de funcionamiento.

■ CEI 60968: Lámparas con balasto integrados para alumbrado en general - Prescripciones de seguridad.

■ CEI 60969: Lámparas con balastos integrados para alumbrado general - Prescripciones de funcionamiento.

■ CEI 61000: Compatibilidad electromagnética (CEM).

Parte 2-2: Entorno - Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señal para las redes de alimentación de baja tensión.

Parte 3-2: Límites - Límites para las emisiones de corrientes armónicas (para aparatos de corriente ≤ 16 A por fase).

■ CEI 61347: Aparatos de lámparas.

Parte 1: Prescripciones generales y prescripciones de seguridad.

Parte 2, secciones 1 a 11: Prescripciones particulares para los dispositivos de conexión y diferentes tipos de balastos.

Principales normas «Producto» que se aplican a los dispositivos de protección más utilizados en los circuitos de alumbrado.

■ CEI 61009: Interruptores automáticos para uso doméstico y análogos.

■ UTE C 60-130: Dispositivos de protección de corriente diferencial residual (dispositivos DDR) para instalaciones de tensión nominal menor o igual a 1000 V: Reglas.

■ NF C 61-420: Matériel d'installations domestiques et analogues. Interrupteurs automatiques de terre à différentiels et à déclencheurs à maximum de courant (disjoncteurs différentiels) généraux ou divisionnaires.

■ NF C 62-411: Matériel de branchement et analogues, disjoncteurs différentiels pour tableaux de contrôle des installations de première catégorie.

Normas de «Instalación»

- CEI 60364: Instalaciones eléctricas en baja tensión.
- UTE C 15-559: Instalaciones eléctricas en baja tensión - Guía práctica - Instalación de alumbrado a muy baja tensión.
- NF C 71-121: Méthode simplifiée de prédétermination des éclairagements dans les espaces clos et classification correspondante des luminaires.
- NF X 35-103, ISO 8995: Principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail.
- NF EN 1837 «Eclairage intégré aux machines».
- NF X 35-122-6, NF EN ISO 9241-6: «Exigences relatives à l'environnement» comprend des principes sur l'éclairage.
- PrEN 12464 «Eclairagisme - Eclairage des lieux de travail» (en preparación).

Cuadernos Técnicos Schneider Electric

- Los dispositivos diferenciales Residuales en BT.
R. CALVAS. Cuaderno Técnico nº 114.
- Los esquemas de conexión a tierra en BT (regímenes de neutro).
B. LACROIX y R. CALVAS.
Cuaderno Técnico nº 172.
- Flicker o parpadeo de las fuentes luminosas.
R. WIERDA. Cuaderno Técnico nº 176.
- Las peculiaridades del 3^{er} armónico.
J. SCHONEK. Cuaderno Técnico nº 202.

Internet (<http://www.>)

- sdv.fr/aimt67/dossier/eclairage.html
Alumbrado en los puestos de trabajo: nociones base.
Sitio de la «Association Interentreprises de Médecine du Travail du Bas-Rhin» -AIMT 67-.
- feder-eclairage.fr
Sitio del «Syndicat de l'éclairage».
- inrs.fr/indexnosdoss.html
Los dossiers para el diseño de locales de trabajo.
Sitio del «Institut National de Recherche et de Sécurité».
- Pour les normes:
AENOR <http://www.aenor.es>
AFNOR <http://www.afnor.fr/>
CEI <http://www.iec.ch/home-f.htm>
CENELEC <http://www.cenelec.org/>
ISO <http://www.iso.ch/indexf.html>
UTE <http://www.ute-fr.com/>