

Capítulo N

Generadores y cargas específicas

Índice

1	Grupos electrógenos: protección e instalaciones BT	N2
	1.1 Protección del grupo	N2
	1.2 Protección de la red de BT aguas abajo	N5
	1.3 Funciones de control	N5
	1.4 Conexión en paralelo del grupo	N10
2	Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)	N11
	2.1 Disponibilidad y calidad de la alimentación eléctrica	N11
	2.2 Tipos de SAI estáticos	N12
	2.3 Baterías	N15
	2.4 Montajes de tomas de tierra para instalaciones con SAI	N16
	2.5 Elección de esquemas de protección	N18
	2.6 Instalación, conexión y adaptación de cables	N20
	2.7 Los SAI y su entorno	N22
	2.8 Equipo complementario	N22
3	Protección de transformadores de BT/BT	N24
	3.1 Transformador - Corriente de conexión	N24
	3.2 Protección para el circuito de alimentación de un transformador BT/BT	N24
	3.3 Características eléctricas típicas de transformadores BT/BT de 50 Hz	N25
	3.4 Protección de transformadores BT/BT que utilizan interruptores automáticos Merlin Gerin	N25
4	Circuitos de iluminación	N27
	4.1 Las diferentes tecnologías de lámparas	N27
	4.2 Características eléctricas de las lámparas	N29
	4.3 Problemas de los dispositivos de iluminación y recomendaciones	N34
	4.4 Iluminación de zonas públicas	N40
5	Motores asíncronos	N42
	5.1 Funciones para el circuito del motor	N42
	5.2 Normas	N44
	5.3 Aplicaciones	N45
	5.4 Valores máximos admisibles de motores instalados en BT	N49
	5.5 Compensación de energía reactiva (corrección del factor de potencia)	N49

N1

1 Grupos electrógenos: protección e instalaciones BT

La mayoría de las instalaciones eléctricas terciarias de gran tamaño e industriales cuentan con determinadas cargas importantes para las que deben mantenerse en tensión, en caso de que la alimentación eléctrica de la instalación falle:

■ Bien sea por la presencia de sistemas de seguridad (alumbrado de emergencia, equipos automáticos de protección contra incendios, ventiladores de dispersión de humos, alarmas y señales, etc.) o bien

■ Por tratarse de circuitos prioritarios, como los de algunos equipos, cuya parada supondría una pérdida de productividad o daños en máquinas-herramientas, etc. Uno de los medios actuales para mantener la alimentación en las llamadas cargas de "prioridad", en el caso de que otras fuentes fallen, es instalar un grupo generador conectado, a través de un inversor de redes, a un cuadro auxiliar de alimentación de emergencia, desde el que se alimentan los servicios prioritarios (ver **Figura N1**).

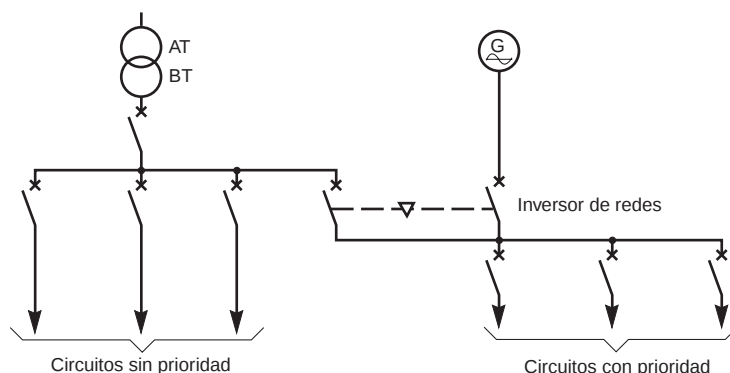


Fig. N1: Ejemplo de circuitos alimentados desde un transformador o un generador.

1.1 Protección del grupo

La **Figura N2** muestra los parámetros de adaptación eléctrica de un grupo. P_n , U_n e I_n son, respectivamente, la potencia del motor térmico, la tensión nominal y la corriente nominal del grupo.

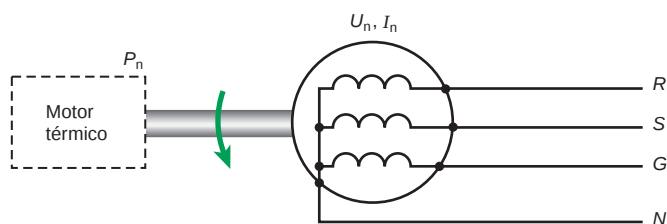


Fig. N2: Diagrama de bloque de un grupo.

Protección contra las sobrecargas

Debe analizarse la curva de protección del grupo (ver **Figura N3**).

Las normas y los requisitos de las aplicaciones también pueden ocasionar condiciones de sobrecarga específicas. Por ejemplo:

I/I_n	t
1,1	> 1 h
1,5	30 s

Las posibilidades de ajuste de los dispositivos de protección contra las sobrecargas (o temporización de larga duración) seguirán de cerca estos requisitos.

Nota acerca de las sobrecargas:

■ Por razones económicas, el motor térmico de un grupo electrógeno debe estar estrictamente adaptado a su potencia nominal. Si hay una sobrecarga de potencia activa, el motor generador se calará. El equilibrio de potencia activa de las cargas de prioridad debe tenerse en cuenta.

■ Un conjunto de producción debe ser capaz de resistir sobrecargas de funcionamiento:

- Sobrecarga de una hora.
- 10% de sobrecarga de una hora cada 12 horas (potencia principal).

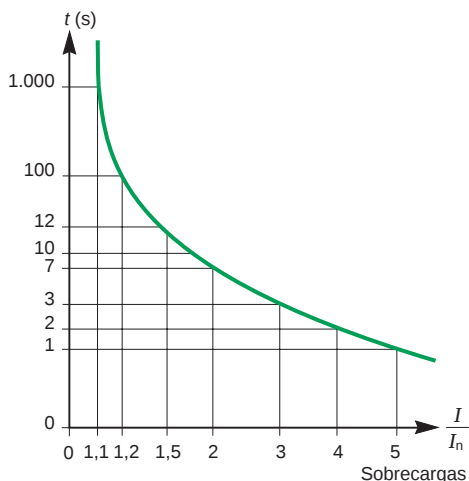


Fig. N3: Ejemplo de una curva de sobrecarga $t = f(I/I_n)$.

Protección contra las corrientes de cortocircuito

Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito es la suma de:

- Una corriente aperiódica.
- Una corriente sinusoidal amortiguada.

La ecuación de corriente de cortocircuito muestra que se hace en tres fases (ver **Figura N4**):

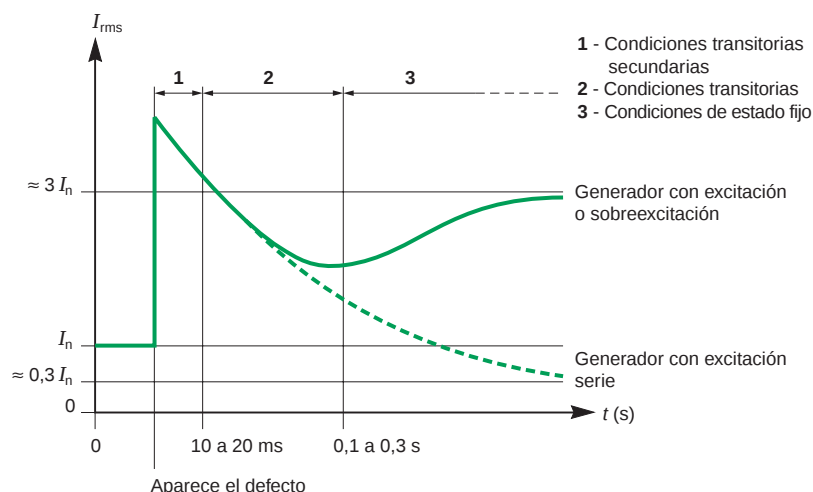


Fig. N4: Nivel de corriente de cortocircuito durante las 3 fases.

■ Fase subtransitoria:

Cuando aparece un cortocircuito en los terminales de un grupo, la corriente se genera al principio en un valor relativamente alto comprendido entre 6 y 12 I_n durante el primer ciclo (de 0 a 20 ms).

Tres parámetros definen la amplitud de la corriente de salida del cortocircuito:

- La reactancia subtransitoria del grupo.
- El nivel de excitación anterior al tiempo del defecto.
- La impedancia del circuito defectuoso.

La impedancia del cortocircuito del grupo que se tendrá en cuenta es la reactancia subtransitoria que el fabricante X''_d expresa como porcentaje de U_0 (tensión fase a neutro). El valor típico es del 10 al 15%.

Determinación de la impedancia subtransitoria del cortocircuito del grupo:

$$X''_d \text{ (ohmios)} = \frac{U^2 \times d}{100S}; \text{ donde } S = \sqrt{3} U_n I_n$$

■ Fase transitoria.

La fase transitoria se sitúa entre 100 y 500 ms después del momento del defecto. Partiendo del valor de la corriente de defecto del período subtransitorio, la corriente cae de 1,5 a 2 veces la corriente I_n .

La impedancia del cortocircuito que debe tenerse en cuenta para este período es la reactancia transitoria que el fabricante X'_d expresa como un porcentaje de U_0 . El habitual es del 20 al 30%.

■ Fase fija.

La fase fija tiene lugar por encima de 500 ms.

Cuando persiste el defecto, la tensión de salida establecida cae y la regulación del excitador intenta alcanzar la tensión de salida. El resultado es una corriente de cortocircuito mantenida y estabilizada:

- Si la excitación del grupo no aumenta durante un cortocircuito (no hay sobreexcitación de campo), pero se mantiene en el nivel previo al defecto, la corriente se estabiliza en un valor proporcionado por la reactancia sincrónica X_d del grupo. El valor típico de X_d es mayor del 200%. Por lo tanto, la corriente final será menor que la corriente de máxima carga del grupo, generalmente alrededor de $0,5 I_n$.
- Si el grupo está equipado con excitación de campo máxima (cancelación de campo) o con excitación de componente, la "sobretensión" de excitación provocará que la corriente de defecto se incremente 10 segundos, generalmente hasta 2 a 3 veces la corriente de máxima carga del grupo.

1 Grupos electrógenos: protección e instalaciones BT

Cálculo de la corriente de cortocircuito

Los fabricantes, por regla general, especifican los valores de impedancia y las constantes de tiempo necesarias para el análisis de operaciones en condiciones fijas o transitorias (ver la **Figura N5**).

(kVA)	75	200	400	800	1.600	2.500
X'_d (%)	10,5	10,4	12,9	10,5	18,8	19,1
X'_d (%)	21	15,6	19,4	18	33,8	30,2
X_d (%)	280	291	358	280	404	292

Fig. N5: Ejemplo de tabla de impedancia.

Las resistencias siempre son inapreciables en comparación con las reactancias. Los parámetros para el estudio de la corriente de cortocircuito son:

■ Valor de la corriente de cortocircuito en los terminales del grupo.

La resistencia de la corriente de cortocircuito en condiciones transitorias es:

$$I_{sc3} = \frac{U_n}{X'_d} \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (X'_d \text{ en ohmios})$$

o

$$I_{sc3} = \frac{I_n}{X'_d} 100 \quad (X'_d \text{ en } \%)$$

U_n es la tensión compuesta de salida del grupo (fuente principal).

Nota: Este valor puede compararse con la corriente de cortocircuito en los terminales de un transformador. Por tanto, a igual potencia, las corrientes de un cortocircuito próximas al grupo serán entre 5 y 6 veces más débiles que las que puedan producirse con un transformador (fuente principal).

Esta diferencia se acentúa todavía más por el hecho de que la potencia establecida del grupo es habitualmente menor que la del transformador (ver la **Figura N6**).

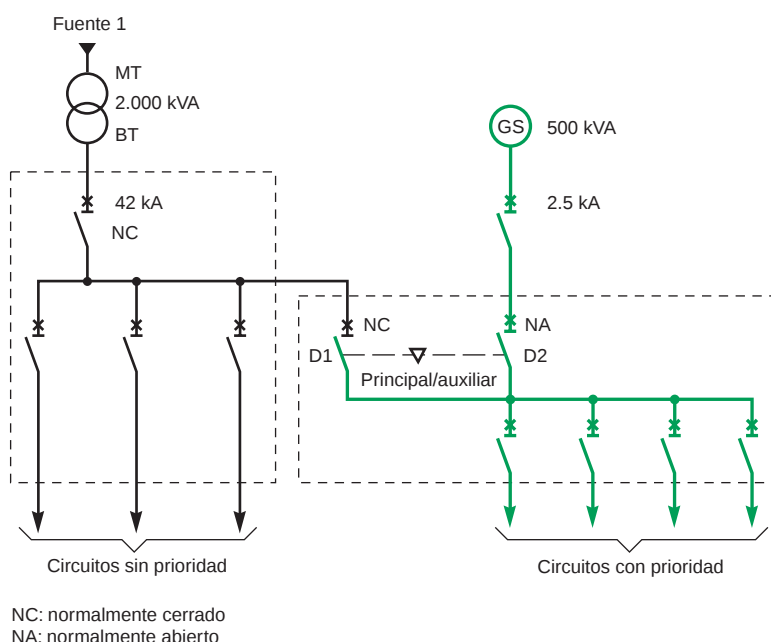


Fig. N6: Ejemplo de un cuadro de servicios prioritarios suministrados (en caso de emergencia) desde un grupo auxiliar.

Cuando la fuente principal suministra a la red BT 1 de 2.000 kA, la corriente de cortocircuito es de 42 kA en la canalización del cuadro BT principal. Cuando el grupo suministra a la red BT 2 de 500 kVA con reactancia transitoria del 30%, la corriente de cortocircuito se produce a aproximadamente 2,5 kA; por ejemplo, a un valor 16 veces más débil que con la fuente principal.

1.2 Protección de la red de BT aguas abajo

Protección del circuito prioritario

Elección de la capacidad de corte

Debe comprobarse sistemáticamente con las características de la fuente principal (transformador de alta/baja tensión).

Elección y ajuste de las bobinas de temporización de corta duración

■ Cuadros de distribución secundaria.

El calibre de los dispositivos de protección para los circuitos de distribución secundaria y final siempre son menores que la corriente nominal del grupo. Por lo tanto, excepto en casos especiales, las condiciones de suministro del transformador son similares.

■ Cuadro de distribución principal de BT:

□ La adaptación de los dispositivos de protección de las unidades de alimentación principales suele ser parecida a la del grupo. El ajuste de la temporización de corta duración (ISD) debe adaptarse a las características de cortocircuito del grupo (ver el apartado anterior "Protección contra las corrientes de cortocircuito").

□ La selectividad de los dispositivos de protección de las unidades de alimentación prioritarias debe proporcionarse en la operación del grupo (incluso puede ser obligatoria para las unidades de alimentación de seguridad). Es necesario verificar la alternancia correcta del ajuste ISD de los dispositivos de protección de las unidades de alimentación principales con la de los dispositivos de protección de distribución secundaria aguas abajo (generalmente se establece en $10 I_n$ para los circuitos de distribución).

Nota: Al operar en el grupo, la utilización de un dispositivo de corriente residual de baja sensibilidad permite gestionar el defecto de aislamiento y garantiza una selectividad muy sencilla.

Seguridad de las personas

En los sistemas informáticos (2.º defecto) y de conexión a tierra TN, la protección de las personas contra los contactos indirectos se proporciona mediante la protección ISD de los interruptores automáticos. Ante un defecto debe garantizarse su funcionamiento, ya sean la fuente principal (transformador) o la fuente de sustitución (grupo) las que proporcionen la instalación.

Cálculo de la corriente de defecto de aislamiento

Reactancia de secuencia cero que el fabricante X'_0 formula como un porcentaje de U_0 . El valor típico es el 8%.

La corriente de cortocircuito monofásica de fase a neutro viene dada por:

$$I_f = \frac{U_n \sqrt{3}}{2X'_d + X'_0}$$

La corriente de defecto de aislamiento en el esquema TN es ligeramente mayor que la corriente de defecto trifásica. Por ejemplo, en el caso de un defecto de aislamiento del sistema del ejemplo anterior, la corriente de defecto de aislamiento equivale a 3 kA.

1.3 Funciones de control

Debido a las características específicas del grupo y a su regulación, debe controlarse el correcto mantenimiento de sus parámetros de funcionamiento cuando se apliquen cargas especiales.

El comportamiento del grupo difiere con respecto al del transformador:

■ La potencia activa que suministra está optimizada para un factor de potencia = 0,8.

■ Cuando el factor de potencia es menor de 0,8, el grupo puede, por un incremento de la excitación, suministrar parte de la potencia reactiva.

Batería de condensadores

La entrada en funcionamiento de un grupo estando en tensión la batería de condensadores, puede generar un aporte de reactiva desmesurado que aumentaría considerablemente la tensión en bornas del grupo.

Por lo que, al entrar el grupo, las baterías de condensadores deben estar desconectadas; esto se consigue actuando sobre el circuito de alimentación del regulador o sobre el interruptor de entrada a la batería de condensadores.

Rearranque y reaceleración del motor

Un grupo puede suministrar como máximo en período transitorio una corriente de entre 3 y 5 veces su corriente nominal.

Un motor absorbe aproximadamente $6 I_n$ en un tiempo que varía entre 2 y 20 s durante el arranque.

1 Grupos electrógenos: protección e instalaciones BT

Si el valor de $\Sigma P_{\text{motores}}$ es alto, el arranque simultáneo de las cargas genera una corriente de rearme elevada que puede resultar perjudicial: caída de tensión elevada debido al elevado valor de las reactancias transitorias y subtransitorias del propio grupo (del 20 al 30%), con riesgo de:

- Defecto de arranque de los motores.
- Aumento de la temperatura asociado al tiempo de arranque prolongado debido a la caída de tensión.
- Disparo de los dispositivos de protección térmica.

Por otra parte, la red y los accionadores se ven alterados por la caída de tensión.

Aplicación (ver la **Figura N7**).

Un grupo suministra a un conjunto de motores.

Características de cortocircuito del grupo:

$P_n = 130 \text{ kVA}$ a un factor de potencia de 0,8,

$I_n = 150 \text{ A}$.

$X'_d = 20\%$ (por ejemplo) por consiguiente $I_{cc} = 750 \text{ A}$.

- El valor de $\Sigma P_{\text{motores}}$ es 45 kW (45% de la potencia del grupo).

Cálculo de la caída de tensión al arrancar:

$S_{\text{motores}} = 45 \text{ kW}$, $I_m = 81 \text{ A}$, de ahí un I_d de corriente de arranque = 480 A durante 2 a 20 s.

Caída de tensión en la barra de bus para arranque simultáneo del motor:

$\Delta U = 55\%$

que no es tolerable para motores (defecto al arrancar).

- El valor de $\Sigma P_{\text{motores}}$ es 20 kW (20% de la potencia del grupo).

Cálculo de la caída de tensión al arrancar:

$\Sigma \text{ Motores} = 20 \text{ kW}$, $I_m = 35 \text{ A}$, de ahí un I_d de corriente de arranque = 210 A durante 2 a 20 s.

Caída de tensión en el embarrado:

$\Delta U = 10\%$

que es aceptable (según el tipo de cargas) pero alta.

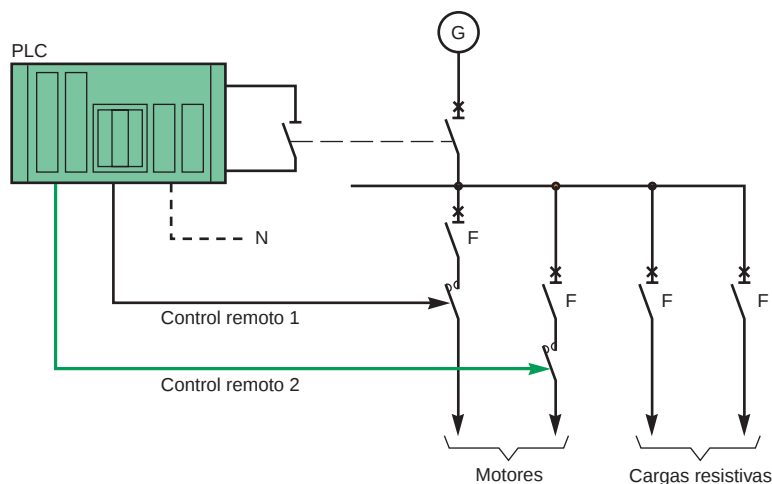


Fig. N7: Rearranque de los motores prioritarios ($\Sigma P > 1/3 P_n$).

Sugerencias para el rearranque

- Si la $P_{\text{máx.}}$ del motor más elevada $> \frac{1}{3} P_n$, se debe instalar un arrancador progresivo en este motor.
- Si el valor de $\Sigma P_{\text{motores}} > \frac{1}{3} P_n$, el rearranque en cascada del motor debe ser gestionado por un PLC.
- Si el valor de $\Sigma P_{\text{motores}} < \frac{1}{3} P_n$, no hay problemas de rearranque.

1 Grupos electrógenos: protección e instalaciones BT

Cargas no lineales: ejemplo de un SAI

Cargas no lineales

Son principalmente:

- Circuitos magnéticos saturados.
- Lámparas de descarga, luces fluorescentes.
- Convertidores electrónicos.
- Sistemas de proceso informático: PC, ordenadores, etc.

Estas cargas generan corrientes armónicas: suministrado por un grupo, esto puede crear distorsión de tensión alta debido a la poca potencia de cortocircuito del grupo.

Fuente de alimentación sin interrupción (SAI) (ver la Figura N8)

La combinación de un SAI y un grupo es la mejor solución para garantizar un suministro de calidad con gran autonomía para la alimentación de cargas prioritarias.

Al mismo tiempo una carga no lineal debido al rectificador de entrada. En el cambio de fuente, la autonomía del SAI debe permitir el arranque y la conexión del grupo.

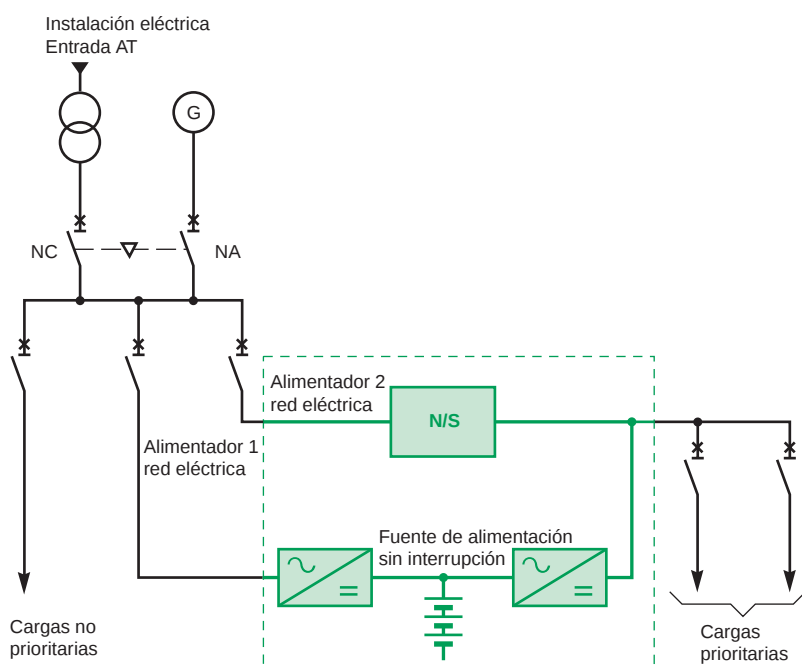


Fig. N8: Grupo - Combinación SAI para energía de calidad.

Alimentación SAI

La alimentación de entrada del SAI debe permitir:

- La potencia nominal de las cargas aguas abajo. Es la suma de las potencias aparentes P_a absorbidas por cada aplicación. Además, para no sobredimensionar la instalación, se deben considerar las capacidades de sobrecarga a nivel SAI (por ejemplo: $1,5 I_n$ durante 1 minuto y $1,25 I_n$ durante 10 minutos).
- La potencia necesaria para recargar la batería: esta corriente es proporcional a la autonomía necesaria para una alimentación determinada. La dimensión S_r de un SAI viene dada por la fórmula:

$$S_r = 1,17 \times P_n$$

En la Figura N9 de la página siguiente se definen las corrientes de rearme y los dispositivos de protección para el suministro del rectificador (Red eléctrica 1) y de la red auxiliar (Red eléctrica 2).

1 Grupos electrógenos: protección e instalaciones BT

Potencia nominal P_n (kVA)	Valor de corriente (A)	
	Red 1 con batería 3 P_h 400 V - I_1	Red aplicación 2 o 3 P_h 400 V - I_u
40	86	60,5
60	123	91
80	158	121
100	198	151
120	240	182
160	317	243
200	395	304
250	493	360
300	590	456
400	793	608
500	990	760
600	1.180	912
800	1.648	1.215

Fig. N9: Corriente de rearme y dispositivo de protección de suministro al rectificador y red auxiliar.

Grupo/SAI

■ Rearranque del rectificador de un grupo.

El SAI puede estar equipado con un sistema de arranque progresivo con objeto de evitar corrientes de rearme nocivas cuando en la instalación existan interruptores para el grupo (ver la **Figura N10**).

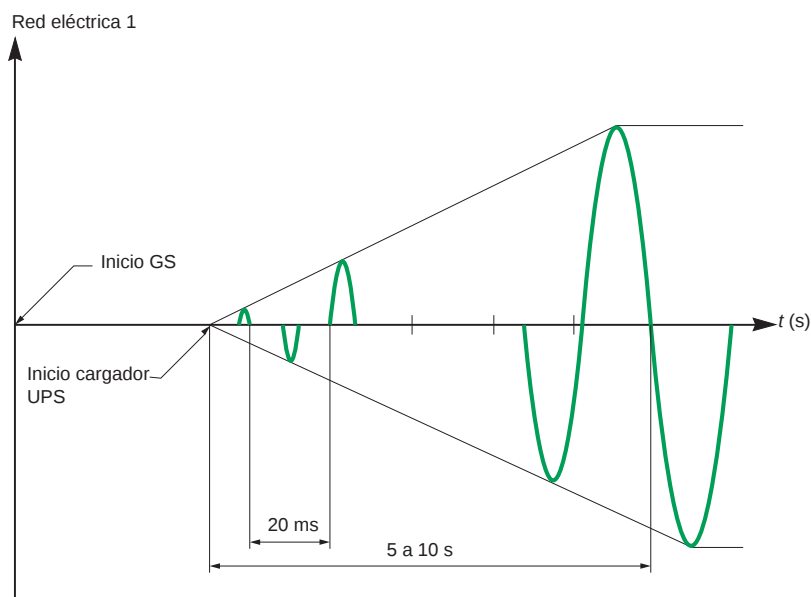


Fig. N10: Arranque progresivo de un rectificador de tipo 2 SAI.

■ Distorsión de armónicos y tensión.

La distorsión de la tensión total t viene definida por:

$$\tau (\%) = \frac{\sqrt{U_{nn}^2}}{U_t}$$

donde U_{nn} es el armónico de tensión de orden n .

Este valor depende de:

- Las corrientes de armónicas que genera el rectificador (proporcionales a la potencia S_r del rectificador).
- La reactancia X''_d subtransitoria longitudinal del grupo.
- La potencia S_g del grupo.

Definimos $U'_{Rcc} (\%) = X''_d \frac{S_r}{S_g}$ la tensión de cortocircuito relativa del grupo, distribuida en la potencia del rectificador; por ejemplo, $t = f(U'_{Rcc})$.

1 Grupos electrógenos: protección e instalaciones BT

Nota 1: Cuando la reactancia subtransitoria es grande, la distorsión armónica es, generalmente, demasiado elevada en comparación con el valor tolerado (7 a 8%) para una amortización económica razonable del grupo: una solución rentable y apropiada sería la utilización de un filtro.

Nota 2: La distorsión armónica no es nociva para el rectificador pero puede ser nociva para el resto de cargas suministradas en paralelo con el rectificador.

Aplicación

Gráfico para encontrar la distorsión τ en función de U'_{RCC} (ver la **Figura N11**).

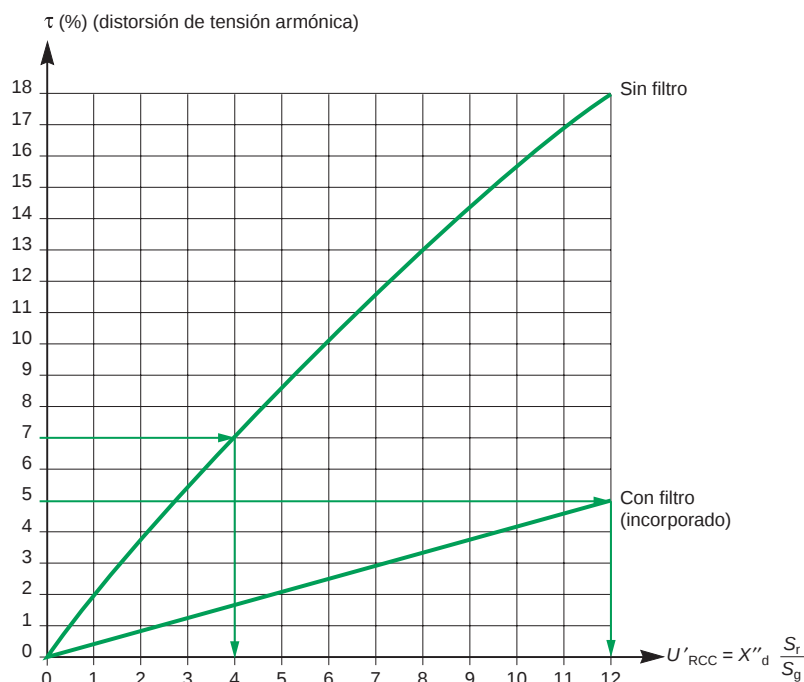


Fig. N11: Gráfico para calcular distorsión de armónica de tipo 3.

El gráfico da:

- Ya sea τ como una función de U'_{RCC} .
- O U'_{RCC} como una función de τ .

A partir de ahí se determina la adaptación del grupo, S_g .

Ejemplo: Adaptación del grupo

- 300 kVA SAI sin filtro, reactancia subtransitoria del 15%.
La potencia S_r del rectificador es $S_r = 1,17 \times 300 \text{ kVA} = 351 \text{ kVA}$.
Para un $\tau < 7\%$, el gráfico da una $U'_{RCC} = 4\%$, la potencia S_g es:

$$S_g = 351 \times \frac{15}{4} \approx 1.400 \text{ kVA.}$$

- 300 kVA SAI con filtro, reactancia subtransitoria del 15%.
Para un $\tau = 5\%$, el cálculo da una $U'_{RCC} = 12\%$, la potencia S_g es:

$$S_g = 351 \times \frac{15}{12} \approx 500 \text{ kVA.}$$

Nota: Con un transformador aguas arriba de 630 kVA del SAI de 300 kVA sin filtro, se obtendría una relación de 5%.

El resultado es que esta operación estará continuamente controlada en el grupo en relación con las corrientes de armónicos.

Si la distorsión armónica de tensión es elevada, el uso de un filtro en la red es la solución más efectiva para devolver los valores tolerados por cargas prioritarias.

1 Grupos electrógenos: protección e instalaciones BT

1.4 Conexión en paralelo del grupo

Conexión en paralelo del grupo independientemente del tipo de aplicación –fuente de seguridad, fuente de sustitución o fuente de producción– requiere una gestión más precisa de la conexión; por ejemplo, funciones de control adicionales.

Funcionamiento en paralelo

Mientras los grupos producen energía en paralelo con la misma carga, deben estar bien sincronizados (tensión, frecuencia) y la distribución de carga debe estar correctamente equilibrada. Esta función la lleva a cabo el regulador de cada grupo (regulación térmica y de excitación). Los parámetros (frecuencia, tensión) se controlan antes de la conexión: si los valores de estos parámetros son correctos, puede establecerse la conexión.

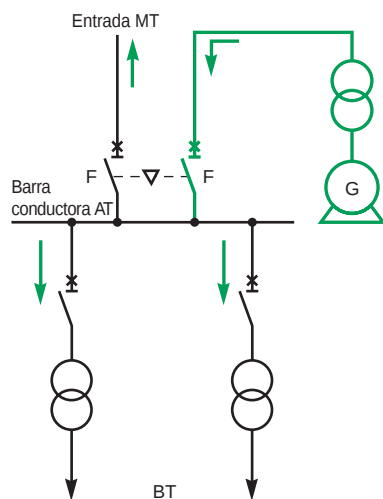
Defectos de aislamiento (ver la Figura N12)

Un defecto de aislamiento en el interior de la carcasa metálica de un conjunto de grupos puede deteriorar gravemente el grupo de este juego si éste se parece a un cortocircuito de monofásico a neutro. El defecto puede detectarse y eliminarse rápidamente, de lo contrario los otros grupos generarán energía en el defecto y se dispararán durante una sobrecarga: no se podrá garantizar la continuidad del suministro a la instalación.

La protección de defectos a tierra (GFP) integrada en el circuito del grupo se utiliza para:

- Desconectar rápidamente el grupo defectuoso y mantener la continuidad del suministro.
- Actuar en los circuitos de control del grupo defectuoso para detenerlo y reducir el riesgo de daños.

Si este GFP es del tipo "Sensibilidad residual" y debe instalarse lo más cerca posible del dispositivo de protección según un esquema TN-C/TN-S⁽¹⁾ en cada grupo con conexión a tierra de marcos mediante un PE separado, este tipo de protección se denomina normalmente "Defecto a tierra limitado".



N10 Fig. N13: Dirección de transferencia de energía - Grupo como grupo.

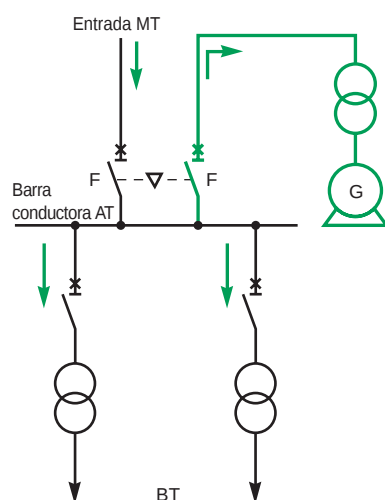


Fig. N14: Dirección de transferencia de energía - Grupo como una carga.

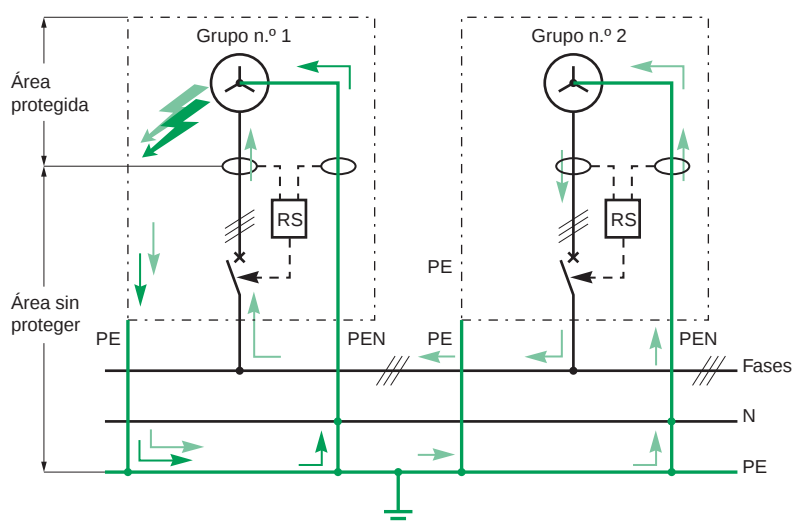


Fig. N12: Defecto de aislamiento dentro de un grupo.

Defectos del grupo como una carga (ver las Figuras N13 y N14)

Uno de los grupos conectados en paralelo puede dejar de funcionar como un grupo y hacerlo como un motor (por la pérdida de excitación por ejemplo). Esto puede generar sobrecarga en el otro grupo (o grupos) y, por consiguiente, dejar la instalación eléctrica sin funcionamiento.

Para comprobar que el grupo está suministrando realmente potencia a la instalación (funcionamiento como grupo), es necesario verificar la correcta dirección de flujo de la energía en la canalización de acoplamiento mediante una verificación de "alimentación inversa" específica. Si se produjera un defecto; por ejemplo, el grupo funciona como un motor, esta función eliminará el grupo defectuoso.

Conexión a tierra de los grupos conectados en paralelo

La conexión a tierra de los grupos conectados puede conllevar la circulación de corrientes defectuosas de tierra (armónicos de 3.º orden y múltiplos de 3) por la conexión de neutros en la conexión a tierra común (la aparcamenta a tierra de tipo TN o TT). Por lo tanto, para evitar que estas corrientes fluyan entre los grupos, es recomendable instalar una resistencia de desacoplamiento en el circuito de conexión a tierra.

(1) El esquema está en TN-C para los grupos que se ven como el "grupo" y en TN-S para los que se ven como "cargas".

2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

2.1 Disponibilidad y calidad de la alimentación eléctrica

Las perturbaciones descritas anteriormente pueden afectar a:

- La seguridad de la vida humana.
- La seguridad de los bienes.
- La viabilidad económica de una compañía o de un proceso de producción.

Por lo tanto, las perturbaciones deben eliminarse.

Determinadas soluciones técnicas contribuyen a este objetivo con distintos grados de efectividad. Pueden compararse estas soluciones según dos criterios:

- Disponibilidad de la energía suministrada.
- Calidad de la energía suministrada.

Puede pensarse en la disponibilidad de energía eléctrica como el tiempo por año que esta está presente alimentando la carga. La disponibilidad se ve principalmente afectada por interrupciones de energía debidas a cortes en la instalación o defectos eléctricos.

Para limitar el riesgo, existen varias soluciones:

- División de la instalación de manera que se utilicen varias fuentes diferentes en vez de una sola.
- Subdivisión de la instalación en circuitos prioritarios y no prioritarios, donde, si fuera necesario, otra fuente disponible puede obtener energía de la suministrada a los circuitos prioritarios.
- Deslastrado, según convenga, de modo que pueda utilizarse una energía nominal reducida disponible para suministrar potencia auxiliar.
- Selección de un montaje de toma de tierra adecuado en pro de la continuidad del servicio; por ejemplo, sistemas informáticos.
- Selectividad de dispositivos de protección (disparo selectivo) para limitar las consecuencias de un defecto en una parte de la instalación.

Debe observarse que el único modo de garantizar la disponibilidad de la alimentación respecto a los cortes en la instalación es proporcionar, además de las medidas indicadas anteriormente, una fuente alterna autónoma, al menos para las cargas prioritarias (ver la **Figura N15**).

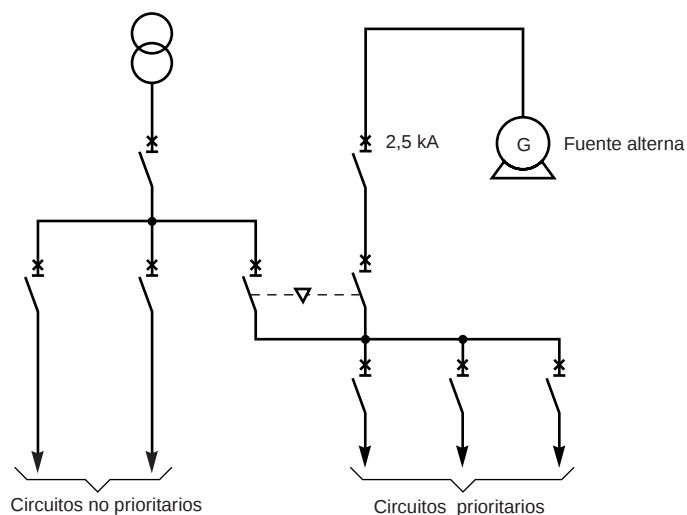


Fig. N15: Disponibilidad de energía eléctrica.

Esta fuente sustituye a la principal en caso de problema, pero deben tenerse en cuenta dos factores:

- El tiempo de transferencia (tiempo requerido para el cambio) que debe ser aceptable para la carga.
- El tiempo de funcionamiento durante el que puede suministrar a la carga.

La calidad de la energía eléctrica está determinada por la eliminación de las perturbaciones que se muestran en la tabla de la página anterior en bornes de carga.

Una fuente alterna es un medio de garantizar la disponibilidad de energía en bornes de carga, sin embargo, no garantiza, en muchos casos, la calidad respecto de las perturbaciones anteriormente citadas.

2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

Hoy en día, muchas aplicaciones electrónicas sensibles requieren un suministro de energía eléctrica que no contenga estas perturbaciones, es decir sin cortes, con tolerancias más estrictas que las de la instalación.

En este caso, por ejemplo, para centros informáticos, intercambios telefónicos y muchos controles de procesos industriales y sistemas de control.

Estas aplicaciones requieren soluciones que garanticen tanto la disponibilidad como la calidad de la energía eléctrica.

La solución SAI

La solución para aplicaciones sensibles es proporcionar una interfaz de potencia entre la instalación y las cargas sensibles, suministrando tensión que esté:

- Libre de todas las perturbaciones presentes en la instalación y sea compatible con las estrictas tolerancias que requieren las cargas.
- Disponible en caso de corte en la instalación, dentro de las tolerancias especificadas.

Los SAI (sistemas de alimentación ininterrumpida) satisfacen estos requisitos en términos de disponibilidad y calidad de energía mediante:

- Suministro de tensión adaptada a las estrictas tolerancias a través del uso de un inversor.
- Suministro de una fuente alterna autónoma a través del uso de una batería.
- Reemplazamiento de la energía, de la instalación, sin interrupción, mediante el uso del contactor estático.

Estas características convierten a SAI en la fuente ideal para todas las aplicaciones sensibles, porque garantizan disponibilidad y calidad de energía sea cual sea el estado de la instalación.

Un SAI está formado por:

- Rectificador/cargador, genera la CC para cargar una batería y dar suministro a un inversor.
- Inversor, que produce energía eléctrica de calidad, por ejemplo:
 - Sin ninguna perturbación de la instalación, especialmente microcortes.
 - Dentro de tolerancias compatibles con los requisitos de dispositivos electrónicos sensibles (por ejemplo, para el SAI Galaxy, tolerancias en amplitudes de $\pm 1\%$ y frecuencia de $\pm 0,5\%$, comparadas a $\pm 10\%$ y $\pm 5\%$ en las fuentes estándar de las instalaciones, lo que corresponde a factores de mejora de 10).
- Batería, proporciona tiempo de seguridad suficiente (de 8 minutos a 1 hora o más) para garantizar la seguridad de vidas y bienes durante el tiempo establecido.
- Interruptor estático, dispositivo basado en un semiconductor que transfiere la carga desde el inversor a la instalación y viceversa, sin interrupción en el suministro de energía.

2.2 Tipos de SAI estáticos

Los tipos de SAI estáticos están definidos en la norma IEC 62040.

La norma distingue tres modos de funcionamiento:

- SAI pasivo (antes off-line).
- SAI interactivo.
- SAI doble conversión (antes on-line).

Estas definiciones se refieren al funcionamiento de los SAI respecto de la fuente de energía, incluyendo el sistema de distribución aguas arriba del SAI.

La norma IEC 62040 define los términos siguientes:

- Energía primaria: energía disponible, generalmente de forma continua, que suele suministrar una compañía eléctrica, pero que a veces procede de la generación propia del usuario.
 - Energía auxiliar: energía que sirve para sustituir a la primaria en caso de que ésta falle.
 - Energía derivada: energía suministrada a través de la red de apoyo.
- Hablando de forma práctica, un SAI está equipado con dos entradas de CA, que en esta guía se denominan entrada CA normal y entrada CA de apoyo.
- La entrada CA normal, entrada de red 1, recibe suministro de la potencia primaria; por ejemplo, mediante un cable conectado a una unidad de alimentación de la instalación aguas arriba o del sistema de distribución privado.
 - La entrada CA de apoyo, entrada de red 2, generalmente recibe suministro de la energía auxiliar; por ejemplo, mediante un cable conectado a una unidad de alimentación aguas arriba distinta de la que da suministro a la entrada CA normal, y proviene de una fuente alterna (por ejemplo, un grupo electrógeno, otro SAI, etc.).
- Cuando no hay disponibilidad de energía auxiliar, la entrada CA de puenteo recibe suministro de la energía primaria (segundo cable paralelo al conectado a la entrada CA normal).

La entrada CA de puenteo se utiliza para dar suministro a la(s) línea(s) de apoyo del SAI si existiera(n). Por consiguiente, la(s) línea(s) de apoyo recibe(n) suministro de la energía primaria o auxiliar, en función de la disponibilidad de una fuente de energía auxiliar.

2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

Funcionamiento del SAI en modo pasivo (off-line)

Principio de funcionamiento

El inversor está conectado en paralelo a la entrada CA en espera (ver la **Figura N16**).

■ Modo normal.

La carga recibe suministro de potencia de la instalación a través de un filtro que elimina determinadas perturbaciones según la norma configuración UFD, tensión y frecuencias dependientes de la entrada. El inversor funciona en modo pasivo.

■ Modo de batería de reserva.

Cuando la tensión de entrada CA no cumple las tolerancias especificadas para el SAI o bien la instalación falla, el inversor y la batería se ponen en funcionamiento para garantizar un suministro continuo de energía a la carga después de un tiempo de transferencia muy corto (<10 ms).

El SAI sigue funcionando con la potencia de la batería hasta que se acabe el tiempo de seguridad o se restablezcan las condiciones normales de red, lo que provoca un retorno de la transferencia de la carga a la entrada CA (modo normal).

Utilización

Esta configuración es un compromiso entre un nivel de protección aceptable frente a perturbaciones y el coste. Sólo puede utilizarse con potencias nominales reducidas (< 2 kVA). Funciona sin un interruptor estático real, por lo que se necesita determinado tiempo para transferir la carga al inversor. Este tiempo es aceptable para determinadas aplicaciones individuales, pero es incompatible con el rendimiento que necesitan sistemas más sofisticados y sensibles (grandes centros informáticos, intercambios telefónicos, etc.). Más aún, la frecuencia no está regulada y no existe fuente de apoyo.

Nota: en modo normal, la energía suministrada a la carga no es a través del inversor (fuera de línea). No obstante, este término es engañoso porque también sugiere “sin suministro de potencia de la instalación” cuando, en realidad, la carga recibe suministro de la instalación a través de la entrada CA durante el funcionamiento normal. Por eso, la norma IEC 62040 recomienda el término “SAI pasivo”.

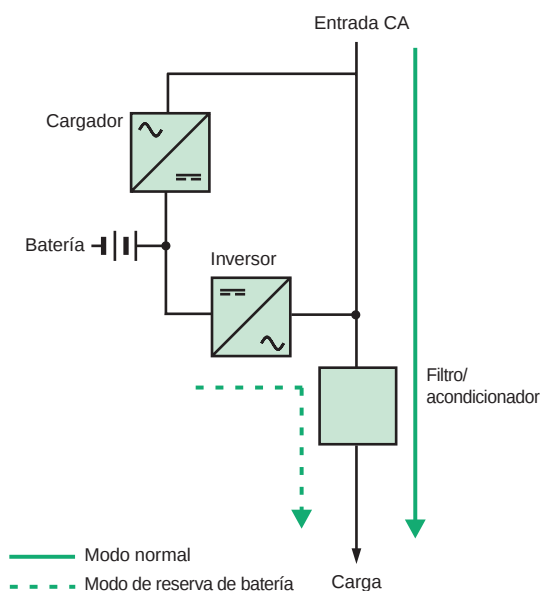


Fig. N16: Funcionamiento del SAI en modo auxiliar pasivo.

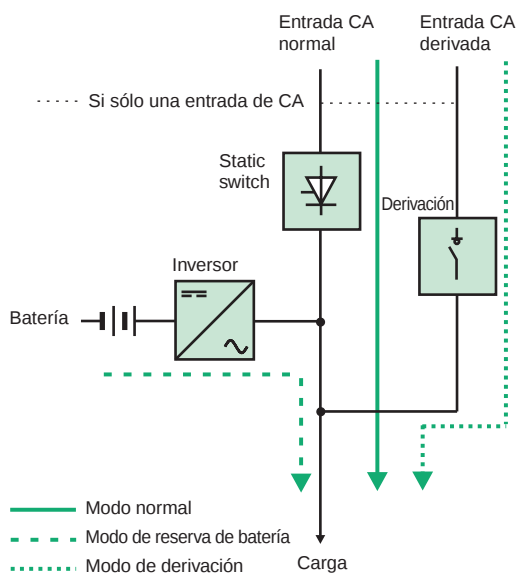


Fig. N17: Funcionamiento del SAI en modo de línea interactiva.

Funcionamiento del SAI interactivo

Principio de funcionamiento

El inversor está conectado en paralelo a la entrada CA en configuración auxiliar, pero al mismo tiempo carga también la batería. Por lo tanto, interactúa (funcionamiento reversible) con la fuente de entrada de CA (ver la **Figura N17**).

■ Modo normal.

La carga recibe suministro de energía estabilizada a través de una conexión paralela de la entrada CA y del inversor. El inversor funciona para estabilizar la tensión de salida y/o cargar la batería. La frecuencia de salida depende de la frecuencia de entrada CA.

■ Modo de batería de reserva.

Cuando la tensión de entrada CA no cumple las tolerancias especificadas para el SAI o bien la instalación falla, el inversor y la batería se ponen en funcionamiento para garantizar un suministro continuo de potencia a la carga después de una transferencia sin interrupción mediante un interruptor estático que también desconecta la entrada CA para evitar que la potencia del inversor fluya aguas arriba. El SAI sigue funcionando con la potencia de la batería hasta que se acabe el tiempo de seguridad o se restablezcan las condiciones normales de red, lo que provoca un retorno de la transferencia de la carga a la entrada CA (modo normal).

■ Modo de apoyo.

Este tipo de SAI puede ir equipado con un sistema de apoyo. Si una de las funciones SAI falla, la carga puede transferirse a la entrada CA de apoyo (que recibe suministro de la instalación o potencia auxiliar, en función del tipo de instalación).

Utilización

Esta configuración no es muy adecuada para la regulación de cargas sensibles en el rango de potencias medias a altas, porque no es posible la regulación de frecuencia. Por ello, no suele usarse nada más que para potencias nominales bajas.

Funcionamiento del SAI en modo de doble conversión (on-line)

Principio de funcionamiento

El inversor está conectado en serie entre la entrada CA y la aplicación.

■ Modo normal.

Durante el funcionamiento normal, la energía suministrada a la carga pasa a través del rectificador/cargador y del inversor, que llevan a cabo conjuntamente una doble conversión (CA-CC-CA), de ahí su nombre.

■ Modo de batería de reserva.

Cuando la tensión de entrada CA no cumple las tolerancias especificadas para el SAI o bien la energía de la instalación falla, la batería se pone en descarga para garantizar un suministro continuo de energía a la carga. El SAI sigue funcionando con la energía de la batería hasta que se acabe el tiempo de seguridad o se restablezcan las condiciones normales en la instalación.

2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

■ Modo de apoyo.

Este tipo de SAI está generalmente equipado con un sistema de apoyo, al que se denomina interruptor estático (ver la **Figura N18**).

La carga puede transferirse sin interrupción a la entrada CA de apoyo (que recibe suministro de la instalación o fuente auxiliar, en función del tipo de instalación), en caso de que ocurra lo siguiente:

- Fallo del SAI.
- Transitorios de corriente de carga (corrientes de entrada o de defecto).
- Carga máxima.

No obstante, la presencia de un sistema de apoyo considera que las frecuencias de entrada y de salida son idénticas, y si los niveles de tensión no son los mismos, se necesitará un transformador.

Para determinadas cargas, el SAI debe estar sincronizado con la potencia derivada para garantizar continuidad en el suministro de carga. Más aún, cuando el SAI se encuentra en modo de apoyo, una perturbación de la fuente de entrada CA puede transmitirse directamente a la carga porque el inversor ya no entra en funcionamiento.

Nota: Otra línea de apoyo, a la que suele denominarse apoyo de mantenimiento, está disponible con este fin. Su cierre se efectúa mediante un interruptor manual.

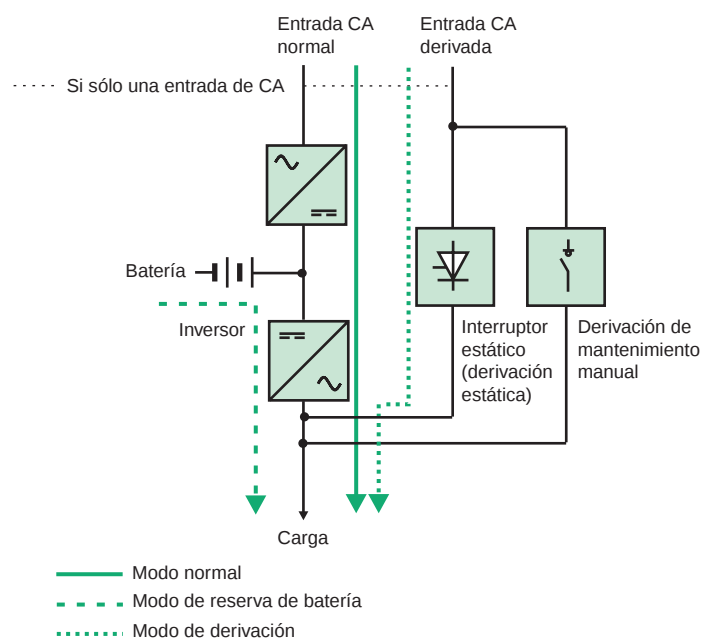


Fig. N18: Funcionamiento del SAI en modo de doble conversión (on-line).

Utilización

En esta configuración, el tiempo necesario para transferir la carga al inversor es inapreciable debido al interruptor estático.

Por otra parte, la tensión y frecuencia de salida no dependen de las condiciones de la tensión y frecuencia de entrada. Esto quiere decir que, cuando se diseña con este propósito, el SAI puede funcionar como un convertidor de frecuencia.

Hablando de forma práctica, ésta es la configuración principal que se utiliza para rangos de potencia entre media y alta (de 10 kVA en adelante). En el resto de este capítulo se considerará solamente esta configuración.

Nota: A este tipo de SAI también se le suele denominar "on-line", lo que significa que el inversor da suministro constante a la carga, independientemente de las condiciones de la fuente de entrada CA. No obstante, este término es engañoso porque también sugiere "con suministro de potencia de la instalación" cuando, en realidad, la carga recibe suministro de la potencia restituida por el sistema de conversión doble. Por eso, la norma IEC 62040 recomienda el término "doble conversión".

2.3 Baterías

Selección de un tipo de batería

Una batería está compuesta de celdas interconectadas, que pueden ser abiertas, cerradas o herméticas.

Existen dos familias de baterías principales:

- Baterías de níquel-cadmio.
- Baterías de plomo, de las que distinguimos dos tipos:
 - Baterías de plomo abiertas, equipadas con una válvula para liberar a la atmósfera el oxígeno e hidrógeno producidos durante las diferentes reacciones químicas, y para rellenar el electrolito añadiendo agua destilada o desmineralizada.
 - Baterías de plomo herméticas, en las que la tasa de recombinación de los gases internos generados en los procesos de carga y descarga es >95%, por lo que no requieren que se les añada agua durante su vida útil.

Los principales tipos de baterías que se utilizan con los SAI son:

- Baterías de plomo herméticas, utilizadas en el 95% de los casos, ya que son fáciles de mantener y no necesitan mucho espacio.
- Baterías de plomo abiertas.
- Baterías de níquel-cadmio abiertas.

Según los factores económicos y los requisitos de funcionamiento de la instalación, pueden proponerse los tres tipos de baterías que acaban de mencionarse con todas las duraciones de vida útil disponibles.

Los niveles de capacidad y los tiempos de respaldo pueden adaptarse a las necesidades del usuario. Las baterías propuestas también se adaptan perfectamente a las aplicaciones SAI porque son el resultado de la colaboración con los fabricantes líderes del mercado.

Selección del tiempo de apoyo (autonomía)

La selección depende de:

- La duración media de los fallos del sistema de potencia.
- Cualquier potencia auxiliar de larga duración (generador de motores, etc.).
- El tipo de aplicación.

El rango típico que se suele proponer es:

- Tiempos de apoyo (autonomía) 10, 15 o 30 minutos.
- Tiempos de apoyo (autonomía) personalizados.

Se aplican las siguientes reglas generales:

- Aplicaciones informáticas.

La autonomía de la batería debe ser suficiente para que se puedan guardar los archivos y llevar a cabo los procedimientos de apagado del sistema necesarios para garantizar una desconexión controlada del sistema informático.

Por regla general, el departamento de informática determina el tiempo de apoyo necesario en función de sus necesidades específicas.

- Procesos industriales.

El cálculo de la autonomía debería tener en cuenta el coste económico que supone una interrupción del proceso y el tiempo necesario para volver a iniciarlo.

Tabla de selección

En la **Figura N19** de la página siguiente se resumen las principales características de los diferentes tipos de baterías.

Cada vez más, las baterías herméticas parecen ser la elección del mercado por las siguientes razones:

- No necesitan mantenimiento.
- Fácil instalación.
- Instalación en cualquier tipo de espacio (salas informáticas, espacio técnico no específicamente pensado para baterías, etc.).

En algunos casos, sin embargo, son preferibles las baterías abiertas, especialmente por:

- Larga vida útil.
- Amplios tiempos de autonomía.
- Potencias nominales altas.

Las baterías abiertas deben instalarse en habitaciones especiales que cumplan requisitos precisos, y requieren de un mantenimiento apropiado.

	Vida útil	Compacto	Tolerancias de temperatura de funcionamiento	Frecuencia de mantenimiento	Habitación especial	Coste
Hermética de plomo	5 o 10 años	+	+	Baja	No	Bajo
Abierta de plomo	8 o 12 años	++	++	Media	Sí	Medio
Níquel-cadmio	15 años	++	+++	Alta	No	Alto

Fig. N19: Principales características de los diferentes tipos de baterías.

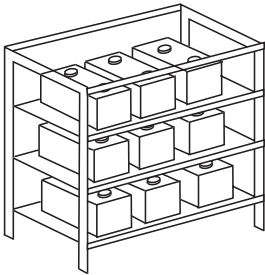


Fig. N20: Montaje en estantería.

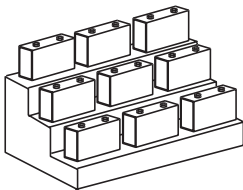


Fig. N21: Montaje en grada.

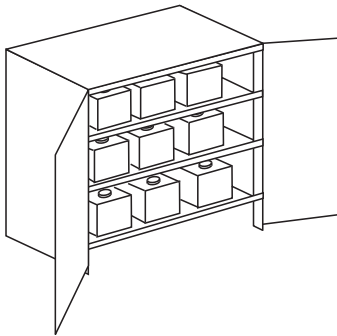


Fig. N22: Montaje en armario.

Métodos de instalación

En función de la gama de SAI, de la capacidad de la batería y del tiempo de autonomía, la batería es:

- De tipo hermético y alojada en el armario de SAI.
- De tipo hermético y alojada en armarios (de uno a tres).
- De tipo abierta o hermética y montada en un rack. En este caso, el método de instalación puede ser:
 - En estanterías (ver la **Figura N20**).
 - Montaje en grada (ver la **Figura N21**).
- Este método de instalación es adecuado para todos los tipos de baterías y especialmente para las abiertas, dado que la verificación de niveles y el rellenado son sencillos.
- En armarios (ver la **Figura N22**).

Este método de instalación es adecuado para baterías herméticas. Es fácil de montar y ofrece máxima seguridad.

2.4 Montajes de tomas de tierra para instalaciones con SAI

La aplicación de sistemas de protección, que se estipulan en las normas, para instalaciones con SAI requiere tomar determinadas precauciones por las siguientes razones:

- El SAI desempeña dos papeles:
 - Uno de carga para el sistema aguas arriba.
 - Otro de fuente de energía segura para el sistema aguas abajo.
- Cuando la batería no esta instalada en un armario, un defecto de aislamiento en el sistema de CC puede provocar el flujo de un componente CC residual. Éste puede perturbar el funcionamiento de determinados dispositivos de protección, especialmente RCD utilizados para la protección de personas.

Protección contra los contactos directos (ver la **Figura N23**)

Todas las instalaciones satisfacen los requisitos aplicables porque el equipo está alojado en armarios que proporcionan un grado de protección IP20. Incluso para una batería alojada en un armario.

Cuando las baterías no están instaladas en un armario, sino, por ejemplo, en una habitación especial, deberían aplicarse las medidas que se muestran al final de este capítulo.

Nota: El sistema TN (versión TN-S o TN-C) es el que se recomienda con mayor frecuencia para el suministro de sistemas informáticos.

Tipo de montaje	Sistema IT	Sistema TT	Sistema TN
Funcionamiento	■ Señaliz. del primer defecto de aislamiento ■ Localizac. y eliminación del primer defecto ■ Desconex. en el segundo defecto de aislam.	■ Desconexión en el primer defecto de aislamiento	■ Desconexión en el primer defecto de aislamiento
Técnicas para la protección de personas	■ Interconexión y conexión a tierra de piezas conductoras ■ Supervisión del primer defecto mediante un dispositivo de control de aislamiento (IMD) ■ El segundo defecto provoca la interrupción del circuito (interruptor automático o fusible)	■ Conexión a tierra de piezas conduc. combinada con el uso de RCD ■ El primer defecto de aislamiento provoca la interrupción al detectar corrientes de fugas	■ Interconexión y conexión a tierra de piezas conductoras e imperativo neutro ■ El primer defecto de aislamiento provoca la interrupción al detectar sobrentensiones (interruptor automático o fusible)
Ventajas e inconvenientes	■ Soluciones que ofrecen la mejor continuidad del servicio (se indica el primer defecto) ■ Requiere personal de supervisión competente (localización del primer defecto)	■ Es la solución más sencilla en términos de diseño e instalación ■ No se requiere dispositivo de control de aislamiento (IMD) ■ No obstante, cada defecto provoca la interrupción del circuito afectado	■ Solución econom. en términos de instalación ■ Diseño complejo (cálculo de las impedancias de bucle) ■ Se requiere personal cualificado para su funcionamiento ■ Flujo de corrientes de defecto elevadas

Fig. N23: Principales características de los montajes de tomas de tierra del sistema.

2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

Puntos esenciales que deben verificarse en los SAI

La **Figura N24** muestra todos los puntos esenciales que deben estar interconectados así como los dispositivos que tienen que instalarse (transformadores, RCD, etc.) para garantizar que la instalación cumple con las normas de seguridad.

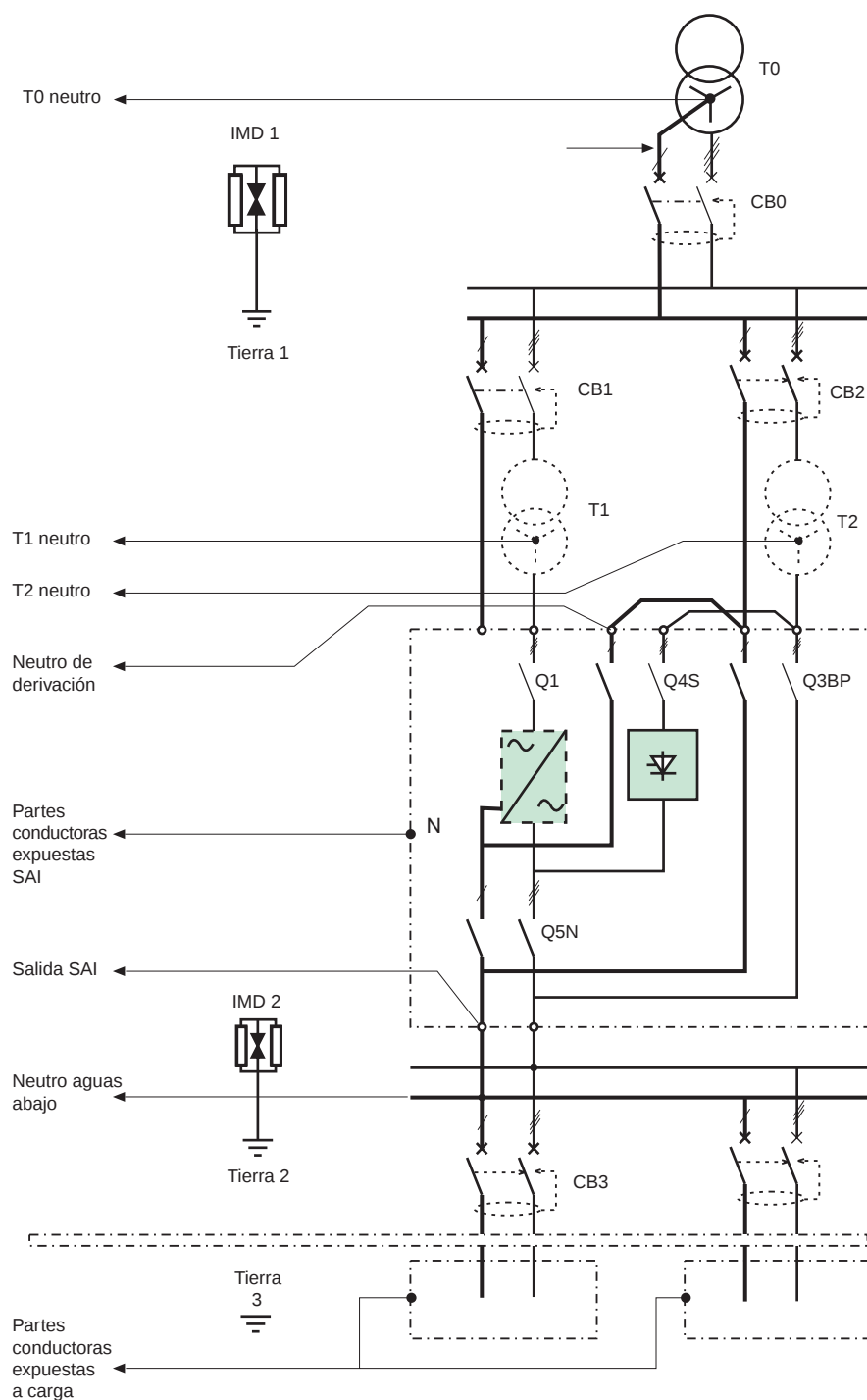


Fig. N24: Puntos esenciales que deben estar conectados en los montajes de toma de tierra del sistema.

2.5 Elección de esquemas de protección

Los interruptores automáticos desempeñan un papel relevante en una instalación, pero su importancia aparece a menudo en el momento de sucesos accidentales, que no son frecuentes. La mejor adaptación de SAI y la mejor elección de configuración pueden verse comprometidas si se escoge mal un solo interruptor automático.

Selección de interruptor automático

La **Figura N25** muestra cómo seleccionar los interruptores automáticos.

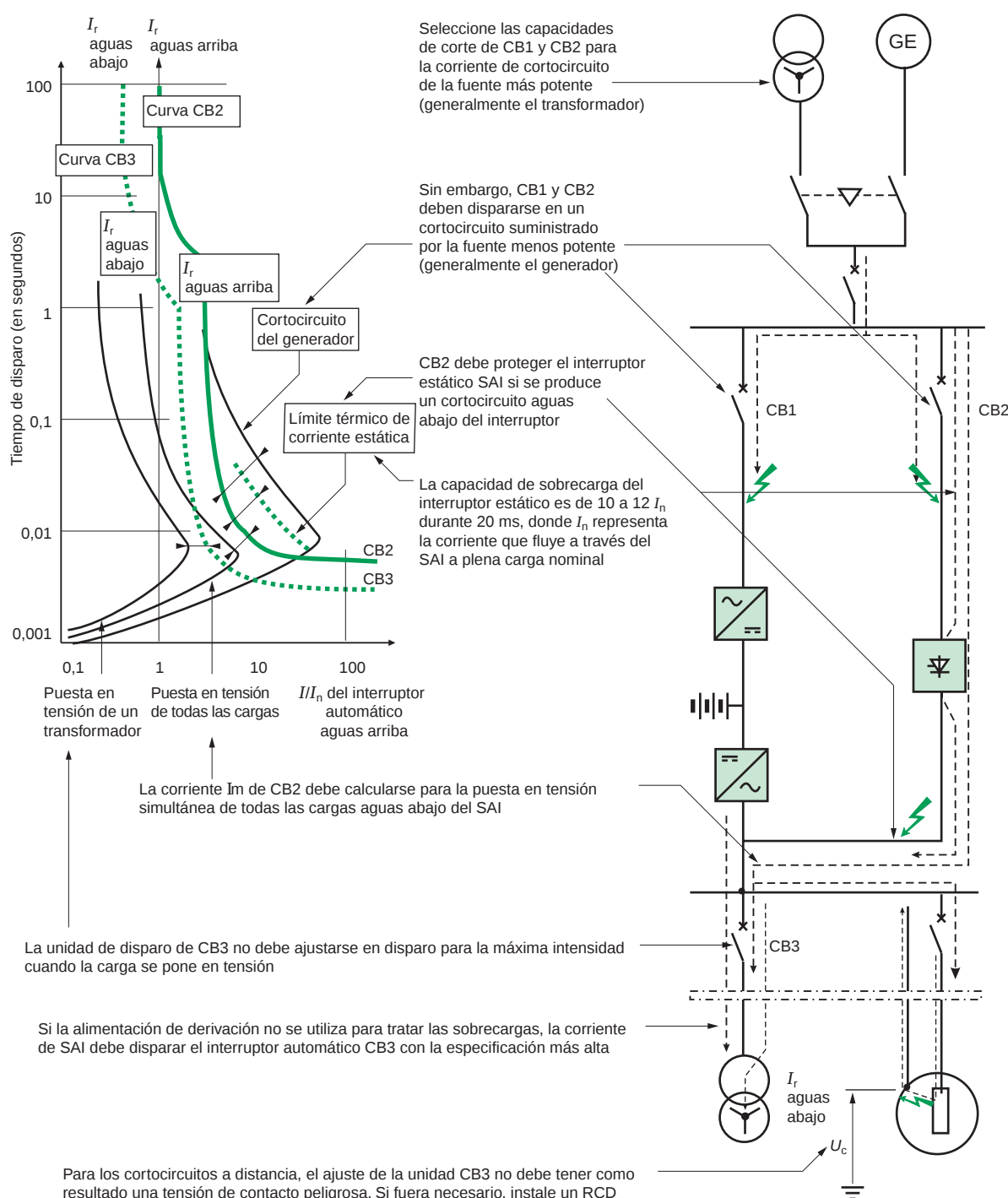


Fig. N25: Los interruptores automáticos están sometidos a un amplio abanico de situaciones.

Especificaciones

La especificación seleccionada (corriente nominal) para los interruptores automáticos debe ser la que está situada justo por encima de la corriente nominal del cable aguas abajo protegido.

Capacidad de corte

La capacidad de corte debe seleccionarse justo por encima de la corriente de cortocircuito que puede producirse en el momento de la instalación.

Umrales I_r e I_m

La tabla siguiente indica cómo determinar los umbrales de I_r (sobrecarga; térmica o larga duración) e I_m (cortocircuito; corta duración o magnética) para garantizar la selectividad en función de las unidades de disparo aguas arriba y aguas abajo).

Observación (ver la **Figura N26**)

- La selectividad de tiempo debe instalarla personal cualificado porque las temporizaciones previas a los disparos aumentan la tensión térmica (I^2t) aguas abajo (cables, semiconductores, etc.). Hay que tener precaución si el disparo de CB2 se temporiza mediante el umbral I_m .
- La selectividad de energía no depende de la unidad de disparo, sino únicamente del interruptor automático.

Tipo de circuito aguas abajo	Aguas arriba I_r / relación aguas abajo I_r	Aguas arriba I_m / relación aguas abajo I_m	Aguas arriba I_m / relación aguas abajo I_m
Unidad de disparo aguas abajo	Todos los tipos	Magnética	Electrónica
Distribución	> 1,6	>2	>1,5
Motor asíncrono	>3	>2	>1,5

Fig. N26: Umrales I_r e I_m en función de las unidades de disparo aguas arriba y aguas abajo.

Caso particular de cortocircuitos del generador

La **Figura N27** muestra la reacción de un generador ante un cortocircuito. Para evitar cualquier incertidumbre en relación con el tipo de excitación, dispararemos en el primer pico (de 3 a 5 I_n según X''_d) utilizando el ajuste de protección I_m sin temporización.

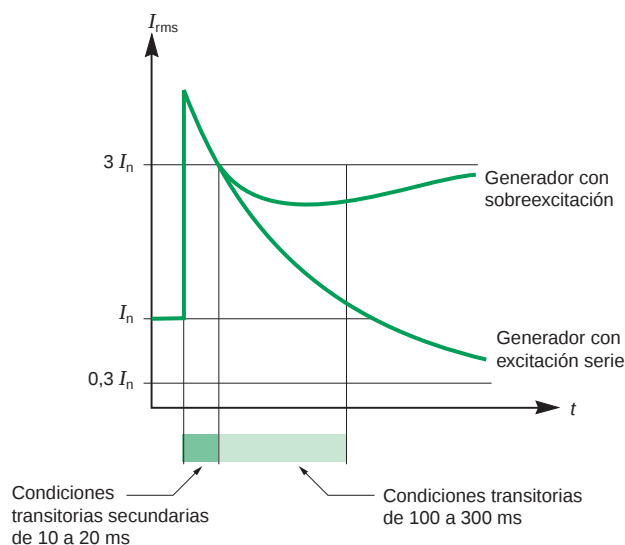


Fig. N27: Generador durante cortocircuito.

2.6 Instalación, conexión y adaptación de cables

Unidades SAI listos para usar

Los SAI de baja potencia, para sistemas de ordenadores personales, por ejemplo, son equipos compactos listos para usar. El cableado interno se realiza en la fábrica y está adaptado a las características de los dispositivos.

Unidades SAI no listos para usar

Para el resto de SAI no se incluyen las conexiones por cable al sistema de suministro de potencia, a la batería y a la carga.

Las conexiones por cable dependen del nivel de corriente, como se indica más abajo en la **Figura N28**.

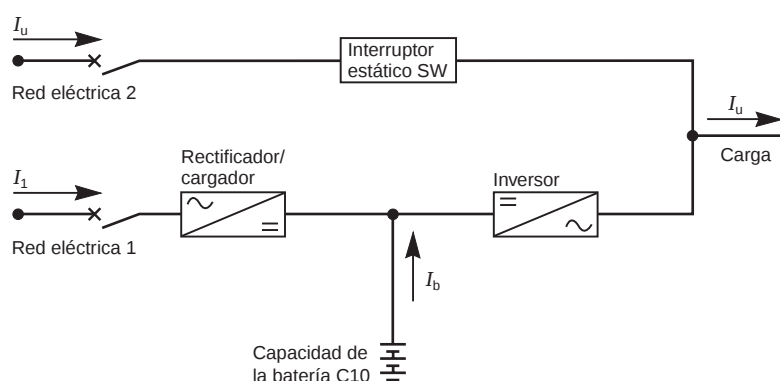


Fig. N28: Corriente que debe tenerse en cuenta para la selección de las conexiones por cable.

Cálculo de las corrientes I_1 , I_u

- La corriente de entrada I_u de la red de suministro eléctrico es la corriente de carga.
 - La corriente de entrada I_1 del cargador/rectificador depende de:
 - La capacidad de la batería (C10) y del modo de carga (I_b).
 - Las características del cargador.
 - La eficiencia del inversor.
 - La corriente I_b es la corriente de la conexión de la batería.
- Los fabricantes facilitan estas corrientes.

Aumento de la temperatura del cableado y caídas de tensión

La sección transversal de los cables depende de:

- Aumento de temperatura admisible.
- Caída de tensión admisible.

Para una carga dada, cada uno de estos parámetros supone una sección transversal admisible mínima. Debe utilizarse la mayor de las dos.

Al dirigir los cables, hay que tener cuidado de mantener las distancias requeridas entre los circuitos de control y los circuitos de alimentación para evitar que las corrientes HF causen perturbaciones.

Aumento de la temperatura

El aumento de la temperatura admisible en los cables está limitado por la capacidad de resistencia del aislamiento del cable.

El aumento de la temperatura en los cables depende de:

- El tipo de núcleo (Cu o Al).
- El método de instalación.
- El número de cables que puede tocarse.

Las normas estipulan, para cada tipo de cable, la corriente máxima admisible.

Caídas de tensión

Las caídas de tensión máximas admisibles son:

- 3% para circuitos de CA (50 o 60 Hz).
- 1% para circuitos de CC.

2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

Tablas de selección

La **Figura N29** indica la caída de tensión en porcentaje para un circuito compuesto por 100 m de cable. Para calcular la caída de tensión en un circuito con una longitud L , multiplique el valor de la tabla por $L/100$.

■ S_{ph} : Sección transversal de los conductores.

■ I_n : Corriente nominal de los dispositivos de protección del circuito.

Circuito trifásico

Si la caída de tensión es superior al 3% (50-60 Hz), aumente la sección transversal de los conductores.

Circuito CC

Si la caída de tensión es superior al 1%, aumente la sección transversal de los conductores.

a - Circuitos trifásicos (conductores de cobre)

50-60 Hz - 380 V / 400 V / 415 V trifásicos, $\cos \varphi = 0,8$, trifásico de sistema compensado + N

I_n (A)	S_{ph} (mm ²)											
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
10	0,9											
15	1,2											
20	1,6	1,1										
25	2,0	1,3	0,9									
32	2,6	1,7	1,1									
40	3,3	2,1	1,4	1,0								
50	4,1	2,6	1,7	1,3	1,0							
63	5,1	3,3	2,2	1,6	1,2	0,9						
70	5,7	3,7	2,4	1,7	1,3	1,0	0,8					
80	6,5	4,2	2,7	2,1	1,5	1,2	0,9	0,7				
100	8,2	5,3	3,4	2,6	2,0	2,0	1,1	0,9	0,8			
125		6,6	4,3	3,2	2,4	2,4	1,4	1,1	1,0	0,8		
160			5,5	4,3	3,2	3,2	1,8	1,5	1,2	1,1	0,9	
200				5,3	3,9	3,9	2,2	1,8	1,6	1,3	1,2	0,9
250					4,9	4,9	2,8	2,3	1,9	1,7	1,4	1,2
320							3,5	2,9	2,5	2,1	1,9	1,5
400							4,4	3,6	3,1	2,7	2,3	1,9
500								4,5	3,9	3,4	2,9	2,4
600									4,9	4,2	3,6	3,0
800										5,3	4,4	3,8
1.000											6,5	4,7

Para un circuito trifásico de 230 V, multiplique el resultado por $\sqrt{3}$.

Para un circuito monofásico de 208/230 V, multiplique el resultado por 2.

b - Circuitos de CC (conductores de cobre)

I_n (A)	S_{ph} (mm ²)											
	-	-	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
100			5,1	3,6	2,6	1,9	1,3	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4
125				4,5	3,2	2,3	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5
160					4,0	2,9	2,2	1,6	1,2	1,1	0,6	0,7
200						3,6	2,7	2,2	1,6	1,3	1,0	0,8
250							3,3	2,7	2,2	1,7	1,3	1,0
320								3,4	2,7	2,1	1,6	1,3
400									3,4	2,8	2,1	1,6
500										3,4	2,6	2,1
600										4,3	3,3	2,7
800											4,2	3,4
1.000											5,3	4,2
1.250												5,3

Fig. N29: Caída de tensión en porcentaje para [a] circuitos trifásicos y [b] circuitos de CC.

Caso particular para conductores neutros

En sistemas trifásicos, los armónicos de tercer orden (y sus múltiplos) de cargas monofásicas se añaden al conductor neutro (suma de las corrientes de las tres fases).

Por ello, se aplica la regla siguiente:

sección transversal de neutro = $1,5 \times$ sección transversal de la fase.

2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

Ejemplo

Imagine un circuito trifásico de 70 m y 400 V, con conductores de cobre y una tensión nominal de 600 A.

La norma IEC 60364 indica, en función del método de instalación y de la carga, una sección transversal mínima.

Vamos a asumir que la sección transversal mínima es de 95 mm².

En primer lugar es necesario verificar que la caída de tensión no sobrepase el 3%.

La tabla para circuitos trifásicos de la página siguiente indica, para un flujo de corriente de 600 A en un cable de 300 mm², una caída de tensión del 3% para 100 m de cable, por ejemplo, para 70 m:

$$3 \times \frac{70}{100} = 2,1\%$$

Por lo tanto, menos del 3%.

Puede realizarse un cálculo idéntico para una corriente CC de 1.000 A.

En un cable de 10 m, la caída de tensión para un cable de 100 m y 240 mm² es del 5,3%, por ejemplo, para 10 m:

$$5,3 \times \frac{10}{100} = 0,53\%$$

Por lo tanto, menos del 3%.

2.7 Los SAI y su entorno

Los SAI pueden establecer comunicación con el entorno eléctrico e informático. Pueden recibir algunos datos y proporcionar información sobre su funcionamiento con objeto de:

- Optimizar la protección.

Por ejemplo, el SAI proporciona información esencial al sistema informático sobre el estado de funcionamiento (carga en el inversor, carga en el sistema de puenteo estático, carga en la batería, advertencia de batería baja).

- Realizar un control remoto.

El SAI proporciona información sobre mediciones y el estado de funcionamiento permitiendo a los operadores que ejecuten acciones específicas.

- Gestionar la instalación.

El operador dispone de un sistema de gestión de energía y edificaciones que permite obtener y guardar información de los SAI para emitir alarmas, anunciar sucesos y tomar las medidas necesarias.

Esta tendencia hacia la compatibilidad entre equipos informáticos y SAI conlleva la incorporación de nuevas funciones de SAI integrados.

N22

2.8 Equipo complementario

Transformadores

Un transformador de doble devanado incluido en el lado aguas arriba del contactor estático del circuito 2 permite:

- Cambiar el nivel tensión cuando la tensión de la red eléctrica es diferente de la de la carga.

- Cambiar el sistema de conexión a tierra entre las redes.

Además, un transformador de este tipo:

- Reduce el nivel de la corriente de cortocircuito en el lado secundario (por ejemplo, carga) en comparación con el del lado de la red eléctrica.

- Evita que corrientes de armónicos de tercer orden, que pueden presentarse en el secundario, pasen a la red eléctrica del sistema, haciendo que el devanado primario esté conectado en delta.

Filtro antiarmónicos

El sistema de SAI incluye un cargador de batería controlado por tiristores o transistores. Los ciclos de corriente resultantes, regularmente cortados, "generan" componentes de armónicos en la red de suministro eléctrico.

Estos componentes no deseados se filtran en la entrada del rectificador y, en la mayoría de los casos, esto reduce el nivel de corriente de armónicos lo suficiente para todos los fines prácticos.

Sin embargo, en algunos casos específicos, especialmente en instalaciones muy grandes, puede ser necesario un circuito de filtrado adicional.

2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

Por ejemplo, cuando:

- La potencia nominal del sistema de SAI es grande con respecto al transformador de alta o baja tensión que le da suministro.
- Las canalizaciones de BT suministran cargas que son especialmente sensibles a los armónicos.
- Existe un generador de turbina de gas, etc., como suministro de potencia auxiliar. En estos casos, debe consultarse al fabricante del sistema de SAI.

Equipo de comunicación

La comunicación con el equipo asociado a los sistemas informáticos puede necesitar instalaciones adaptadas en el sistema de SAI. Tales instalaciones pueden incorporarse en un diseño original (ver la **Figura N30a**) o bien añadirse a los sistemas existentes por encargo (ver la **Figura N30b**).



Fig. N30a: Unidad SAI listo para usar (con módulo DIN).



Fig. N30b: Unidad SAI logrando disponibilidad y calidad del suministro eléctrico del sistema informático.

3 Protección de transformadores de BT/BT

Estos transformadores, por regla general, suelen utilizarse para:

- Cambiar el nivel de baja tensión de:
- Suministros auxiliares para circuitos de control y señalización.
- Circuitos de iluminación (230 V creados cuando el sistema primario es de 400 V 3-fases 3-cables).
- Cambiar el método de conexión a tierra de determinadas cargas que tienen una corriente capacitiva relativamente alta a tierra (equipos informáticos) o una corriente de fugas resistiva (hornos eléctricos, procesos industriales de calentamiento, instalaciones de cocina masiva, etc.).

Los transformadores de BT se suministran generalmente con sistemas de protección incorporados, y se debe consultar a los fabricantes para obtener más detalles. La protección contra las sobreintensidades siempre debe estar en el lado primario. La explotación de estos transformadores requiere conocer sus funciones particulares, además de un número de cuestiones que se describen más abajo.

Nota: En los casos particulares de transformadores BT/BT de aislamiento de seguridad a tensión ultrabaja, se requiere a menudo, según las circunstancias, una pantalla de metal conectada a tierra entre los devanados primario y secundario, como se recomienda en la norma europea EN 60742.

3.1 Transformador - Corriente de conexión

En el momento de poner en tensión un transformador, se producen valores elevados de corriente transitoria (lo que incluye un componente de CC importante) y debe tenerse en cuenta al pensar en los esquemas de protección (ver la **Figura N31**).

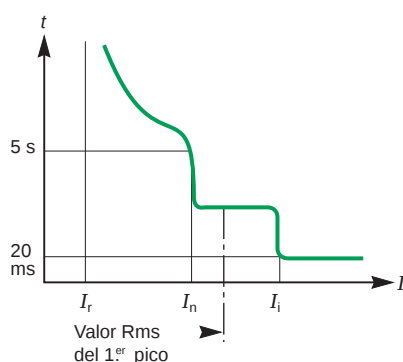


Fig. N32: Características de disparo de tipo Compact NS STR (electrónico).

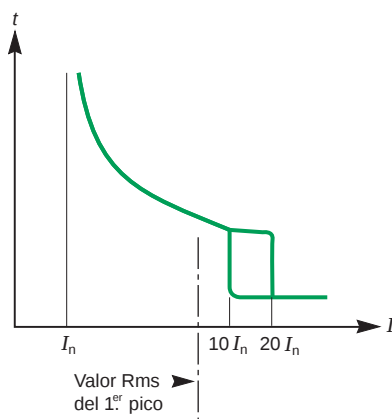


Fig. N33: Características de disparo de multi 9 curva D.

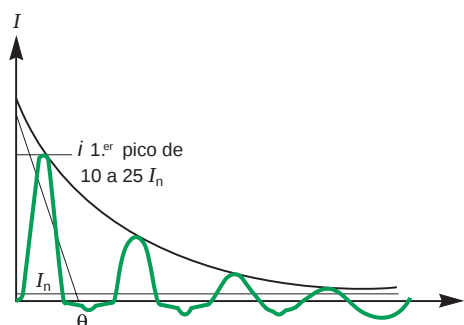


Fig. N31: Transformador - Corriente de entrada de puesta en tensión.

La magnitud del pico de corriente depende de:

- El valor de la tensión en el momento de la puesta en tensión.
- La magnitud y polaridad del flujo residual que exista en el núcleo del transformador.
- Las características de la carga en el transformador.

El primer pico de corriente puede alcanzar un valor equivalente entre 10 y 15 veces la corriente rms de máxima carga, pero en transformadores pequeños (< 50 kVA) puede alcanzar valores de entre 20 y 25 veces la corriente nominal de máxima carga. Esta corriente transitoria disminuye rápidamente, con una constante de tiempo θ del orden de varios ms a varias decenas de ms.

3.2 Protección para el circuito de alimentación de un transformador BT/BT

El dispositivo de protección del circuito de alimentación de un transformador BT/BT debe evitar la posibilidad de funcionamiento incorrecto debido a una sobretensión de corriente de entrada magnetizante, indicada anteriormente. Por lo tanto, es necesario utilizar:

- Interruptores automáticos selectivos (por ejemplo, de pequeña temporización) de tipo Compact NS STR (ver la **Figura N32**).
- Interruptores automáticos que tengan un ajuste de disparo magnético muy alto, de tipo Compact NS o multi 9 curva D (ver la **Figura N33**).

3 Protección de transformadores de BT/BT

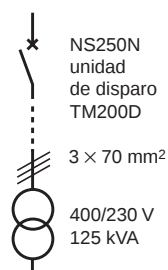


Fig. N34: Ejemplo.

Ejemplo:

Un circuito trifásico de 400 V da suministro a un transformador de 125 kVA 400/230 V ($I_n = 190$ A) para el que el primer pico de corriente de entrada puede alcanzar $17 I_n$, por ejemplo, $17 \times 190 = 3.230$ A. Por lo tanto, un interruptor automático NS 250N con un ajuste I_r de 200 A puede ser un dispositivo de protección adecuado.

Caso particular: protección contra las sobrecargas instalada en el lado secundario del transformador (ver la Figura N34).

Una ventaja de la protección contra las sobrecargas situada en el lado secundario es que la protección contra los cortocircuitos del lado primario puede establecerse en un valor elevado o, de forma alternativa, puede utilizarse un interruptor automático de tipo MA. El ajuste de protección contra los cortocircuitos del lado primario debe, no obstante, ser lo suficientemente sensible como para garantizar su funcionamiento en caso de que se produzca un cortocircuito en el lado secundario del transformador.

Nota: A veces, la protección primaria se proporciona mediante fusibles de tipo aM. Esta práctica tiene dos inconvenientes:

- Los fusibles deben estar ampliamente sobredimensionados (como mínimo 4 veces la corriente nominal de máxima carga del transformador).
- Para proporcionar instalaciones de aislamiento en el lado primario, es necesario asociar a los fusibles un seccionador para ruptura de carga o un contactor.

3.3 Características eléctricas típicas de transformadores BT/BT a 50 Hz

Trifásicos

Espec. kVA	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Sin carga pérdidas (W)	100	110	130	150	160	170	270	310	350	350	410	460	520	570	680	680	790	950	1.160	1.240	1.485	1.855	2.160
Máx. carga pérdidas (W)	250	320	390	500	600	840	800	1.180	1.240	1.530	1.650	2.150	2.540	3.700	3.700	5.900	5.900	6.500	7.400	9.300	9.400	1.140	1.140
Tensión SC (%)	4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5	5	4,5	5	5	5,5	4,5	5,5	5	5	4,5	6	6	5,5	5,5

Monofásicos

Especificaciones kVA	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	
Sin pérdidas de carga (W)	105	115	120	140	150	175	200	215	265	305	450	450	525	635	
Pérdidas de máxima carga (W)	400	530	635	730	865	1.065	1.200	1.400	1.900	2.000	2.450	3.950	3.950	4.335	
Tensión SC (%)	5	5	5	4,5	4,5	4,5	4	4	5	5	4,5	5,5	5	5	

3.4 Protección de transformadores BT/BT que utilizan interruptores automáticos Merlin Gerin

Interruptor automático multi 9

Potencia nominal del transformador (kVA)			Interruptor automático curva D o K	Tamaño (A)
230/240 V 1-f	230/240 V 3-f	400/415 V 3-f		
0,05	0,09	0,16	C60, NG125	0,5
0,11	0,18	0,32	C60, NG125	1
0,21	0,36	0,63	C60, NG125	2
0,33	0,58	1,0	C60, NG125	3
0,67	1,2	2,0	C60, NG125	6
1,1	1,8	3,2	C60, C120, NG125	10
1,7	2,9	5,0	C60, C120, NG125	16
2,1	3,6	6,3	C60, C120, NG125	20
2,7	4,6	8,0	C60, C120, NG125	25
3,3	5,8	10	C60, C120, NG125	32
4,2	7,2	13	C60, C120, NG125	40
5,3	9,2	16	C60, C120, NC100, NG125	50
6,7	12	20	C60, C120, NC100, NG125	63
8,3	14	25	C120, NC100, NG125	80
11	18	32	C120, NC100, NG125	100
13	23	40	C120, NG125	125

3 Protección de transformadores de BT/BT

Interruptores automáticos Compact NS100... NS250 con unidad de disparo TM-D

Potencia nominal del transformador (kVA)			Interruptor automático	Unidad de disparo
230/240 V 1-f	230/240 V 3-f 400/415 V 1-f	400/415 V 3-f		
3	5...6	9...12	NS100N/H/L	TM16D
5	8...9	14...16	NS100N/H/L	TM05D
7...9	13...16	22...28	NS100N/H/L	TM40D
12...15	20...25	35...44	NS100N/H/L	TM63D
16...19	26...32	45...56	NS100N/H/L	TM80D
18...23	32...40	55...69	NS160N/H/L	TM100D
23...29	40...50	69...87	NS160N/H/L	TM125D
29...37	51...64	89...111	NS250N/H/L	TM160D
37...46	64...80	111...139	NS250N/H/L	TM200D

Interruptores automáticos Compact NS100... NS1600 y Masterpact con unidad de disparo STR o Micrologic

Potencia nominal del transformador (kVA)			Interruptor automático	Unidad de disparo	Ajuste I_r máx.
230/240 V 1-f	230/240 V 3-f 400/415 V 1-f	400/415 V 3-f			
4...7	6...13	11...22	NS100N/H/L	STR22SE 40	0,8
9...19	16...30	27...56	NS100N/H/L	STR22SE 100	0,8
15...30	5...50	44...90	NS160N/H/L	STR22SE 160	0,8
23...46	40...80	70...139	NS250N/H/L	STR22SE 250	0,8
37...65	64...112	111...195	NS400N/H	STR23SE / 53UE 400	0,7
37...55	64...95	111...166	NS400L	STR23SE / 53UE 400	0,6
58...83	100...144	175...250	NS630N/H/L	STR23SE / 53UE 630	0,6
58...150	100...250	175...436	NS800N/H - NT08H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
74...184	107...319	222...554	NS800N/H - NT08H1 - NW08N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
90...230	159...398	277...693	NS1000N/H - NT10H1 - NW10N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
115...288	200...498	346...866	NS1250N/H - NT12H1 - NW12N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
147...368	256...640	443...1.108	NS1600N/H - NT16H1 - NW16N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
184...460	320...800	554...1.385	NW20N1/H1	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
230...575	400...1.000	690...1.730	NW25N2/H3	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1
294...736	510...1.280	886...2.217	NW32N2/H3	Micrologic 5,0/6,0/7,0	1

Fuente de comodidad y productividad, la iluminación representa el 15% de la cantidad de electricidad que se consume en la industria y el 40% en los edificios. La calidad de la iluminación (estabilidad de luz y continuidad de servicio) depende de la calidad de la energía eléctrica consumida. Por lo tanto, el suministro de potencia eléctrica para las redes de iluminación ha adquirido gran importancia. Para ayudar en su diseño y simplificar la selección de dispositivos de protección adecuados, se presenta un análisis de las diferentes tecnologías de lámparas. Se tratan las características distintivas de los circuitos de iluminación y su repercusión en los dispositivos de control y protección. Se dan recomendaciones para paliar las dificultades que se presentan en la instalación de circuitos de iluminación.

4.1 Las diferentes tecnologías de lámparas

Puede producirse radiación lumínica artificial a partir de energía eléctrica según dos principios: incandescencia y electroluminiscencia.

Incandescencia es la producción de luz mediante elevación de la temperatura. El ejemplo más conocido es el filamento calentado hasta alcanzar el estado blanco mediante circulación de una corriente eléctrica. La energía suministrada se transforma por el efecto Joule y en flujo lumínico.

Luminiscencia es el fenómeno de emisión por parte de un material de radiación lumínica visible o casi visible. Un gas (o vapor) sujeto a una descarga eléctrica emite radiación lumínica (electroluminiscencia de gases).

En la medida en que este gas no es conductor a temperatura y presión normales, la descarga se produce generando partículas cargadas que permiten la ionización del gas. La naturaleza, presión y temperatura del gas determinan el espectro lumínico.

Fotoluminiscencia es la luminiscencia de un material expuesto a radiación visible o casi visible (ultravioleta, infrarrojos).

Cuando la sustancia absorbe radiación ultravioleta y emite radiación visible que se detiene poco después de la puesta en tensión, esto se llama fluorescencia.

Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes son históricamente las más antiguas y más frecuentemente empleadas para uso común.

Están basadas en el principio de un filamento que se vuelve incandescente en una atmósfera vacía o neutra, lo que evita la combustión.

Se establece una distinción entre:

■ Bombillas estándar.

Se componen de un filamento de tungsteno y están rellenas de un gas inerte (nitrógeno y argón o kriptón).

■ Bombillas halógenas.

Éstas también se componen de un filamento de tungsteno, pero están rellenas de un compuesto halógeno y un gas inerte (kriptón o xenón). Este componente halógeno es el responsable del fenómeno de regeneración del filamento, lo que aumenta la vida útil de las lámparas y evita que se vuelvan negras. También permite una temperatura más alta del filamento y, por lo tanto, una mayor luminosidad en bombillas de menor tamaño.

La principal desventaja de las lámparas incandescentes es su alta disipación de calor, que trae como consecuencia una eficacia lumínica pobre.

Lámparas fluorescentes

Esta familia cubre los tubos fluorescentes y las lámparas fluorescentes compactas. Su tecnología se conoce habitualmente como "mercurio a baja presión".

En los tubos fluorescentes, una descarga eléctrica hace que los electrones choquen con iones de vapor de mercurio, lo que ocasiona una radiación ultravioleta debida a la excitación de los átomos de mercurio. A continuación, el material fluorescente, que cubre la parte interna de los tubos, transforma esta radiación en luz visible.

Los tubos fluorescentes disipan menos calor y tienen una vida útil más larga que las lámparas incandescentes, pero necesitan un dispositivo de ignición llamado "cebador" y un dispositivo para limitar la corriente en el arco tras la ignición. Este dispositivo, llamado "balasto", suele ser un amortiguador situado en serie con el arco.

Las lámparas fluorescentes compactas se basan en el mismo principio que los tubos fluorescentes. Las funciones del cebador y el balasto las proporciona un circuito electrónico (integrado en la lámpara) que posibilita el uso de tubos más pequeños enrollados sobre sí mismos.

Las lámparas fluorescentes compactas (ver la **Figura N35**) se han desarrollado para sustituir a las lámparas incandescentes: ofrecen un ahorro de energía considerable (15 W por 75 W a igual nivel de luminiscencia) y una vida útil más larga.

Las lámparas de tipo "inducción" o "sin electrodos" funcionan sobre el principio de ionización del gas presente en el tubo mediante un campo electromagnético de muy alta frecuencia (hasta 1 GHz). Su vida útil puede llegar hasta las 100.000 h.

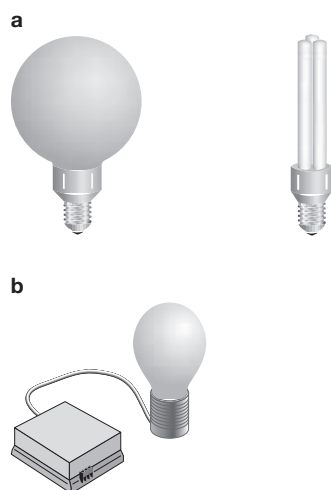


Fig. N35: Lámparas fluorescentes compactas [a] estándar, [b] inducción.



Fig. N36: Lámparas de descarga.

Lámparas de descarga (ver la **Figura N36**)

La luz se produce mediante una descarga eléctrica que se crea entre dos electrodos que están dentro de un gas incluido en una bombilla de cuarzo. Por lo tanto, estas lámparas necesitan una resistencia que limite la corriente en el arco. Se han desarrollado diversas tecnologías para diferentes aplicaciones.

Lámparas de vapor de sodio de baja presión

Cuentan con la mejor salida lumínica, sin embargo, el rendimiento de color es muy pobre en la medida en que sólo proporcionan una radiación naranja monocromática. Las lámparas de vapor de sodio de alta presión producen una luz blanca con un tinte naranja.

En las lámparas de vapor de mercurio de alta presión, la descarga se produce en una bombilla de cuarzo o cerámica a altas temperaturas. Éstas se llaman "lámparas de descarga de mercurio fluorescente". Producen una luz blanca azulada característica. Las lámparas de haluro metálico son la última tecnología. Producen una tonalidad de amplio espectro de colores. El uso de un tubo cerámico proporciona una mejor eficacia lumínica y una mejor estabilidad de color.

Diodos emisores de luz (LED)

El principio de los diodos emisores de luz es la emisión de luz por parte de un semiconductor mientras una corriente eléctrica lo atraviesa. Los LED se encuentran en numerosas aplicaciones, pero el desarrollo reciente de diodos blancos o azules con una alta salida lumínica abre nuevas perspectivas, especialmente para señalizaciones (semáforos, indicaciones de salida o alumbrado de emergencia). Los LED son dispositivos de baja tensión y baja corriente, por lo tanto, son adecuados para su uso con baterías. Se necesita un transformador para el suministro mediante corriente eléctrica. La ventaja de los LED es su bajo consumo de energía. Por ello, funcionan a muy baja temperatura, lo que les confiere una vida útil muy larga. Por el contrario, un simple diodo tiene una intensidad lumínica débil. Por lo tanto, una instalación de luz de alta potencia requiere la conexión de un amplio número de unidades en serie o en paralelo.

N28

Tecnología	Aplicación	Ventajas	Inconvenientes
Incandescencia estándar	– Uso doméstico – Iluminación decorativa localizada	– Conexión directa sin aparatos eléctricos intermedios – Precio razonable – Tamaño compacto – Iluminación instantánea – Buen rendimiento de color	– Eficacia lumínica baja y alto consumo de electricidad – Alta disipación de calor – Corta vida útil
Incandescencia halógena	– Iluminación dirigida a puntos precisos – Iluminación intensa	– Conexión directa – Eficacia instantánea – Rendimiento de color excelente	– Eficacia lumínica media
Tubo fluorescente	– Tiendas, oficinas, talleres – Exteriores	– Eficacia lumínica alta – Rendimiento de color medio	– Intensidad lumínica baja de una sola unidad – Sensible a temperaturas extremas
Lámpara fluorescente compacta	– Uso doméstico – Oficinas – Sustitución de lámparas incandescentes	– Eficacia lumínica buena – Buen rendimiento de color	– Inversión inicial alta en comparación con las lámparas incandescentes
Vapor de mercurio de alta presión	– Talleres, vestíbulos, hangares – Fábricas	– Eficacia lumínica buena – Rendimiento de color aceptable – Tamaño compacto – Larga vida útil	– Tiempo de iluminación y reiluminación de algunos minutos
Sodio de alta presión	– Exteriores – Amplios vestíbulos	– Eficacia lumínica muy buena	– Tiempo de iluminación y reiluminación de algunos minutos
Sodio de baja presión	– Exteriores – Alumbrado de emergencia	– Buena visibilidad en condiciones de bruma – Uso económico	– Tiempo de iluminación largo (5 min.) – Rendimiento de color mediocre
Haluro metálico	– Áreas amplias – Vestíbulos con techos altos	– Eficacia lumínica buena – Buen rendimiento de color – Larga vida útil	– Tiempo de iluminación y reiluminación de algunos minutos
LED	– Señalización (semáforos, indicaciones de "salida" y alumbrado de emergencia)	– Insensibles al número de operaciones de apagado y encendido – Bajo consumo de energía – Baja temperatura	– Número de colores limitado – Baja iluminación de una sola unidad

Tecnología	Potencia (vatios)	Eficacia (lúmenes/vatios)	Vida útil (horas)
Incandescencia estándar	3 - 1.000	10 - 15	1.000 - 2.000
Incandescencia halógena	5 - 500	15 - 25	2.000 - 4.000
Tubo fluorescente	4 - 56	50 - 100	7.500 - 24.000
Lámpara fluorescente compacta	5 - 40	50 - 80	10.000 - 20.000
Vapor de mercurio de alta pres.	40 - 1.000	25 - 55	16.000 - 24.000
Sodio de alta presión	35 - 1.000	40 - 140	16.000 - 24.000
Sodio de baja presión	35 - 180	100 - 185	14.000 - 18.000
Haluro metálico	30 - 2.000	50 - 115	6.000 - 20.000
LED	0,05 - 0,1	10 - 30	40.000 - 100.000

Fig. N37: Características técnicas y de uso de los dispositivos de iluminación.

4.2 Características eléctricas de las lámparas

Lámparas incandescentes con suministro eléctrico directo

Como consecuencia de la altísima temperatura del filamento durante su funcionamiento (hasta 2.500 °C), su resistencia varía en gran medida en función de si la lámpara está apagada o encendida. Como la resistencia en frío es baja, se produce un pico de corriente en la ignición que puede alcanzar de 10 a 15 veces la corriente nominal durante unos pocos milisegundos o incluso varios milisegundos. Este problema afecta tanto a las lámparas comunes como a las halógenas: esto limita el número máximo de lámparas que pueden alimentarse por medio de dispositivos como interruptores de control remoto, contactores modulares y relés para canalización eléctrica.

Lámparas halógenas de muy baja tensión (MBT)

■ Algunas lámparas halógenas de baja tensión reciben suministro con MBT de 12 o 24 V a través de un transformador o un convertidor electrónico. Con un transformador, el fenómeno de la magnetización se combina con el fenómeno de variación de resistencia del filamento en el momento del encendido. La corriente de entrada puede alcanzar de 50 a 75 veces la corriente nominal durante unos pocos milisegundos. El uso de atenuadores situados aguas arriba reduce significativamente este problema.

■ Los convertidores electrónicos, con la misma potencia nominal, son más costosos que las soluciones con un transformador. Este inconveniente se ve compensado por la mayor facilidad de instalación, dado que su baja disipación de calor hace que puedan colocarse en un soporte inflamable. Además, suelen contar con protección térmica incorporada.

Las nuevas lámparas halógenas de MBT ya vienen con un transformador integrado en su base. Pueden recibir suministro directamente desde la línea de BT y pueden sustituir a las lámparas normales sin ningún tipo de adaptación especial.

Atenuación para lámparas incandescentes

Puede obtenerse variando la tensión aplicada a la lámpara.

Esta variación de tensión suele llevarla a cabo un dispositivo como un atenuador Triac, variando el ángulo de fuego en el período de tensión de la línea eléctrica. La forma de la onda de la tensión aplicada a la lámpara se muestra en la **Figura N38a**. Esta técnica, que se conoce como "control de corte", es adecuada para dar suministro a circuitos resistivos o inductivos. Se ha desarrollado otra técnica adecuada para dar suministro a circuitos capacitivos con componente electrónicos MOS o IGBT. Esta técnica varía la tensión mediante el bloqueo de la corriente antes del final del período medio (ver la **Figura N38b**) y se conoce como "control de corte". Encender la lámpara gradualmente también puede reducir, o incluso eliminar, el pico de corriente en la ignición.

Como la corriente de la lámpara se ve distorsionada por la conmutación electrónica, se producen corrientes de armónicos. Predominan los armónicos de tercer orden, y el porcentaje de corriente de terceros armónicos en relación con la corriente fundamental máxima (en máxima potencia) se representa en la **Figura N39**.

Observe que, en la práctica, la potencia que un atenuador aplica a la lámpara solamente puede variar en el rango del 15 al 85% de la potencia máxima de la lámpara.

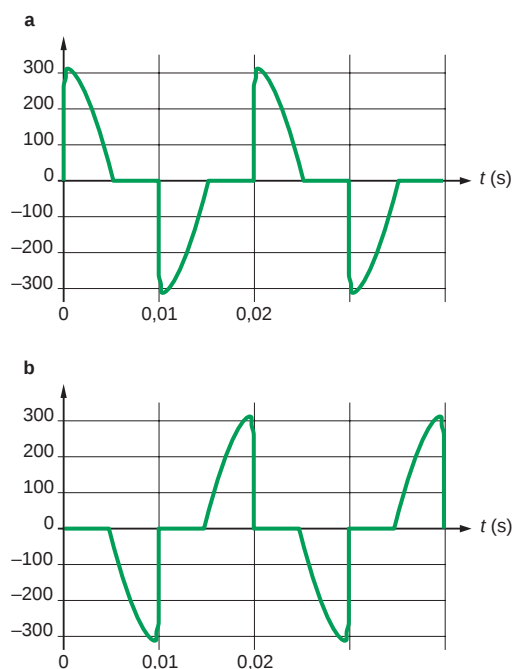


Fig. N38: Forma de la tensión que suministra un atenuador al 50% de la potencia máxima con las siguientes técnicas:
a - "control cut-on".
b - "control cut-off".

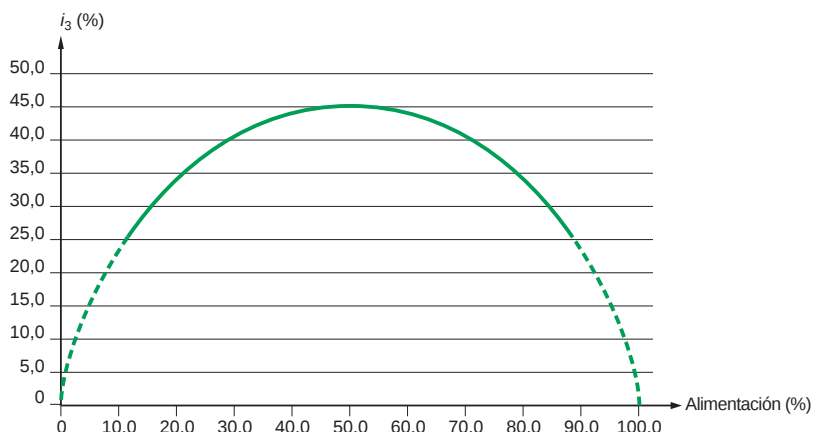


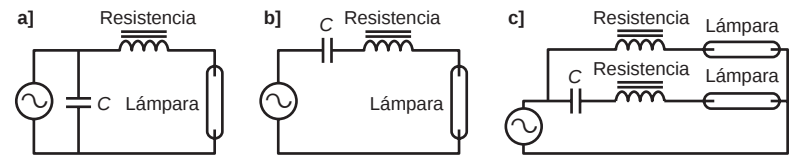
Fig. N39: Porcentaje de corriente de terceros armónicos como función de la potencia aplicada a una lámpara incandescente utilizando un atenuador electrónico.

Según la norma IEC 61000-3-2 que establece los límites de emisión de armónicos para sistemas eléctricos o electrónicos con corriente ≤ 16 A, se aplican las siguientes disposiciones:

- A los atenuadores independientes para lámparas incandescentes con una potencia nominal menor o igual a 1 kW no se les aplica ningún límite.
- En caso contrario, o para equipos de iluminación incandescente con un atenuador incorporado o con un atenuador en una caja, la corriente de terceros armónicos aceptable es igual a 2,30 A.

Lámparas fluorescentes con balasto magnético

Los tubos fluorescentes y las lámparas de descarga requieren que se limite la intensidad del arco; esta función se lleva a cabo con una inductancia o balasto magnético situado en serie con la propia bombilla (ver la **Figura N40**). Este montaje se utiliza con mayor frecuencia en instalaciones domésticas con un número de tubos limitado. No se aplican restricciones especiales a los interruptores. Los variadores de luminosidad no son compatibles con los balastos magnéticos: la interrupción de la tensión durante una fracción del período interrumpe la descarga y apaga completamente la lámpara. El cebador tiene una doble función: precalentar los electrodos del tubo y, a continuación, generar una sobretensión para encenderlo. Esta sobretensión se genera mediante la apertura de un contacto (controlado por un interruptor térmico) que interrumpe la corriente que circula por el balasto magnético. Durante el funcionamiento del cebador (1 segundo más o menos) la corriente que genera la luminaria es aproximadamente el doble de la corriente nominal. Dado que la corriente del conjunto formado por el tubo y balasto es esencialmente inductiva, el factor de potencia es muy bajo (una media entre 0,4 y 0,5). En instalaciones con gran número de tubos, es necesario compensar para mejorar el factor de potencia. En las grandes instalaciones de iluminación, una solución posible es la compensación centralizada con baterías de condensadores, pero esta compensación se incluye más a menudo en cada luminaria según diferentes disposiciones (ver la **Figura N41**).



Disp. de compensación	Aplicación	Comentarios
Sin compensación	Doméstica	Conexión única
Paralela [a]	Oficinas, talleres, grandes superficies	Riesgo de sobreintensidad para dispositivos de control
Serie [b]		Escoja condensadores con alta tensión de funcionamiento (de 450 a 480 V)
Dual [c]		Evita parpadeo

Fig. N41: Diferentes disposiciones de compensación: [a] paralela; [b] serie; [c] serie dual, también llamada “duo” y sus campos de aplicación.

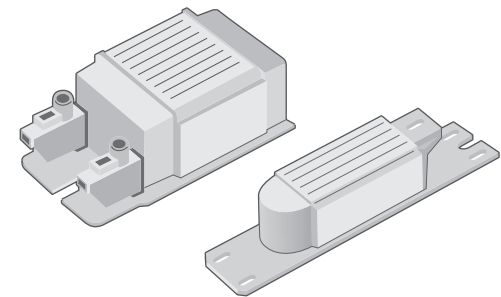


Fig. N40: Balastos magnéticos.

Por tanto, los condensadores de compensación están adaptados de manera que el factor de potencia global sea mayor de 0,85. En el caso más habitual de compensación paralela, su capacidad media es 1 μ F para 10 W de potencia activa para cualquier tipo de lámpara. No obstante, esta compensación no es compatible con atenuadores.

Problemas que afectan a la compensación

La disposición de compensación paralela plantea problemas en el encendido de la lámpara. Dado que el condensador está inicialmente descargado, el encendido provoca una sobreintensidad. También aparece una sobretensión por las oscilaciones del circuito formado por el condensador y la inductancia de la fuente de alimentación. Puede utilizarse el siguiente ejemplo para determinar los órdenes de magnitud.

Imaginemos un montaje de 50 tubos fluorescentes de 36 W cada uno:

- Potencia activa total: 1.800 W.
- Potencia aparente: 2 kVA.
- Corriente rms total: 9 A.
- Corriente pico: 13 A.

Con:

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

La corriente pico máxima en el encendido equivale a:

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

Por lo tanto, la corriente pico teórica en el encendido puede alcanzar **27 veces** la corriente pico durante el funcionamiento normal.

La forma de la tensión y la corriente en el encendido viene dada en la **Figura N42** para el cierre de interruptor en el pico de corriente de suministro eléctrico.

Por lo tanto, existe un riesgo de unión de contacto en dispositivos de control electromecánico (interruptor de control remoto, contactor, interruptor automático) o daños en interruptores de estado sólido con semiconductores.

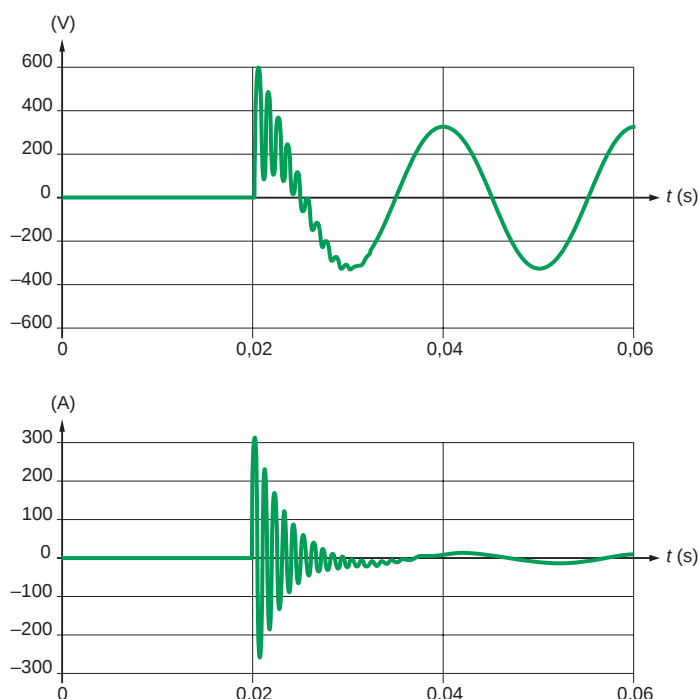


Fig. N42: Tensión de alimentación eléctrica en el encendido y corriente de entrada.

En realidad, los problemas suelen ser menos importantes, debido a la impedancia de los cables.

La ignición de tubos fluorescentes en grupos implica un problema específico. Cuando un grupo de tubos fluorescentes ya está encendido, los condensadores de compensación de esos tubos que ya tienen tensión participan en la corriente de entrada en el momento del encendido de un segundo grupo de tubos: lo hacen "amplificando" el pico de corriente en el interruptor de control en el momento del encendido del segundo grupo.

La tabla de la **Figura N43**, que es resultado de mediciones, especifica la magnitud del primer pico de corriente según diferentes valores de corriente de cortocircuito I_{cc} prevista. Puede apreciarse que el pico de corriente puede multiplicarse por 2 o 3, en función del número de tubos que ya estén en uso en el momento de la conexión del último grupo de tubos.

Número de tubos ya en uso	Número de tubos conectados	Pico de corriente de conexión (A)		
		$I_{cc} = 1.500\text{ A}$	$I_{cc} = 3.000\text{ A}$	$I_{cc} = 6.000\text{ A}$
0	14	233	250	320
14	14	558	556	575
28	14	608	607	624
42	14	618	616	632

Fig. N43: Magnitud del pico de corriente en el interruptor de control en el momento del encendido de un segundo grupo de tubos.

No obstante, se recomienda un encendido secuencial de cada grupo de tubos para reducir el pico de corriente en el interruptor principal.

A los balastos magnéticos más recientes se les denomina de “baja pérdida”. Se ha optimizado el circuito magnético, pero el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo. Esta nueva generación de balastos está generalizándose en su uso por influencia de las nuevas reglamentaciones (Directiva Europea, Ley de política energética - EE.UU.).

En estas condiciones, es probable que el uso de balastos electrónicos se incremente en detrimento de los balastos magnéticos.

Lámparas fluorescentes con balastos electrónicos

Los balastos electrónicos se utilizan como sustituto de los magnéticos para suministrar potencia a los tubos fluorescentes (incluidas las lámparas fluorescentes compactas) y las lámparas de descarga. También proporcionan la función del “cebador” y no necesitan ninguna capacidad de compensación.

El principio de funcionamiento de la resistencia electrónica (ver la **Figura N44**) consiste en alimentar el arco de la lámpara a través de un dispositivo electrónico que genera una tensión de corriente alterna de forma rectangular con una frecuencia entre 20 y 60 kHz.

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

Durante el período de precalentamiento de una lámpara de descarga, este tipo de balasto suministra a la lámpara con tensión creciente, imponiendo una corriente casi constante. En la fase fija, regula la tensión que se aplica a la lámpara independientemente de cualquier fluctuación de la tensión de la línea eléctrica.

Dado que al arco se alimenta en condiciones de tensión óptimas, se produce un ahorro energético del 5 al 10% y una mayor vida útil de la lámpara. Además, la eficacia del balasto electrónico puede ser superior al 93%, mientras que la eficacia de un dispositivo magnético es sólo del 85%.

El factor de potencia es elevado (> 0,9).

El balasto electrónico también se utiliza para la función de atenuación de luz. Al variar la frecuencia, en realidad, se varía la magnitud de corriente en el arco y, por ello, la intensidad lumínica.

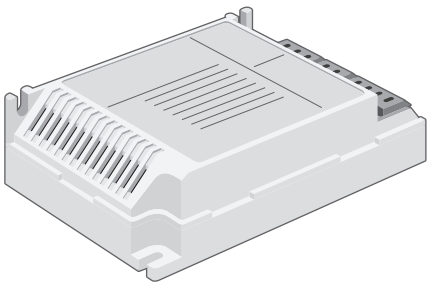
Corriente de entrada

El principal problema que los balastos electrónicos ocasionan a los suministros de las líneas eléctricas es la alta corriente de entrada en el encendido debido a la carga inicial de los condensadores de filtrado (ver la **Figura N45**).

Tecnología	Corriente de entrada máx.	Duración
Rectificador con PFC	De 30 a 100 I_n	$\leq 1\text{ ms}$
Rectificador con amortiguador	De 10 a 30 I_n	$\leq 5\text{ ms}$
Balasto magnético	$\leq 13\text{ }I_n$	De 5 a 10 ms

Fig. N45: Órdenes de magnitud de los valores máximos de corrientes de entrada, en función de las tecnologías usadas.

Fig. N44: Balasto electrónico.



En realidad, debido a las impedancias de los cables, las corrientes de entrada para un conjunto de lámparas es mucho menor que estos valores, del orden de 5 a 10 I_n para menos de 5 ms. A diferencia de los balastos magnéticos, esta corriente de entrada no viene acompañada de una sobretensión.

Corrientes de armónicos

Para balastos asociados a lámparas de descarga de alta potencia, la corriente que genera el suministro de línea eléctrica tiene una tasa de distorsión de armónicos baja (< 20% en general y < 10% para los dispositivos más sofisticados). Por el contrario, los dispositivos asociados a lámparas de baja potencia, en particular las lámparas fluorescentes compactas, generan una corriente muy distorsionada (ver la Fig. N46). La distorsión de armónicos total puede alcanzar el 150%. En estas condiciones, la corriente rms que genera la línea eléctrica equivale a 1,8 veces la corriente correspondiente a la potencia activa de la lámpara, que corresponde a un factor de potencia de 0,55.

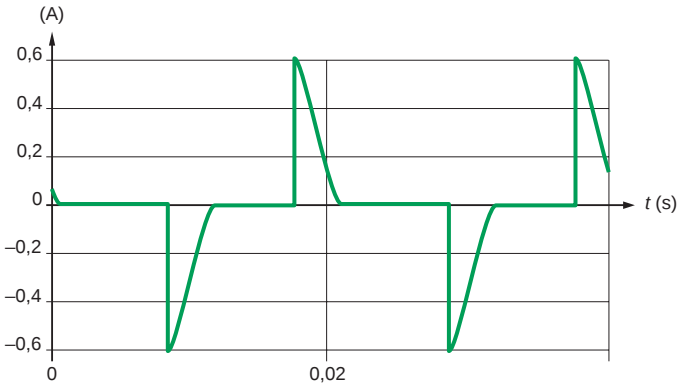


Fig. N46: Forma de la corriente absorbida por una lámpara fluorescente compacta.

Para equilibrar la carga entre las diferentes fases, los circuitos de iluminación suelen encontrarse conectados entre fases y neutro de modo equilibrado. En estas condiciones, el nivel elevado de terceros armónicos y armónicos múltiplos de 3 puede ocasionar una sobrecarga del conductor neutro. La situación menos favorable ocasiona una corriente neutra que puede alcanzar $\sqrt{3}$ veces la corriente en cada fase.

Los límites de emisión de armónicos de sistemas eléctricos o electrónicos se establecen en la norma IEC 61000-3-2. Para simplificar, se indican aquí los límites de los equipos de iluminación sólo para los armónicos de tercer y quinto orden, que son los más importantes (ver la Figura N47).

N33

Rango de armónicos	Potencia de entrada activa > 25 W	Potencia de entrada activa ≤ 25 W se aplica uno de los 2 ajustes de límites	
	% de corriente fundamental	% de corriente fundamental	Corriente de armónicos relativa a la potencia activa
3	30	86	3,4 mA/W
5	10	61	1,9 mA/W

Fig. N47: Máxima corriente de armónicos aceptable.

Corrientes de fuga

Los balastos electrónicos suelen disponer de condensadores situados entre los conductores de la fuente de alimentación y la tierra. Estos condensadores de supresión de interferencias son los responsables de la circulación de una corriente de fuga permanente del orden de 0,5 a 1 mA por balasto. Por lo tanto, esto limita el número de balastos que es posible alimentar mediante un dispositivo de corriente diferencial residual (DDR).

En el encendido, la carga inicial de estos condensadores también puede ocasionar la circulación de un pico de corriente cuya magnitud alcance varios amperios durante 10 μ s. Este pico de corriente puede causar disparos intempestivos de dispositivos no adecuados.

Emisiones de alta frecuencia

Los balastos electrónicos son las responsables de las emisiones conducidas y radiadas de alta frecuencia.

Los extremos ascendentes muy pronunciados aplicados a los conductores de salida de los balastos provocan impulsos de corriente que circulan por la capacidad parásita hasta tierra. Como resultado, las corrientes parásitas circulan por el conductor de puesta a tierra y los conductores de la fuente de alimentación. Debido a las altas frecuencias de estas corrientes, existe también radiación electromagnética. Para limitar estas emisiones de alta frecuencia, la lámpara debe situarse en las proximidades inmediatas del balasto, para reducir de esta manera la longitud de los conductores que emiten radiaciones más intensas.

Diferentes modos de alimentación eléctrica (ver la **Figura N48**)

Tecnología	Modo alimentación eléctrica	Otro dispositivo
Incandescencia estándar	Alimentación eléctrica directa	Atenuador
Incandescencia halógena		
Incandescencia halógena MBT	Transformador	Convertidor electrónico
Tubo fluorescente	Balasto magnético y cebador	Balasto electrónico Atenuador electrónico + balasto
Lámpara fluorescente compacta	Balasto electrónico integrado	
Vapor de mercurio	Balasto magnético	Balasto electrónico
Sodio de alta presión		
Sodio de baja presión		
Haluro metálico		

Fig. N48: Diferentes modos de alimentación eléctrica.

4.3 Problemas de los dispositivos de iluminación y recomendaciones

Corriente generada realmente por luminarias

Riesgo

Esta característica es la primera que debería definirse al crear una instalación; en caso contrario, es muy probable que los dispositivos de protección contra las sobrecargas se disparen y los usuarios se encuentren a oscuras a menudo.

Es evidente que su diseño debería tener en cuenta el consumo de todos los componentes, especialmente en las instalaciones de iluminación fluorescente, porque la potencia que consumen los balastos debe añadirse a la de los tubos y las bombillas.

Solución

En la iluminación incandescente, habría que recordar que la tensión de la línea eléctrica puede ser superior al 10% de su valor nominal, lo que podría causar un incremento en la generación de corriente.

En la iluminación fluorescente, a no ser que se especifique de otra manera, la potencia de los balastos magnéticos puede evaluarse en el 25% de la de las bombillas. Para los balastos electrónicos, esta potencia es menor, del orden del 5 al 10%.

Los umbrales de los dispositivos de protección contra las sobreintensidades deberían calcularse, por lo tanto, en función de la potencia total y del factor de potencia, calculados para cada circuito.

Sobreintensidades en el encendido

Riesgo

Los dispositivos utilizados para controlar y proteger los circuitos de iluminación son del tipo relés, triac, interruptores de control remoto, contactores o interruptores automáticos.

El principal inconveniente de estos dispositivos es el pico de corriente en el momento de la puesta en tensión.

Este pico de corriente depende de la tecnología de lámparas que se utilice, pero también de las características de la instalación (potencia del transformador de suministro, longitud de los cables, número de lámparas) y del momento de puesta en tensión en el período de tensión de la línea eléctrica. Un pico de corriente elevado, aunque sea fugaz, puede causar que los contactos de un dispositivo de control electromecánico se suelden o se dañe un dispositivo de estado sólido con semiconductores.

Dos soluciones

A causa de la corriente de entrada, la mayoría de relés comunes son incompatibles con la fuente de alimentación del dispositivo de iluminación. Por lo tanto, suelen hacerse las siguientes recomendaciones:

- Limitar el número de lámparas conectadas a un único dispositivo, de manera que su potencia total sea menor que la potencia máxima admisible para el dispositivo.
- Verificar los límites de funcionamiento de los dispositivos que sugieren los fabricantes. Esta precaución es particularmente importante al sustituir lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas.

Por ejemplo, la tabla de la **Figura N49** indica el número máximo de tubos fluorescentes compensados que pueden controlarse por medio de diversos dispositivos con especificaciones de 16 A. Observe que el número de tubos controlados está por debajo del número que corresponde a la potencia máxima de los dispositivos.

Requisito de potencia por unidad de tubo (W)	Número de tubos que corresponden a la potencia 16 A × 230 V	Máximo número de tubos que pueden controlar los		
		Contadores GC16 A CT16 A	Telerruptores de control remoto TL16 A	Interr. autom. C60-16 A
18	204	15	50	112
36	102	15	25	56
58	63	10	16	34

Fig. N49: El número de tubos controlados está por debajo del número que corresponde a la potencia máxima de los dispositivos.

Pero existe una técnica para limitar el pico de corriente en el momento de la puesta en tensión de circuitos de comportamiento capacitivo (balastos magnéticos con compensación paralela y balastos electrónicos). Consiste en garantizar que la activación tenga lugar en el momento en que la tensión de la línea eléctrica pase por cero. Sólo los interruptores de estado sólido con semiconductores ofrecen esta posibilidad (ver la **Figura N50a**). Esta técnica se ha demostrado particularmente útil en el diseño de nuevos circuitos de iluminación.

Más recientemente, se han desarrollado dispositivos de tecnología híbrida que combinan un interruptor de estado sólido (activación cuando la tensión pasa por cero) y un contactor electromecánico que cortocircuita el interruptor de estado sólido (reducción de pérdidas en semiconductores) (ver la **Figura N50b**).

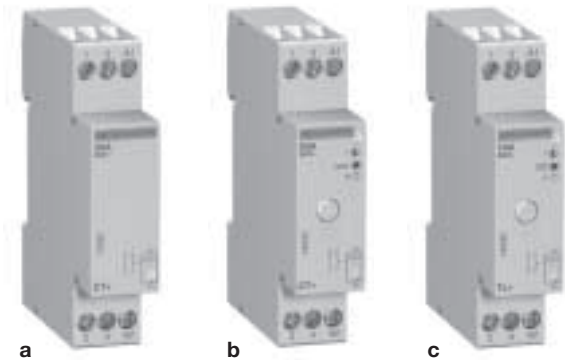


Fig. N50: CT “estándar” + contactor [a], CT + contactor con mando manual, pulsador para seleccionar el modo de funcionamiento y lámpara indicadora que muestra el modo de funcionamiento activo [b], y TL de la marca Merlin Gerin + telerruptor [c].

Número máximo de lámparas conectadas a telerruptores Merlin Gerin TL 16 A y TL 32 A (suministro monofásico de 230 V)

Tipo de lámpara	Potencia lámpara (W)	TL 16 A	TL 32 A
Incandescencia estándar	40	40	106
	60	25	66
	75	20	53
	100	16	42
	200	8	21
	Potencia total	1.600 W	4.260 W
Incandescencia halógena	300	5	13
	500	3	8
	1.000	1	4
	1.500	1	2
	Potencia total	1.500 W	4.000 W
Halógena MBT	20	70	180
	50	28	74
	75	19	50
	100	14	37
	Potencia total	1.400 W	3.700 W
Lámpara fluorescente no compensada	18	70	186
	36	35	73
	58	21	55
	Potencia total	1.300 W	3.400 W
Lámpara fluorescente compensada	18	50	133
	36	25	66
	58	16	42
	Potencia total	930 W	2.400 W
Lámpara fluorescente compensada dual	2 × 18	56	148
	2 × 36	28	74
	2 × 58	17	45
	Potencia total	2.000 W	5.300 W
Lámpara fluorescente con resistencia electrónica	16	80	212
	32	40	106
	50	26	69
	Potencia total	1.300 W	3.400 W
Lámpara fluorescente dual con resistencia electrónica	2 × 16	40	106
	2 × 32	20	53
	2 × 50	13	34
	Potencia total	1.300 W	3.400 W
Sodio de baja presión	55	24	63
	90	15	40
	135	10	26
	180	7	18
	Potencia total	1.300 W	3.400 W
Sodio AP, haluro metálico	250	5	13
	400	3	8
	1.000	1	3
	Potencia total	1.300 W	3.400 W

Fig. N51: Número máximo de lámparas conectadas a telerruptores Merlin Gerin TL 16 A y TL 32 A.

Número máximo de lámparas conectadas a contactores Telemecanique GC y Merlin Gerin CT (suministro monofásico de 230 V)

Tipo de lámpara	Potencia de la lámpara (W)	GC 16 A CT 16 A	GC 25 A CT 25 A	GC 40 A CT 40 A	GC 63 A CT 63 A
Incandescencia estándar	40	38	57	115	172
	60	30	45	85	125
	75	25	38	70	100
	100	19	28	50	73
	150	12	18	35	50
	200	10	14	26	37
Incandescencia halógena	300	7	10	18	25
	500	4	6	10	15
	1.000	2	3	6	8
Halógena ELV	20	15	23	42	63
	50	10	15	27	42
	75	8	12	23	35
	100	6	9	18	27
Lámpara fluorescente no compensada	18	22	30	70	100
	36	20	28	60	90
	58	13	17	35	56
Lámpara fluorescente compensada	18	15	20	40	60
	36	15	20	40	60
	58	10	15	30	43
Lámpara fluorescente compensada dual	2 × 18	30	46	80	123
	2 × 36	17	25	43	67
	2 × 58	10	16	27	42
Lámpara fluorescente con resistencia electrónica	18	74	111	222	333
	36	38	58	117	176
	58	25	37	74	111
Lámpara fluorescente dual con resistencia electrónica	2 × 18	36	55	111	166
	2 × 36	20	30	60	90
	2 × 58	12	19	38	57
Sodio de baja presión	18	14	21	40	60
	35	3	5	10	15
	55	3	5	10	15
	90	2	4	8	11
	135	1	2	5	7
	180	1	2	4	6
Sodio AP, haluro metálico	70	6	9	18	25
	150	6	9	18	25
	250	2	4	8	12
	400	2	3	6	9
	1.000	1	2	4	6

Fig. N52: Número máximo de lámparas conectadas a contactores Telemecanique GC y Merlin Gerin CT.

Número máximo de balastos conectados a interruptores automáticos Merlin Gerin C60N (número de luminarias por fase, con suministro de 230/400 V)

Los datos siguientes (ver la **Figura N53**) se indican para la curva de disparo D (disparo magnético que actúa entre 10 y 14 I_n), que permite que estén conectados el máximo número de equipos, con protección térmica segura y sin riesgo de disparos no deseados en el encendido.

Equipo	Potencia del tubo (W)	Especificaciones de corriente CB (A)													
		1	2	3	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Balasto magnético sin compensación	18	4	9	14	29	49	78	98	122	157	196				
	36	2	4	7	14	24	39	49	61	78	98				
	58	1	3	4	9	15	24	30	38	48	60				
Balasto magnético con compensación	18	7	14	21	42	70	112	140	175	225	281	351	443	562	703
	36	3	7	10	21	35	56	70	87	112	140	175	221	281	351
	58	2	4	6	13	21	34	43	54	69	87	109	137	174	218
	2 × 18	3	7	10	21	35	58	70	87	112	140	175	221	281	351
	2 × 36	1	3	5	10	17	26	35	43	56	70	87	110	140	175
	2 × 58	1	2	3	6	10	17	21	27	34	43	54	68	87	109
Balasto electrónico	18	5	11	17	35	58	93	117	146	186	230	290	366		
	36	4	8	13	26	43	71	90	113	144	179	226	284		
	58	2	5	10	20	33	58	68	85	109	136	171	215		
	2 × 18	4	8	13	26	43	71	90	113	144	179	226	284		
	2 × 36	2	5	8	15	26	44	55	69	88	110	137	173		
	2 × 58	1	5	5	11	18	30	38	47	61	76	95	120		

Fig. N53: Número máximo de balastos conectados a interruptores automáticos Merlin Gerin C60N.

Sobrecarga del conductor neutro

Riesgo

En una instalación que incluye, por ejemplo, numerosos tubos fluorescentes con balastos electrónicos que reciben suministro entre las fases y el neutro, el número de armónicos de tercer orden y de armónicos múltiplos de 3 puede provocar una sobrecarga del conductor neutro. La **Figura N54** siguiente ofrece una visión general de armónicos de tercer nivel que crea la iluminación.

Tipo de lámpara	Potencia típica	Modo de ajuste	Nivel típico de armónicos de 3.º nivel
Lámpara incandescente con atenuador	100 W	Atenuador de luz	Del 5 al 85%
Lámpara halógena ELV	25 W	Transformador ELV electrónico	5%
Tubo fluorescente	100 W	Balasto magnético	10%
	< 25 W	Balasto electrónico	85%
	> 25 W	+ PFC	30%
Lámpara de descarga	100 W	Balasto magnético	10%
		Balasto eléctrico	30%

Fig. N54: Visión general de armónicos de tercer nivel que crea la iluminación.

Solución

En primer lugar, el uso de un conductor neutro con una sección transversal pequeña (mitad) debe estar prohibido, como se indica en la norma de instalación IEC 60364, sección 523-5-3.

Respecto a los dispositivos de protección contra las sobreintensidades, es necesario facilitar interruptores automáticos de 4 polos con neutro protegido (excepto para el sistema TN-C, para el que no debe cortarse el PEN, un conductor combinado de protección y neutro).

Este tipo de dispositivo también puede utilizarse para la intervención de todos los polos necesarios para dar suministro a las luminarias en tensión compuesta en caso de que se produzca un defecto.

Por lo tanto, un dispositivo de corte debería interrumpir la fase y el circuito neutro simultáneamente.

Corrientes de fuga a tierra

Riesgo

En el encendido, las capacidades eléctricas de tierra de los balastos electrónicos son las responsables de los picos de corriente residuales que pueden ocasionar el disparo intempestivo de los dispositivos de protección.

Dos soluciones

Se recomienda (incluso puede ser esencial) el uso de dispositivos de corriente residual inmunizados contra este tipo de corrientes de impulso cuando se equipe una instalación existente (ver la **Figura N55**).

En una nueva instalación, es conveniente instalar dispositivos de control de estado sólido o híbridos (contactores y telerruptores) que reduzcan estas corrientes de impulso (activación cuando la tensión pase por cero).

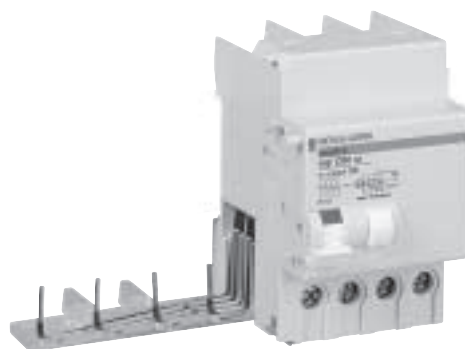


Fig. N55: Interruptor diferencial Superinmunizado contra las corrientes impulsionales (marca Merlin Gerin).

Sobretensiones

Riesgo

Como se ha ilustrado en secciones precedentes, el encendido de un circuito de iluminación ocasiona un estado transitorio que se manifiesta en una sobreintensidad significativa. Esta sobreintensidad está acompañada de una fuerte fluctuación de tensión aplicada a los terminales de carga conectados al mismo circuito.

Las fluctuaciones de tensión pueden ir en detrimento del correcto funcionamiento de las cargas sensibles (ordenadores personales, controladores de temperatura, etc.).

Solución

Es recomendable separar la fuente de alimentación de estas cargas sensibles de la fuente de alimentación del circuito de iluminación.

Sensibilidad de los dispositivos de iluminación a las perturbaciones de la tensión de la línea eléctrica

Interrupciones breves

■ Riesgo.

Las lámparas de descarga necesitan un tiempo de reiluminación de unos pocos minutos después de que la fuente de alimentación se haya apagado.

■ Solución.

Si los requisitos de seguridad así lo aconsejan, debe proporcionarse iluminación parcial con reiluminación instantánea (lámparas incandescentes o tubos fluorescentes o lámparas de descarga con "recebado instantáneo"). Su circuito de alimentación suele ser, según las regulaciones actuales, diferente del circuito de iluminación principal.

Fluctuaciones de tensión

■ Riesgo.

La mayoría de dispositivos de iluminación (con excepción de las lámparas que reciben suministro de balastos electrónicos) son sensibles a las rápidas fluctuaciones de la tensión de alimentación. Estas fluctuaciones provocan un fenómeno de parpadeo que es desagradable para los usuarios e incluso puede causar problemas considerables. Éstos dependen tanto de la frecuencia de las variaciones como de su magnitud.

La norma IEC 61000-2-2 ("niveles de compatibilidad para perturbaciones conducidas de baja frecuencia") especifica la magnitud máxima aceptable de variaciones de tensión como una función del número de variaciones por segundo o por minuto. Estas fluctuaciones de tensión están causadas principalmente por cargas de fluctuación de alta potencia (hornos de arco, máquinas de soldadura, motores de arranque).

■ Solución.

Pueden utilizarse métodos especiales para reducir las fluctuaciones de tensión. No obstante, es recomendable, siempre que sea posible, alimentar los circuitos de iluminación mediante una línea eléctrica separada.

Se recomienda el uso de balastos electrónicos para las aplicaciones exigentes (hospitales, salas blancas, salas de inspección, salas de ordenadores, etc.).

Desarrollos en equipos de control y protección

El uso de atenuadores de luz es cada vez más común. Por lo tanto, los problemas en el encendido son menores y la disminución de los equipos de control y protección es menos importante. Se han presentado nuevos dispositivos de protección adaptados a los problemas de los circuitos de iluminación; por ejemplo, los interruptores automáticos de la marca Merlin Gerin y los interruptores automáticos modulares de corriente residual con inmunidad especial, como los interruptores ID y los interruptores automáticos Superinmunizados de tipo Vigi. Dado que los equipos de protección evolucionan, algunos ofrecen ya control remoto, gestión 24 horas, control de iluminación, consumo reducido, etc.

4.4 Iluminación de zonas públicas**Iluminación normal**

Las medidas que regulan los requisitos mínimos de los edificios que reciben público en la mayoría de países europeos son las siguientes:

- Las instalaciones que iluminan áreas accesibles para el público deben estar controladas y protegidas de manera independiente a las instalaciones que proporcionan iluminación al resto de áreas.
- Las pérdidas de suministro en un circuito de iluminación final (por ejemplo, un fusible fundido o disparo de interruptor automático) no deben provocar una pérdida total de iluminación en un área que pueda albergar a más de 50 personas.
- La protección mediante dispositivos de corriente residual debe dividirse entre varios dispositivos (por ejemplo, debe utilizarse más de un dispositivo).

Alumbrado de emergencia

Estos esquemas incluyen señales iluminadas de salida de emergencia e indicaciones de dirección, así como iluminación general.

Indicación de salida de emergencia

En áreas que alberguen a más de 50 personas, deben proporcionarse indicaciones luminosas direccionales a las salidas de emergencia más cercanas.

Alumbrado de emergencia general

Es obligatoria una iluminación general cuando un área puede albergar a 100 personas o más (50 personas o más en áreas por debajo del nivel del suelo).

Un defecto en un circuito de distribución de luz no debe afectar a ningún otro:

- La selectividad de relés de protección contra las sobreintensidades y diferenciales debe ser total, de modo que sólo se corte el circuito que falla.
- La instalación debe responder a un esquema informático, o debe ser enteramente de clase II; por ejemplo, con doble aislamiento.

Fuentes de alimentación para alumbrado de emergencia

Las fuentes de alimentación para sistemas de alumbrado de emergencia deben ser capaces de mantener el suministro de todas las lámparas si llegan a darse las circunstancias más desfavorables, y por el período que se estime necesario para garantizar la evacuación total de los edificios en cuestión con (en cualquier caso) un mínimo de una hora.

Compatibilidad entre alumbrado de emergencia y otras partes de la instalación

Las fuentes de alumbrado de emergencia sólo deben dar suministro a los circuitos instalados únicamente para funcionar en situaciones de emergencia.

Los sistemas de alumbrado auxiliar funcionan para mantener la iluminación en caso de defecto de los circuitos de iluminación normales (por regla general, en circunstancias de no emergencia). No obstante, el defecto de la iluminación auxiliar debe poner en funcionamiento automáticamente el sistema de alumbrado de emergencia.

Las fuentes centrales para suministro de emergencia también pueden utilizarse para proporcionar suministro auxiliar, siempre que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- Donde haya varias fuentes, el defecto de una de ellas debe dejar suficiente capacidad en servicio para mantener el suministro a todos los sistemas de seguridad, con deslastrado automático de cargas no esenciales (si fuera necesario).
- El defecto de una fuente o de un equipo de seguridad no debe afectar a ninguna otra fuente ni equipo de seguridad.
- Todos los equipos de seguridad deben organizarse para recibir suministro de cualquier fuente.

Clasificación de esquemas de alumbrado de emergencia

Muchos países cuentan con normativa reglamentaria acerca de la seguridad en los edificios y las áreas de reuniones públicas.

La clasificación de tales ubicaciones determina los tipos de soluciones adecuadas, autorizadas para el uso de esquemas de alumbrado de emergencia en las distintas áreas.

Las siguientes cuatro clasificaciones son típicas:

Tipo A

Las lámparas reciben suministro de forma total y constante cuando hay público, por medio de una fuente central única (batería o acumulador, o bien un generador de motor térmico). Estos circuitos deben ser independientes del resto⁽¹⁾.

Tipo B

Las lámparas reciben suministro de forma constante cuando hay público:

- Mediante una batería a la que están constantemente conectadas las lámparas y que está en carga de entretenimiento de compensación permanente a partir de una fuente de iluminación normal.
- Mediante un generador de motor térmico, cuyas características también garantizan el suministro a las cargas esenciales en un segundo (mientras el generador está funcionando y dando suministro al alumbrado de emergencia) en caso de defecto del suministro normal.
- Mediante unidades autónomas que normalmente reciben suministro y están iluminadas permanentemente a partir del suministro de iluminación normal y que, ante la pérdida del suministro habitual, permanecen encendidas (como mínimo durante una hora) gracias a una batería incorporada. Estas unidades cuentan con lámparas fluorescentes para el alumbrado de emergencia general y lámparas fluorescentes o incandescentes para las señales de salida e indicadoras de dirección. Los circuitos de todas las lámparas de emergencia deben ser independientes del resto⁽¹⁾.

Tipo C

Las lámparas pueden recibir suministro o no en condiciones normales; si lo reciben, pueden alimentarse a partir del sistema de iluminación normal o del suministro de alumbrado de emergencia.

- Las baterías del alumbrado de emergencia deben mantenerse en carga a partir de la fuente normal mediante sistemas regulados automáticamente, que garanticen un mínimo de capacidad igual a la carga máxima del alumbrado de emergencia de una hora.
- Los generadores de motor térmico deben ser capaces de obtener energía de la carga total del alumbrado de emergencia desde el estado de espera (estacionario) en menos de 15 segundos tras el defecto del suministro normal. La potencia de arranque del motor la proporciona una batería capaz de realizar seis intentos de arranque, o un sistema de aire comprimido. Las reservas mínimas de energía en los dos sistemas de arranque deben mantenerse automáticamente.
- Los defectos en la fuente de suministro de emergencia central deben detectarse en un número suficiente de puntos y señalarse adecuadamente al personal de supervisión y mantenimiento.
- Las unidades autónomas pueden ser de los tipos permanentemente iluminada o no permanentemente iluminada. Los circuitos de todas las lámparas de emergencia deben ser independientes del resto⁽²⁾.

Tipo D

Este tipo de alumbrado de emergencia está alimentado por baterías portátiles (celdas primaria o secundaria) a disposición del personal de servicio o el público.

(1) En el caso de una fuente de energía de emergencia central, los circuitos de los tipos A y B también deben ser ignífugos. Los manguitos de unión de las cajas de conductos, etc., deben superar las pruebas de calor de las normas nacionales, o los circuitos deben instalarse en cajetines, canalizaciones, etc. que protejan los cables y sean capaces de garantizar el rendimiento satisfactorio durante al menos una hora en caso de incendio.

(2) Los circuitos de cables del tipo C no tienen por qué cumplir las condiciones de (1).

El motor asíncrono (de inducción) es robusto, fiable y muy utilizado. La protección de estos motores es de gran importancia en numerosas aplicaciones.

Las consecuencias de un motor incorrectamente protegido pueden ser las siguientes:

- Para las personas:
 - Asfixia debida al bloqueo del motor de ventilación.
 - Electrocutación debida a un defecto de aislamiento en el motor.
 - Accidente debido a que el motor no se detuvo tras el defecto del circuito de control en caso de una protección incorrecta contra las sobreintensidades.
- Para la máquina y el proceso:
 - Acoplamiento de árboles, ejes, etc., dañados por causa de un rotor calado.
 - Pérdida de producción.
 - Tiempo de fabricación retrasado.
- Para el motor:
 - Devanados del motor quemados por un rotor calado.
 - Coste del desmontaje y reinstalación o sustitución del motor.
 - Coste de la reparación del motor.

Por lo tanto, lo que debe influir a la hora de escoger un equipo de protección es la seguridad de las personas y bienes, así como los grados de fiabilidad y disponibilidad.

En términos económicos, debe considerarse el coste total del defecto; una penalización que es tanto más importante cuanto mayor es el motor y mayores son las dificultades para acceder a él. La pérdida de producción es evidentemente un factor muy importante.

Las características específicas del rendimiento del motor influyen en los circuitos de suministro requeridos para un funcionamiento satisfactorio.

Un circuito alimentado por un motor presenta ciertos problemas que no se encuentran normalmente en otros circuitos de distribución (comunes), debido a las características específicas de los motores, como por ejemplo:

- Corriente de arranque elevada (ver la **Figura N56**) que es altamente reactiva y puede, por lo tanto, ser la causa de una caída importante de tensión.
- El número y la frecuencia de operaciones de arranque suele ser alto.
- La corriente de arranque elevada conlleva que los dispositivos de protección contra las sobrecargas tengan características de funcionamiento que eviten disparos durante el período de arranque.

5.1 Funciones para el circuito del motor

Las funciones que generalmente se proporcionan son:

- Funciones básicas que incluyen:
 - Instalación de aislamiento.
 - Control del motor (local o remoto).
 - Protección contra los cortocircuitos.
 - Protección contra las sobrecargas.
- Protecciones complementarias que incluyen:
 - Protección térmica mediante medición directa de la temperatura del devanado.
 - Protección térmica mediante determinación indirecta de la temperatura del devanado.
 - Supervisión permanente del aislamiento-resistencia.
 - Funciones de protección del motor específicas.
- Equipos de control específicos que incluyen:
 - Arrancadores electromecánicos.
 - Dispositivos de conmutación de protección y control (SPC).
 - Controladores de arranque gradual.
 - Variadores de velocidad.

Funciones básicas

Instalación de aislamiento

Es necesario aislar los circuitos, parcial o totalmente, de su red de alimentación eléctrica por seguridad del personal mientras realizan tareas de mantenimiento. La función de "aislamiento" la proporcionan seccionadores. Esta función puede incluirse en otros dispositivos diseñados para proporcionar aislamiento como seccionadores/interruptores electrónicos.

Control del motor

La función de mando del motor es la de generar y detener la corriente del motor. En caso de mando manual, esta función pueden proporcionarla interruptores electrónicos o interruptores del motor.

En caso de control remoto, esta función pueden proporcionarla contactores, arrancadores o SPC.

La función de mando también puede iniciarse por otros medios:

- Protección contra las sobrecargas.
- Protección complementaria.
- Bobina de mínima tensión (necesaria para infinidad de máquinas).

También pueden proporcionar la función de mando equipos de control específicos.

N42

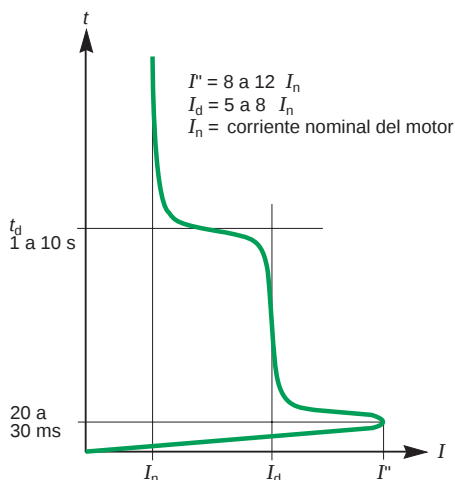


Fig. N56: Características de la corriente de arranque directo en línea de un motor de inducción.

Protección contra los cortocircuitos

- Cortocircuito entre fases.

Este tipo de defecto dentro de la máquina es muy raro. Generalmente se debe a un incidente mecánico del cable de alimentación eléctrica del motor.

- Cortocircuito fase-tierra.

La causa principal es el deterioro del aislamiento del devanado. La corriente de defecto resultante depende del sistema de puesta a tierra. En el sistema TN, la corriente de defecto resultante es muy grande y en la mayoría de los casos el motor resultará dañado. Para el resto de sistemas de puesta a tierra, la protección del motor puede realizarse mediante protección del defecto a tierra.

Para la protección contra los cortocircuitos, se recomienda prestar especial atención para evitar disparos inesperados durante el período de arranque del motor. La corriente de entrada de un motor estándar está comprendida entre 6 y 8 veces su corriente nominal, pero durante un defecto, la corriente puede ser sólo 15 veces la corriente nominal. Por lo tanto, la protección no debe considerar la corriente de arranque como un defecto. Además, un defecto que ocurra en un circuito de un motor no debe perturbar ningún circuito aguas arriba. Consecuentemente, la selectividad y filiación de las protecciones magnéticas debe respetarse en todas las partes de la instalación.

Protección contra las sobrecargas

Las sobrecargas mecánicas producidas por el propio motor son las causantes de sobrecargas (sobreintensidad) y calentamiento excesivo de la máquina. Así pues, la vida útil del motor puede verse mermada y a veces resultar dañado. Por lo tanto, es indispensable detectar las sobrecargas de un motor. Esta protección puede proporcionarla:

- Un relé específico de sobrecarga térmica (I térmico).
- Un interruptor automático magneto-térmico específico al que se conoce comúnmente como "interruptor protección motor" o "guardamotor".
- Protección complementaria (ver más abajo), como un sensor térmico o un relé electrónico multifunción.
- Controladores electrónicos de arranque progresivo o variadores de velocidad (ver más abajo).

Protecciones complementarias

- Protección térmica mediante medición directa de la temperatura del devanado: proporcionada por sensores térmicos incorporados dentro del devanado del motor y asociados a relés.
- Protección térmica mediante determinación indirecta de la temperatura del devanado: proporcionada por relés multifunción a través de mediciones de corriente y que tienen en cuenta las características de los motores.
- Relés de supervisión de aislamiento-resistencia permanente o relés diferenciales de corriente residual: éstos proporcionan detección y protección contra las corrientes de fugas a tierra y los cortocircuitos a tierra, y permiten llevar a cabo operaciones de mantenimiento antes de que el motor resulte dañado.
- Funciones específicas de protección del motor: como la protección contra los períodos de arranque demasiado largos o el calado del rotor, protección contra el desequilibrio, la pérdida o la permutación de la fase, protección del defecto a tierra, protección de carga en vacío, bloqueo del rotor (durante el arranque o posteriormente), etc.; la indicación o comunicación de prealarma contra el sobrecalentamiento también pueden proporcionarla los relés multifunción.

Equipos de control específicos

- Arrancadores electromecánicos (estrella-triángulo, autotransformador, arrancadores reostáticos, etc.); generalmente se utilizan para aplicaciones sin carga durante el período de arranque (bomba, ventilador, centrífugadores, etc.):
 - Ventajas.

Buena relación par/intensidad; reducción considerable de la corriente de choque.

 - Inconvenientes.

Par bajo durante el período de arranque; dificultad de ajuste; corte de alimentación durante el arranque y fenómenos transitorios; necesidad de 6 cables de conexión al motor.
- Dispositivos de conmutación de protección y control (SPC).

Proporcionan todas las funciones básicas que se enumeran anteriormente en una sola unidad, así como algunas funciones complementarias y la posibilidad de comunicación. Estos dispositivos también proporcionan continuidad del servicio en caso de cortocircuito.
- Controladores de arranque gradual.

Se utilizan para aplicaciones como bomba, ventiladores, compresores y cintas transportadoras:

 - Ventajas.

Limitación del pico de corriente, hueco de tensión, resistencia mecánica durante el arranque del motor, protección térmica incorporada, dispositivo de pequeño tamaño, posibilidad de comunicación.

 - Inconvenientes.

Par bajo durante el período de arranque; disipación térmica.

- Variadores de velocidad.
Se utilizan para aplicaciones con bombas, ventiladores, compresores, cintas transportadoras, máquinas con par de carga elevado, máquinas de gran inercia:
- Ventajas.
Variación de velocidad continua (ajuste típico del 2 al 130% de la velocidad nominal), es posible la sobrevelocidad; control preciso de aceleración y desaceleración; par alto durante los períodos de arranque y parada; corriente de conexión baja; protección térmica incorporada; posibilidad de comunicación.
- Inconvenientes.
Disipación térmica, volumen, coste.

5.2 Normas

El control y la protección del motor pueden llevarse a cabo de diferentes maneras:

- Asociando un SCPD (Dispositivo de protección contra los cortocircuitos) y dispositivos electromecánicos como:
- Arrancadores electromecánicos que cumplan la norma IEC 60947-4-1.
- Un arrancador de semiconductor (SERVO) que cumpla la norma IEC 60947-4-2.
- Variadores de velocidad que cumplan la serie de normas IEC 61800.
- Utilizando un SPC, dispositivo único que cubre todas las funciones básicas, que cumpla la norma IEC 60947-6-2.

En este documento sólo se consideran los circuitos de motores que incluyen asociación de dispositivos electromecánicos, como los arrancadores, y protección contra los cortocircuitos. Los dispositivos que cumplen la norma 60947-6-2, los arrancadores de semiconductor (SERVO) y los variadores de velocidad sólo se considerarán en determinados puntos específicos.

Un circuito de motor cumplirá la reglas de la IEC 60947-4-1 y principalmente:

- La coordinación entre los dispositivos del circuito del motor.
- La clase de disparos de los relés térmicos.
- La categoría de uso de los contactores.
- La coordinación de aislamiento.

Nota: Los dispositivos que cumplan la norma IEC 60947-6-2 satisfacen inherentemente el primer y último puntos, porque proporcionan continuidad del servicio.

Estandarización de la asociación de interruptor automático + contactor + relé térmico

Categoría de utilización de los contactores

La norma IEC 60947-4-1 proporciona categorías de utilización que facilitan considerablemente la elección de un contactor adecuado para una tarea de servicio dada. Las categorías de utilización dan consejo sobre:

- Un rango de funciones para las que debe estar adaptado el contactor.
- Las capacidades requeridas de creación y cierre de corriente.
- Valores estándar para las pruebas de durabilidad en carga, según la categoría de utilización.

La **Figura N57** proporciona algunos ejemplos típicos de las categorías de utilización cubiertas.

Categoría de utilización	Características de aplicación
AC-1	Cargas no inductivas (o ligeramente inductivas): $\cos \varphi \geq 0,95$ (calentamiento, distribución)
AC-2	Arranque y apagado de motores de anillos colectores
AC-3	Motores en jaula: Arranque y apagado de motores durante el funcionamiento
AC-4	Motores en jaula: Arranque, conexión, virado eléctrico

Fig. N57: Categorías de utilización para contactores.

Nota: Estas categorías de utilización están adaptadas a los dispositivos que cumplen las otras normas. Por ejemplo AC-3 se convierte en AC-53 para el arrancador de semiconductor (SERVO) (IEC 60947-4-2) y se convierte en AC-43 para los SPC (IEC 60947-6-2).

Tipos de coordinación

Para cada asociación de dispositivos, se proporciona un tipo de coordinación, según el estado de las partes que la constituyen, tras un disparo del interruptor automático al producirse el defecto o la apertura de un contactor durante una sobrecarga.

La norma IEC 947-4-1 define dos tipos de coordinación, de tipo 1 y de tipo 2, que establecen los límites permitidos de deterioros del aparato en caso de producirse un cortocircuito.

Sea cual sea el tipo de coordinación, se requiere que el contactor o el arrancador nunca resulten peligrosos para el personal y la instalación. Las especificidades de cada tipo son:

■ Tipo 1.

El deterioro del arrancador es aceptable tras un cortocircuito y su funcionamiento puede recuperarse tras la reparación o sustitución de algunas piezas.

■ Tipo 2.

Los únicos riesgos permitidos son que se queme o se suelden los contactos del contactor.

Qué tipo escoger

El tipo de coordinación que debe adoptarse depende de los parámetros de explotación y debe escogerse para satisfacer (óptimo) las necesidades del usuario y el coste de la instalación:

■ Tipo 1:

□ Servicio de mantenimiento cualificado.

□ Volumen y coste del aparato reducido.

□ Puede no ser adecuado para seguir funcionando sin reparar o sustituir piezas tras un cortocircuito.

■ Tipo 2:

□ Sólo son necesarios pequeños ajustes de mantenimiento para seguir en uso tras un cortocircuito.

5.3 Aplicaciones

El mando y la protección de un motor puede constar de uno, dos, tres o cuatro dispositivos diferentes, que proporcionan una o varias funciones.

En caso de que se combinen varios dispositivos, la coordinación entre ellos es fundamental para proporcionar una protección óptima de la aplicación del motor.

Para proteger un circuito de motor, deben tenerse en cuenta aquellos parámetros que dependen de:

■ La aplicación (tipo de máquina, seguridad de funcionamiento, número de operaciones, etc.).

■ La continuidad de servicio que requiere la aplicación.

■ Las normas de obligado cumplimiento para dotar y mejorar la seguridad.

Las funciones eléctricas que deben asegurar son bastante diferentes:

■ Arranque, funcionamiento normal y parada sin disparos intempestivos mientras se mantengan los requisitos de mando, número de operaciones, requisitos de durabilidad y seguridad (paradas de emergencia), así como protección de circuito de mando y motor, desconexión (aislamiento) para la seguridad del personal durante las tareas de mantenimiento.

Esquemas de protección básica: interruptor automático + contactor + relé térmico**Ventajas**

La combinación de dispositivos facilita el trabajo de instalación, así como el funcionamiento y el mantenimiento, mediante:

■ La reducción de la carga de tareas de mantenimiento: los interruptores automáticos evitan la necesidad de sustituir fusibles fundidos y el mantenimiento de una reserva (fusibles de tamaños y tipos diferentes).

■ Mejor continuidad de servicio: la instalación puede volver a ponerse en tensión inmediatamente tras la eliminación de un defecto y después de haber verificado el arrancador.

■ Los dispositivos complementarios adicionales que a veces son necesarios en un circuito motor se incorporan fácilmente.

■ El disparo de las tres fases está garantizado (se evita así la posibilidad de "una fase").

■ Posibilidad de conmutación de corriente de máxima carga (mediante interruptor automático) en caso de defecto del contactor; por ejemplo, si se sueldan los contactos.

■ Enclavamiento.

■ Diversas indicaciones a distancia.

Entre los muchos métodos posibles de protección de un motor, la asociación de un interruptor automático + contactor + relé térmico⁽¹⁾ cuenta con muchas ventajas.

(1) La combinación de un contactor con un relé térmico suele denominarse "desconector".

- Mejor protección para el arrancador en caso de sobreintensidad y, en particular, para cortocircuito impeditivo⁽¹⁾ correspondiente a corrientes de hasta 30 veces la I_n del motor (ver la **Figura N58**).
- Posibilidad de añadir protección diferencial:
- Prevención del riesgo de incendio (sensibilidad de 500 mA).
- Protección contra daños del motor (cortocircuito en sus devanados) mediante la rápida detección de corrientes de defecto a tierra (sensibilidad desde 300 mA a 30 A).

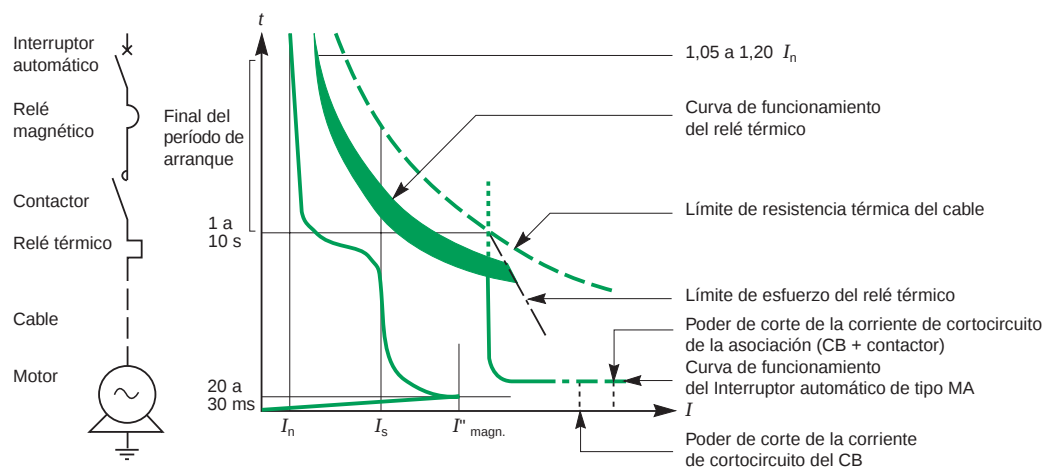


Fig. N58: Características de disparo de un interruptor automático + contactor + relé térmico⁽¹⁾.

Conclusión

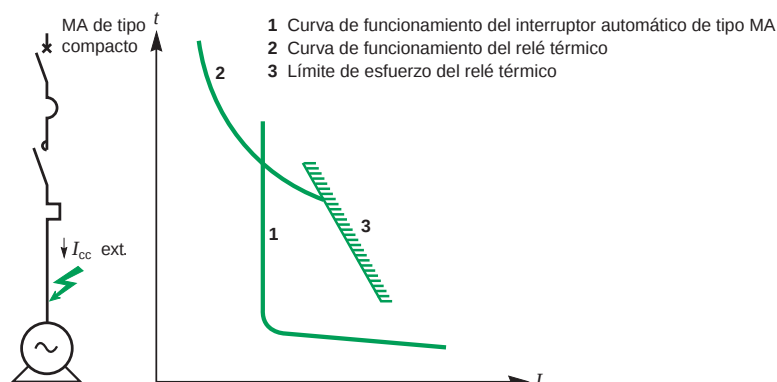
La combinación de un interruptor automático + contactor + relé térmico⁽²⁾ para el control y la protección de circuitos de motores es especialmente apropiada cuando:

- El servicio de mantenimiento de una instalación es reducido, lo que suele ocurrir en empresas del sector terciario y en pequeñas y medianas empresas.
- La especificación del trabajo demanda funciones complementarias.
- Existe un requisito operativo para una instalación de ruptura de carga en caso de que se necesite mantenimiento.

Puntos clave para la combinación satisfactoria de un interruptor automático y un desconectador

Las normas definen con precisión los elementos que deben tenerse en cuenta para llevar a cabo la correcta coordinación del tipo 2:

- Compatibilidad absoluta entre el relé térmico del desconectador y el disparo magnético del interruptor automático. En la **Figura N59**, el relé térmico está protegido si su límite de resistencia térmica está situado a la derecha de la curva característica de disparo magnético del interruptor automático. En el caso de un interruptor automático de protección de motor que incorpore dispositivos tanto magnéticos como térmicos, la coordinación está garantizada y la proporciona el mismo aparato.



(1) En la mayoría de los casos, los defectos de cortocircuitos ocurren en el motor; por eso, la corriente está limitada por el cable y el cableado del arrancador, y se denominan cortocircuitos impeditivos.

(2) La combinación de un contactor con un relé térmico suele denominarse "desconectador".

Fig. N59: El límite de resistencia térmica del relé térmico debe aparecer a la derecha de las características de disparo magnético para CB.

No es posible predecir el poder de corte de la combinación de un interruptor automático y un contactor. Sólo las pruebas de laboratorio de los fabricantes lo permiten.

Merlin Gerin proporciona tablas con combinaciones de los interruptores multi 9 y Compact con diferentes tipos de arrancadores.

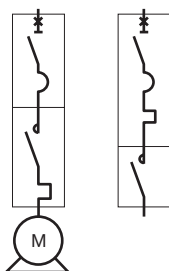


Fig. N60: Interruptor automático y contactor montados en yuxtaposición.

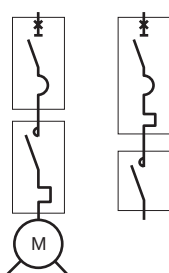


Fig. N61: Interruptor automático y contactor montados separadamente.

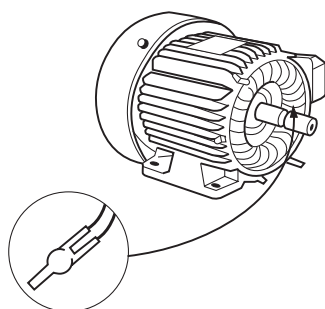


Fig. N62: Protección contra el sobrecalentamiento mediante sensores térmicos.

■ El poder de corte del contactor debe ser superior al ajuste del relé magnético del interruptor automático.

■ En caso de cortocircuito, el comportamiento del contactor y su relé térmico deben cumplir con los requisitos correspondientes al tipo de coordinación especificado (tipo 1 o 2).

Poder de corte de corriente de la combinación interruptor automático+contactor o arrancador

En el estudio, el poder de corte que debe compararse con la corriente de cortocircuito prevista es:

■ La de la combinación de interruptor automático + contactor si ambos se encuentran próximos (ver la **Figura N60**) (misma fila de armario de mando del motor). Un cortocircuito aguas abajo de la combinación estará limitado por las impedancias del contactor y el relé térmico. Por lo tanto, la combinación puede utilizarse en un circuito para el que el nivel de corriente de cortocircuito previsto exceda la capacidad nominal de corte de la corriente de cortocircuito del interruptor automático. Esta característica presenta a menudo una ventaja económica significativa.

■ O bien sólo la del interruptor automático, en caso de que el contactor esté separado del circuito (ver la **Figura N61**) con el riesgo de producirse un cortocircuito entre el arrancador y el interruptor.

Elección de relé de disparo magnético instantáneo del interruptor automático

El umbral de funcionamiento nunca debe ser menor de $12 I_n$ para este relé, con objeto de evitar disparos intempestivos debidos al primer pico de corriente durante el arranque del motor.

Protecciones complementarias

Las protecciones complementarias son:

- Sensores térmicos en el motor (devanados, cojinetes, conductos de aireación, etc.).
- Protecciones multifunción (asociación de funciones).
- Dispositivos de detección de defectos de aislamiento en motores en servicio o reserva.

Sensores térmicos

Los sensores térmicos se utilizan para detectar aumentos de temperaturas anormales en el motor mediante mediciones directas. El sensor térmico suele venir incorporado en los devanados del estator (en motores de BT); la señal se procesa mediante un dispositivo de mando asociado que actúa para disparar el contactor o el interruptor automático (ver la **Figura N62**).

Relé de protección del motor multifunción

El relé multifunción, asociado con varios sensores y módulos indicadores, protege el motor y también algunas funciones, proporcionando protección a la máquina en aspectos como:

- Sobrecarga térmica.
- Rotor calado o período de arranque demasiado largo.
- Sobrecalentamiento.
- Intensidad de fase desequilibrada, pérdida de una fase, rotación inversa.
- Defecto de tierra (por protección diferencial).
- Funcionamiento en vacío, rotor bloqueado en el arranque.

Las ventajas son fundamentalmente:

- Una protección completa, que proporciona un rendimiento alto, fiable y una función de mando/supervisión permanente.
- Supervisión eficaz de todas las planificaciones de funcionamiento del motor.
- Indicaciones de alarma y mando.
- Posibilidad de comunicaciones a través de buses de comunicación.

Ejemplo: Relé LT6 Telemecanique con función de supervisión/control permanente y comunicación por bus, o unidad de control multifunción LUCM y módulo de comunicación para el modelo U de TeSys.

Protección preventiva de motores parados

Esta protección se refiere a la supervisión del nivel de aislamiento de un motor parado, para evitar así las consecuencias no deseables de defectos de aislamiento durante el funcionamiento, como por ejemplo:

- Defecto para arrancar o hacer funcionar correctamente el motor utilizado en sistemas de emergencia.
- Pérdida de producción.

Este tipo de protección es indispensable para servicios esenciales y motores de sistemas de emergencia, especialmente cuando están instalados en ubicaciones con humedad y/o polvo. Esta protección evita que se dañe un motor por cortocircuito a tierra durante el arranque (uno de los incidentes que ocurren con mayor frecuencia), mediante una advertencia que informa de la necesidad de efectuar tareas de mantenimiento para devolver el motor a un estado de funcionamiento satisfactorio.

Ejemplo de aplicación:

“Aspersores” de sistema de protección contra incendios, bombas de riego para funcionamiento estacional, etc.

Ejemplo: VigiloHM SM21 (Merlin Gerin) supervisa el aislamiento de un motor e indica mediante una alarma sonora y visual cualquier reducción anormal del nivel de aislamiento. Además, este relé puede evitar cualquier intento de arranque del motor si fuera necesario (ver la **Figura N63**).

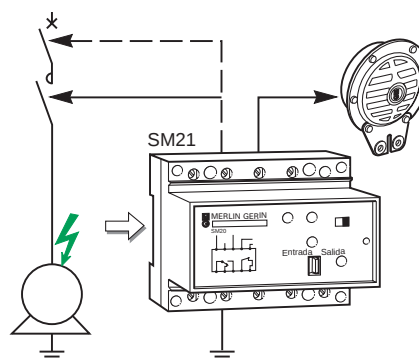


Fig. N63: Protección preventiva de motores parados.

Protecciones limitadoras

Los dispositivos de protección diferencial (control de corriente residual (ID)) pueden ser muy sensibles y detectar valores bajos de corriente de fugas que tienen lugar cuando el aislamiento de una instalación se deteriora (por daños físicos, contaminación, humedad excesiva, etc.). Algunas versiones de ID, con contactos secos, diseñadas especialmente para estas aplicaciones, proporcionan lo siguiente:

- Evitan que un motor se dañe (por perforación y cortocircuitado de los devanados del estator) a causa de una hipotética falta a tierra. Esta protección puede detectar condiciones de defecto incipientes mediante operación en corrientes de fuga en el rango de 300 mA a 30 A, según el tamaño del motor (sensibilidad aproximada: $5\% I_n$).
 - Reducen el riesgo de incendio: sensibilidad ≤ 500 mA.
- Por ejemplo, el relé RH99M (Merlin Gerin) proporciona (ver la **Figura N64**):
- 5 sensibilidades (0,3, 1, 3, 10, 30 A).
 - Posibilidad de selectividad o de tener en cuenta operaciones particulares gracias a 3 posibles temporizaciones (0, 90 y 250 ms).
 - Control permanente de la conexión entre el toroidal y el relé con aviso en caso de falta.
 - Protección contra funcionamiento defectuoso o pérdida de tensión de alimentación.
 - Aislamiento de los componentes de circuitos CC: Clase A.

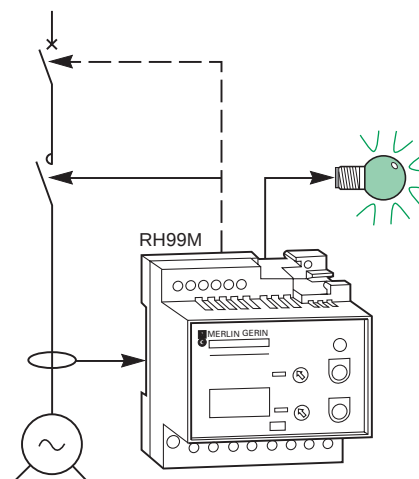


Fig. N64: Ejemplo de uso del relé RH99M.

La importancia de limitar la caída de tensión en el motor durante el arranque

Para que un motor arranque y acelere hasta su velocidad normal en el tiempo apropiado, el par motor debe exceder el par de carga en, al menos, el 70%. No obstante, la corriente de arranque es mucho mayor que la corriente de máxima carga del motor. Por consiguiente, si la caída de tensión es muy alta, el par motor será excesivamente bajo (el par motor es proporcional a U^2) y, en casos extremos, puede provocar un defecto en el arranque.

Ejemplo:

■ Con 400 V mantenidos en los terminales de un motor, su par sería 2,1 veces el del par de carga.

■ Para una caída de tensión del 10% durante el arranque, su par motor sería $2,1 \times 0,9^2 = 1,7$ veces el par de carga, y el motor aceleraría normalmente hasta su velocidad nominal.

■ Para una caída de tensión del 15% durante el arranque, el par motor sería de $2,1 \times 0,85^2 = 1,5$ veces el par de carga, de modo que el tiempo de arranque del motor sería mayor de la cuenta.

En general, durante el arranque del motor se recomienda una caída de tensión máxima admisible del 10% U_n .

5.4 Valores máximos admisibles de motores instalados en BT

Las perturbaciones ocasionadas en las redes de distribución de BT durante el arranque de grandes motores CA, pueden causar daños considerables a los consumidores conectados al mismo embarrado de alimentación, de manera que la mayoría de compañías eléctricas cuentan con reglas muy estrictas que tratan de situar estas perturbaciones en niveles tolerables. La cantidad de perturbaciones que crea un determinado motor dependen de la fuerza de la red; por ejemplo, del nivel de cortocircuito en el punto de conexión. En general, para las redes de distribución, los valores típicos de corrientes de arranque máximas admisibles y sus correspondientes potencias nominales máximas para motores con arranque directo se muestran en las Figuras N65 y N66.

Tipo de motor	Ubicación	Corriente de arranque máxima (A)	
		Red de líneas aéreas	Red de líneas soterradas
Monofásico	Viviendas	45	45
	Otros	100	200
Trifásico	Viviendas	60	60
	Otros	125	250

Fig. N65: Valores máximos admitidos de corriente de arranque para motores de BT (230/400 V).

Ubicación	Tipo de motor		
	Monofásico de 230 V (kW)	Trifásico de 400 V	
		Arranque "directo en línea" en carga máxima (kW)	Otros métodos de arranque (kW)
Viviendas	1,4	5,5	11
Otros	Red de líneas aéreas	11	22
	Red de líneas soterradas	22	45

Fig. N66: Potencias nominales máximas admisibles para motores de arranque de BT.

Dado que, incluso en áreas que reciben suministro de sólo una compañía suministradora, existen áreas "débiles" de la red y áreas "fuertes", siempre es recomendable asegurar el contrato del proveedor de alimentación eléctrica antes de adquirir los motores de un nuevo proyecto.

Existen otros montajes de arranque alternativos (generalmente más costosos), que reducen las grandes corrientes de arranque de los motores "directo en línea" a niveles aceptables; por ejemplo, arrancadores delta estrella, motor de anillos colectores, dispositivos electrónicos de "arranque progresivo", etc.

5.5 Compensación de energía reactiva (corrección del factor de potencia)

El método para corregir el factor de potencia se indica en el capítulo L.

