

Capítulo 6

Equipos Auxiliares de Fuentes de Iluminación

Leonardo Assaf

Introducción

Importancia de los equipos auxiliares

Función del Equipo Auxiliar

Funciones convencionales de los equipos auxiliares

Característica voltio-ampere del proceso de descarga en un gas

Operación de lámparas en corriente alternada

Encendido y re-encendido de lámparas de descarga.

Ignitores, arrancadores y ayudas de arranque

Estabilización de funcionamiento de lámparas de descarga. Los balastos

Resistencias como Balastos

Capacitores como balastos

Inductor-capacitor como balasto

Compensación del factor de potencia

Estabilidad vs. eficiencia:

La instalación en circuitos de iluminación

Circuitos con lámparas fluorescentes

Vida de Balasto

Impacto del balasto sobre el rendimiento de la lámpara

Impacto de los componentes en la vida del balasto

Impacto de la mala calidad de arrancadores en los sistemas de alumbrado fluorescentes.

Equipos Auxiliares Innovativos

Balasto electrónico de alta frecuencia

Bibliografía

Introducción

A diferencia de una lámpara eléctrica, la misión del equipo auxiliar que acompaña a dicha lámpara, presenta diversos aspectos desconocidos aún para los entendidos. La sub-estimación de la importancia del equipo auxiliar en las instalaciones de alumbrado se manifiesta con la pérdida de las condiciones de servicio, la necesidad de mantenimientos frecuentes y los altos costos operativos.

Las reglas del arte para proyectar, construir y mantener sistemas de iluminación exige no sólo el conocimiento formal de cada uno de los equipos y sus esquemas de conexionado, sino también los efectos de la interacción mutua de éstos componentes entre sí, bajo todas las condiciones de funcionamiento posible.

Aunque los equipos auxiliares no cuentan con la profusión informativa de las lámparas, tampoco puede decirse que sobre el tema haya un vacío informativo, no obstante ello, y por la misma necesidad de un enfoque independiente y abarcativo requerido en el caso de aquellas, queda justificada la inclusión del presente capítulo, que no reemplaza sino complementa la información existente en el mercado.

Importancia de los equipos auxiliares

Los puntos de luz con equipo auxiliar consumen anualmente en la República Argentina unos 6,5 TWh, de ellos casi 700 GWh son disipados en balastos, ignitores, capacitores y otros equipos, que tienen, además, directa incidencia en las condiciones de servicio, los costos operativos y la eficiencia de los sistemas de iluminación. La elaboración de equipos según normas de calidad y con tecnología de eficiencia permitiría reducir ese consumo a la mitad, mejorando las condiciones de servicio y el costo del mantenimiento.

El concepto de que los equipos auxiliares son un mal necesario o una compañía indeseada, surgido con la mismísima creación de las lámparas de descarga, ha venido disipándose en los últimos años, merced a una serie de cambios tecnológicos, entre éstos señalemos la introducción de equipos electrónicos, nuevos tipos de lámparas y –fundamentalmente– la creciente demanda de nuevas funciones en los sistemas de alumbrado, haciendo a las instalaciones más flexibles y amenas.

Esta tendencia permite preveer que en un futuro próximo, cada punto de iluminación estará provisto del elemento de producción de luz propiamente dicho –lámpara– y del dispositivo de control –equipo auxiliar–, por lo que el aumento en la cantidad y variedad de productos en el mercado crecerá en forma exponencial. Con ello también aumentará la demanda de conocimiento sobre el tema y la necesidad de afrontar los problemas asociados, sea para el diseño, la fabricación o el mantenimiento de las instalaciones.

Función del Equipo Auxiliar

En términos generales puede definirse como *equipo auxiliar*, a aquel dispositivo asociado eléctricamente a una lámpara para posibilitar cualquiera de las siguientes funciones (Figura 1):

1. Proveer medios de encendido y/o reencendido
2. Permitir la estabilización en los valores nominales de funcionamiento de lámpara
3. Ejercer el control de la lámpara, sea para encenderla, apagarla o atenuar su flujo luminoso
4. Monitoreo de los parámetros de funcionamiento de la lámpara, para programar el mantenimiento.

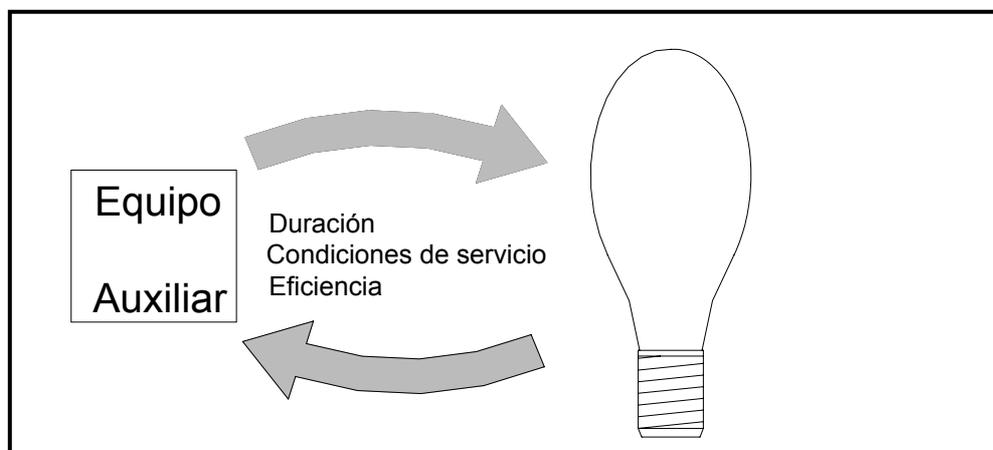


Figura 1

Puede considerarse que las funciones 1 y 2 son las convencionales de todo equipo auxiliar, mientras que 3 y 4 son alguna de las variadas propuestas innovativas que se están introduciendo en las instalaciones modernas de alumbrado, tal como se mencionó en el párrafo anterior. A los efectos de un mejor análisis, es conveniente, entonces, clasificar las funciones de los equipos auxiliares en *convencionales* e *innovativos*, según las funciones que realice y la tecnología que apliquen.

Funciones convencionales de los equipos auxiliares

Las funciones convencionales de los equipos auxiliares se originan en el hecho de que las lámparas de descarga no son capaces de arrancar ni de controlar por sí solas la corriente de circulación, debido a que representan una impedancia variable con la corriente. El equipo auxiliar tiene la finalidad de proveer los medios de arranque, fijando la corriente del tubo de descarga a los parámetros preestablecidos de funcionamiento, siendo un aditamento indispensable de las lámparas, además de jugar un importante rol en las condiciones de servicio, duración y eficacia de las mismas.

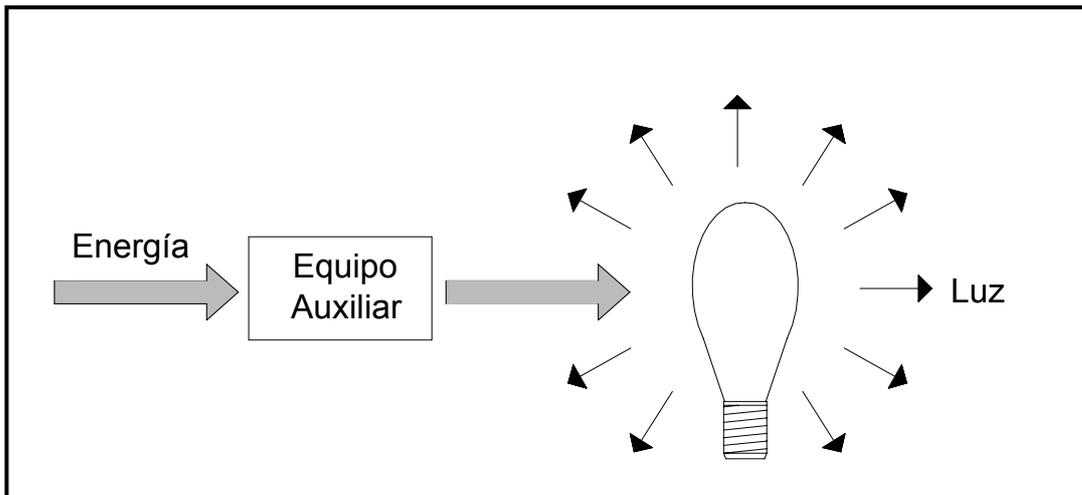


Figura 2

Lámpara y equipo auxiliar se influyen mutuamente en los parámetros de funcionamiento, pudiendo afectarse uno al otro con respecto a la duración (Figuras 1 y 2). Cuando se dice que una lámpara tiene una eficacia de 100 lm/w y una duración promedio de 8.000 horas, se está haciendo referencia implícita a su funcionamiento con un equipo que satisface plenamente los requisitos de la lámpara, es decir normalizado; de lo contrario esos datos no se verificarán en la práctica. Dicho de otra forma, una misma lámpara puede tener diferente eficacia y duración, según opere con diferentes calidades de equipo auxiliar. Por otro lado el rendimiento del equipo auxiliar depende de que la lámpara se encuadre dentro de los parámetros que establece la norma, caso contrario resulta en un funcionamiento anormal, pudiendo provocarle daños irreversibles. Para evitar la dispersión entre diferentes fabricantes y asegurar la intercambiabilidad, los parámetros de diseño están claramente especificados en las “hojas de características técnicas” de las lámparas, tales como las especificadas en las normas nacionales del Instituto Argentino de Normalización (IRAM) o internacionales del Comité Electrotécnico Internacional (IEC) a los que todo equipo auxiliar, sea balasto, ignitor o arrancador debe ajustarse.

Característica volt-ampere del proceso de descarga en un gas

El diseño de un equipo auxiliar requiere del conocimiento de las características volt-ampere del proceso de descarga, como también de los recursos necesarios para el encendido de las lámparas. Aunque las distintas fases de una descarga gaseosa son bastante complejas, desde el punto de vista eléctrico se puede considerar a la lámpara como una impedancia no-lineal con una pequeña característica inductiva y de pendiente preponderantemente negativa.

Para su mejor entendimiento conviene considerar lo que ocurre con una descarga en corriente continua, visualizada en las diferentes partes, de acuerdo al gráfico de figura 3:

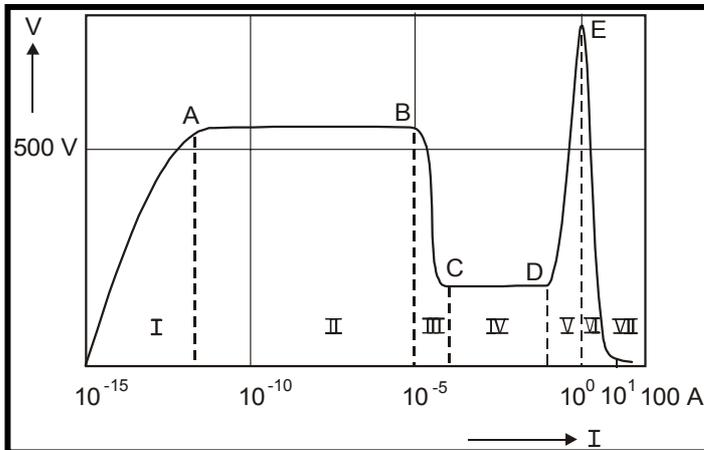


Figura 3: característica volt-amper de un proceso de descarga en gases

- I- Región de Townsend: la corriente es muy pequeña, originada por las pocas cargas libres que pudieran existir, generadas fundamentalmente por la radiación cósmica.
- II- Transición: En el punto A los electrones adquieren tal velocidad que pueden producir ionización por choque con átomos o moléculas del gas. Aumenta así el número de portadores y, consecuentemente, se produce un gran incremento de la corriente.
- III- Efecto γ : a partir del punto B los iones (más lerdos) forman una carga espacial en las cercanías del cátodo. Aparece una zona de mayor potencial denominada "caída catódica" que resulta en una aceleración de iones. Estos eventualmente bombardean los electrodos con tal intensidad que son capaces de desprender electrones, fenómeno que se denomina efecto γ (gamma) y que provoca una caída de la tensión.
- IV- Región de efluvios: Comienza la descarga luminosa (glow discharge = efluvios). El área de descarga se va ensanchando hasta cubrir todo el cátodo (punto D). A pesar de que la corriente aumenta, la densidad de corriente permanece igual ya que aumenta proporcionalmente la superficie de conducción.
- V- El gas ha llegado a su máxima ionización, el efecto γ también. No hay mas portadores libres para corresponder al aumento de corriente, por lo que hay un aumento de la tensión hasta el punto E.
- VI- Región de descarga de arco: En el punto E empieza a jugar el hecho del calentamiento del cátodo, producido por la gran densidad de corriente. Comienza el fenómeno de la emisión termo-ionica, y la tensión cae nuevamente. En esta región trabaja la mayoría de las lámparas de descarga. Nótese la característica volt-amper negativa producida por el efecto acumulativo de la colisión átomo-electrón que resulta en ionización.

Operación de lámparas en corriente alternada

En corriente alternada la descarga en un gas es afectada por la frecuencia y las características del equipo auxiliar. La impedancia equivalente de una lámpara es una resistencia no-lineal y una inductancia en serie. Un rápido incremento en la tensión de alimentación no afecta inmediatamente a las condiciones de conductividad del gas en descarga, sino luego del tiempo que tarda en alcanzar un nuevo punto de equilibrio, poniendo de manifiesto la no linealidad que las caracteriza.

En la frecuencia de 50 Hz la impedancia de la lámpara va cambiando continuamente y ello ocasiona tensiones y corrientes no sinusoidales que significan armónicas. Con la desaparición momentánea de la corriente en cada semiciclo, el arco se extingue. Con el nuevo ciclo de corriente, luego de pasar el valor cero y desaparecer la descarga, en una interfase que se denomina "ciclo negro", parte de los portadores ha desaparecido debido a la recombinación, debiéndose gastar una cierta cantidad de energía para volver a ionizarlos y restablecer el arco. El resultado de este proceso marca la característica de "luz pulsante" propia de la lámpara de descarga, lo que da origen a una serie de fenómenos en los espacios iluminados que pueden afectar la visión, tales como el efecto estroboscópico y la modulación de luz.

Si se aumenta la frecuencia, el tiempo para la recombinación se acorta, y los fenómenos asociados se atenúan, pudiendo llegar a desaparecer. Cuando la frecuencia es mayor de 1000 Hz, la des-ionización del gas no puede seguir los rápidos cambios de la corriente de la lámpara, y la cantidad de portadores no se modifica. Esto da como resultado un plasma casi constante, similar al funcionamiento en corriente continua. Operar una lámpara en estas condiciones trae aparejado una reducción de las pérdidas en los electrodos y un aumento en la columna positiva, mejorando la eficiencia hasta en un 20% (Figura 4), ello no es posible con los equipos convencionales y por lo tanto se usan dispositivos electrónicos apropiados, cuyas características cuales se discutirán mas adelante.

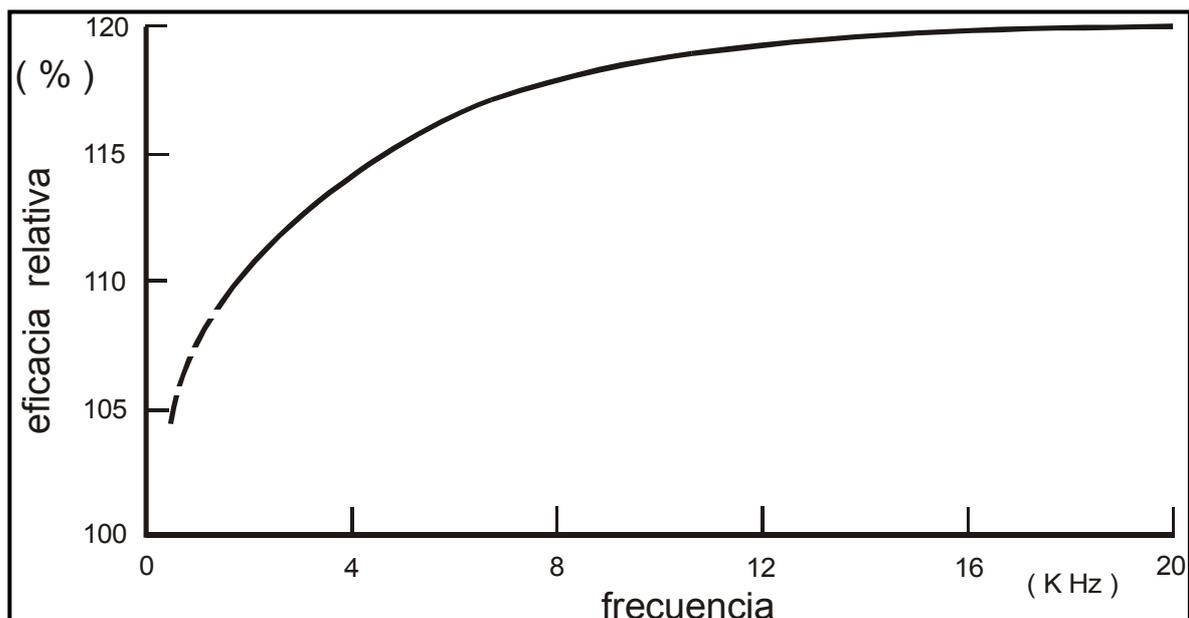


Figura 4: Eficacia de una lámpara de descarga en función de la frecuencia de operación

Encendido y re-encendido de lámparas de descarga. Ignitores, arrancadores y ayudas de arranque

El encendido es una fase crítica en el funcionamiento de la lámpara de descarga, insumiendo algunos minutos hasta que el arco se estabiliza y la lámpara produce el 100% del flujo luminoso nominal, lo que ciertamente es una limitación para sus aplicaciones.

En condiciones normales los gases se comportan como dieléctricos o sea no conducen la electricidad, debiéndose disponer de una tensión superior a la tensión de funcionamiento a los efectos de que la lámpara pueda arrancar, tal como expresa la ecuación:

$$U_{arr} > U_l \quad [1]$$

Siendo:

U_{arr} : Tensión de arranque

U_l : Tensión de lámpara

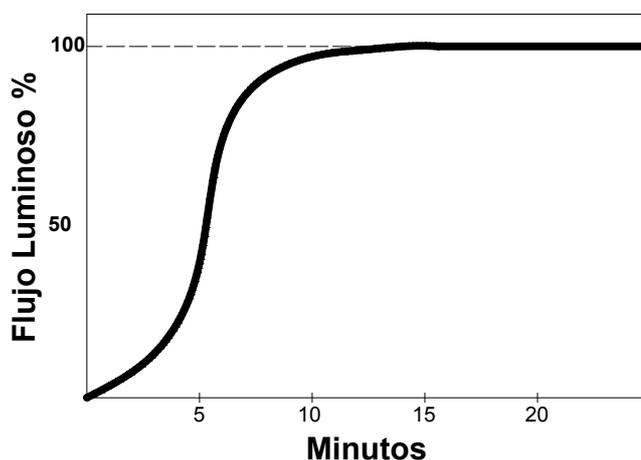
U_{arr} , depende de la humedad, temperatura externa y campos eléctricos, entre otros factores. Para el arranque la lámpara debe disponer de dispositivos que le provean la tensión U_{arr} , en cualquier condición, lo que puede lograrse con un transformador, un circuito semi-resonante o un generador de pulsos.

Por otro lado, tanto el mercurio como el sodio, elementos fundamentales en las dos grandes familias de lámparas de descarga, en condiciones de temperaturas y presión normales se encuentran en estado líquido y no gaseoso, debiéndose recurrir a una serie de estratagemas para hacer posible el encendido de la lámpara. Las fases más importantes en este proceso son dos:

A - Evaporación de los elementos (Sodio o Mercurio).

B - Generación de portadores para iniciar el proceso de descarga.

La evaporación (A) no plantea dificultades técnicas singulares. Depende de las condiciones de presión del tubo de descarga y la temperatura. El régimen de funcionamiento normalmente provee de calor suficiente para una evaporación más o menos rápida de los componentes, que se hallan en baja presión dentro del tubo de



descarga. Como sea, esto representa un proceso que retrasa la puesta en servicio en pleno de las lámparas, en algunos casos de hasta 15 minutos (Figura 5).

Figura 5: Tiempo de encendido de una lámpara de descarga

Por re-encendido se entiende el intento de arrancar una lámpara que acaba de apagarse debido, por ejemplo, a una súbita caída de tensión o a un apagado accidental. Las lámparas de baja presión reencienden instantáneamente. En las de alta presión, el tubo de descarga está caliente y todos los compuestos están vaporizados, en estas circunstancias el encendido no se produce debido a que en ausencia de corriente los portadores se recombinan (desaparecen), siendo muy dificultosa la re-ionización del gas por que la presión en el tubo de descarga es alta. Ésa es la razón por la cuál una lámpara de alta presión no puede reencender en forma inmediata. Hay que esperar que se enfríe, que disminuya la presión de vapor para que pueda reiniciarse el proceso. Esto frecuentemente toma más tiempo que el proceso de arranque en frío, siendo una característica de las lámparas de descarga de alta presión, que debe ser tomada en cuenta. (Figura 6).

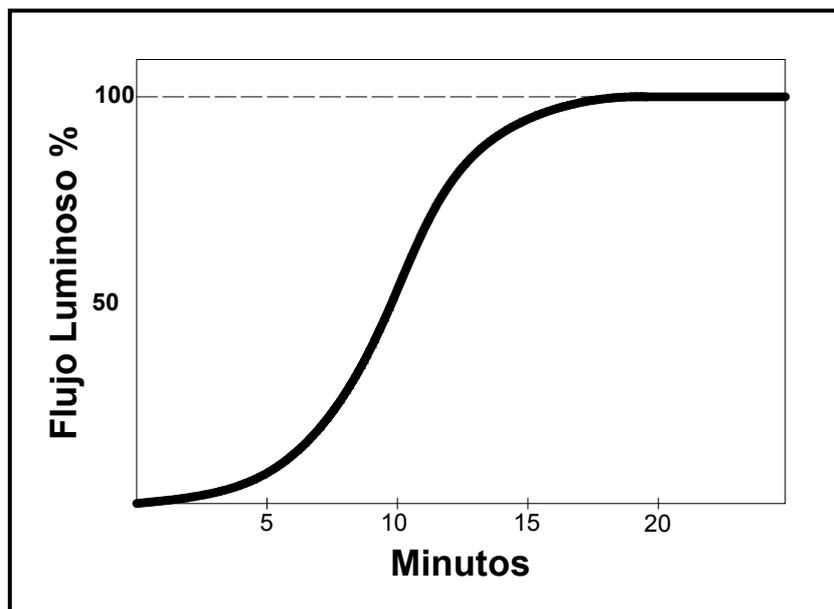


Figura 6: Tiempo de re-encendido de una lámpara de descarga

En cuanto a la creación de los primeros portadores (B), fase que normalmente es anterior a la de evaporación de componentes, se recurre a una serie de estratagemas que se aplican según el tipo de lámparas que se trate. A continuación se enumeran las más importantes:

1- Métodos pre-heat (precalentamiento) de lámparas fluorescentes: Un circuito paralelo controlado por el arrancador hace circular una corriente de calefaccionado por los cátodos. Estos están recubiertos con una capa de material especial que emite electrones con la temperatura (material termoemisor), suministrando portadores para la descarga.

2- Calefaccionado de cátodo: Las lámparas de sodio de baja presión también tienen un sistema similar al de los tubos fluorescentes, con cátodos recubiertos de material termo-emisivo, aunque sin arrancador. Un transformador de núcleo saturado los calefacciona hasta que la emisión (corriente) es lo suficientemente grande para saturar al balasto. En estas circunstancias la corriente de calefacción se anula.

3- Pulsos de sobretensión: Es el método de arranque utilizado por lámparas de descarga de alta intensidad: sodio de alta presión y mercurio halogenado, entre otras. Consiste en proveer pulsos de la tensión suficiente como para provocar la ruptura del gas, generados por dispositivos auxiliares (ignitores) que se desconectan automáticamente una vez que el arco se ha establecido. Estos pulsos, según el tipo y potencia de la lámpara, varían entre 600 hasta 20.000 voltios, y tienen una duración de algunos segundos. Los ignitores no proveen por lo general de corriente de precalentamiento.

Según el principio de operación los ignitores pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- (a) Ignitor de superposición (Figura 7)
- (b) Ignitor de dos polos con transformador de pulso (Figura 8)
- (c) Ignitor de tres polos en paralelo (Figura 9)
- (d) Ignitor de dos polos en paralelo (Figura 10)

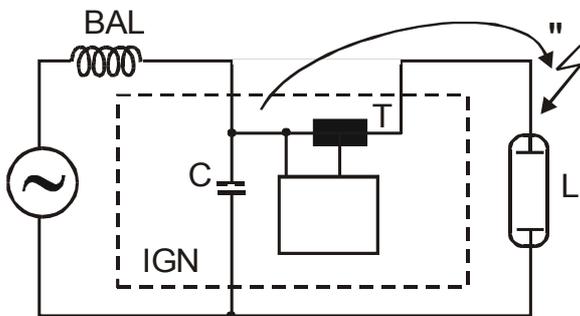


Figura 7: Ignitor de superposición

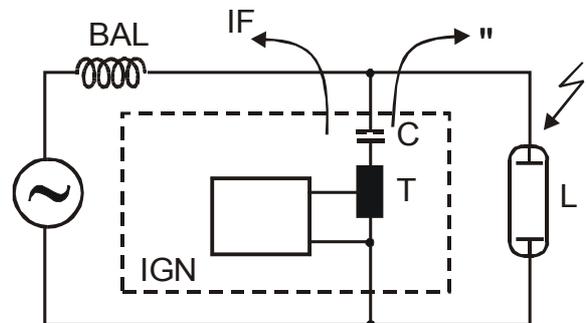


Figura 8: Ignitor de dos polos con transformador de pulso

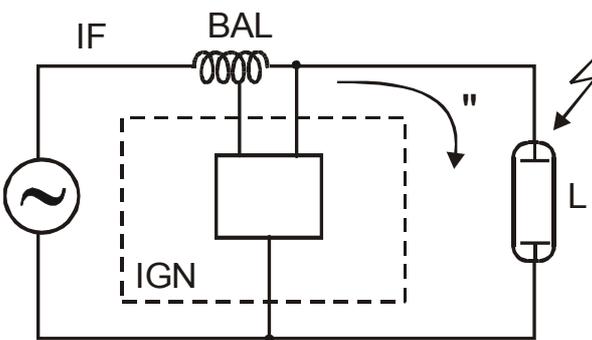


Figura 9: Ignitor de tres polos en paralelo

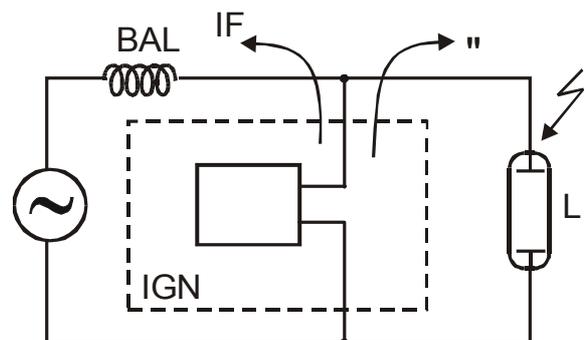


Figura 10: Ignitor de dos polos en paralelo

Los distintos sistemas se diferencian entre sí por los requerimientos sobre el balasto. El ignitor de superposición (a) y el de dos polos (b) no imponen sobretensiones al balasto y por lo tanto son apropiados para casos en los que se requiera pulsos de muy alto voltaje. Con los restantes sistemas se producen sobretensiones sobre las espiras del balasto, por lo que éste debe especificarse muy bien de manera de poder soportarlas.

Las lámparas de sodio de baja presión, pueden arrancar con 600 V, nivel de tensión que se logra con un balasto autotransformador, tal como es usado en nuestro país, lo que es poco eficiente. Con un ignitor podría usarse un balasto mas pequeño y eficiente, tal como muestra la tabla I:

Tipo de LÁMPARA	Pérdidas	
	Balasto tipo autotransformador	Balasto e ignitor (híbrido)
35W	23W	13W
55W	21W	17W
90W	34W	25W
135W	37W	26W
180W	36W	26W

Tabla I: Comparación de pérdidas en un equipo auxiliar para lámpara de sodio de baja presión con autotransformador y con ignitor

Los pulsos de muy alta tensión (15.000 o 20.000 V) son utilizados para el reencendido instantáneo, ionizando el gas aún estando el tubo de descarga caliente. Este tipo de dispositivo es apropiado para aquellos casos en que la restitución de la iluminación, luego de un súbito corte de energía sea muy necesaria, tal como en iluminación de emergencia de un estadio deportivo, un muelle de maniobras ferroviario, etc. En estos casos se usan lámparas especiales provistas de una tercera terminal para los pulsos de alta tensión.

4- Mezcla Penning: Se denomina así a la combinación de gases formados por dos compuestos cuya energía de ionización es menor que la de cualquiera de ellos. Por caso el mercurio y el argón (ionización 10,4 eV y 15,7 eV respectivamente) mezclados ionizan a 9,6 eV. Como ventaja adicional el argón, en las condiciones de presión del tubo de descarga de las lámparas, se encuentra en estado gaseoso, mientras en mercurio, como ya se mencionó se encuentra en estado líquido y tarda en evaporarse. Este método se aplica en lámparas de vapor de mercurio y sodio de alta presión.

5- Electrodo auxiliares: Se trata de un pequeño electrodo que se emplaza a muy corta distancia de cualquiera de los electrodos principales, con el propósito de crear un gran campo eléctrico inicial. Entre ambos electrodos se producen descargas que generan mas portadores contribuyendo a desencadenar la descarga. Una vez que el arco se ha establecido, y debido a que este pequeño electrodo está en serie con una resistencia, deja de funcionar. Este procedimiento se aplica en lámparas de vapor de mercurio.

6- Aditivos de material radioactivos: Pequeñas dosis de radioisótopos, en cantidades que no representan ningún daño para el medio ambiente --según declaración de los fabricantes-- son usadas para facilitar la ignición de lámparas de descarga, especialmente las de gran potencia.

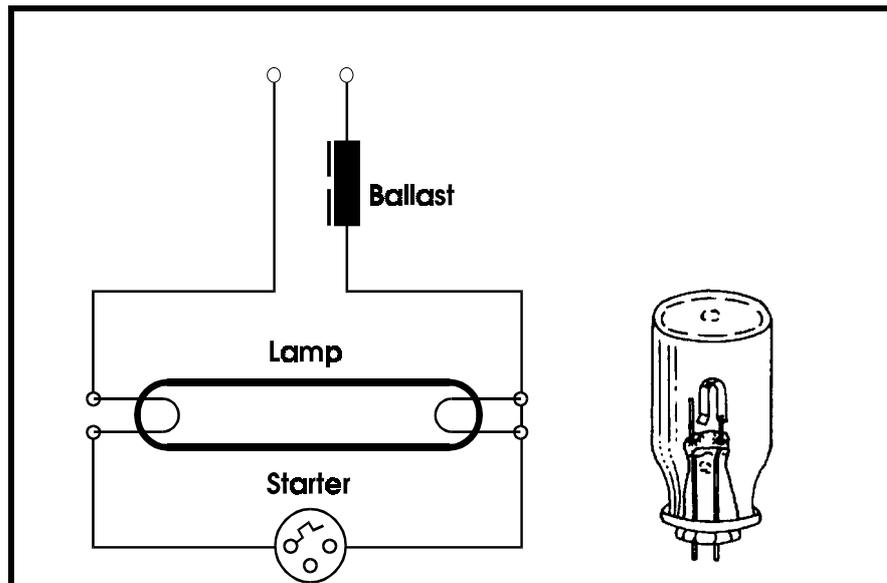


Figura 11: Circuito de lámpara fluorescente y Arrancador luminiscente (derecha)

Estabilización de funcionamiento de lámparas de descarga. Los balastos

Ya se han mencionado los dispositivos para facilitar el arranque, de manera que además de ello, una vez encendida la lámpara se requiere un dispositivo que limite la corriente de funcionamiento. Por otro lado, como ya se describió, la característica voltio-ampere negativa de las lámparas de descarga implica que, a medida que la corriente que circula por el tubo de descarga aumenta, la impedancia del mismo se hace menor. Sin un elemento que limite la corriente, ésta aumentaría hasta representar un corto circuito para la instalación o bien autodestruirse a la manera de un fusible.

Ello justifica las razones por la cual una lámpara necesita de un equipo auxiliar, consistente básicamente en una impedancia en serie, al que se denomina *balasto* (Figura 12). Básicamente cualquier impedancia, sea resistiva, capacitiva o inductiva podría servir como balasto.

Resistencias como Balastos

La disipación de energía activa que producen, limita su uso como balasto a unas pocas aplicaciones, tales como las lámparas mezcladoras que es una lámpara de vapor de mercurio con un filamento incandescente en serie, que actúa como balasto y aprovecha la energía para producir luz. Las lámparas de descarga con resistencias como balasto tienen la desventaja de ser poco estables debido a que la tensión de arco y la corriente de lámpara están en fase. En cada semiciclo el reencendido es más dificultoso al encontrarse tanto la corriente como la tensión en el valor mínimo. Por esta razón las lámparas mezcladoras son muy propensas a apagarse en instalaciones que tienen caídas de tensión frecuentes.

Capacitores como balastos

Capacitores pueden funcionar como balastos pero debido al elevado factor de cresta que suele producir por la deformación de la corriente conducen a un desgaste prematuro de los electrodos, por lo tanto no son aconsejables como balastos.

Inductores como balastos

Los inductores son usados universalmente como balastos en lámparas de descarga (Figura 12) debido a que ofrecen una serie de ventajas:

- Admiten alimentación en cualquier tensión, actuando como autotransformadores.
- Facilitan la re-ignición de la lámpara: el arco se extingue cuando la tensión está en su máximo.
- El funcionamiento es mas estable y la distorsión de la corriente es menor
- La eficiencia es del orden del 80 al 90%, llegando al 95% en los balastos de bajas pérdidas.
- Pueden trabajar en saturación: esto permite que la tensión de arranque sea superior a la de funcionamiento, lo cual facilita ignición y re-ignición.

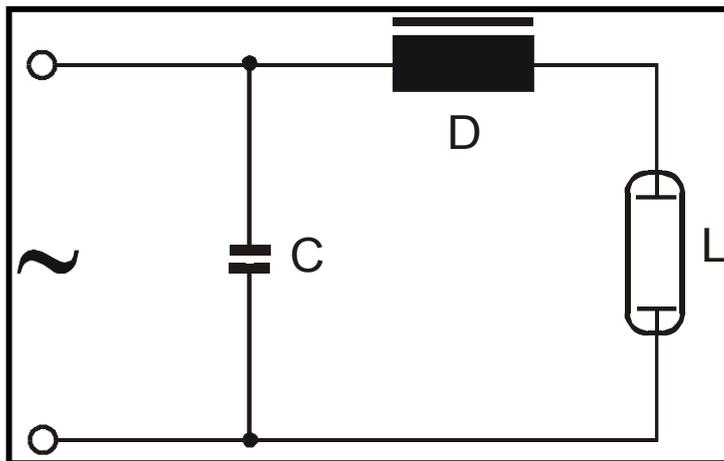


Figura 12- Balasto Inductivo en serie (el capacitor no tiene función sobre los parámetros de la lámpara). D: Balasto o reactor, C: Capacitor de compensación del factor de potencia (FP), L: Lámpara de descarga.

Los inductores son usados como balasto de lámparas de sodio de alta y baja presión, en las de mercurio, mercurio halogenado y fluorescentes. Pueden recurrirse a diferentes tipos de soluciones, de acuerdo a las condiciones de funcionamiento que se tenga ^[1]:

Reactores: La tensión de línea debe ser lo suficientemente alta para arrancar la lámpara y la regulación debe estar en el orden del $\pm 5\%$.

Autotransformadores: Si la tensión de la línea de alimentación fuera mayor o menor a la necesaria para arrancar las lámparas, se utiliza un autotransformador. La regulación de la línea de alimentación debe estar dentro del rango del 5% y la compensación del factor de potencia requiere de un capacitor más grande.

Regulador o de potencia constante: Es un circuito especial, con capacitor para un alto factor de potencia, que provee una corriente de lámpara regulada sobre un

amplio rango de tensión de alimentación, manteniendo la potencia de la lámpara estable. Una variación del $\pm 14\%$ en la alimentación puede dar como resultado cambios del $\pm 2\%$ de la potencia de la lámpara. La tensión de arranque en este caso es menor que la corriente de funcionamiento estable.

Los inductores como balastos tampoco están exentos de dificultades, las que son superables solo mediante una buena manufactura. Por un lado, el circuito lámpara-balasto se transforma en una carga fuertemente inductiva, con un factor de potencia ($\cos \varphi$) entre 0,3 y 0,5 que requiere compensación. Se usa para ello una capacidad C adecuada al factor de potencia que se quiera lograr.

Las deformaciones de la corriente del circuito de alimentación es también otro inconveniente que experimenta. Esta deformación puede expresarse en términos de una serie de Fourier, de frecuencias múltiplos impares (3,5,7, etc.) de la frecuencia de red, o sea, en redes de 50hz los términos de la serie o armónicas serán: 150hz, 250hz, 350hz, etc.

Los inconvenientes que esto genera son variados, dependiendo del rango de frecuencias en donde se manifiesten. Para bajas frecuencias (hasta 1 kHz) y en sistemas de distribución trifásicos en estrella, tal como se usa en la Argentina, la denominada 3a armónica y sus múltiplos (9, 12,15, etc.) están en fase, por lo que no se compensan mutuamente, sino que se suman en el conductor de retorno o neutro. Esto da lugar a que éste pueda llegar a sobrecargarse, debido a que por normas de diseño de instalaciones, tiene menor sección de cobre que los demás conductores.

Una prevención a este problema es especificar límites a la deformación que producen los equipos auxiliares (balastos) sobre la onda de corriente, tal como establecen las normas, (Tabla II)

Orden de armónica	% máximo permitido respecto de la fundamental		
	Fluorescentes	Mercurio A.P.	Sodio A.P.
2	5	5	5
3	30λ	25λ	30λ
5	7	5	7
7	4	3	4
9	3	2	3
11	--	2	--
13	--	1	--

Tabla II – Limitación de armónicos en la corriente de alimentación de un conjunto balasto-lámpara de referencia, según normas ^{[2], [3]}
^[4]. λ es el factor de potencia del circuito total

Para frecuencias medias (< 1kHz), aunque la amplitud de las armónicas vaya disminuyendo a medida que se aumente el orden de frecuencia, la energía es aún suficiente para producir fenómenos de radiointerferencia que pueden perturbar la recepción de aparatos de radio próximos a los equipos auxiliares. La radiointerferencia puede ser radiada por los circuitos o bien conducidas a través de

los conductores de la instalación por toda la red. También existen restricciones que se especifican en las normas de calidad respectiva a la que todo balasto de buena calidad debería cumplir.

Inductor-capacitor como balasto

El balasto-reactor se conecta en serie con la lámpara y el capacitor (Figura13). Desde el punto de vista de la estabilidad, distorsión de corriente y reencendido, este conjunto ofrece el mejor resultado como balasto. Es el circuito recomendado para sitios con deficiente tensión de alimentación. El único inconveniente es que para lograr una compensación adecuada, exige un valor de capacidad mas elevado, lo que lógicamente resulta en un mayor costo. Sea éste el problema o la ignorancia de las bondades que este circuito ofrece, el hecho es que prácticamente no es usado en la Argentina.

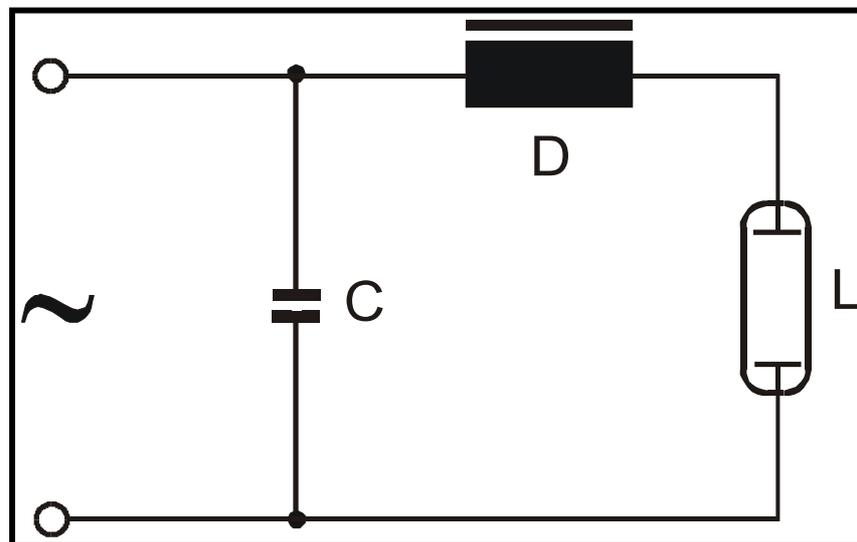


Figura 13: Balasto Inductivo-Capacitor (la inductancia y el capacitor regulan los parámetros de la lámpara). D : Balasto o reactor C : Capacitor (actúa como balasto y compensa el factor de potencia (FP) L : Lámpara de descarga

Compensación del factor de potencia

En circuitos de lámparas con balastos a reactor se produce un desfase entre la tensión de alimentación y la corriente de lámpara del orden de los 55 a 65 grados eléctricos. Esto favorece el reencendido en cada semiciclo, pero afecta seriamente al factor de potencia ($\cos \phi$) que cae a valores entre 0,3 y 0,5. Es conocido que los bajos factores de potencia producen sobrecargas en los conductores de alimentación. Las empresas distribuidoras de energía penalizan a las instalaciones con bajos factores de potencia, de acuerdo por lo general al esquema de Tabla III:

Factor de potencia (cos fi)	Penalización (recargo sobre el básico)
< 0,82	20%
Entre 0,82 y 0,92	10%
> 0,92	Sin recargo

Tabla III – Típica penalización en la facturación de una empresa distribuidora de energía por bajo factor de potencia

La compensación del factor de potencia de un circuito de iluminación se efectúa generalmente en forma individual (o sea en cada luminaria) mediante una capacitancia de valor C en paralelo con el circuito. El valor de dicha capacidad depende de una serie de factores, a saber:

- Potencia wattada del circuito a compensar (W)
- Factor de potencia del circuito a compensar (F1)
- Factor de potencia que se quiere lograr (F2)
- Forma de conexión del capacitor (serie o paralelo)

La capacidad en un circuito paralelo se puede calcular sobre la base de la siguiente ecuación

$$C = 15,20 W [(F1^2)/(1-F1^2) - (F2^2)/(1-F2^2)] \quad [2]$$

Mientras que la capacidad de un circuito serie se selecciona, de tal manera que la impedancia capacitiva sea el doble que la impedancia inductiva.

$$Xc = 2 Xl \quad [3]$$

Estabilidad vs. eficiencia:

El diseño del balasto resulta en una solución de compromiso de eficiencia y estabilidad de la lámpara. Las características del conjunto dependen de este compromiso. Lámpara y Balasto están vinculados eléctricamente mediante la ecuación siguiente:

$$Un^2 = Ul^2 + Ub^2 \quad [4]$$

Siendo:

- Un = Tensión de alimentación (fasorial)
- Ul = Tensión de lámpara (fasorial)
- Ub = Tensión sobre balasto (fasorial)

Para un dado valor de tensión de alimentación (Un) si la tensión de la lámpara (Ul) se reduce, la tensión del balasto (Ub) debe aumentar necesariamente. La selección de ambas tensiones es un compromiso entre estabilidad y eficiencia, de acuerdo a los siguientes tópicos:

- La característica volt-ampere del circuito resultante debe ser positiva, cuanto más positiva mejor. Ello significa que grandes cambios en la

alimentación producirán pequeños cambios en los parámetros de funcionamiento de la lámpara.

- En balastos serie la mayor estabilidad se logra cuando la tensión de lámpara es mucho menor que la tensión de alimentación, o sea balasto grande.
- Para mejorar la eficiencia del conjunto el balasto debe ser lo más pequeño posible, lo que implica una tensión de lámpara mayor.
- El reencendido luego del ciclo negro (interfase cuando la corriente de lámpara se hace cero) depende mucho de la FEM del balasto, cuanto más alta, mejor.

La instalación en circuitos de iluminación

La instalación de un circuito de iluminación debe contemplar todas las características del conjunto fuente luminosa-equipos auxiliares como impedancias, para lograr el diseño más adecuado de la instalación, tanto en la elección de la sección de conductores como en la selección de dispositivos de protección y maniobra.

Las circunstancias varían de acuerdo al tipo de lámpara con que se trate. Algunas recetas generalizadas terminan resultando en no pocos inconvenientes en las instalaciones.

- Circuitos con lámparas incandescentes:

La corriente de arranque resulta en 20 veces la nominal, aunque sea de poca duración. Ello se debe a que la impedancia en frío de la lámpara es apenas un 8% de la impedancia en situación de régimen. La corriente máxima ocurre cuando el encendido se realiza en el momento en que la tensión de alimentación pasa por su valor máximo. La duración del transitorio de corriente depende de la constante térmica del filamento, pudiendo variar de entre pocos milisegundos hasta algunos segundos.

- Lámparas de descarga con factor de potencia corregido:

El máximo se produce por el transitorio en el capacitor ($dV/dt = \text{máximo}$), esto ocurre cuando la tensión de alimentación realiza el cruce por cero. La corriente puede llegar a ser 6 veces la corriente nominal y con una duración de 10 ms. Otro factor que influye en la corriente de arranque es un posible efecto rectificador, que suele aparecer en los primeros semiciclos del arranque, por esta causa la corriente puede incrementarse 3 o 4 veces por sobre la nominal.

- Selección de fusibles:

Los fusibles deben seleccionarse de acuerdo a las corrientes máxima y nominal. Siempre por encima de esta última. El factor de fusible debe ser de 4 para circuitos individuales y hasta 1,5 para instalaciones con muchas lámparas. Es recomendable la consulta al catálogo del fabricante de lámparas para una mejor especificación de las características de cada tipo en particular.

- Transitorios de tensión:

Los balastos pueden ocasionar transitorios de tensión (sobrevoltajes) que se propagan a la instalación circundante. Estos transitorios serán atenuados por la

existencia de capacitancia en paralelo en las líneas de alimentación. Es por ello que el fenómeno es peor en circuitos sin compensación.

- Armónicas y secciones del conductor neutro:

Como ya se indicó la combinación lámpara-balasto producen armónicas de corriente. Varían entre 5 y 30% de la fundamental y están limitadas por las normas de balastos. En sistemas de distribución estrella-triángulo (3 fases más neutro) la fundamental se anula en el neutro, no así las armónicas de orden 3 que se suman. Esto hace conveniente de que la sección del neutro deba ser igual a la sección de los conductores de fase.

- Interferencias de radio:

Las lámparas de descarga producen interferencia de radio frecuencia (RFI) que afectan a la recepción de radio y de televisión, fenómeno que se agudiza al final de la vida útil. La señal de interferencia está modulada a 2 veces la frecuencia de la fuente de alimentación. El rango de interferencia va desde los 100 kHz hasta 10 MHz, cubriendo las ondas corta, media y larga de las radioemisoras comerciales. Las vías que siguen las interferencias son:

- (a) Radiación directa de la lámpara
- (b) Conducción por el cable de alimentación hasta el receptor
- (c) Conducción por cable y luego radiación al aire
- (d) Radiación captada por el cable (antena) y luego re-radiada al aire.

De todas estas formas (c) es la más común

Las dificultades asociadas a ignitores son: en primer lugar la atenuación que sufren los pulsos de tensión en el circuito desde el ignitor a la lámpara, puede producir dificultades en la ignición. Esto hace recomendable que el cableado sea lo mas corto posible y con aislación superior a los 500V de los conductores domiciliarios. En tramos lámpara-ignitor largos, también hay que prever la posible atenuación capacitiva, usándose cable coaxial.

Circuitos con lámparas fluorescentes

Las fluorescentes son las lámparas más importantes de la iluminación artificial. Un 70% de la producción de luz se realiza en este tipo de fuente. El consumo de lámparas fluorescentes está estimado en 1 lámpara por habitante/año para países desarrollados. En la Argentina es como en los países en desarrollo, de alrededor de 1 lámpara cada dos habitantes por año.

Diversos circuitos son utilizados para operar a las lámparas fluorescentes, de entre los cuales el mas usado en la Argentina es el denominado de precalentamiento con reactor inductivo tipo serie. Este circuito es el más sencillo de todos y uno de los más eficientes. La figura 11 muestra un circuito de este tipo. El funcionamiento puede describirse de la siguiente manera: en un primer momento no hay circulación de corriente y por tanto toda la tensión es aplicada en bornes del arrancador. El arrancador consiste en un bulbo con gas de neón, uno de cuyos electrodos es un bimetálico. Cuando el bulbo se enciende los electrodos se calientan y flexan hasta unirse, haciendo circular una corriente por los electrodos de la lámpara. Esta

corriente denominada de calefacción de cátodo excita el material de recubrimiento termoemisor que emite iones. En este punto el bimetálico del arrancador que se ha enfriado lo suficiente se separa interrumpiendo la corriente de calefacción y produciendo, por la inductancia serie, un transitorio sobre los bornes de la lámpara. A menudo dos o tres de este transitorio (de unos 400 – 900 V) es suficiente para encender la lámpara dando ese parpadeo de no más de 3 segundos que es característico en este tipo de lámparas. Modernos sistemas de encendido, tal como los provistos por balastos o arrancadores electrónicos, realizan esta operación en una fracción de segundos, haciéndolo casi imperceptible.

El arrancador es el elemento fundamental en este proceso (Figura 11). Consiste en un par de electrodos, uno de los cuales es un bimetálico encapsulado en una ampolla con gas neón. Mientras aparece una tensión en sus extremos, se produce la descarga eléctrica luminosa del neón que calienta el bimetálico. Este se flexa hasta tocar el segundo electrodo cerrando el circuito. En este momento los cátodos de la lámpara quedan en serie con el balasto permitiendo el paso de una corriente 1,5 veces la nominal que los calienta hasta la termoemisividad. Mientras el arco no se ha establecido, actúa cerrando y abriendo el circuito, provocando por el inductor un transitorio de sobretensión (600 a 1500 V) sobre los bornes de la lámpara. Al producirse el arco la tensión sobre el arrancador cae a niveles insuficientes como para activarlo y por lo tanto permanece fuera de servicio durante el funcionamiento de la lámpara.

Este sencillo y efectivo sistema de arranque de las lámparas fluorescentes es el más usado en la República Argentina. El único inconveniente que posee es el parpadeo que produce en el momento de encendido.

Vida de Balasto

La vida de los equipos auxiliares es uno de los tópicos más importantes en los costos operativos y condiciones de servicio de los sistemas de alumbrado. Se entiende por vida de un balasto al período en el cual éste opera normalmente la(s) lámpara(s), y que es el resultado de características bien definidas del diseño. Puede ser expresado indistintamente en horas, días o años, todos de funcionamiento continuo.

Las expectativas de vida de un balasto tipo inductivo es perfectamente predecible pues están ligadas al concepto de *vida térmica* de los arrollamientos. El material aislante de los arrollamientos del inductor, va deteriorándose por efecto de la temperatura hasta perder su condición de tal, circunstancia que provoca la muerte del balasto. Las pérdidas en los arrollamientos y en el núcleo de hierro del balasto – pérdidas ohmicas y magnéticas– dan como resultado el aumento de la temperatura, en especial de aquellas zonas con menor propiedad de disipación del calor, denominadas “nichos térmicos”.

La relación matemática entre vida y temperatura, está dada por la ecuación empírica de Montzinger [5]:

$$L = k e^{\alpha/T} \quad [5]$$

Siendo:

L = duración de la aislación (L días) a la temperatura T
 T = Temperatura de trabajo (°K)
 k, α = Constantes
 e = base de logaritmos naturales o Neperianos

Aunque teóricamente es posible la fabricación de un balasto “para toda la vida”, es conveniente por razones de índole económica y de tamaño, limitar razonablemente su duración. Ello es lo que convencionalmente hacen las normas. Un balasto estándar, es decir manufacturado de acuerdo a normas reconocidas en la materia tiene que ofrecer una expectativa de vida mínima de 10 años de funcionamiento continuo, esto es, unos 3.652 días. Es decir:

$$L_o = k e^{\alpha/T_o} \quad [6]$$

Siendo:

L_o = duración nominal a la temperatura de diseño = 3.652 días
 T_o = Temperatura de arrollamiento (°K), que resulta en una duración de 3.652 días, denominada temperatura de trabajo, dependiente del tipo de aislante utilizado.

De las ecuaciones [5] y [6]:

$$L = L_o e^{\alpha(1/T - 1/T_o)} \quad [7]$$

Reemplazando el valor de las constantes numéricas en la expresión anterior puede derivarse:

$$\log L = \log L_o + S \log (1/T - 1/T_o) \quad [8]$$

Con S = constante, que depende del rango de temperatura T, según tabla VII

T_o, también denominada temperatura de trabajo (T_t), es un dato que depende de la naturaleza del aislante utilizado en los arrollamientos. En la práctica los aislantes se elaboran en la forma de barnices o esmaltes que se aplican directamente sobre el alambre de cobre que será usado para la elaboración de los arrollamientos. Los diferentes barnices se han estandarizado en las denominadas “clases”, distinguidas con una letra A, B, C,..., F. Las mas usadas en la fabricación de balastos son las B y C, cuyas temperaturas de trabajo son de 105 °C y 120 °C, respectivamente (Tabla VI).

Clase de Aislante	Temperatura de trabajo
A	95 °C
B	105 °C
C	120 °C
D	130 °C
F	155 °C

Tabla IV – Clases de aislantes y su temperatura de trabajo

La expresión [8] es ampliamente utilizada para predecir la vida de un balasto, dentro de un rango de temperaturas que llega a los 160 °C. Para tener una idea tangible de lo que esta relación significa, nótese que un balasto con una temperatura de diseño de 105 °C (T_0) y expectativa de vida nominal (10 años), si trabaja a 115 °C, o sea 10 °C mas de temperatura, su duración cae a 5 años o sea, a la mitad. Igualmente si trabaja con 10 °C menos de temperatura (100 °C) las expectativas de vida se duplican. Esto es conocido en la práctica como “regla de los 10 grados” [5].

Constante S	Límites para la temperatura T (°C)				
	S = 4500	S = 5000	S = 6000	S = 8000	S = 11000
Aislante clase A (95 °C)	171	162	149	134	123
Aislante clase B (105 °C)	185	176	162	152	134

Tabla V: Valor de la constante S (ecuación [8]) en función de la temperatura de los arrollamientos

Con el objeto de orientar al instalador, diversas normas IRAM sobre balastos inductivos establecen que los mismos contengan información tanto de la temperatura de trabajo T_t como del aumento de temperatura, ΔT provocado por disipación propia. Con ello se puede calcular cual es el margen disponible de temperatura del ambiente (igual a la diferencia $T_t - \Delta T$) para el emplazamiento del balasto. Las condiciones de disipación es otro factor a considerar, la temperatura de trabajo T_t , según norma, es la de un balasto confinado dentro de una luminaria aplicada en un cielorraso, si se tuviese condiciones mas desfavorables puede resultar que la capacidad de evacuación de calor sea inferior y por lo tanto la de temperatura de régimen del balasto superior a la de diseño. Esta información, si bien es cierto es de utilidad, es solo raramente usada por los instaladores.

¿Cuál son las entonces las expectativas de vida de un balasto? Suponiendo que es usado en la iluminación de una oficina, resulta que podría estar funcionando a razón de 3.000 horas anuales, lo que representa unos 30 años como mínimo, es decir lo que dura la instalación. Para que ello ocurra es menester que se cumplan una serie de condiciones a saber: (1°) que el balasto cumpla con los requisitos de la norma o los supere, (2°) que se encuentre emplazado en lugares cuya disipación térmica sea suficiente como para evitar que los arrollamientos queden expuestos a temperaturas mayores que las de trabajo (T_t), (3°) que los restantes componentes del equipo sean también normalizados y (4°) que la tensión de alimentación no supere la nominal.

El Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la Universidad Nacional de Tucumán, ha efectuado el relevamiento y la inspección de una serie de instalaciones, alguna de las cuales llevaban mas de 30 años de antigüedad sin que una parte significativa de los balastos hayan debido ser removidos por fallas. Otras instalaciones, en cambio, han experimentado diversos inconvenientes, desde

pérdidas de condiciones de servicio, hasta daños por incendio provocados por balastos de baja calidad (Figuras 14 y 15).

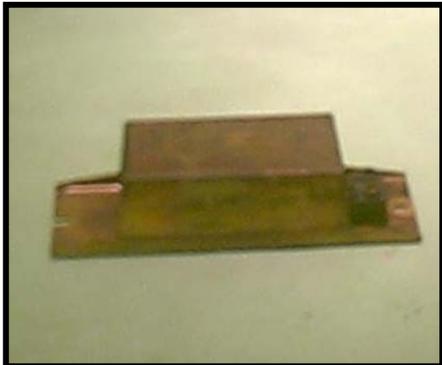


Figura 14: Reactancia para tubo fluorescente de 40W, causante de un principio de incendio en un local comercial de San Miguel de Tucumán.



Figura 15: Un balasto similar al de la figura ha sido identificado como causa de un siniestro producido en la planta de una industria textil de la Provincia de La Rioja.

Impacto del balasto sobre el rendimiento de la lámpara

El balasto afecta no solo el rendimiento de la lámpara sino también su vida. La característica del balasto más estrechamente relacionada con la duración de lámpara es el denominado *Factor de Cresta* (Figura 16) esto es, la relación entre el valor de pico y el valor eficaz de la onda de corriente de la lámpara, una medida de la deformación de la onda de alimentación de la descarga. Un alto factor de cresta puede asociarse a una excesiva densidad de corriente que, aunque sea de corta duración, provoca la evaporación del recubrimiento termoemisor de los cátodos. A los efectos de considerar este fenómeno las normas establecen un límite a dicho factor, dependiendo del tipo de lámpara que se trate, tal como se muestra en la tabla VI

Las normas imponen límites a la pérdida de flujo luminoso provocada por el balasto, al limitar la potencia que éste entrega a la lámpara

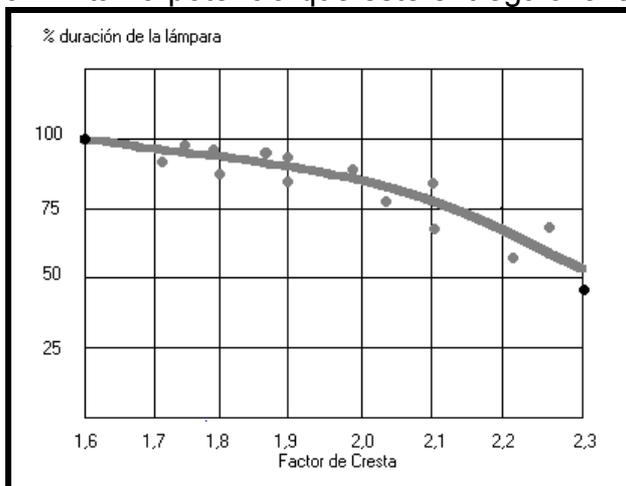


Figura 16: Influencia del Factor de Cresta (f_c) en la vida de una lámpara fluorescente

Tipo de lámpara	Factor de cresta (máximo)
Fluorescentes	1,7
Mercurio	1,8
Sodio baja Presión	1,6
Halogenuros Metálicos	1,8
Sodio de Alta Presión	1,8

Tabla VI: – Máximo factor de cresta para un balasto admitido por norma, según el tipo de lámpara ^{[3], [2], [6], [7], [8]}

Impacto de los componentes en la vida del balasto

Como ha sido mencionado, el balasto sufre deterioro no sólo debido al funcionamiento propio sino también por el funcionamiento anormal de los otros componentes asociados.

Los problemas mayores se originan cuando la lámpara de descarga tiene un alto grado de desgaste, lo que puede dar lugar a un funcionamiento errático, sensible a las caídas de tensión. Si los cátodos de la lámpara sufren un desgaste desigual, lo que es frecuente, aparece una componente de continua debido a un efecto rectificador sobre la onda de corriente. Esto provoca una saturación del núcleo de hierro de los balastos y un sobrecalentamiento anormal por pérdidas magnéticas y, consecuentemente, un desgaste acelerado del balasto.

En el caso de tubos fluorescentes, cuando las lámparas agotadas no son separadas de la instalación provocan un calentamiento excesivo al balasto y picos de tensión en forma prolongada, afectando la vida de balasto y arrancador. También el arrancador suele ser causa de sobrecalentamiento de las reactancias, situación que es analizada con profundidad en el punto siguiente.

Impacto de la mala calidad de arrancadores en los sistemas de alumbrado fluorescentes.

El costo propio del arrancador es insignificante en el conjunto de los costos operativos de los sistemas de iluminación fluorescente, según puede apreciarse en la figura 17, sin embargo un arrancador de mala calidad puede tener un impacto notable en los demás costos, debido a lo que se podría denominar una “cascada de daños” que se extiende sobre todo el sistema. Por esta razón el arrancador puede ser la principal causa de circuitos fuera de servicio de una instalación.

Según ensayos de muestras, los arrancadores de mala calidad tienen una gran penetración en el mercado Argentino, lo que puede apreciarse en la tabla VII

	Pruebas Realizadas	Muestras ensayadas	Marcas Ensayadas
Total	1.260	140	11
Aprobadas	756	35	2
Rechazadas	504	105	9
Rechazadas (%)	40	75	82

TABLA VII: Cantidad de rechazos según prueba, muestra o marca^[9]

La norma IRAM 2124 de arrancadores luminiscentes, arrancadores de mala calidad son proclives a quedar permanentemente conectados. En este caso y mientras no sea solucionado este inconveniente, el calefaccionado de los cátodos se produce en forma permanente, lo que conduce al agotamiento prematuro de la lámpara. Una vez agotado el material termoemisivo no podrá volver a arrancar.

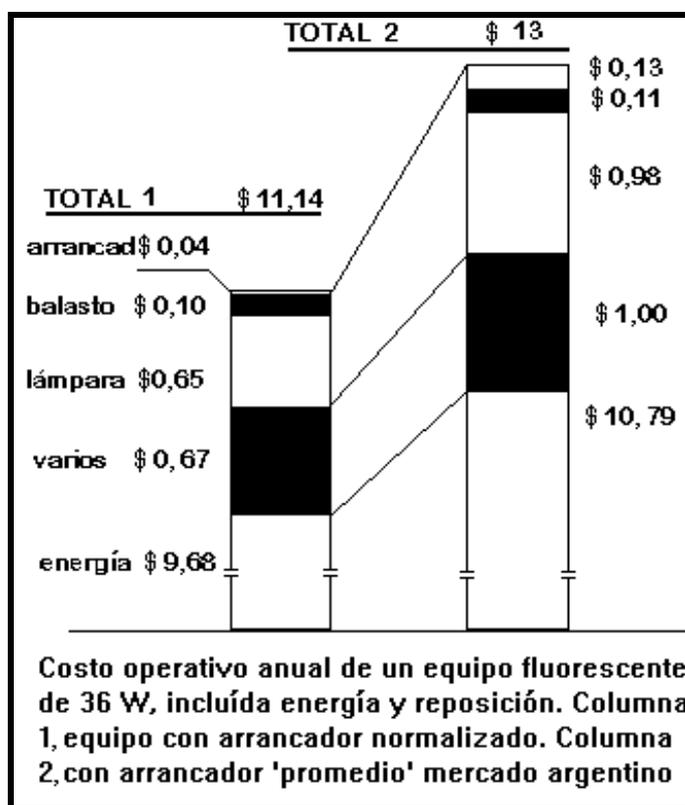


Fig. 17 Costos operativos de un circuito fluorescente con arrancador normal y fallado

El problema del mantenimiento se agudiza con la calidad deficiente de arrancadores y balastos e implica pérdidas de condiciones de servicio y mayores costos. La tabla VIII muestra la mayor demanda en la reparación de equipos de lámparas fluorescentes fuera de servicios para el caso "normal", cuando sólo el tubo ha dejado de funcionar y para los casos arrancador y balasto en condición de "falla"

Tabla VIII: Tiempo insumido en mantenimiento de equipos

Condición del equipo: OPERACION:	Normal	Arrancador fallado	Balasto fallado
Retirar lámpara vieja	X	X	X
Limpieza artefacto	X	X	X
Colocar lámpara nueva-probar	X	X	X
Retirar lámpara nueva		X	X
Reemplazar arrancador		X	X
Colocar lámpara-probar		X	X
Retirar bandeja porta-equipos			X
Inspección zócalos y conexiones			X
Reemplazar balasto			X
Colocar bandeja porta-equipos			X
Colocar lámpara-probar			X
Tiempo total demandado (minutos)	5	7	19
Tiempo adicional sobre Normal (%)	--	40%	300%

Nota:

1- Los tiempos consignados son promedios observados en un mantenimiento realizado en la Universidad Nacional de Tucumán (4) sobre una instalación de 140 artefactos abiertos (sin louvers) tipo industrial de 2 lámparas fluorescentes de 40 W. No incluye tiempos muertos, traslados, etc.

2- El artefacto denominado Normal solo requería limpieza y reemplazo de lámparas. Con arrancador fallado y con balasto fallado eran artefactos que tenían uno de los componentes, ya sea el arrancador o el balasto en falla y por lo tanto requirieron reparación.

Equipos Auxiliares Innovativos

La aparición de semiconductores de potencia, capaces de operar en el rango de corriente y tensión de las fuentes luminosas, está imponiendo desde la década de los '80, un nuevo concepto en el campo de los equipos auxiliares. Las facilidades que brinda la electrónica para operar lámparas provienen de la amplia variedad de recursos que posee en comparación con los equipos auxiliares convencionales. Esto le permite la realización de diversas prestaciones, alguna de las cuales vamos a mencionar:

Balasto electrónico de alta frecuencia

El balasto electrónico se basa fundamentalmente en la técnica de la alta frecuencia. Ya hemos mencionado que en corriente alterna cuando la onda de corriente pasa por cero el arco se extingue, re-encendiéndose nuevamente con el siguiente hemicycle. Esto resta eficacia al sistema ya que, durante el lapso en que el arco está apagado, hay desaparición de portadores por recombinación, y una cierta energía es necesaria para la re-ionización, unas 100 veces/seg con frecuencia de 50Hz.

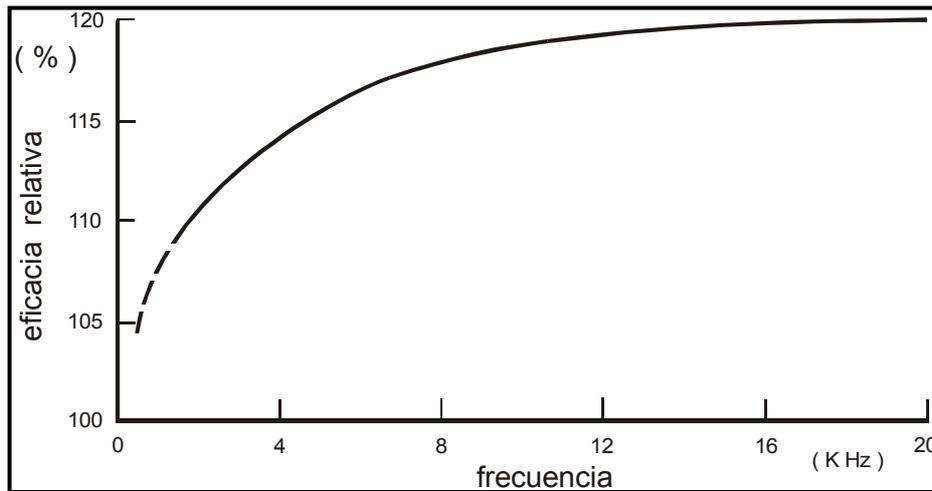


Figura 18 Aumento de eficacia con la frecuencia en lámparas fluorescentes

Si se aumenta la frecuencia (entre los 25 y 60 KHz), el fenómeno de recombinación se hace menos importante ya que los portadores disponen de menos tiempo para ello. Este es el fundamento del aumento de eficacia de las lámparas de descarga con la frecuencia (Figura 18).

Las ventajas que ofrece el balasto electrónico de alta frecuencia puede sintetizarse como sigue:

1. Mayor eficacia luminosa (10 a 20 %)
2. Menor consumo propio
3. Mejor comportamiento de las lámparas con la temperatura
4. Factor de potencia unitario, no requiere compensación (fig.19)
5. Eliminación del parpadeo luminoso y del efecto estroboscópico

Por el momento no todas las lámparas de descarga comunes son aptas para operar en alta frecuencia. Algunas tienen problemas de resonancia dentro del tubo, provocando que el arco sea zigzagueante. Se está poniendo todo el empeño en el desarrollo de lámparas especiales para el funcionamiento en alta frecuencia, algunas de las cuales ya se encuentran a la venta.

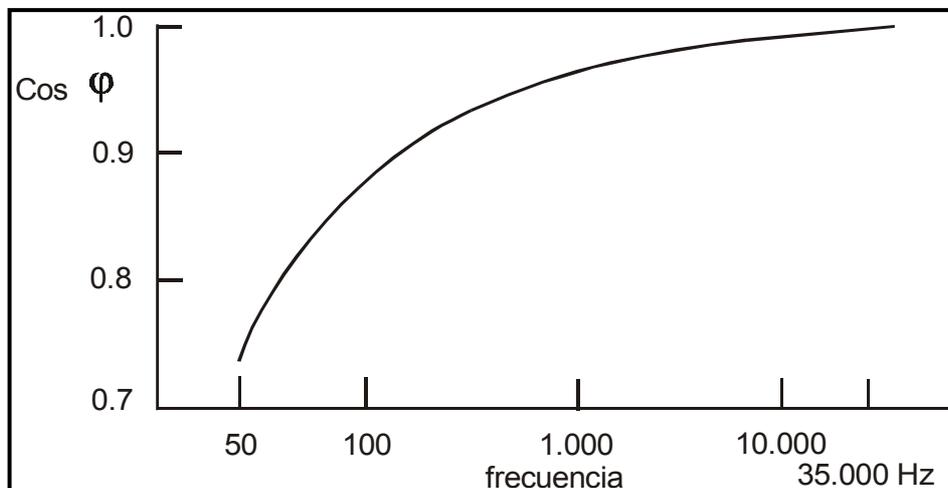


Figura 19: Aumento del factor de potencia con la frecuencia en una lámpara fluorescente

Atenuadores de iluminación

El Atenuador Lineal o Dimmer, ofrece la posibilidad de regular el flujo luminoso de las fuentes (incandescentes o de descarga) de acuerdo a las condiciones de servicio. La atenuación se especifica en un porcentaje del flujo luminoso sin atenuación y algunos productos que se ofrecen ya en plaza declaran capacidades de 0 al 100%, o sea regulación total. Las posibilidades que esto brinda son mucho mas amplias que las obtenibles vía conmutación de grupos de lámparas o luminarias, sin afectar la regularidad. Los atenuadores aprovechan las ventajas que la electrónica y la técnica de alta frecuencia ofrecen, siendo en muchos casos una prestación incorporada en los propios balastos electrónicos.

Dimmer autorregulado por señal horaria

Está diseñado para instalaciones cuyo nivel de iluminación se desea variar según un programa horario preestablecido. Tal el caso de sistemas de alumbrado de calles que modifican la potencia de la lámpara, según la variación horaria del flujo de tránsito. O en la iluminación perimetral, para diferenciar horarios de circulación y horarios en donde solo se necesita luz por razones de seguridad.

La señal es aportada por un timer electrónico incorporado al equipo, y el flujo se regula en uno o varios escalones, en cada lámpara. Se destacan las ventajas de estos sistemas frente al método convencional consistente en apagar grupos de luminarias, afectando la regularidad de la iluminación.

Balastos Autorregulados

La señal de control es la potencia de la lámpara o bien su flujo luminoso. Mantiene constante la salida luminosa, absorbiendo variaciones de tensión de alimentación y la depreciación luminosa de la propia lámpara. Permite ahorrar energía, preservando durante amplios períodos, las condiciones de servicio de la instalación.

Sensores de presencia

Son Detectores Infrarrojos Pasivos que permiten la conmutación de lámparas en zonas en donde no se detecta la presencia de personas durante un lapso de tiempo. Esto permite un importante ahorro de energía, que permite amortizar la inversión de este tipo de instalaciones en el orden de los 1,5 a 2 años, según el tipo de instalación que se considere.

Detectores de presencia de luz diurna

Se trata de fotocélulas que captan la iluminación de una parte del local, censando la cantidad de luz que llega del exterior para así proceder a atenuar la iluminación eléctrica de esa zona. Tiene la finalidad el lograr aminorar la cuenta de luz, y los resultados dependen de la cantidad de energía natural que se disponga.

Sistemas Automáticos de Control

La integración de Sensores ocupacionales, sensores de luz diurna, atenuadores lineales y otros dispositivos de supervisión y control en una sola unidad (Sistema Automático de Control), programada para la realización de un mejor manejo energético de las instalaciones de iluminación parecería ser el tema del futuro. Existe suficiente cantidad de información sobre instalaciones reales que usan estos sistemas. Los resultados, medidos en términos económicos dependen del tipo de instalación, del derroche y desaprovechamiento de la energía previo a la instalación y del diseño de Sistema que se haga.

Como en el caso de los balastos electrónicos hay que advertir que la dificultad para una aplicación masiva de estos sistemas radica en lo dificultoso de las especificaciones de calidad y contabilidad y en la carencia de método de diseños de las instalaciones.

Bibliografía

1. IES Lighting Handbook, Reference and Application Volume. 8th edition, 1993.. Edit. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 120 Wall Street, 17th floor, New York, NY 10005. USA. ISBN 0-87995-102-8.
2. NORMA IRAM J23 12.
3. NORMA IRAM 2027.
4. NORMA IRAM 2457.
5. Standadd IEEE 101-1972 "Guide for the statistical analysis of thermal data" Institute for Electrical and Electronic Engineers, New York, 1972.
6. NORMA IRAM 2283.
7. NORMA IEC 60923.
8. NORMA AENOR 60922:1997.
9. Ensayos LENº 81 al 91 ADELCO