

EQUIPOS AUXILIARES DE REGULACIÓN Y CONTROL

9.1.	Generalidades	117
9.2.	Balastos	119
9.3.	Arrancadores	126
9.4.	Condensadores	129
9.5.	Equipos de ahorro de energía	133
9.6.	Equipos eléctricos de las diferentes lámparas de descarga. Circuitos.	134

9.1. Generalidades

En este capítulo vamos a tratar sobre los equipos auxiliares que necesitan las lámparas para su correcto funcionamiento. El equipo a montar depende del tipo de lámpara.

Las lámparas de *incandescencia*, *halógenas* y de *luz mezcla* se pueden conectar directamente a la red sin necesidad de ningún equipo auxiliar o mediante un transformador, debido a que, por sus características, tienen la propiedad de que la intensidad que pasa por ellas y la tensión aplicada son proporcionales.

Las *lámparas de descarga* tienen la particularidad de que la relación entre la intensidad que pasa por ellas y la tensión aplicada no son proporcionales, es decir, que la relación tensión-corriente no es lineal sino negativa; dicho de otra forma, la tensión del arco depende poco de la corriente que la atraviesa. Dependiendo de la tensión aplicada, si se produce el arranque, puede ocurrir que la intensidad de la corriente se eleve enormemente hasta provocar la destrucción de la lámpara o que la corriente fluctúe desproporcionalmente con pequeñas variaciones de tensión. Por estas razones, es indispensable utilizar algún dispositivo estabilizador de la corriente si se pretende conseguir un funcionamiento correcto.

Estabilización de la descarga

El elemento más sencillo que pudiera aplicarse es una *resistencia*. Esta solución no es recomendable en corriente alterna, porque la lámpara no luce prácticamente más que cuando la tensión aplicada al conjunto alcanza valores instantáneos superiores a la tensión de arco, lo que se traduce en parpadeo de la lámpara. Por ello, este tipo de estabilización se utiliza casi exclusivamente alimentando con corriente continua.

Otro elemento que también pudiera aplicarse para la estabilización de la descarga es un *condensador*. Esta solución es inadmisibles en la frecuencia normal de 50 Hz. (y por descontado en corriente continua) porque la corriente de la lámpara se distorsiona con exceso al producirse fuertes picos de corta duración; con ello la lámpara emitiría luz a golpes y se agotaría prematuramente. Sin embargo, este sistema puede emplearse con alimentación con frecuencias más altas (por encima de 300 Hz.) y tiene la ventaja de mayor rendimiento luminoso de la lámpara.

El elemento más conocido en la práctica normal para estabilizar las lámparas de descarga, lo constituye una reactancia inductiva que limita con bastante eficacia, sencillez y economía la intensidad de la corriente de descarga. La distorsión de la corriente en la lámpara que produce es tolerable y generalmente sin parpadeos y aunque desplaza la fase entre la tensión de la lámpara y la de la red de alimentación, esto puede corregirse fácilmente mediante condensadores en paralelo con la línea.

Cuando la tensión de la que se dispone en la línea no es suficiente para permitir el encendido de la lámpara, se puede acudir para elevarla a transformadores o autotransformadores previos. A fin de simplificar el conjunto, se hace uso de los llamados autotransformadores a fugas (también llamados de dispersión) que incorporan en su secundario la reactancia inductiva precisa. Una vez que se dispone de un transformador a fugas adecuado, si lo que pretendemos es hacer funcionar una lámpara fluorescente que precisa el caldeo de sus cátodos para el arranque, se introduce un cebador o se puede prescindir de él incorporando al autotransformador dos nuevos arrollamientos para el correcto caldeo.

Paralelamente a la evolución anterior, fue utilizar el condensador necesario para corregir el factor de potencia. Una reactancia inductiva en serie con un condensador constituye un regulador de intensidad. Utilizando correctamente los elementos con ligeras alteraciones en los mismos, se construyen equipos complejos en los que el condensador en serie con el secundario del transformador y a veces con el primario o parte de él mejora la estabilidad de la lámpara frente a fuertes variaciones de tensión en la línea, además de corregir simultáneamente el factor de potencia y $\cos\phi$ del conjunto a mejor valor que si se utiliza simplemente un condensador en paralelo con la línea.

Equipos auxiliares de las lámparas de descarga

Analicemos, de forma general, los equipos que suelen llevar las lámparas de descarga para su correcto funcionamiento. Al final de este capítulo se expondrán algunos circuitos representativos de las diferentes lámparas de descarga.

Lámparas fluorescentes

La lámpara fluorescente posee características de resistencia negativa y por lo tanto se debe operar en forma conjunta con un dispositivo de corriente limitada (balasto) para evitar que la corriente se escape. El balasto, que posee características de resistencia positiva, puede ser:

- **Balasto resistivo:** Para corriente continua.
- **Balasto inductivo:** Es el balasto de mayor uso para aplicaciones normales de corriente alterna.
- **Balasto electrónico:** Es el más caro, pero ofrece ventajas importantes respecto a los anteriores.

La corrección del factor de potencia se logra colocando un condensador en paralelo con el circuito de la lámpara o utilizando, en circuitos que contienen varias lámparas, balastos capacitivos para la mitad de las lámparas y balastos inductivos sin compensación para la otra mitad.

Para el encendido de la lámpara se necesita algún tipo de ayuda, debido a que la resistencia interna de la lámpara fluorescente apagada se encuentra demasiado fría para encenderse automáticamente cuando se le aplica el voltaje de la red. En lo que respecta al encendido, los circuitos de las lámparas fluorescentes se pueden dividir en tres grupos:

- Circuitos con arrancador precalentado: El encendido lo controla un arrancador (cebador) convencional o electrónico.
- Circuitos sin arrancador precalentado: Estas lámparas pueden operar con dos tipos diferentes de circuito, el de encendido instantáneo (circuito semi-resonante) y el de encendido rápido (circuito no-resonante).
- Circuitos de encendido frío: Son para lámparas que están dotadas de una banda interna para facilitar el encendido inmediato sin precalentamiento y sin cebador.

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

En la lámpara de mercurio, aparte de la reactancia no es necesario equipo de arranque. Se usan balastos inductivos compensados que pueden ser utilizados tanto en circuitos de compensación paralela como en circuitos de compensación en serie. Ambos circuitos llevan un condensador para compensar el factor de potencia.

Lámparas de halogenuros metálicos

Las condiciones de funcionamiento de las lámparas de halogenuros metálicos son muy parecidas a las de vapor de mercurio convencionales, estando dispuestas para ser conectadas en serie con un balasto limitador de la corriente. Pero debido a los halogenuros, la tensión de encendido de estas lámparas es elevada y necesitan el empleo de un cebador o ignitor.

El balasto a conectar a la lámpara de halogenuros depende de las propiedades de ésta. Por ejemplo, las lámparas denominadas de tres bandas emplean balastos destinados a lámparas de mercurio a alta presión, pero las lámparas de tierras raras funcionan mejor con balastos de lámparas de sodio de alta presión.

Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Estas lámparas precisan de un equipo auxiliar que puede ser:

- **Balasto**, con o sin ignitor separado: Debido al bajo voltaje de la lámpara, éstas pueden operar en circuitos comparativamente simples. Estos consisten, básicamente, en un balasto en serie con la lámpara y un arrancador en paralelo. Para la corrección del factor de potencia se utiliza un condensador en paralelo.
- **Transformador con ignitor separado:** En este circuito se mantiene la potencia casi constante de la lámpara durante toda su vida. Consiste en un balasto, un condensador en serie para la corrección del factor de potencia y un ignitor electrónico.

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Al igual que en las lámparas de halogenuros metálicos, y debido a la alta presión a la que se encuentra el gas, para el encendido es necesario aplicar altas tensiones de choque. Por ello, las lámparas de sodio alta presión operan normalmente con un balasto y un arrancador. Algunas lámparas poseen un arrancador incorporado, pero la mayoría utilizan un dispositivo de arranque externo.

Principalmente existen dos tipos de circuitos, ya sea con el arrancador conectado en serie o en paralelo con la lámpara:

- **Circuito con arrancador en serie:** El arrancador está conectado entre el balasto y la lámpara.
- **Circuito con arrancador en semiparalelo:** El arrancador está conectado a la lámpara a través de la reactancia.

La corrección del factor de potencia en ambos circuitos, puede lograrse con un condensador en forma de compensación en paralelo.

Lámparas de inducción

La lámpara de inducción se encuentra conectada a la red a través de un generador de alta frecuencia, que está compuesto por un sistema de circuitos electrónicos. La conexión entre la lámpara y el generador se hace por medio de un cable coaxial que forma parte de un circuito oscilador, por lo tanto su longitud no puede ser modificada.

9.2. Balastos

9.2.1. Introducción

Las reactancias o balastos son accesorios para utilizar en combinación con las lámparas de descarga, que en forma de impedancias inductivas, capacitivas o resistivas, solas o en combinación, limitan la corriente que circula por aquellas a los valores exigidos para un funcionamiento adecuado.

Además, cuando es necesario, suministran la tensión y corriente de arranque requeridas y en el caso de reactancias de arranque rápido, las bajas tensiones necesarias para el caldeo de los cátodos de las lámparas.

Dadas las características que ofrecen de rendimiento y funcionamiento correcto de la lámpara, las más utilizadas son las de tipo inductivo. También se utiliza la combinación de reactancia inductiva-capacitiva.

Las de resistencia y las capacitivas por sí solas no se utilizan ya que las primeras ocasionan muchas pérdidas dando por tanto un bajo rendimiento y las segundas dan una potencia bajísima en la lámpara por la gran deformación de la onda de la corriente de la misma que originan.

Por su forma de instalación se clasifican en:

- **Reactancia independiente**, que está cubierta con una protección especial para funcionar al exterior.
- **Reactancia para incorporar**, que requiere una protección secundaria como puede ser, una caja, una luminaria, etc.

9.2.2. Función que cumple la reactancia

La reactancia es elemento fundamental en cualquier instalación de alumbrado con lámparas de descarga, ya que sin ellas, las lámparas no podrían funcionar.

Dada la gran variedad de lámparas existentes muy diferentes en tipo, tamaño, color, etc., se requieren reactancias adecuadas a cada una, que les suministre los parámetros precisos en cada caso y en cada momento, es decir, satisfaga las necesidades de arranque y posteriormente las de operación normal.

De forma general las funciones que cumple la reactancia son:

- Proporcionar la corriente de arranque o de precalentamiento de cátodos para conseguir en éstos la emisión inicial de electrones.
- Suministrar la tensión de salida en vacío suficiente para hacer saltar al arco en el interior de la lámpara.
- Limitar la corriente en la lámpara a los valores adecuados para un correcto funcionamiento.
- Controlar las variaciones de la corriente en la lámpara, frente a variaciones de la tensión de alimentación. Lo que se conoce como *tener buena regulación*.

9.2.3. Normativa que deben cumplir las reactancias

Homologación de las reactancias

Las reactancias deben ser fabricadas según las normas nacionales e internacionales correspondientes. Como consecuencia, las que han sido ensayadas y homologadas por los diferentes organismos, llevarán impreso en símbolo del organismo (Fig. 1.).



Figura 1. Ejemplo de marcas de homologación de los diferentes organismos.

La posesión de dichas homologaciones permite circular a estos productos por los países que engloben dichas marcas.

Normas de referencia

Las normas que regulan la seguridad y el funcionamiento de las reactancias para lámparas de alta intensidad de descarga, son:

UNE-EN 60922:	Reactancias para lámparas de descarga (excepto lámparas tubulares fluorescentes). Prescripciones generales y de seguridad.
UNE-EN 60923:	Reactancias para lámparas de descarga (excepto lámparas tubulares fluorescentes). Prescripciones de funcionamiento.
ANSI C82.4:	Reactancias para lámparas de alta intensidad de descarga y sodio baja presión.
UNE-EN 60662:	Lámparas de vapor de sodio a alta presión.
UNE-EN 61167:	Lámparas de halogenuros metálicos
UNE-EN 60188:	Lámparas de vapor de mercurio a alta presión.
UNE-EN 60192:	Lámparas de vapor de sodio a baja presión.
UNE-EN 60598:	Luminarias.

Directivas comunitarias

Para poder utilizar los aparatos eléctricos y electrónicos en la Comunidad Europea, es obligatorio que sean portadores de la marca "CE", la cual significa *Conformidad Europea*, y representa el cumplimiento de las siguientes Directivas Comunitarias a las que están sujetos los productos de iluminación:

- Directiva de Baja Tensión (LV) 73/23/EEC, obligatoria desde 1-1-97 y aplicable a todos los aparatos eléctricos de tensión nominal de 50 a 1.000 V. en corriente alterna y 75 a 1.500 V. en corriente continua.
- Directiva de Compatibilidad Electromagnética (EMC) 89/366/EEC, obligatoria desde 1-1-96 y aplicable a todos los aparatos eléctricos y electrónicos que pueden generar radio-interferencias o verse afectados por perturbaciones generadas por otros aparatos de su entorno.

Normas de referencia

Para la Directiva de Baja Tensión (LV) son obligatorias las normas de seguridad sobre el producto.

Para las correspondientes a Compatibilidad Electromagnética (EMC), son aplicables las siguientes normas:

UNE-EN 50081-1:	Compatibilidad Electromagnética. Norma genérica de emisión.
UNE-EN 55015:	Perturbaciones radioeléctricas de las lámparas fluorescentes y luminarias.
EN 61000-3-2:	Perturbaciones de los sistemas de alimentación. Armónicos.
EN 61547:	Luminarias para aplicaciones generales. Prescripciones de inmunidad.

Los requerimientos de emisión de radio-interferencias, armónicos e inmunidad aplicables, deben ser comprobados con la luminaria o en la instalación donde se van a utilizar las reactancias.

Armónicos

Un armónico es una perturbación introducida en la red por equipos eléctricos. En los sistemas de iluminación se supone que la energía se recibe a una sola frecuencia y que ésta es constante. La constancia de la frecuencia en las distribuciones de energía está generalmente conseguida. Sin embargo, por diversas circunstancias, la onda fundamental puede estar contaminada con armónicos indeseables (por ejemplo, producidos por convertidores de frecuencia asociados, etc.).

El estudio de dicha contaminación por armónicos es muy complejo porque sus consecuencias dependen de la amplitud y el orden de la frecuencia armónica así como de la situación sobre la fundamental.

Conviene señalar que, si la situación de los armónicos sobre la onda fundamental hace que la onda compuesta tienda a ser cuadrada, las bobinas de impedancia no limitan suficientemente la intensidad que recibe la lámpara puesto que en estas condiciones, la tensión alterna se asemeja a una tensión continua pulsatoria frente a la cual los choques inductivos no responden eficazmente.

Se puede establecer un modelo matemático para el estudio de la tensión en los distintos dispositivos del circuito eléctrico (lámpara, balasto, etc.), y descomponerlo en una serie de Fourier, quedándonos con los dos primeros términos como aproximación aceptable.

Los armónicos terceros y sucesivos que se producen en la utilización de núcleos magnéticos (balastos magnéticos) en los alumbrados con lámparas de descarga y la generación de armónicos impares por parte de las propias lámparas, tiene dos consecuencias inmediatas:

- 1ª. Los condensadores de corrección del factor de potencia, no son capaces de corregir el factor de potencia hasta la unidad, sino que al añadirse más capacidad a dichos condensadores, se pasa a un circuito capacitivo.
- 2ª. En los sistemas trifásicos con neutro, la corriente en el neutro se llega a hacer similar a la de las fases, porque aún cancelándose la frecuencia fundamental a igualdad de cargas, es decir con fases equilibradas, los terceros armónicos están en fase y por lo tanto se suman.

Si los aparatos que se alimentan de la línea trifásica con neutro sólo tomaran la frecuencia fundamental, el neutro no llevaría corriente en el caso de equilibrio de cargas sobre las fases. Si en cambio, los aparatos toman una corriente que contenga el 33'3% del tercer armónico, el hilo neutro se carga con la misma corriente que las fases, aunque su frecuencia sea el triple de la fundamental.

En la práctica, para que esto no ocurra en las líneas de alumbrado, se han establecido límites en las distorsiones de corriente admisibles de caso armónico impar, ya que los pares se anulan (ver las Normas IEC 1000-3-2, IEC 1000-3-3 o EN 61000-3-2 y EN 61000-3-3). No obstante, el neutro debe dimensionarse al mismo tamaño que los de las fases, según exige el Reglamento de Baja Tensión, para evitar sorpresas con materiales de baja calidad.

Otro problema típico de la alimentación contaminada de frecuencias armónicas es el fenómeno de resonancia, que puede producirse en aquellos equipos que están compuestos de reactancia inductiva y condensador en serie. Estos equipos son especiales y conocidos como reguladores, autorreguladores o balastos de potencia constante.

9.2.4. Balastos electromagnéticos

Los balastos electromagnéticos están compuestos, principalmente, por un gran número de bobinas de cobre sobre un núcleo de hierro laminado. En ellas se produce una pérdida de calor que ocurre a través de la resistencia óhmica de las bobinas y la histéresis en el núcleo, y que depende mucho de la construcción mecánica de los balastos y del diámetro del alambre de cobre.

Tipos de reactancias

Reactancia de choque

Este tipo de reactancia inductiva, formado por una simple bobina con su núcleo magnético correspondiente, conectada eléctricamente en serie con la lámpara, es el más comúnmente utilizado; constituye un conjunto de bajo factor de potencia que puede ser corregido colocando un condensador en paralelo con la red (Fig. 2).

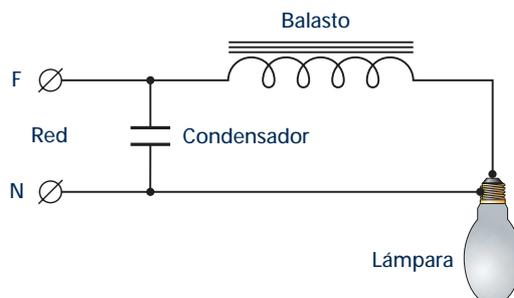


Figura 2

Este tipo de reactancia, es económica, ligera y de dimensiones reducidas, proporciona una pobre regulación de potencia, frente a las variaciones de la tensión de alimentación (alrededor del 20% de oscilación de la potencia, para variaciones de tensión del 10%) y la corriente de arranque es elevada respecto a la de funcionamiento, debiendo dimensionarse los circuitos para ese valor. Esto hace que la vida de la lámpara se vea reducida considerablemente si la tensión de la red fluctúa más del 5%. Por lo tanto, este tipo de reactancias es adecuado siempre que se utilice en las debidas condiciones de estabilidad de la tensión.

Reactancia autotransformadora

Cuando las redes de alimentación tienen una tensión inferior a 220 V, se hace necesario prever un sistema de elevación de esa tensión que nos proporcione la necesaria para el encendido de la lámpara. Este sistema puede ser simplemente un autotransformador y una reactancia de choque normal, lo cual eléctricamente es correcto, pero muy costoso y voluminoso.

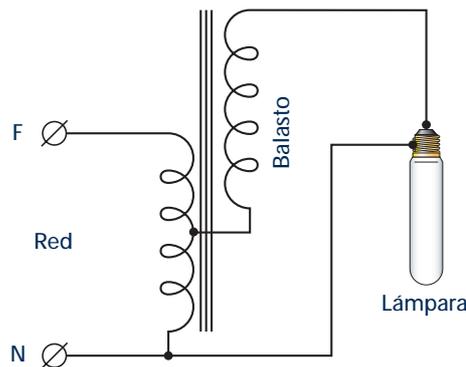


Figura 3

De ordinario se han construido, para esa función, reactancias autotransformadoras, cuyo esquema básico se muestra en la Fig. 3, formadas por dos devanados desacoplados magnéticamente, incluso con shunts magnéticos entre ellos, para que, además de elevar la tensión para que la lámpara pueda encender, realicen la función de controlar la intensidad de la misma. Este tipo de reactancias tienen una regulación de potencia muy pequeña, de modo que una variación de tensión del 5% ocasiona oscilaciones de potencia de la lámpara del 12%. Además, son reactancias de bajo factor de potencia y para corregir éste, teniendo en cuenta la tensión de alimentación (normalmente 110 o 125 V), nos veremos obligados a colocar condensadores de gran capacidad y por lo tanto costosos.

Reactancia autorreguladora

Esta reactancia combina un autotransformador con un circuito regulador. Debido a que una parte del bobinado primario es común con el secundario, su tamaño es reducido. Puesto que sólo el bobinado secundario contribuye a una buena regulación, el grado de ésta depende de la porción de tensión primaria acoplada al secundario (Fig. 4).

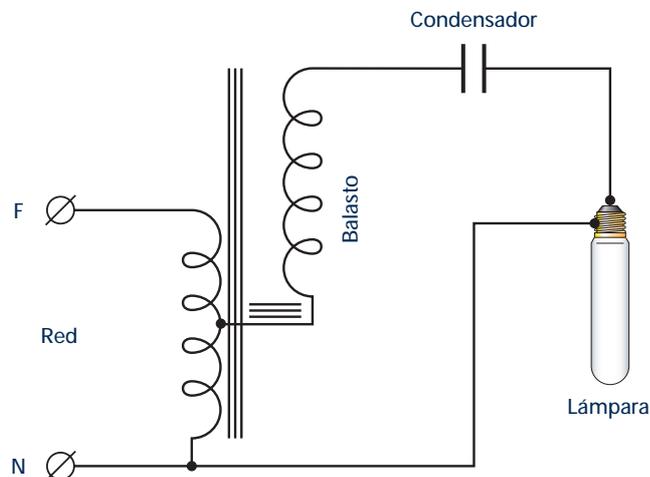


Figura 4

Con este tipo de reactancia logramos las siguientes ventajas:

- Una buena regulación de corriente y potencia de la lámpara, frente a las variaciones de tensión de la alimentación (del orden del 5% en potencia, frente a variaciones de tensión del 10%).
- Como consecuencia de lo anterior, un aumento notable en la vida de la lámpara, lo que reduce los costos de mantenimiento de la instalación.
- La corriente de arranque en la red, no es superior a la de funcionamiento normal, por lo que los sistemas de protección y los cables de alimentación se pueden dimensionar para una corriente menor que en las instalaciones con reactancias de choque, y por esto mismo la seguridad de las protecciones aumenta al corresponder sus valores con los de funcionamiento.
- La compensación del factor de potencia se mantiene por encima del 0.9 independientemente de la tensión de la red.
- Debido a la gran estabilización que proporcionan estas reactancias, la tensión de red, a la cual la lámpara se extingue, es baja, lo que permite variaciones de la tensión de alimentación muy superiores a lo habitual sin que se produzcan apagados de la lámpara.

Marcas e indicaciones

Las reactancias, además de las características eléctricas, llevan impresas una serie de indicaciones que conviene conocer para hacer el uso adecuado de las mismas, obteniéndose así las máximas prestaciones eléctricas, de seguridad y duración.

t_w	Es la temperatura máxima a la cual pueden funcionar constantemente los bobinados de una reactancia en condiciones normales, a su tensión y frecuencia nominales, para asegurar una vida media de 10 años. Los aumentos o disminuciones de la temperatura de los bobinados tienen influencia en la vida de los mismos.
Δt	Calentamiento de los bobinados de una reactancia sobre la temperatura ambiente en la que está instalada, funcionando en condiciones normales y a tensión y frecuencia nominales.
t_a	Temperatura de ambiente máxima a la que puede funcionar una reactancia en condiciones normales. Viene dada por: $t_a = t_w - \Delta t$
Pérdidas	Es la potencia autoconsumida. Si no se indica de otra forma, este valor está medido con voltaje y frecuencia nominales y con los bobinados a una temperatura de 25° C.
λ	Es el factor de potencia.

Además de éstas, pueden llevar impresas las marcas de conformidad de los diferentes organismos como ya indicamos anteriormente.

9.2.5. Balastos electrónicos

Los balastos electrónicos ofrecen ventajas importantes con respecto a los balastos inductivos convencionales, tales como:

- Mejoran la eficiencia de la lámpara y del sistema.
- No producen efectos de parpadeo o estroboscópicos.
- Brindan un arranque instantáneo sin necesidad de un arrancador separado.
- Incrementan la vida de la lámpara.
- Ofrecen excelentes posibilidades de regulación del flujo luminoso de la lámpara.
- Factor de potencia próximo a la unidad, aunque hay que vigilar que los armónicos en línea no excedan los valores máximos admitidos.
- La conexión es más simple.
- Poseen menor aumento de la temperatura.
- No producen zumbido ni otros ruidos.
- Poseen menos peso.
- Pueden ser utilizados en corriente continua.

Naturalmente estas ventajas corresponden a balastos electrónicos correctamente diseñados y correctamente elaborados y verificados.

Los balastos electrónicos se usan generalmente para lámparas fluorescentes y halogenuros metálicos y sodio alta presión de hasta 150 W.

El principio de funcionamiento más comúnmente empleado en los balastos electrónicos para tubos fluorescentes en acometidas de corriente alterna normal (220 V y 50 Hz) es como el que se muestra en la Fig. 5.

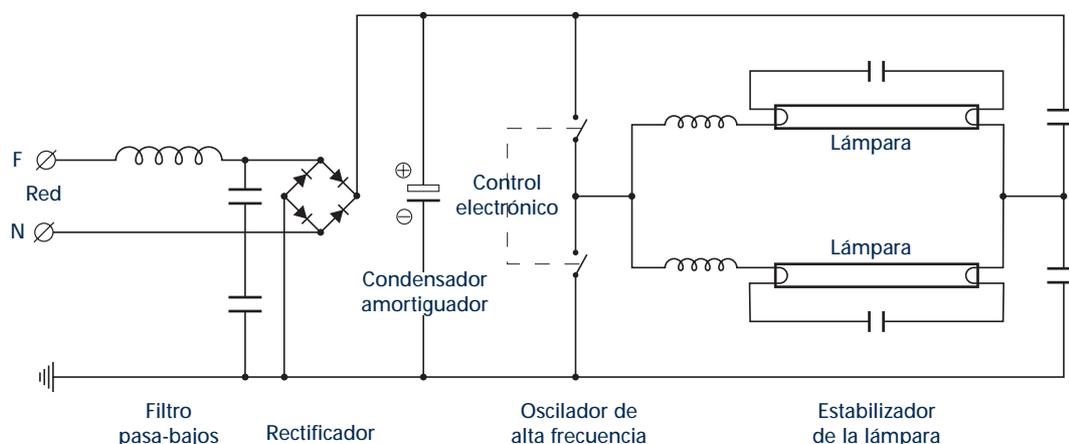


Figura 5

Como puede verse, con un filtro previo de paso bajo para reducir distorsión de la corriente de alimentación e impedir que las señales de alta frecuencia se reflejen en la red. Además, hay que proteger al circuito electrónico de los impulsos fortuitos que aparecen en la corriente alterna de 50 Hz.

Una vez rectificadada la corriente alterna, y con ayuda del condensador de acoplo, se procede a la generación de alta frecuencia en onda cuadrada, mediante dos transistores generalmente. Esta frecuencia ha de ser mayor de 20 KHz. para superar los límites audibles y conseguir el mayor rendimiento.

Antes de aplicar la alta frecuencia a los tubos hay que establecer los medios para limitar la corriente y facilitar el encendido.

Además de lo anterior, es preciso proveer medios para impedir que el balasto se deteriore al final de la vida de los tubos, etc.

Conceptos asociados a los balastos electrónicos

Factor de potencia: En los balastos electrónicos el factor de potencia está corregido y tiene un valor constante y muy próximo a la unidad, controlado en todo momento de su funcionamiento por el circuito de corrección de factor de potencia.

Protección contra sobretensiones: En las instalaciones trifásicas con neutro incorrectamente conectado o interrumpido, ante un reparto desequilibrado de cargas, se produce un desequilibrio de tensiones, que origina sobretensiones en algunas de las fases, que pueden crear problemas de funcionamiento y deterioro de lámparas y equipos auxiliares.

Los balastos electrónicos están provistos de un sistema de protección contra sobretensiones, que evita daños que pudieran causarse en los circuitos por este motivo.

Armónicos de corriente: Una onda no sinusoidal pura está formada por una onda fundamental a la que se superponen ondas de frecuencia múltiplos de la onda fundamental. Estas ondas superpuestas reciben el nombre de armónicos de orden superior, como ya vimos anteriormente.

Estos armónicos son producidos por elementos de comportamiento no lineal, y sobrecargan las redes de alimentación, siendo indeseables por constituir una fuente de perturbaciones para otros aparatos en la misma red, y por reducir el factor de potencia del aparato afecto de éstos.

Los balastos electrónicos deben incluir en sus circuitos filtros de entrada que limiten y mantengan el nivel de armónicos igual o por debajo de lo exigido por la norma EN 61000-3-2.

Corrientes de dispersión o de fuga: Para reducir las interferencias radioeléctricas se utilizan filtros que originan corrientes dispersas no aceptables para el buen funcionamiento eléctrico de los equipos.

Los balastos electrónicos incorporan condensadores de supresión de interferencias que conducen a tierra las corrientes de fuga, con valores siempre inferiores a 0'5 mA., no comportando problema alguno para los equipos de protección y diferenciales del circuito.

Para una correcta instalación siempre es necesario utilizar el borne de tierra del balasto y conectarlo debidamente.

Interferencias radioeléctricas: Los equipos electrónicos de funcionamiento en altas frecuencias emiten o generan interferencias radioeléctricas perjudiciales para el entorno eléctrico y aparatos afines a él.

Estos niveles de emisión deben situarse por debajo de los límites tolerables por la norma EN 55015.

Los balastos electrónicos disponen de etapas y filtros supresores de interferencias radioeléctricas, de modo que su emisión sea siempre inferior a los límites máximos normalizados.

Para mantener este bajo nivel de emisión de radiointerferencias, hay que prestar especial atención a la disposición del cableado de la instalación, siguiendo en todo momento las recomendaciones a tal fin.

Normativa bajo la que se deben construir los balastos de alta frecuencia

Con el fin de ofrecer las máximas garantías de funcionamiento y seguridad, los balastos electrónicos deben ser diseñados según las últimas normas europeas para se permitan lograr las siguientes características:

- Al ser electrónicos, estar totalmente libres de ruidos.
- No producir parpadeos en el encendido.
- Efecto estroboscópico corregido.
- Utilizables como aparatos de emergencia, admitiendo la alimentación en corriente continua.
- Permitir un amplio margen de tensión de alimentación.
- Poseer un circuito de desconexión automática frente a lámparas defectuosas o agotadas.
- Incorporar filtros armónicos para evitar que éstos se introduzcan en la red.

Por lo tanto, deben cumplir o estar conformes con las siguientes normas:

UNE-EN 50081-1:	Compatibilidad Electromagnética. Norma genérica de emisión.
UNE-EN 55015:	Perturbaciones radioeléctricas de las lámparas fluorescentes y luminarias.
EN 61000-3-2:	Perturbaciones de los sistemas de alimentación. Armónicos.
EN 60928:	Prescripciones generales y de seguridad.
EN 60929:	Prescripciones de funcionamiento.
UNE-EN 50082-1:	Compatibilidad Electromagnética. Norma genérica de inmunidad.

Encendido con equipos electrónicos de alta frecuencia

Se considera tiempo de encendido para un balasto electrónico, al tiempo necesario para iniciar el encendido de la lámpara. En función de este periodo de tiempo distinguiremos los equipos de encendido instantáneo (o en frío) y los equipos de encendidos con precalentamiento de cátodos (o en caliente).

Balastos electrónicos de encendido instantáneo: Producen el encendido de la lámpara en un tiempo prácticamente instantáneo.

Este encendido se produce con los cátodos de la lámpara fríos, sin un precalentamiento previo.

Se recomienda el uso de estos balastos en instalaciones donde se requieran un limitado número de encendidos diarios, como oficinas, locales comerciales, bancos, etc.

Balastos electrónicos de encendido rápido: Estos balastos, a diferencia de los de encendido instantáneo, tienen un corto precalentamiento, de aproximadamente 0'4 segundos.

Balastos electrónicos de encendido con precalentamiento: Estos balastos producen el encendido de la lámpara en un tiempo aproximado de dos segundos.

Previamente al encendido, los cátodos de la lámpara son precalentados por el paso de una corriente inicial por ellos, lo que origina un encendido más suave, pero no instantáneo. Aún con ello, en este tipo de instalaciones, la vida de la lámpara sometida a frecuentes encendidos es mucho menor que la de la lámpara que soporte pocos encendidos y largos periodos de funcionamiento continuado.

Generador HF para lámparas de inducción: El generador HF proporciona la señal de alta frecuencia (2'65 Mhz) a la antena de la lámpara para iniciar y mantener la descarga del gas. El sistema de circuitos electrónicos del generador se encuentra encerrado en una caja de metal pequeña, la cual además de dar protección contra la interferencia de radio frecuencia, también sirve para conducir el calor generado en el circuito.

9.3. Arrancadores

Las lámparas de vapor de mercurio, tienen electrodos que les permiten el arranque con tensiones bajas, del orden de los 220 V., por lo que no necesitan ningún dispositivo adicional para el arranque. Sin embargo, las de halogenuros metálicos y las de sodio de alta presión, necesitan tensiones de encendido muy elevadas que no puede suministrarlas la reactancia por sí sola.

El proporcionar esta tensión de encendido es la misión de los arrancadores, que también se utilizan para el encendido de algunas lámparas de vapor de sodio a baja presión.

Principios de funcionamiento

Están basados en aprovechar la energía almacenada en un condensador, y que se descarga mediante un sistema de disparo adecuado en el bobinado primario de un transformador. Debido a la brusca variación de flujo en el núcleo del mismo, aparece un impulso de tensión inducido en el secundario, de un valor de pico muy elevado y de poca duración que superpuesto a la tensión de la red, hace saltar el arco en el interior del tubo de descarga.

Según su principio de funcionamiento podemos distinguir tres tipos diferentes de arrancadores: *arrancador independiente*, *arrancador de transformador de impulsos* y *arrancador independiente de dos hilos*.

Además de esta clasificación por su forma de funcionamiento, los arrancadores pueden tener en su interior un sistema de desactivación que corte su funcionamiento si la lámpara no arranca en un plazo de tiempo. Estos últimos son los llamados *arrancadores temporizados*.

Arrancador independiente o superposición de impulsos (Arrancador serie)

Funciona según el esquema de la Fig. 6. El condensador del arrancador se descarga mediante el circuito de disparo sobre las espiras del primario del transformador, el cual amplifica el impulso al valor adecuado. La tensión del impulso depende exclusivamente del propio arrancador. Es compatible con cualquier reactancia de choque y ésta no soporta los impulsos de encendido, cuyo valor en muchos casos es elevado.

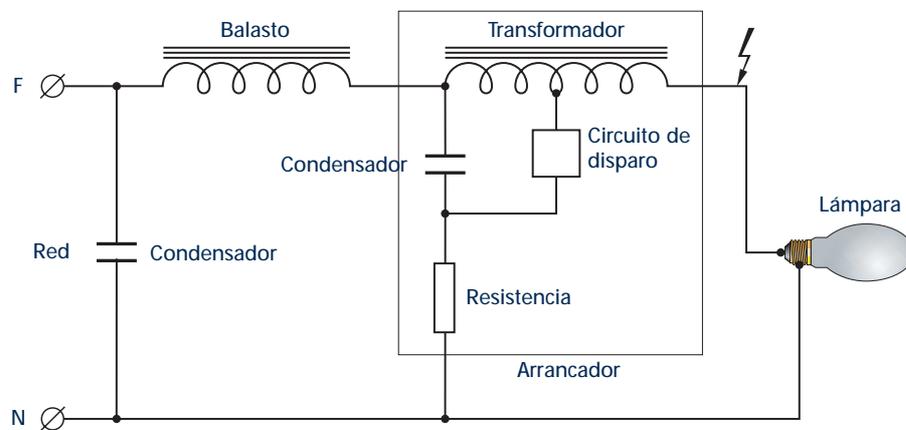


Figura 6

Arrancador de transformador de impulsos (Arrancador semiparalelo)

Utiliza la reactancia como amplificador de los productos por el arrancador y funciona según el esquema de la Fig. 7. El condensador del arrancador se descarga mediante el dispositivo de disparo entre los puntos 2 y 3 de la reactancia, que con una adecuada proporción de espiras respecto al total de la bobina, amplifica el impulso al valor necesario.

El valor de los impulsos depende tanto del propio arrancador como de la reactancia utilizada y, por esto, no siempre es compatible cualquier combinación de ambos. La reactancia debe llevar toma intermedia y estará sometida a las elevadas tensiones de pico producidas para el encendido.

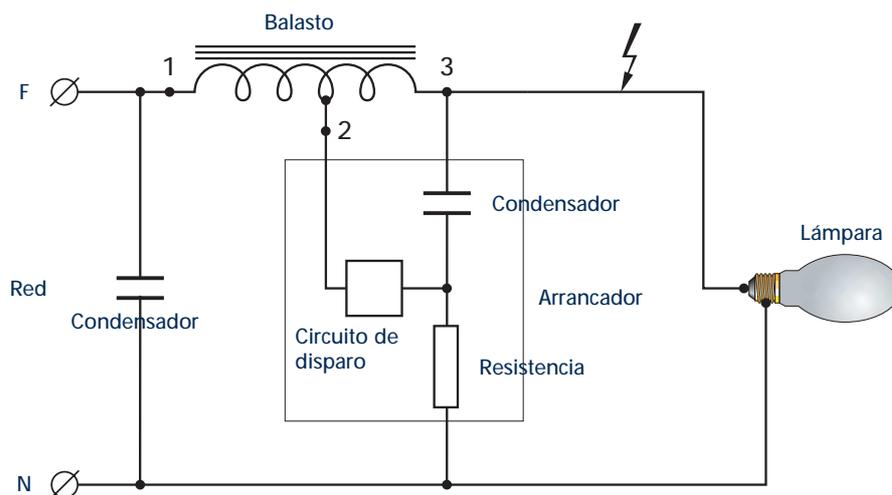


Figura 7

Arrancador independiente de dos hilos (Arrancador paralelo)

Funciona según el esquema de la Fig. 8. La energía almacenada en el condensador C es devuelta hacia la lámpara por la intervención del circuito de disparo D, en el preciso instante en el que la tensión de aquélla pasa por su valor máximo, obteniéndose un impulso de un valor pico entre 2 y 4 veces el del instantáneo de la red, alcanzando entre 600 V y 1.200 V, pero de mayor duración y por lo tanto de más energía que los obtenidos con los otros sistemas de arrancadores.

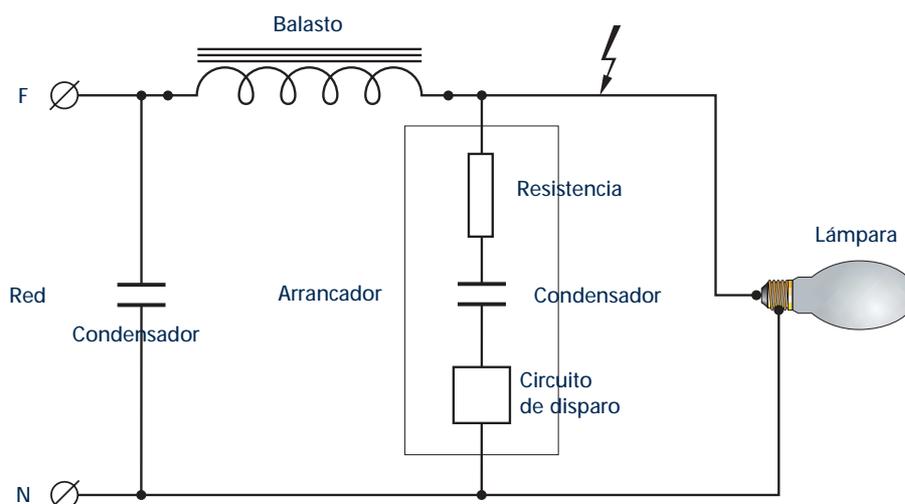


Figura 8

Éstos son utilizables sólo para algunas lámparas de halogenuros metálicos y para las de sodio a baja presión de 35 W., que requieren impulsos de tensión relativamente bajos pero de cierta duración.

Arrancadores temporizadores

Son arrancadores con un dispositivo interno que tras un tiempo prefijado de producción de impulsos, desactiva el funcionamiento del mismo. Si la lámpara no enciende por agotamiento o avería, deja de someter a los impulsos de alta tensión a todo el circuito.

El arrancador vuelve a estar activo tras la interrupción de la tensión de alimentación del circuito aunque sólo sea por un corto espacio de tiempo (milisegundos).

Normas de referencia

Las normas aplicables a los arrancadores son las siguientes:

- EN 60926: Aparatos arrancadores y cebadores (excepto los de efluvios). Prescripciones generales y de seguridad.
- EN 60927: Aparatos arrancadores y cebadores (excepto los de efluvios). Prescripciones de funcionamiento.
- EN 60662: Lámparas de vapor de sodio a alta presión.
- EN 61167: Lámparas de halogenuros metálicos.

Recomendaciones para el uso de arrancadores

En primer lugar debemos elegir el arrancador adecuado para lámparas que deseamos instalar, de forma que nos proporcione el voltaje de pico necesario, el número de impulsos exigidos para encender la lámpara y admita la capacidad de carga que suponen los cables hasta la lámpara.

Debe cuidarse la ubicación de manera que haya siempre la mínima distancia desde el arrancador a la lámpara, para que la capacidad de los cables sea mínima y así asegurar el encendido. Dicha capacidad depende de la separación entre sí de los cables y de su longitud.

En conductor portador del impulso de la alta tensión, el cual se indica en todos los arrancadores, debe de ser de un aislamiento para tensión de servicio no menor de 1 KV., y estar conectado al contacto central del portalámparas para favorecer el encendido de la misma.

Hay que respetar siempre la forma de conexionado que se indica en el esquema del arrancador.

Evitar que en alojamiento del arrancador pueda haber humedad, entrada de agua o condensaciones, ya que ello puede provocar derivaciones entre terminales o a tierra que nos anularían el impulso de alta tensión, no produciéndose el encendido. También hay que evitar una excesiva temperatura ambiente que pueda provocar un sobrecalentamiento en el arrancador y ponga en peligro su duración. La temperatura en el punto que se indica en la superficie del arrancador, no debe sobrepasar el valor indicado para t_c ...°C, cuando la lámpara está funcionando y estabilizada térmicamente.

El arrancador produce tensiones de hasta 5 KV., por ello deben cuidarse especialmente los aislamientos de los cables que los soportan y no trabajar nunca en la luminaria sin estar seguros de que la tensión de alimentación está cortada.

Tener conectado el condensador de corrección del factor de potencia para evitar pérdidas de impulso hacia la red.

Cebadores

Reciben este nombre los arrancadores destinados al encendido de las lámparas fluorescentes.

El tipo de cebador más normal es el llamado de destellos, compuesto por una ampolla de vidrio llena de gas neón a baja presión, en cuyo interior se encuentran dos electrodos, uno de los cuales o ambos son laminillas bimetálicas que se doblan ligeramente por la acción del calor. Paralelamente con los electrodos se halla conectado un condensador para eliminar interferencias. Todo el conjunto se aloja en un recipiente cilíndrico de aluminio o material aislante, en el que se incluye una placa con dos patillas para su contacto y fijación. El cebador se intercala en serie con los electrodos de la lámpara y el balasto, funcionando automáticamente de la forma siguiente:

Al establecerse la conexión se produce una pequeña descarga eléctrica entre las laminillas a través del gas, calentándolas lo suficiente para que se doblen hasta unirse. Esta unión cierra el circuito y facilita durante un breve periodo de tiempo el paso de corriente por los electrodos de la lámpara que, al ponerse incandescentes, emiten electrones a su alrededor en forma de nube. Instantes después, al enfriarse las laminillas, se separan abriendo el circuito y dando lugar con ello a que el balasto lance un impulso de tensión con el que se consigue la descarga del arco y el funcionamiento de la lámpara. Una vez encendida la lámpara, el cebador queda fuera de servicio al llegarle una tensión insuficiente. Si falla el encendido, el cebador vuelve a actuar de la misma forma.

Sin embargo, los cebadores electrónicos realizan un sólo intento de arranque (muy determinado) para que cualquier parpadeo durante la fase de encendido sea eliminada. Las ventajas adicionales del arrancador electrónico son la alta fiabilidad de arranque a bajas temperaturas ambientales y la prolongación de la vida de la lámpara.

9.4. Condensadores

9.4.1. Introducción

El condensador eléctrico es un sistema formado por dos conductores separados por un aislante. Si no se coloca ningún elemento entre los dos conductores, es el aire el que hace de aislante; ahora bien, generalmente, el aire se sustituye por otro aislante de mayor poder dieléctrico, lo que permite aproximar mucho los conductores (armaduras) sin que las cargas eléctricas salten de uno a otro.

Si las armaduras de un condensador se conectan a los polos de un generador eléctrico, adquieren cargas iguales y de distinto signo, por lo que, una vez desconectado, el condensador hace de almacén de cargas eléctricas.

La cantidad de carga almacenada por un condensador es directamente proporcional a la diferencia de potencial que se haya establecido entre sus placas, pero puede ocurrir que dos condensadores de distinta forma o tamaño adquieran distinta carga cuando se someten a una misma diferencia de potencial.

Capacidad de un condensador es el cociente entre la carga de una de sus placas y la diferencia de potencial entre ambas.

$$C = \frac{q}{U}$$

donde:

C = capacidad del condensador.

q = carga del condensador (coulomb).

U = diferencia de potencial entre las placas o las patillas del condensador (V).

Circuito capacitivo puro

La capacidad (capacitancia) de un circuito eléctrico o de un elemento de circuito sirve para retardar una variación en la tensión que se aplica entre sus bornes. Ese retardo es causado por la absorción o cesión de energía y está asociado con la variación en la carga de electricidad.

Un circuito capacitivo puro es aquel cuya resistencia óhmica es cero (capacitancia pura). Por las leyes del campo eléctrico sabemos que la tensión entre las placas de un condensador es proporcional a la carga almacenada y que la relación q/U es la capacidad.

Si en vez de una tensión continua, se le aplica al condensador una tensión alterna senoidal, será preciso una variación de la misma du para producir una variación de la carga $dq = i \cdot dt$ en un tiempo infinitesimal dt . Es decir:

$$dq = i \cdot dt = C \cdot du$$

Si al circuito le aplicamos una tensión alterna senoidal $u = U_{max} \cdot \text{sen}(\omega t)$, y la sustituimos en la ecuación anterior, derivamos y operamos:

$$i = U_{max} \cdot \omega \cdot C \cdot \text{sen}\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Esta ecuación nos indica el adelanto que sufre la intensidad con respecto a la tensión debido al efecto del condensador.

Efecto de la frecuencia

Reactancia de capacidad

La capacidad de un circuito sirve para retardar el aumento o disminución de la tensión, pero en ningún caso previene ni limita el cambio. Ahora bien, la frecuencia limita la amplitud de la corriente en un valor igual a $\frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$ ohmios. A este valor le llamamos **reactancia capacitiva** X_C , que crece al disminuir la frecuencia y disminuye si aumenta la frecuencia. De ahí que en corriente continua como $f = 0$ Hz, el valor de la reactancia capacitiva sea infinito y el de la corriente cero amperios.

Reactancia inductiva

La inductancia de un circuito sirve para retardar el aumento o disminución de la corriente, pero en ningún caso previene o limita el cambio. Ahora bien, la frecuencia limita la amplitud de la corriente en un valor igual a $\omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ ohmios. A este valor le llamamos reactancia inductiva X_L , que crece al aumentar la frecuencia y disminuye si también lo hace la frecuencia. De ahí que en corriente continua, como $f = 0$ Hz., el valor de la reactancia inductiva sea cero.

Resistencia

La resistencia que ofrece un conductor en corriente alterna se puede decir que es la misma que la que ofrece en corriente continua (resistencia óhmica), siempre y cuando sean despreciables los efectos Kelvin y corona, y la resistencia debida a corrientes parásitas, histéresis, etc.

Ley de Ohm generalizada

En los circuitos, la corriente eléctrica queda limitada por el valor de la resistencia (R), la reactancia inductiva (X_L) y la reactancia capacitiva (X_C) de los elementos que forman el circuito. A todos estos elementos se les puede someter a una tensión alterna senoidal que, en régimen permanente, les hace circular una intensidad de corriente alterna de la misma forma y frecuencia de onda. Igualmente, en ellos se verifica la ley de Ohm generalizada para corriente alterna, cuya expresión es:

$$\vec{Z} = \frac{\vec{U}}{\vec{I}} \quad (\Omega)$$

$$\vec{Z} = Z \cdot (\cos\varphi + j \cdot \text{sen}\varphi) = R + j \cdot X \quad (\Omega)$$

La parte real del número complejo \vec{Z} es la magnitud que conocemos con el nombre de resistencia, R, se representa en el eje real. Su módulo vale:

$$R = Z \cdot \cos\varphi = \sqrt{Z^2 - X^2} \quad (\Omega)$$

La parte imaginaria del número complejo, \vec{Z} , es la reactancia X, que se representa en el eje imaginario de tal forma que si es de naturaleza inductiva es positiva, $+j \cdot X_L$, y si es de naturaleza capacitiva resulta negativa, $-j \cdot X_C$. Su módulo vale:

$$X = Z \cdot \text{sen}\varphi = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (\Omega)$$

El ángulo φ es el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad, de tal forma que si es positivo, corresponde a un circuito inductivo. Si es negativo, corresponde a un circuito capacitivo. Como sabemos, este ángulo es de gran importancia en corriente alterna, pues le llamamos *factor de potencia* y nos da información acerca de la energía reactiva y nos la cuantifica.

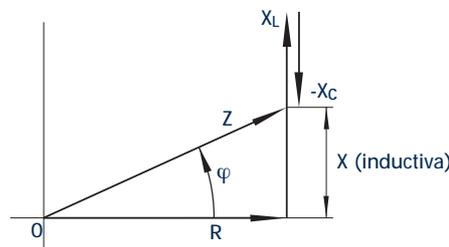


Figura 9

Si el triángulo de impedancias de la Fig. 9 se multiplica por I^2 , lo que obtenemos es su correspondiente triángulo de potencias, en el que:

Potencia activa	$P = R \cdot I^2 = U \cdot I \cdot \cos\varphi$	(W)
Potencia reactiva	$Q = X \cdot I^2 = U \cdot I \cdot \text{sen}\varphi$	(V Ar)
Potencia aparente	$S = Z \cdot I^2 = U \cdot I$	(V A)

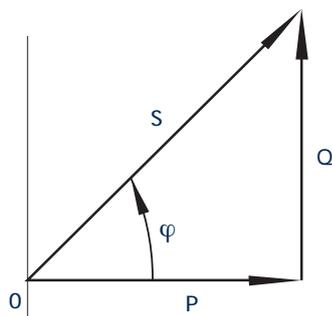


Figura 10

9.4.2. Factor de potencia

El factor de potencia ($\cos\varphi$) puede definirse como la eficiencia relativa en el uso de la energía eléctrica. Técnicamente es la relación entre la potencia activa P (en W.) entregada a un receptor y la potencia aparente S (en V.A.) suministrada por la línea de alimentación.

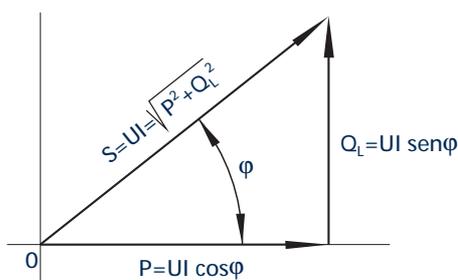


Figura 11

Siempre será menor que la unidad, pero cuanto más próximo sea a ella, mayor aprovechamiento estamos haciendo de la energía tomada de la red.

En las normas para reactancias se especifica que un equipo (conjunto reactancia-lámpara) es de alto factor de potencia cuando su valor es igual o mayor que 0'85.

El uso de reactancias de alto factor de potencia presenta las siguientes ventajas:

- 1- Cumplir con los requisitos de las compañías suministradoras de energía eléctrica de tener compensado el factor de potencia como mínimo a 0'85.
- 2- Evitar recargos en los recibos por concepto de energía reactiva.
- 3- Reducir sección en los conductores de las líneas de alimentación en las instalaciones.
- 4- Utilizando equipos de alto factor de potencia se pueden instalar mayor número de luminarias por circuito con lo que se reducen y simplifican los equipos de protección (magnetotérmicos, diferenciales, etc.).

Compensación del factor de potencia

Como normalmente, las reactancias de uso industrial son de tipo inductivo y su factor de potencia está en torno a 0'5, se han de asociar a ellas, reactancias de tipo capacitivo para que el factor de potencia del conjunto se aproxime a la unidad. Esta reactancia capacitiva consiste en uno o varios condensadores, cuya instalación es conveniente hacerla próxima a la reactancia inductiva con el fin de poder dimensionar los conductores para una intensidad lo más pequeña posible, lo que no lograríamos si colocáramos los condensadores al principio de la instalación, junto al cuadro de distribución, por ejemplo.

Al seleccionar el método de compensación necesario se debería considerar la ubicación de los condensadores y los aspectos económicos (tarifas, parámetros de la red, coste inicial de la adquisición y los gastos de mantenimiento del equipo). Aparte de esto, existen factores tales como armónicos del sistema y las condiciones del ambiente que puede limitar la utilización efectiva de los condensadores.

No existe un método de compensación que pueda recomendarse universalmente; no obstante, pueden aplicarse varios métodos en cada caso.

Compensación en paralelo

La compensación en paralelo se hace según el esquema de la Fig. 12 en la que se ha representado una lámpara fluorescente de arranque por cebador, como ejemplo típico, pero que es aplicable a cualquier otro tipo de lámpara.

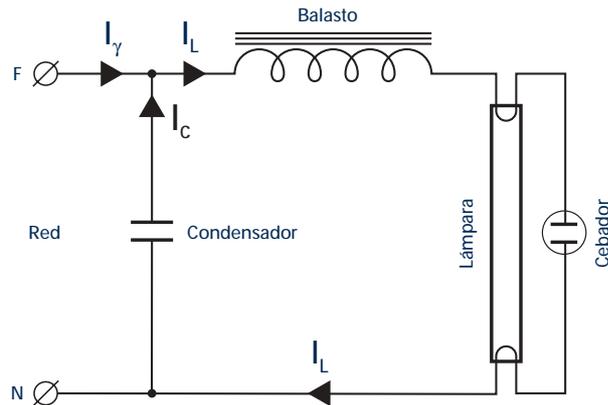


Figura 12

El condensador conectado en paralelo a la red, ha de ser del valor adecuado para que la intensidad reactiva en adelanto de fase absorbida por él, I_C , compuesta con la que circule por la lámpara, I_L , dé una intensidad absorbida de red, I_T , cuyo factor de potencia sea próximo a la unidad (Fig. 13).

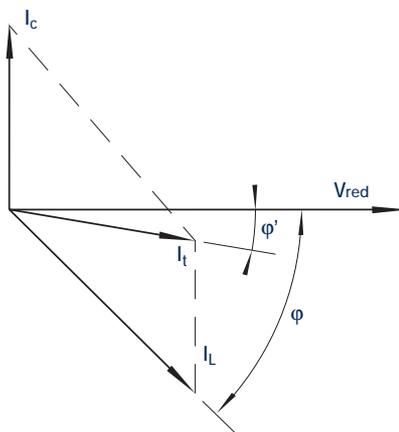


Figura 13

La tensión a soportar por el condensador es la de la red, y la tolerancia admitida en capacidad suele ser de $\pm 10\%$ de su valor nominal.

Siendo:

- V_{RED} = Tensión de alimentación.
- I_L = Corriente absorbida por el equipo sin compensar.
- I_C = Corriente absorbida por el condensador.
- I_T = Corriente en red tras la compensación.
- φ y φ' = Ángulos de desfase antes y después de la compensación.

Cálculo del condensador necesario

El cálculo de la capacidad (C) del condensador necesario en un equipo, se puede resolver con ayuda de la siguiente expresión:

$$C = \frac{P \cdot (\operatorname{tag}\varphi - \operatorname{tag}\varphi')}{\omega \cdot V^2} \text{ (F)}$$

donde:

- $\cos\varphi$ = factor de potencia inicial ($\varphi = \arccos\varphi$).
- $\cos\varphi'$ = factor de potencia que queremos alcanzar ($\varphi' = \arccos\varphi'$).
- V = tensión de la línea.
- ω = frecuencia en radianes ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot F$; F es la frecuencia en Hz.).

Compensación en serie

Como anteriormente se ha establecido, la compensación en paralelo reduce la componente de potencia reactiva de la corriente de la red, y por consiguiente, las pérdidas de tensión. Con la compensación en serie la potencia reactiva se transmite en algún grado y la recatara de la línea queda influenciada al conectar los condensadores en serie con la red. La expresión para la pérdida de tensión de la línea viene dada por:

$$\Delta U = I_a \cdot R + I_r \cdot (X_L - X_C)$$

Esta fórmula muestra que, cuando $X_C = X_L$, la reactancia de la red es cero y la pérdida de tensión originada por la transmisión de potencia reactiva es también, por consecuencia, cero. Al incluir un condensador adecuado en serie, X_C puede ser mayor que X_L , en cuyo caso, la reactancia de la red llega a hacerse negativa. Así pues, la compensación en serie también puede reducir la caída de tensión causada por la transmisión de la potencia activa.

9.5. Equipos de ahorro de energía

En los alumbrados públicos con lámparas de descarga puede reducirse el consumo energético en las horas de madrugada o en circunstancias de menor exigencia visual mediante la reducción de la iluminancia en cada punto o en la mayoría de los puntos luminosos correspondientes.

En las antiguas instalaciones, se solían montar dos lámparas sobre cada luminaria destinada a alumbrado viario, con objeto entre otros de disponer de dos niveles de iluminación según las conveniencias. Actualmente se utiliza una luminaria con una sola lámpara de descarga incorporada y con *equipo de doble nivel*. Este balasto, permite la reducción de la potencia gastada mediante la introducción en el circuito de la lámpara de una inductancia adicional incorporada en el mismo núcleo de hierro de la inductancia principal en el núcleo separado. En las Fig. 14, 15 y 16 se esquematizan tres formas conocidas del sistema de doble nivel referido a una lámpara de vapor de mercurio.

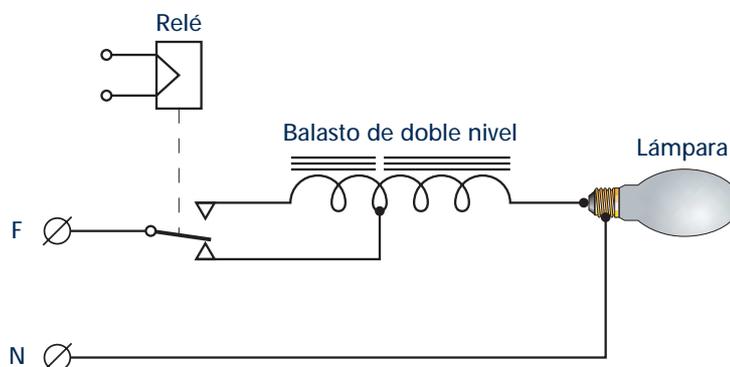


Figura 14. El relé conmuta la toma del devanado en núcleo único.

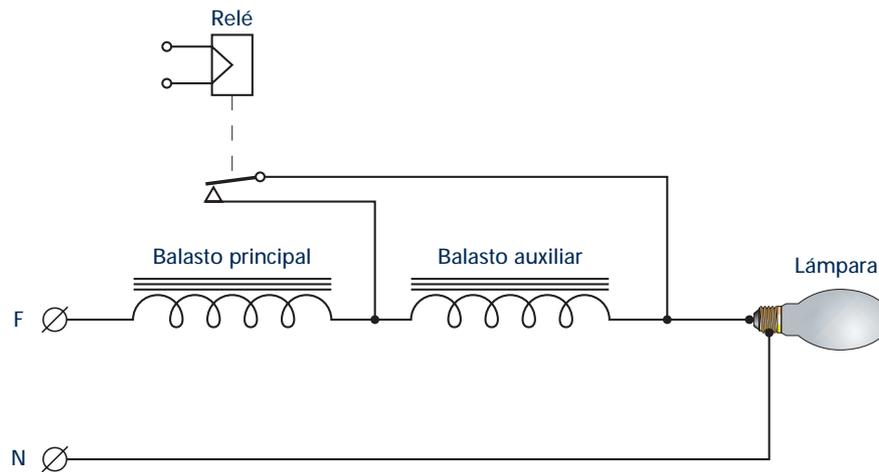


Figura 15. El relé inserta en serie con el circuito en choque auxiliar.

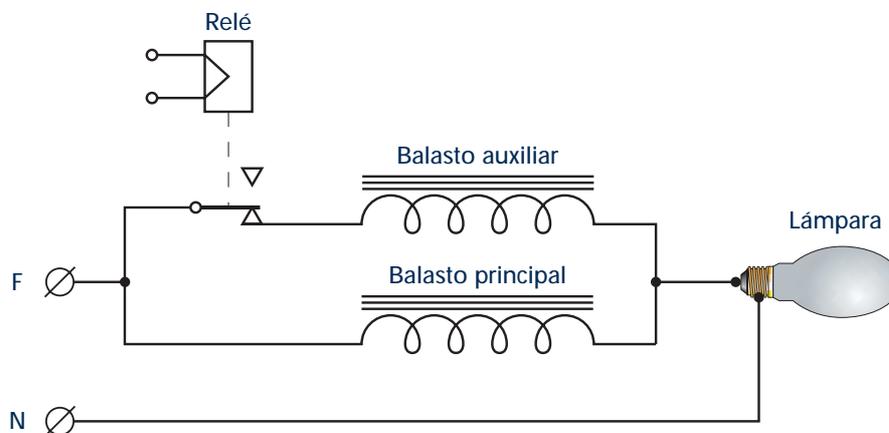


Figura 16. El relé abre el circuito de un choque en derivación con el principal.

En cualquier caso, se reduce el consumo de la lámpara al actuar el relé, conectado con una línea de mando existente en la instalación. También puede disponerse de un temporizador en equipo de cada luminaria, que programado según se precise haga el paso del nivel normal al reducido.

El sistema de doble nivel que estamos describiendo puede aplicarse en lámparas de mercurio a alta presión y en lámparas de vapor de sodio de alta presión (teniendo especial cuidado en el circuito de arranque). Este sistema no es adecuado con las lámparas de halogenuros metálicos porque el color de la luz resulta muy afectado por la potencia emitida.

En los sistemas de ahorro energético con varios niveles de iluminación, hay que vigilar el factor de potencia de la instalación, siendo a veces necesario en el nivel mínimo reducir la capacidad instalada necesaria para el nivel máximo. Una ventaja añadida en los equipos de doble nivel, es la mayor duración de equipos y lámparas, ya que generalmente, las sobretensiones perjudiciales se producen en las líneas en las horas en que se ha conectado el alumbrado a nivel reducido.

9.6. Equipos eléctricos de las diferentes lámparas de descarga. Circuitos

Tubos fluorescentes

Los tubos fluorescentes se clasifican en dos grandes grupos, en función de que los cátodos estén o no caldeados para su arranque.

Los más normales son los de *cátodo caliente* que pueden arrancarse mediante cebador térmico (Fig. 17), caldeo de filamentos en los sistemas de arranque rápido "rapid start" (Fig. 18), arranque "trigger" (se reduce la tensión del filamento una vez que el tubo ha arrancado), arranque semi-resonante (Fig. 19) y arranque por medios electrónicos.

Otro tipo de tubos es el de cátodo frío, que arrancan casi exclusivamente por la tensión aplicada entre sus extremos.

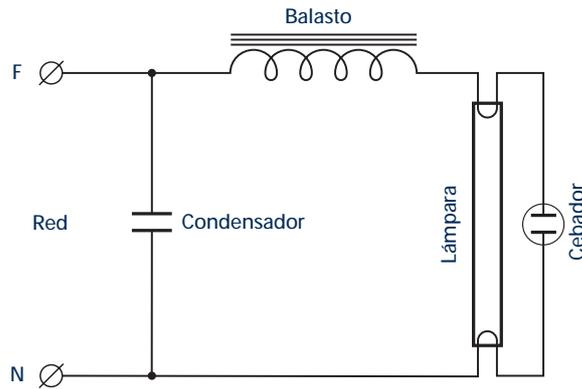


Figura 17. Arranque por cebador. Balasto inductivo. Compensación del factor de potencia en paralelo con la línea.

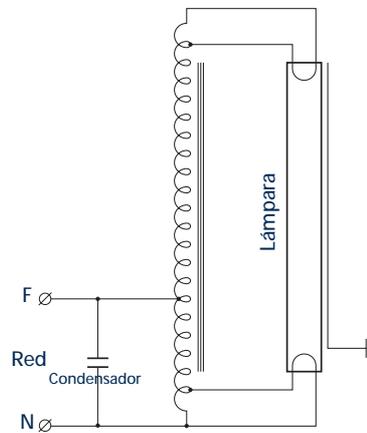


Figura 18. Arranque rápido. Circuito con autotransformador a dispersión (con calentamiento de electrodos en paralelo).

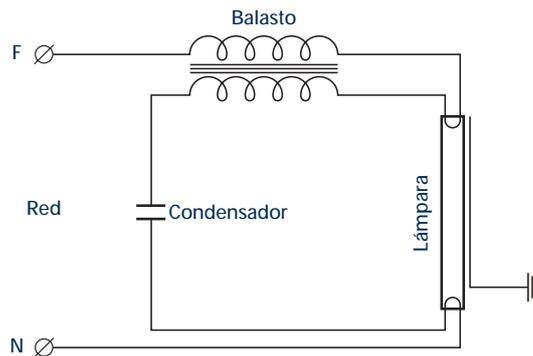


Figura 19. Encendido rápido. Circuito "semirresonante" con calentamiento de electrodos en serie.

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Los equipos eléctricos más usados son los de una inductancia en serie con la lámpara que limita las intensidades de arranque y de régimen normal. El bajo factor de potencia que el uso de la inductancia produce, se corrige mediante el empleo de condensadores en paralelo con la línea (Fig. 20).

Cuando la tensión de la línea es insuficiente o excesivamente grande para la que precisa las lámparas, se acopla un transformador entre la línea y la inductancia de estabilización (la inductancia puede incorporarse al secundario del transformador y es lo que se denomina transformador a fugas o de dispersión).

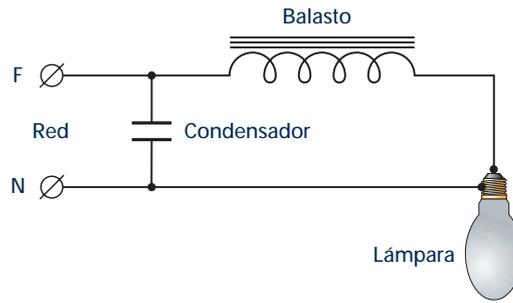


Figura 20. Esquema de conexión para lámparas de mercurio a alta presión.

Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Los equipos utilizados para este tipo de lámpara en el pasado reciente han sido casi exclusivamente los constituidos por un autotransformador de alta impedancia en el secundario y condensador en paralelo con la línea para mejorar el factor de potencia (Fig. 21). Recientemente se utilizan con nuevas lámparas, inductancias en serie o circuitos semirresonantes (pequeñas potencias, Fig. 22) y circuitos híbridos constituidos por autotransformadores de mayor complejidad asociados a arrancadores electrónicos (Fig. 23), al objeto de mejorar el comportamiento de las lámparas y reducir fuertemente el consumo de potencia.

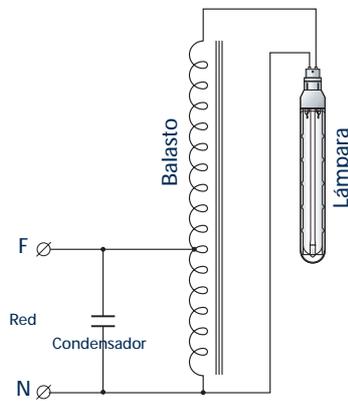


Figura 21. Autotransformador de dispersión.

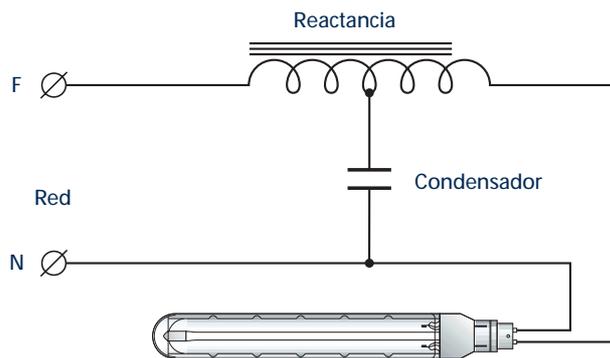


Figura 22. Arranque semirresonante.

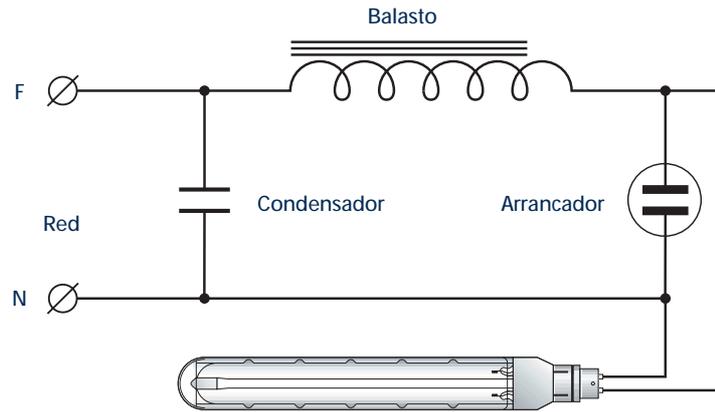


Figura 23. Circuito híbrido. Impedancia y arrancador electrónico.

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Para el arranque de este tipo de lámparas se han desarrollado arrancadores electrónicos que en combinación con el balasto o de forma independiente, generan impulsos que las lámparas necesitan para inicio del arco. Estos arrancadores deben cesar en la emisión de impulsos, una vez que la lámpara ha encendido, para no perjudicarla.

Hay dos tipos de arrancadores desde el punto de vista de su asociación con el balasto: los que incorporan un transformador para la generación de los impulsos de alta tensión (Fig. 24) y los que utilizan la inductancia como transformador (Fig. 25). Los primeros deben montarse muy próximos a la lámpara asociada, pudiendo colocarse el balasto alejado de la lámpara. Los que utilizan la impedancia como transformador son más económicos y debe armonizarse la pareja reactancia-arrancador, pudiendo alejarse la lámpara del equipo de acuerdo con la capacidad de los cables que permita el arrancador.

Por lo demás, la estabilización en estas lámparas está fuertemente determinada por la característica del arco de vapor de sodio, cuya tensión no permanece constante a lo largo de su vida. El mejor sistema de estabilización de este tipo de lámpara es el de una inductancia en serie con tensión de alimentación constante.

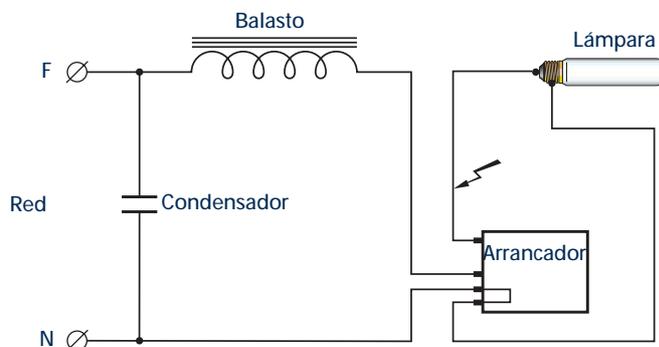


Figura 24. Esquema con arrancador independiente.

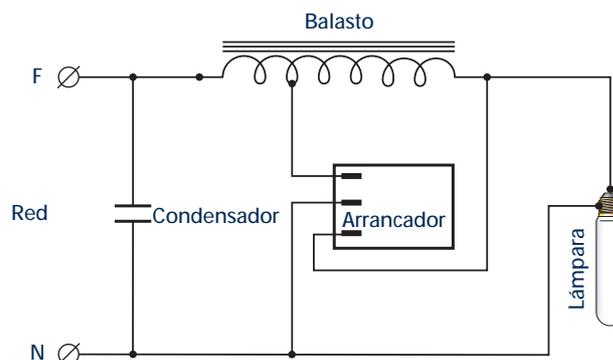


Figura 25. Esquema con arrancador semiparalelo.

Lámparas de halogenuros metálicos

En general, no ha sido necesario desarrollar balastos especiales para estas lámparas. Las lámparas de halogenuros de tres bandas emplean balastos destinados a lámparas de mercurio a alta presión, mientras que las lámparas de tierras raras y lámparas de estaño funcionan bien con balastos para lámparas de sodio a alta presión.

Como la tensión del balasto no es suficiente para arrancar esta lámpara, necesita de arrancador externo (Fig. 26., 27. y 28.).

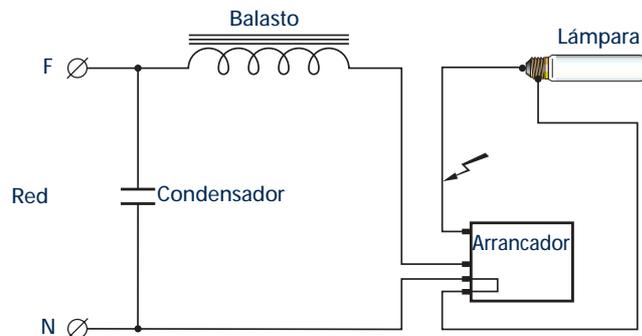


Figura 26. Esquema con arrancador independiente.

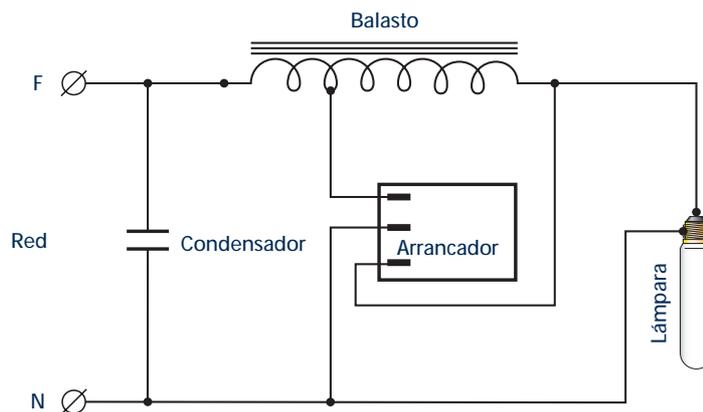


Figura 27. Esquema con arrancador semiparalelo.

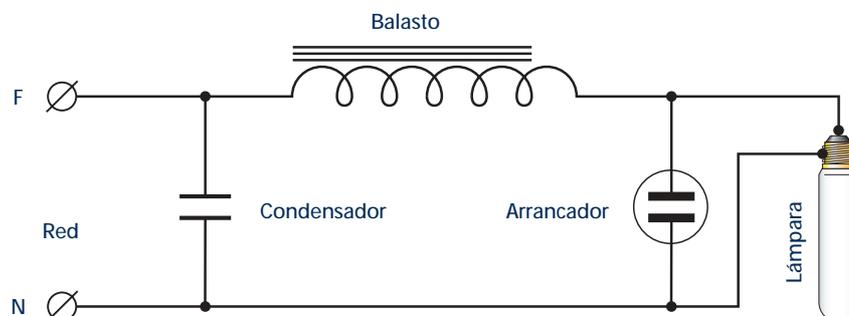


Figura 28. Esquema con arrancador paralelo.