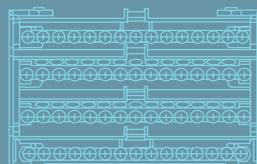
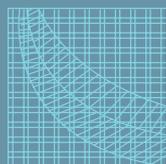


# DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA hasta 4000 A



DMX - DPX - REPARTICIÓN - LEXIC / GUÍA TÉCNICA

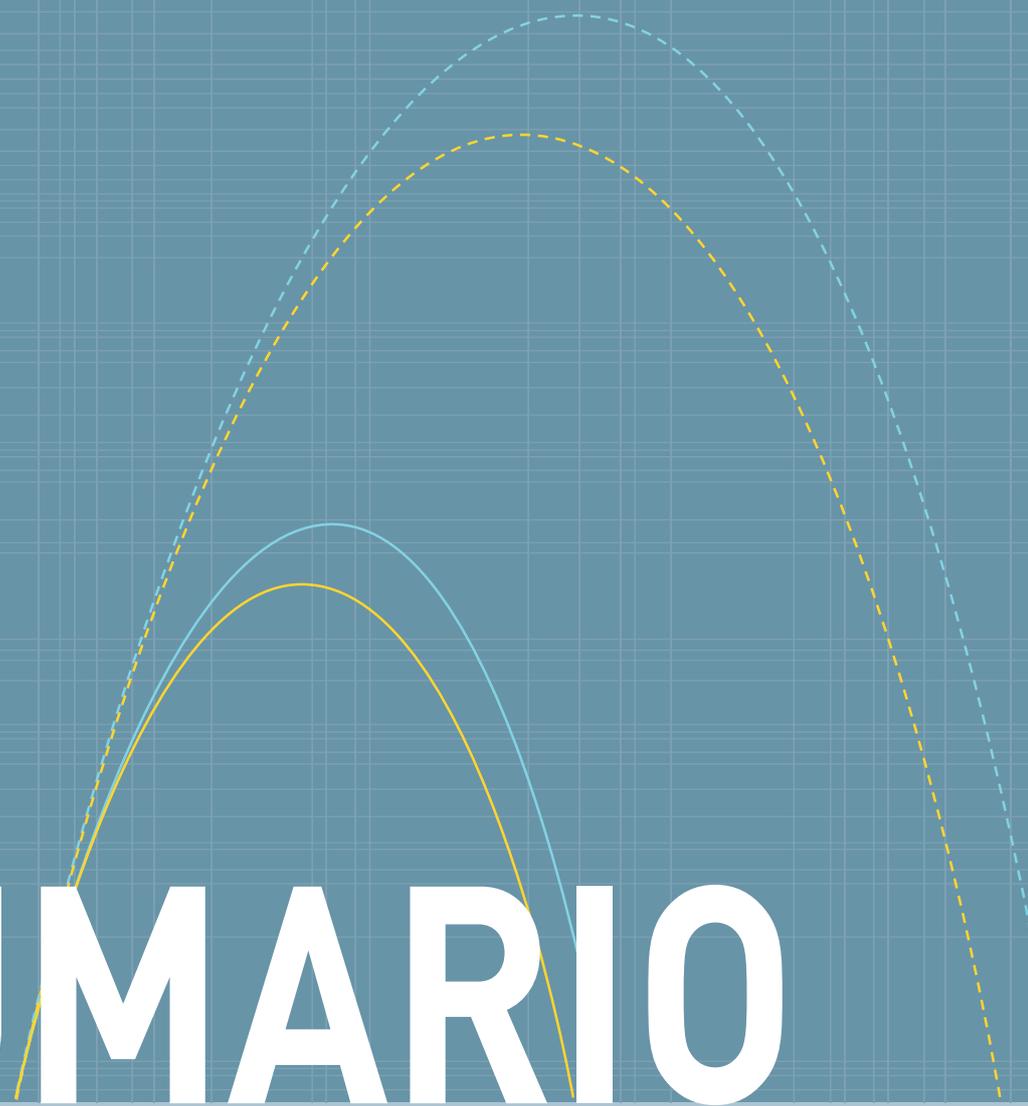
Esta nueva edición renovada y ampliada de la **Guía de Distribución y Potencia** de Legrand va aún más lejos para ayudarle en su trabajo cotidiano.

A la vez **referencia en el oficio, recordatorio y guía práctica**, esta obra recuerda los puntos más importantes de las normas, los aspectos reglamentarios fundamentales, sin olvidar la teoría... y, evidentemente, le propone numerosas soluciones prácticas que van hasta la calificación y recepción de sus obras.

Verdadera **guía de referencia**, unifica a todos los actores que intervienen en un proyecto, arquitecto, instalador, tablerista, oficina de proyectos, organismo de control... Expresión de su valía profesional, le guiará para determinar las soluciones técnicas más adaptadas (hasta 4.000 A) y le ayudará en la elección y aplicación de productos.

Verdadero **elemento de propuesta**, integra un acercamiento aún más completo y exhaustivo de los aspectos de seguridad y amplía la decisión con numerosos consejos que van hasta el entorno de las instalaciones. Le permitirá optimizar su elección con toda confianza.

**Guía de compromiso**, pone de manifiesto la voluntad de Legrand de estar a su lado y de proponerle la mejor oferta de productos con los mejores servicios: XL PRO<sup>2</sup>, formaciones, asistencia técnica..., continuando y enriqueciendo nuestras relaciones mutuas en vigor desde hace muchos años.



# SUMARIO

■ I – EL PROYECTO	4
■ IA – Suministro de energía	6
■ IB – Consideración de los riesgos	30
■ IC – Principios de protección	68
■ ID – Esquemas de conexión a tierra	98
■ II – CRITERIOS DE SELECCIÓN	122
■ IIA – Dimensiones de canalizaciones y protecciones	124
■ IIB – Elección de los aparatos de protección	172
■ IIC – Protección contra contactos indirectos	278

I

# EL PROYECTO

■ I.A - SUMINISTRO DE ENERGÍA	6
■ I.A.1 - Condiciones del suministro de energía	8
■ I.A.2 - Alimentaciones	16
■ I.A.3 - Fuentes	20
■ I.B - CONSIDERACIÓN DE LOS RIESGOS	30
■ I.B.1 - Seguridad de las personas	32
■ I.B.2 - Seguridad de los bienes	36
■ I.C - PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN	68
■ I.C.1 - Medios de protección	68
■ I.C.2 - Construcción del material	82
■ I.D - ESQUEMAS DE CONEXIÓN DE TIERRA	98
■ I.D.1 - Diferentes regímenes de neutro	100
■ I.D.2 - Islotes	108
■ I.D.3 - Regímenes de neutro de grupos electrógenos	114
■ I.D.4 - Elección del régimen del neutro	116

# SUMINISTRO DE ENERGÍA

**Crear la conexión entre el distribuidor y el cliente, entre el productor y el consumidor, entre la red pública de energía de alta tensión y la instalación de baja tensión: ese es el primer objetivo de la interfaz que constituye la «cabeza de la instalación». Una frontera neurálgica en la que convergen tres elementos principales: la energía y sus condiciones de suministro, la arquitectura de las alimentaciones y las fuentes que las constituyen.**

Una buena ejecución exige ante todo una reflexión correcta en esta fase; es indispensable realizar estudios preliminares:

- evaluación de las utilizaciones y de las cargas eléctricas
- balance energético global que integre todas las energías
- estudio topológico de los lugares (dimensiones, circulación)
- criterios de explotación (continuidad, calidad...)

- pliego de condiciones específicas (instalaciones clasificadas)
- apertura del expediente de conexión
- estudio de las normas y reglamentos.

Un trabajo que no se puede improvisar y que requiere la intervención de profesionales cualificados.



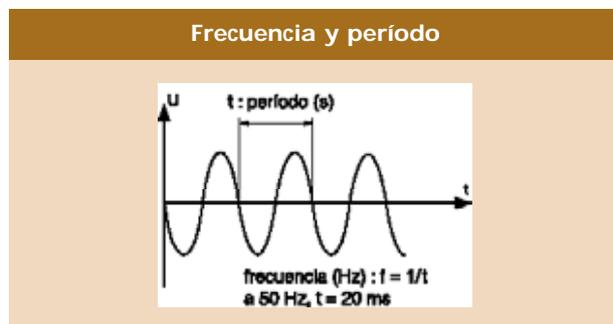
Aparte de los criterios insoslayables de la seguridad (ERP = establecimientos abiertos al público), surgen exigencias complementarias: la necesidad de calidad eléctrica de las nuevas tecnologías (informática, Internet, centro de datos), la preservación del medio ambiente (energías renovables), la apertura de mercados (competencia de los contratos), son elementos cruciales que han de tenerse en cuenta desde el inicio de un proyecto.

## 1 CALIDAD Y PERTURBACIONES DEL SUMINISTRO

La energía eléctrica que se suministra al cliente puede verse perturbada: las características fundamentales (tensión, frecuencia) pueden sobrepasar los márgenes de tolerancia; fenómenos de distorsión o de superposición pueden afectar a la señal y fenómenos transitorios pueden provocar un funcionamiento incorrecto. En algunos casos, estas perturbaciones son propias de la red (maniobras, rayos,...), mientras que en otros son consecuencia de usos diversos que generan importantes variaciones de la corriente consumida (conexiones) o que modifican la forma de la onda de tensión. El desarrollo actual de productos que generan perturbaciones es consecuencia del desarrollo de productos sensibles a esas mismas perturbaciones (electrónica, informática).

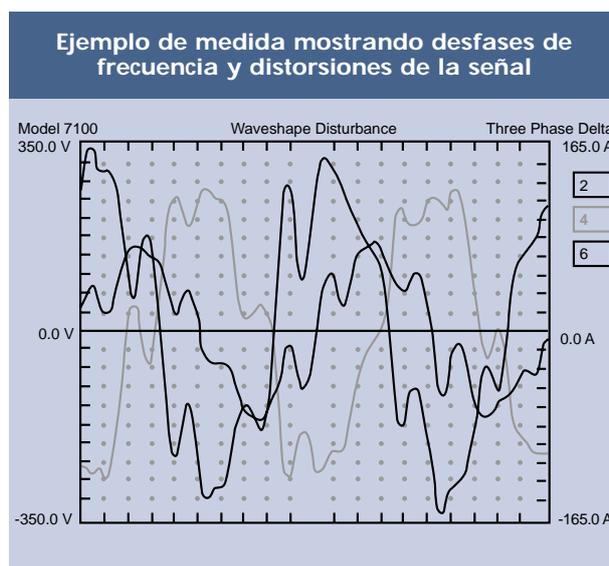
### 1 Frecuencia de la señal

Debe ser de 50 Hz con una tolerancia de (1% durante el 95% de una semana y de + 4 / - 6% durante el 100% de una semana.



### 2 Amplitud de la tensión

El valor normalizado es de 230 V entre fase y neutro.



El suministro de electricidad está sujeto, entre otras, a la norma europea EN 50160 que establece los límites admisibles de 14 magnitudes o fenómenos que caracterizan o afectan a la señal sinusoidal de 50 Hz. Basada en un enfoque estadístico, la citada norma está destinada a garantizar un determinado nivel de calidad en una explotación normal.

### 3 Variaciones de la tensión

El 95% de los valores medidos a lo largo de una semana y con una media de 10 min. debe situarse en una franja del 10%, es decir de 207 V a 235 V.

### 4 Amplitud de las variaciones rápidas de tensión

Estas variaciones, procedentes fundamentalmente de solididades de corrientes de fuertes cargas, no deberían sobrepasar del 5 al 10% de la tensión nominal.

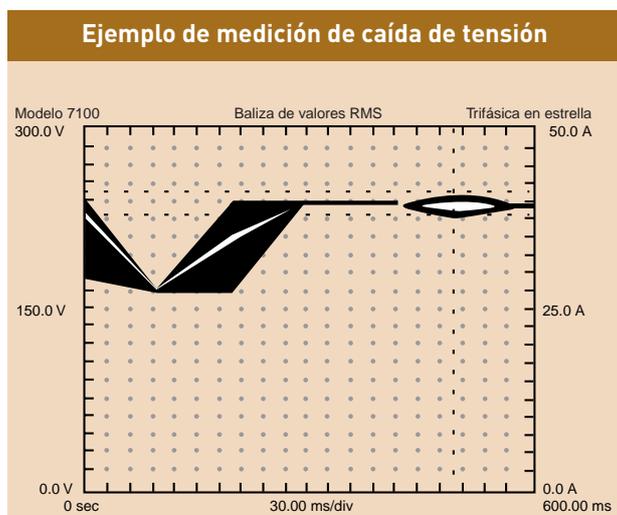
Hay mediciones que demuestran que son perfectamente posibles descensos momentáneos del 30% como consecuencia de la conexión de receptores tales como motores o transformadores.

### 5 Severidad del parpadeo

Esta sensación, también llamada «flicker», se caracteriza, como su nombre indica, por variaciones de la luz, que pueden resultar molestas a partir de cierto nivel. Una fórmula, basada en la relación de las duraciones de los diferentes niveles de iluminación, permite cuantificar el nivel de flicker. Este fenómeno, molesto sobre todo en las iluminaciones de incandescencia e incluso en las pantallas de ciertos aparatos, puede estar provocado por cargas de variaciones cíclicas.

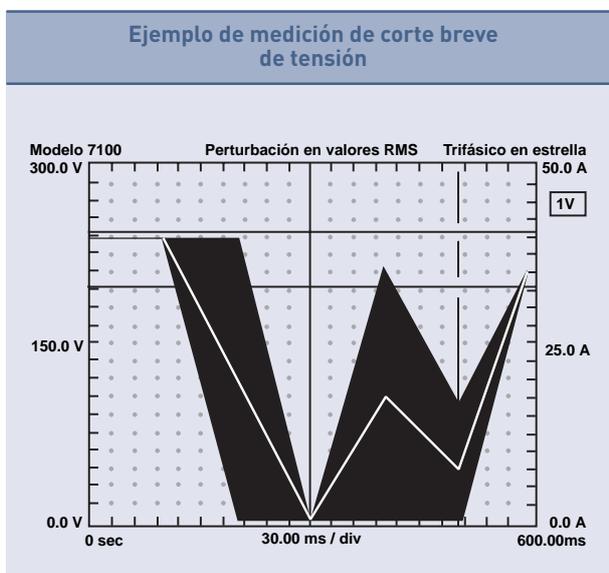
### 6 Caídas de tensión

Obedecen generalmente a fallos procedentes de los usuarios, si bien lo más frecuente es que sean debidos a incidentes en la red pública. Su número varía mucho en función de las condiciones locales y no suelen durar más de un segundo.



### 7 Cortes breves de tensión

Se habla de corte breve o microcorte cuando el valor de la señal desciende hasta 0 V. Generalmente, su duración es inferior a un segundo, aunque un corte de 1 minuto también se considera breve.



### 8 Cortes largos de tensión

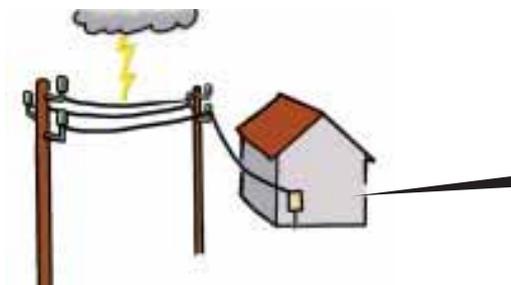
Evidentemente, estos valores no están cuantificados ya que dependen de elementos totalmente accidentales. Su frecuencia varía mucho en función de la arquitectura de la red de distribución o de la exposición a imprevistos climáticos.

### 9 Sobretensiones temporales

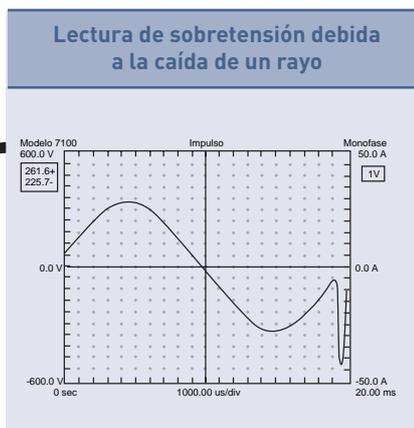
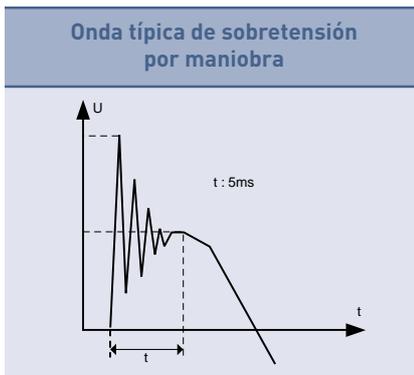
Pueden producirse tanto en la red de distribución como en el ámbito del usuario y su efecto puede ser devastador ya que la tensión suministrada puede alcanzar un valor peligroso para los equipos. El mayor riesgo estriba evidentemente en la existencia de una tensión compuesta fase / fase en lugar de una tensión fase / neutro, en caso de rotura del neutro, por ejemplo. Igualmente, fallos en la red de alta tensión (caída de línea) pueden generar sobretensiones en la distribución de baja tensión.

### 10 Sobretensiones transitorias

Estos fenómenos son muy variables. Son debidos fundamentalmente a la caída de rayos y a maniobras en la red. Su tiempo de subida va desde unos pocos microsegundos hasta algunos milisegundos, por lo que su ámbito de frecuencia varía igualmente entre algunos kHz y varios centenares de kHz.



La caída de un rayo en la red provoca sobretensiones que son conducidas hasta los usuarios, a pesar de las protecciones instaladas por el distribuidor. Las redes subterráneas, contrariamente a las aéreas, atenúan en gran medida la onda de choque.



### 11 Desequilibrios de tensión

Los desequilibrios de tensión están provocados por las cargas monofásicas de alta potencia. Provocan componentes de corriente inversas que pueden generar pares de frenado y calentamientos de máquinas giratorias. Por supuesto, se aconseja distribuir lo mejor posible las cargas entre las tres fases y proteger las instalaciones mediante detectores apropiados.

La componente inversa de la tensión de alimentación no debería sobrepasar el 2% de la componente directa.

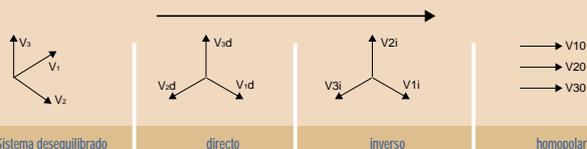


### Utilización de componentes simétricos

• La red simétrica corresponde al conjunto de elementos (impedancias, fem, fcem, y cargas) supuestamente simétricos, es decir idénticos en cada fase. No se debe confundir con el equilibrado, que se refiere a la igualdad de corrientes y tensiones.

• Un sistema trifásico simétrico desequilibrado puede describirse como tres sistemas trifásicos equilibrados (representación de Fortescue). Esta descomposición se efectúa de tres maneras: directa, inversa y homopolar.

En caso de fallo, sobretensión o cortocircuito que afecte únicamente a una de las fases (caso más frecuente), la red se hace disimétrica y sólo puede describirse como un sistema real, con V e I separados para cada fase, que represente la parte afectada.



### 10 Tensiones armónicas

Los armónicos designan una deformación de la señal sinusoidal debida a la absorción no lineal de la corriente. Dicho de otro modo, las cargas que generan armónicos no absorben una corriente que es la imagen exacta de la tensión, tal como lo haría una resistencia. Ello provoca que la señal eléctrica se deforme y que su valor real difiera de su valor teórico.

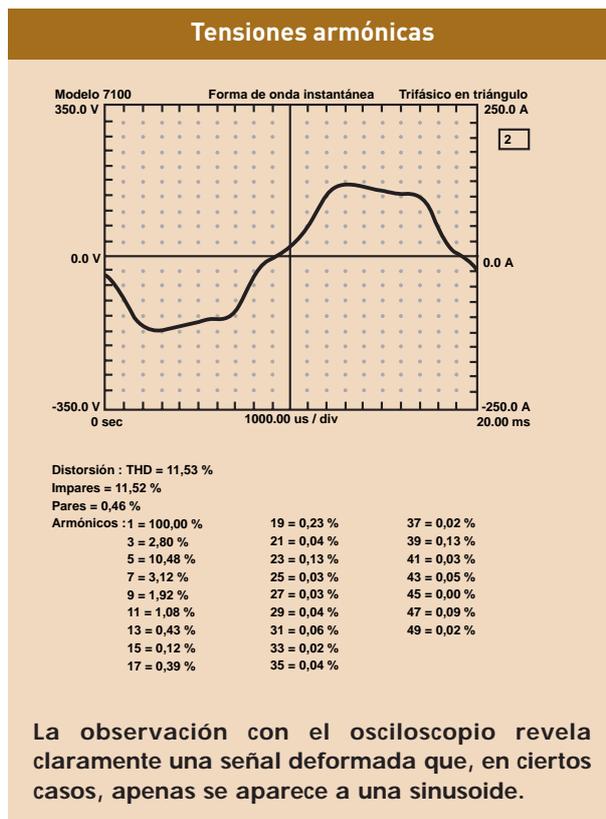
En este caso, la dificultad estriba en calcular el verdadero valor de dicha señal y sus posibles consecuencias.

Aparte de los fenómenos destructivos, aunque afortunadamente escasos, como la rotura del conductor neutro o la perforación de los condensadores, los efectos instantáneos suelen ser muy limitados en los aparatos modernos.

No obstante, podemos citar deformaciones de imágenes, distorsiones de sonido, desfases de relojes a 50 Hz, mediciones erróneas con aparatos basados en referencia de tensión...

A largo plazo, se aprecian sobre todo calentamientos añadidos de los conductores y de los circuitos magnéticos (motores, transformadores,...).

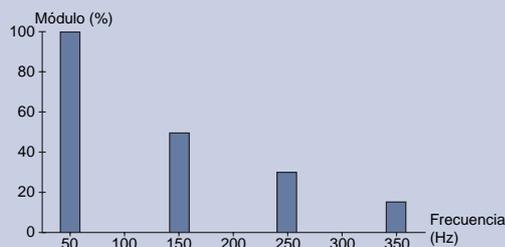
Si bien a escala global los efectos son difíciles de evaluar, hay que ser prudentes sobre todo en lo que se refiere a la reducción del conductor neutro, que puede sobrecargarse con armónicas de rango 3, muy frecuentes y que se suman en dicho conductor.



Para cuantificar y representar estos fenómenos, se utiliza un artificio matemático llamado «descomposición en serie de «Fourier» que permite representar cualquier señal periódica como la suma de una onda fundamental y de ondas adicionales, los armónicos, cuya frecuencia es múltiplo de la fundamental.

Hablamos por lo tanto frecuentemente de armónicos de:

- rango 1: 50 Hz (fundamental)
- rango 2: 100 Hz
- rango 3: 150 Hz
- rango 5 : 250 Hz
- rango 7 : 350 Hz
- rango 50 : 2.500 Hz que, generalmente, es el límite considerado.



Los armónicos pueden expresarse rango a rango, en tensión o en corriente, en porcentaje del valor de la frecuencia fundamental, o en valor real.

Se habla también del TDH (TDH), que es el nivel de distorsión armónica calculado a partir de la suma de todos los rangos. Esta cifra única permite realizar comparaciones o evaluar el impacto directo sobre los receptores.

### ! Las principales fuentes de armónicos :

→ Todos los aparatos con alimentación rectificadora monofásica seguida de un corte (rangos 3, 5 y 7): televisión, ordenador, fax, lámpara con balastro electrónico;

→ Reguladores monofásicos que utilizan la variación del ángulo de fase (rangos 3, 5, 7): variadores, reguladores, motores de arranque,...;

→ Equipos de arco (rangos 3, 5): hornos, soldadores,...;

→ Rectificadores de potencia tiristorizados (rangos 5, 7): alimentación de motores de velocidad variable, hornos, onduladores,...;

→ Máquinas de circuito magnético, si éste se halla saturado (rango 3): transformadores, motores;

→ Aparatos de iluminación de arco controlado (rango 3): lámparas con balastro electromagnético, lámparas de vapor a alta presión, tubos fluorescentes,...

Hasta ahora predominaba el rango de armónica 3, pero es detenido por los transformadores de AT / BT y por lo tanto no pasa a la red de distribución. Ese ya no es el caso con los rangos superiores 5 y 7, que actualmente están aumentando, por lo que la norma establece los siguientes límites de porcentaje de tensión en el punto de suministro:

- rango 3 → 5%
- rango 5 → 6%
- rango 7 → 5%
- rango 9 → 1,5%
- rango 11 → 3,5%, etc.



Entre todas las perturbaciones, los armónicos tienen la particularidad de no manifestar influencia local directa tal como ocurre con las otras perturbaciones, como son las transitorias, las sobretensiones, los microcortes..., cuyos efectos directos o recíprocos entre aparatos son al mismo tiempo visibles e identificables. Los armónicos designan un fenómeno global en el que cada usuario aporta solamente una pequeña fracción de perturbaciones que degradan la red, pero en donde los efectos acumulados son cada vez menos despreciables.

### 13 Tensiones interarmónicas

Este fenómeno consiste en componentes de frecuencia situados entre los armónicos los cuáles son debidos a convertidores de frecuencia, onduladores, máquinas giratorias, aparatos de arco...

Su interacción puede provocar fenómenos de flicker, pero la necesidad de identificarlos y controlarlos tiene que ver sobre todo con las señales de información transmitidas por la red.

### 14 Señales de información transmitidas por la red

El distribuidor utiliza la red para la transmisión de órdenes o de mediciones. Las frecuencias de dichas señales varían desde algunas decenas de Hz hasta varios kHz.

En contrapartida, la red no debe ser utilizada para la transmisión de señales de información de las instalaciones privadas. Estas últimas, llamadas de corriente portadora, utilizan frecuencias que van desde unas cuantas decenas hasta varios centenares de kHz. La norma EN 50160 determina igualmente el nivel de tensión que pueden generar en la red.

## 2 COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

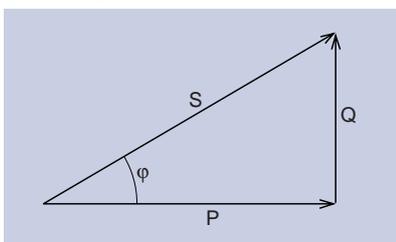
El consumo de energía reactiva conduce a sobredimensionar las fuentes de energía y las canalizaciones de alimentación. Este consumo lo factura la empresa distribuidora de energía.

La presencia de cargas inductivas (motores, soldadoras, alumbrado...) provoca una degradación del  $\cos \varphi$ . La potencia activa P (en W), restituida en forma de trabajo o de calor es, por tanto, inferior a la potencia aparente S (en VA).



**La potencia reactiva Q constituye un consumo de energía inútil. ¡No sirve para nada!**

### 1 Diagrama de potencias



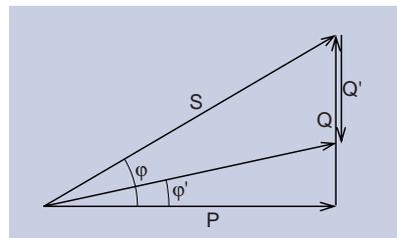
Hay que señalar que, en términos de potencia, no se utiliza el coseno del ángulo sino, con más frecuencia, su tangente, por tanto:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

La potencia reactiva Q se expresa en VAR (voltamperios reactivos).

Los condensadores utilizados para la compensación se designan asimismo por su potencia reactiva en VAR, aunque

su valor Q' sea de origen capacitivo y por tanto de sentido inverso al valor Q, de origen inductivo.



$\tan \varphi$  para Q antes de la corrección  
 $\tan \varphi'$  para Q-Q' después de la corrección

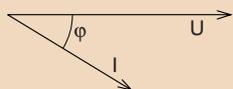
$$Q' = C\omega U^2$$

$$\omega = 2\pi f$$

C: capacidad en faradios



**El factor de potencia designa el coseno  $\varphi$  del desplazamiento angular, o desfase, entre los vectores que representan la tensión y la intensidad.**

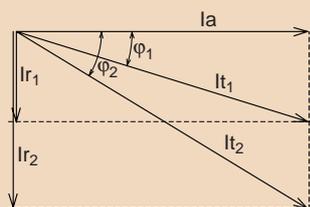


$\varphi = 0^\circ$  para una carga puramente resistiva (U e I en fase)

$\varphi = +90^\circ$  para una carga puramente inductiva (I retrasada con respecto a U)

$\varphi = -90^\circ$  para una carga puramente capacitiva (I adelantada con respecto a U)

El coseno  $\varphi$  varía de 1 ( $\varphi = 0^\circ$ ) a 0 ( $\varphi = +90^\circ$  o  $\varphi = -90^\circ$ )



**Inconvenientes de un coseno  $\varphi$  incorrecto**

En el ejemplo:

$$\varphi_1 = 30^\circ \Rightarrow \cos \varphi_1 = 0,86$$

$$\varphi_2 = 60^\circ \Rightarrow \cos \varphi_2 = 0,5$$

Para una misma intensidad activa, la absorbida por un receptor, la corriente total en línea será superior ( $I_{t2}$ ) con un  $\cos \varphi$  de 0,5 a lo que sería con un  $\cos \varphi$  de 0,86.

La fórmula:  $I = \frac{P}{U\sqrt{3} \cos \varphi}$  en trifásica muestra que, para una misma potencia, la intensidad

es proporcional a la degradación del  $\cos \varphi$ . Por ejemplo, si  $\varphi$  pasa de 1 a 0,5, se duplica I.



**Batería de condensadores en armario, con disparo automático en gradiente**



La mejora del coseno  $\phi$  permite reducir las pérdidas en las instalaciones y evitar la facturación de energía reactiva por la empresa distribuidora. Un coseno  $\phi$  correcto permite aprovechar mejor la energía disponible.

Con un coseno  $\phi$  de 0,5 un transformador de 1.000 kVA no puede entregar más que 500 kW.

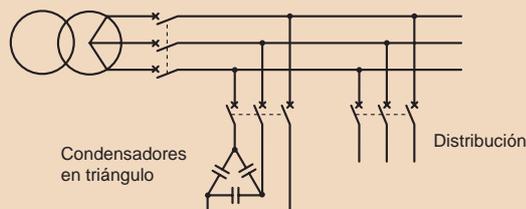
La instalación de condensadores puede realizarse cerca del receptor que tiene un  $\cos \phi$ , incorrecto, en el origen de la instalación o acordada por grupos de circuitos, por edificios, o por talleres.

En el primer caso, la batería de condensadores se adapta al receptor al que está asignada. Su funcionamiento puede no ser permanente. (Atención: una compensación demasiado grande puede generar sobretensiones). Se utiliza para los receptores de elevado consumo o para aquellos en los que la compensación está incorporada (tubos fluorescentes).

El segundo caso, el más general, consiste en una compensación media en el origen de la instalación.

Por último, la conexión por grupos o puestos de repartición permite tener en cuenta la simultaneidad de los receptores y utilizar óptimamente la potencia instalada. Esta instalación puede automatizarse con un relé variométrico que acopla los condensadores en función de las variaciones de carga.

#### Compensación media en el origen de instalación



La instalación de condensadores de compensación requiere algunas precauciones:

- deben preverse resistencias de descarga
- deben desconectarse condensadores si la carga es demasiado baja
- los aparatos de mando y protección deben sobredimensionarse (corriente de llamada)
- pueden preverse inductancias de choque en serie con los condensadores.

## 2 Determinación de la potencia reactiva Q' de las baterías de condensadores de compensación

• A partir de la facturación se calcula el valor necesario mediante la fórmula:

$$Q' = P (\tan \varphi - 0,4)$$

el dato  $\tan \varphi$  lo proporciona la empresa distribuidora.

Si es inferior a 0,4 (lo que corresponde a  $\cos \varphi = 0,93$ ) la compensación es inútil.

• Partiendo de las lecturas de potencia realizadas en un período representativo t: de 1 semana a 1 mes, se calcula la tangente  $\varphi$  mediante la fórmula:

$$\tan \varphi = \frac{Wp}{VAr Q}$$

Wp: energía activa en kWh

VAr Q: energía reactiva en kVArh

La potencia P (en kW) se obtiene dividiendo la energía por el tiempo (en horas):

$$P = \frac{Wp}{t}$$

La potencia reactiva de la batería se calcula con la misma fórmula

$$Q' = P (\tan \varphi - 0,4)$$

• Cálculo a partir de las medidas del  $\cos \varphi$   $P = U I \sqrt{3} \cos \varphi$

La relación con la tangente viene dada por la fórmula:

$$\tan \varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1}$$

Se utiliza de nuevo la misma fórmula de cálculo de Q'.

• Cálculo a partir de los valores teóricos de los receptores.

Este método se utiliza generalmente para instalaciones nuevas. Consiste en hacer una relación de todos los receptores, con su potencia y su  $\cos \varphi$  medio. Se calcula la tangente  $\varphi$  y la potencia de compensación para cada grupo.

Ejemplo				
Receptor	Potencia (kW)	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	Q' (kVAr)
Alumbrado incandescente	10	1		0
Alumbrado fluorescente	12	0,85	0,62	7,2
Calefacción	30	0,95	0,33	no es necesario
Motores	16	0,6	1,33	14,9

**La potencia reactiva total Q' de compensación a instalar es de 7,2 + 14,9 = 22 kVAr pudiendo redondearse a 25 kVAr: valor estándar en las gamas de condensadores.**

Si se conocen con precisión las condiciones de funcionamiento (duración, simultaneidad de las cargas...), se pueden aplicar coeficientes de corrección a este cálculo para permitir una aproximación más precisa.

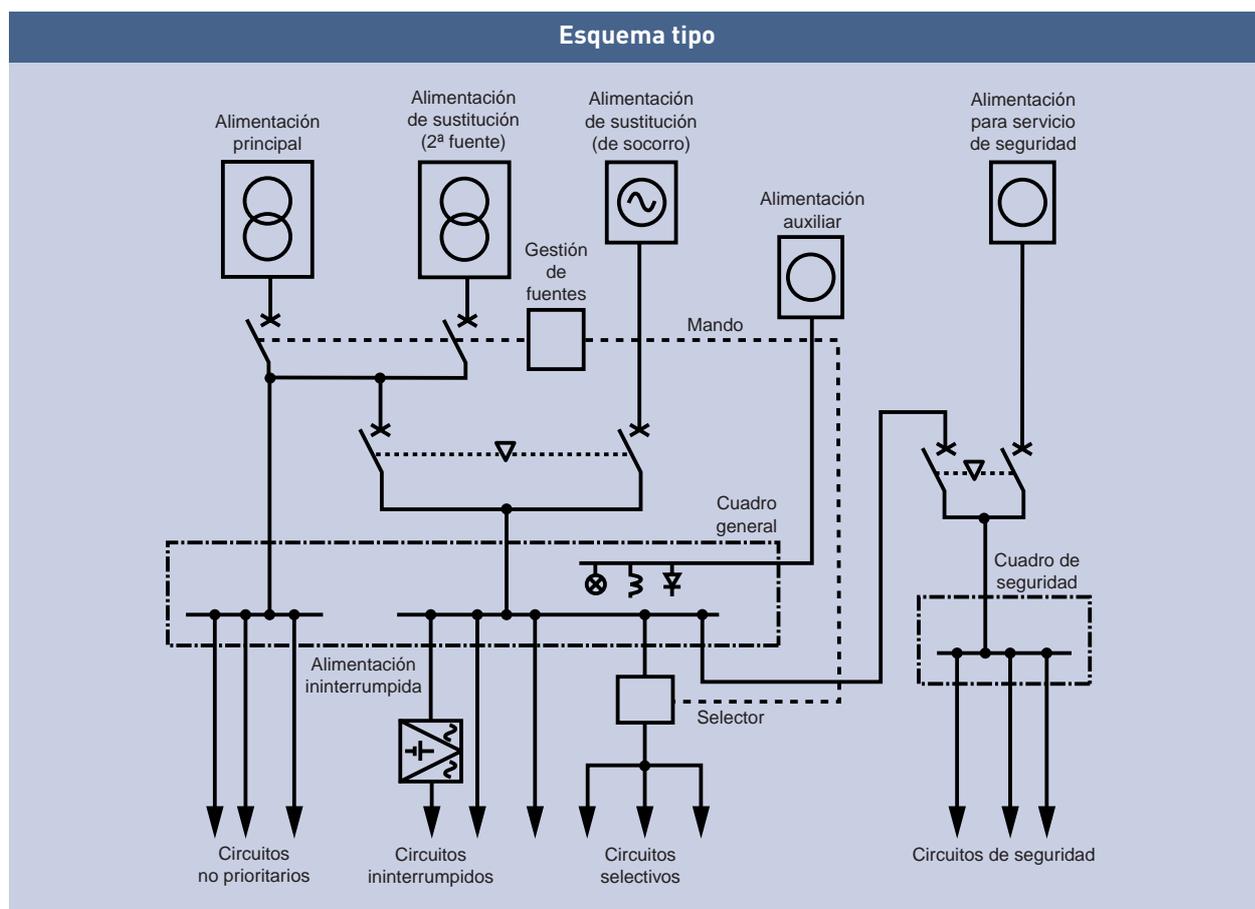
# Alimentaciones

Con el término general alimentación se designa el suministro de energía. La alimentación o, más generalmente, las alimentaciones, se llevan a cabo por medio de fuentes (red, baterías, grupos...). La conexión de estas fuentes, ahora múltiples, exige verdaderos automatismos, lo que aumenta la complejidad del esquema de la «cabecera de la instalación».

Las alimentaciones necesarias podrán determinarse a partir de los criterios de definición de la instalación (receptores, potencia, localización, ...) y de las condiciones de funcionamiento (seguridad, evacuación del público, continuidad, ...).

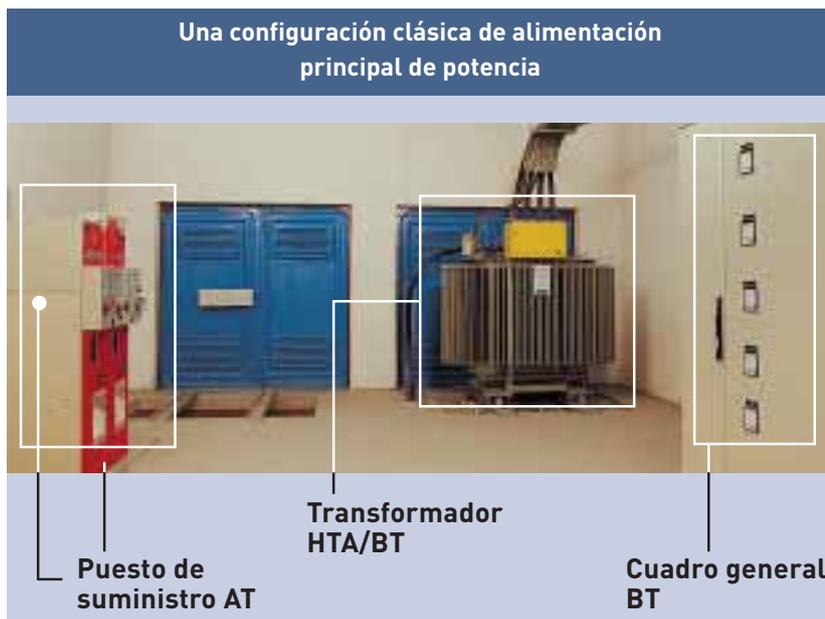
Se distinguen los siguientes tipos:

- alimentación principal
- alimentación de sustitución
- alimentación para servicio de seguridad
- alimentación auxiliar.



## 1 ALIMENTACIÓN PRINCIPAL

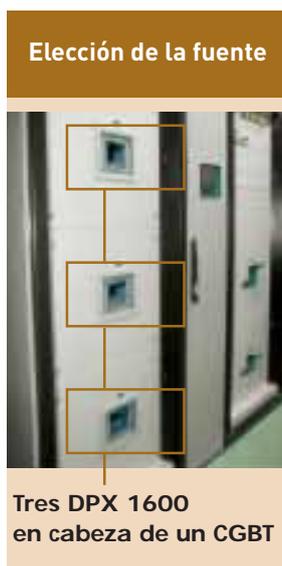
Destinada a la alimentación permanente de la instalación, generalmente procede de la red de distribución pública. La elección entre alta y baja tensión se realiza en función de la potencia necesaria.



## 2 ALIMENTACIÓN DE SUSTITUCIÓN

Está destinada a sustituir a la alimentación principal, y se utiliza:

- en caso de corte del suministro (socio), para mantener el funcionamiento (hospitales, informática, proceso industrial, industria agroalimentaria, aplicaciones militares, grandes superficies de distribución...)
- con fines económicos, sustituyendo total o parcialmente a la alimentación principal (bioenergía, energías renovables...).



La necesidad de seguridad en el suministro de energía es cada vez mayor (concepto: Alta Disponibilidad, Alta Calidad). Nuevas tecnologías (microturbinas, pilas de combustible, generadores eólicos, células fotovoltaicas...) permiten o permitirán a corto plazo producir energía como complemento de la red principal de distribución. Nuevos conceptos arquitectónicos permitirán aprovechar al máximo las diferentes fuentes sectorizando las aplicaciones según criterios tales como alimentación de socorro, seguridad, alimentación interrumpible, prioridad, alta calidad...

### 3 ALIMENTACIÓN PARA SERVICIO DE SEGURIDAD

Destinada a mantener la alimentación, suministra la energía necesaria para garantizar la seguridad de las instalaciones en caso de fallo de la alimentación principal y/o de la alimentación de sustitución.

El mantenimiento de la alimentación es obligatorio para:

- las instalaciones de seguridad que deben funcionar en caso de incendio (alumbrado mínimo, señalización, alarma y socorro de incendio, extracción de humo...)

- las demás instalaciones de seguridad, tales como telemandos, telecomunicaciones, equipos relacionados con la seguridad de las personas (ascensor, balizado, quirófano...).

Se caracterizan por su puesta en funcionamiento (automática o manual) y su autonomía.

#### Alimentaciones estabilizadas asistidas Cajas de energía Relergy



Alimentaciones estabilizadas asistidas a 12, 24 ó 48 V

Las cajas de energía Relergy garantizan la alimentación eléctrica de seguridad (AES) de los sistemas de seguridad anti-incendio

#### 4 ALIMENTACIÓN AUXILIAR

Destinada al funcionamiento de los elementos «auxiliares» (circuitos y aparatos de mando y de señalización), es suministrada por una fuente distinta, procedente o no de la alimentación principal. Su independencia aporta cierta seguridad de funcionamiento de la instalación. Suele tener distinta tensión o naturaleza que la alimentación principal (ejemplo: MBT, es decir, muy baja tensión, alterna o continua). Cuando es asistida y cumple ciertos criterios (potencia, autonomía, etc.) es asimilable a una alimentación para servicio de seguridad.

##### Alimentación de elementos auxiliares ..



Adecuada a las necesidades de tensión y potencia

#### Alimentaciones rectificadas filtradas estabilizadas, transformadores de mando y de señalización ...



el catálogo Legrand contiene todas las respuestas a la necesidad de alimentación auxiliar



Aunque su uso casi siempre viene dado por la necesidad de garantizar la seguridad de las personas (Muy Baja Tensión de Seguridad) o disponer de tensiones diferentes, es importante recordar también que las alimentaciones Legrand equipadas con transformador representan una solución sencilla y eficaz para limitar la propagación de perturbaciones electromagnéticas y asegurar la alimentación de los aparatos sensibles.

# Fuentes de alimentación

Independientemente del uso a que se destinen, las fuentes de alimentación se diferencian básicamente por su potencia, su autonomía, el origen de su energía y su coste de funcionamiento.

## 1 TRANSFORMADORES HTA/BT

Los transformadores son generalmente reductores y permiten alimentar instalaciones de baja tensión a partir de una red de alta tensión.

Hay dos tipos de transformadores que se diferencian por su forma constructiva: transformadores sumergidos y secos.

### 1 Transformadores sumergidos

El circuito magnético y los devanados están sumergidos en un dieléctrico líquido que garantiza el aislamiento y la evacuación de las pérdidas caloríficas del transformador.

Este líquido se dilata en función de la carga y de la temperatura ambiente.

Los PCB y TCB ya no pueden utilizarse por estar prohibidos; generalmente se emplea aceite mineral. Este aceite es inflamable y exige medidas de protección contra riesgos de incendio, explosión y contaminación. Las protecciones más utilizadas son el DGPT y el DGPT2: Detector de Gas, Presión y Temperatura a 1 ó 2 niveles de detección en función de la temperatura. Este sistema permite la desconexión de la carga de baja tensión (1<sup>er</sup> nivel) y, después, de la alimentación de alta tensión (2<sup>o</sup> nivel) en caso de fallo en el interior del transformador.

Una cuba de retención permite recuperar la totalidad del líquido dieléctrico.

De los cuatro tipos de transformadores sumergidos: respirantes, de colchón de gas, con conservador y de llenado integral, actualmente sólo se instalan los últimos.

#### • Transformadores respirantes

Un volumen de aire entre la superficie del aceite y la tapa permite la dilatación del líquido sin riesgo de rebose. El transformador «respira», pero la humedad del aire se mezcla con el aceite y la rigidez dieléctrica se degrada.

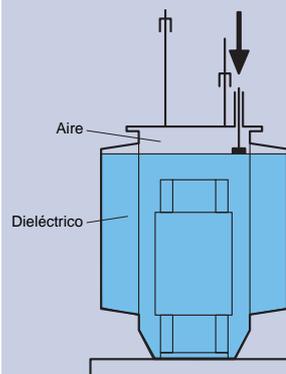


### Normas de constructivas

**Potencia de 50 a 2500 kVA (posible 25 kVA):**  
**Tensión primaria hasta 36 kV**  
**Tensión secundaria hasta 1,1 kV**

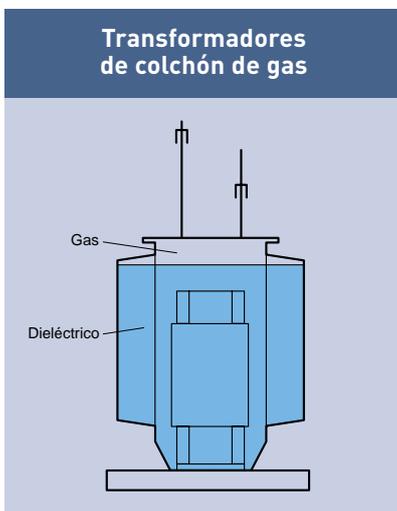
**Potencia > 2500 kVA:**  
**Tensión AT superior a 36 kV**

### Transformadores respirantes



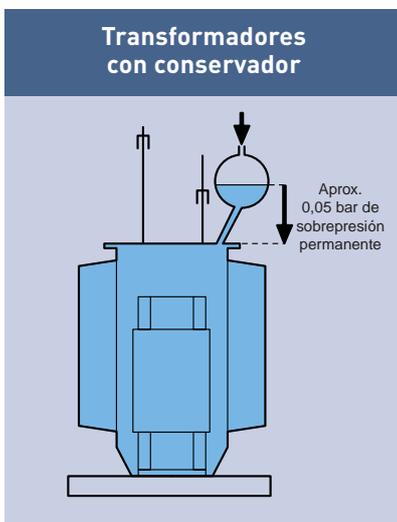
• **Transformadores de colchón de gas**

La cuba es estanca y la variación de volumen del dieléctrico se compensa con un colchón de gas neutro (riesgo de fuga).



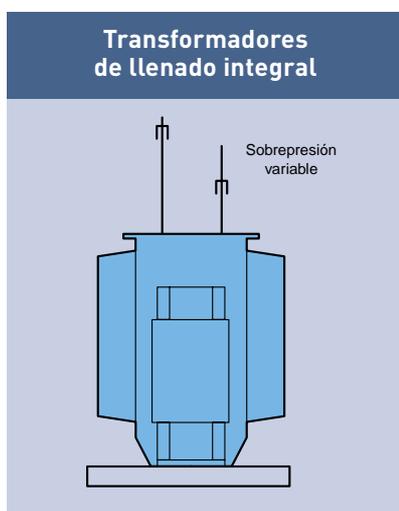
• **Transformadores con conservador**

Para reducir los anteriores inconvenientes, un depósito de expansión limita el contacto aire/aceite y absorbe la sobrepresión. No obstante, el dieléctrico sigue oxidándose y cargándose de agua. La adición de un desecador limita este fenómeno, pero exige un mantenimiento periódico.

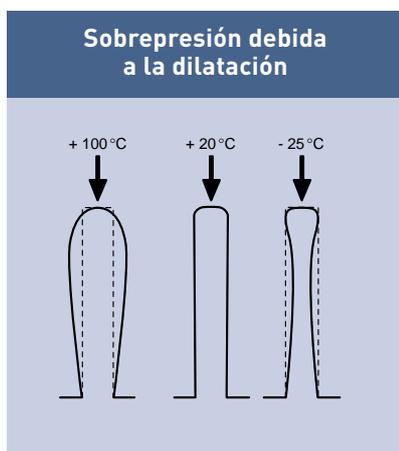


• **Transformadores de llenado integral**

La cuba está totalmente llena de líquido dieléctrico y herméticamente cerrada. No hay ningún riesgo de oxidación del aceite

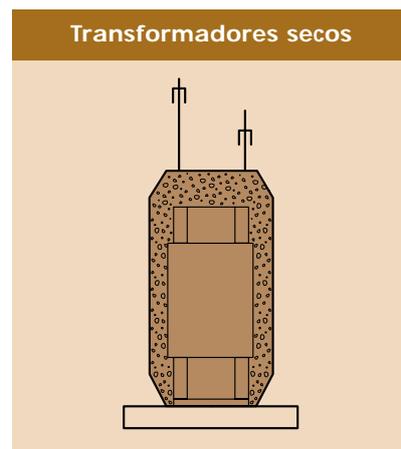


La sobrepresión debida a la dilatación del líquido es absorbida por los pliegues de la cuba.



2 **Transformadores secos**

El circuito magnético está aislado (o recubierto) con un material aislante seco de varios componentes. La refrigeración se consigue por medio del aire ambiente, sin líquido intermedio. Este tipo de transformador tiene la ventaja de no presentar ningún riesgo de fuga o contaminación. En contrapartida, requiere precauciones de instalación y mantenimiento (local ventilado, eliminación del polvo, ...). Los devanados suelen ir provistos de sondas de detección que vigilan las temperaturas internas y permiten la desconexión de la carga y de la alimentación si surge un problema térmico.



**Normas de construcción para los transformadores secos**

Poder de 100 a 2 500 kVA :  
Tensión primaria hasta 36 kV  
Tensión secundaria hasta 1,1 kV  
NFC 52-115-x, HD 538-x-S1 (x de 1 a 2)  
NFC 52-726

## 2 CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSFORMADORES AT/BT

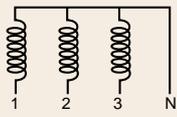
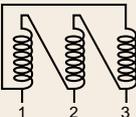
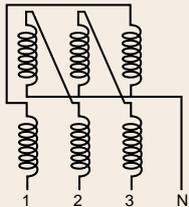
Características usuales		
Potencia asignada (kVA)		$P = U_1 \cdot I_1 \cdot \sqrt{3}$ AT/BT : 50 a 2 500 kVA
Frecuencia (Hz)		50 Hz , 60 Hz,...
Tipo de funcionamiento		Reductor, elevador o reversible
Tensiones primarias	Tensión(es) asignada(s) $U_1$	5,5 – 6,6 – 10 – 15 – 20 – 33 kV
	Tensión de aislamiento $U_i$	7,2 – 12 – 17,5 – 24 – 36 kV
Tensiones secundarias	Tensión(es) asignada(s) $U_2$	237 – 410 – 525 – 690 V
	Tensión de aislamiento $U_i$	1,1 kV
Tensión de cortocircuito (%)		Porcentaje de la tensión primaria asignada que se ha de aplicar para obtener la intensidad secundaria nominal cuando este secundario está en cortocircuito Estos valores son, en general, los siguientes: 4 % para $P \leq 630$ kVA 6 % para $P > 630$ kVA
Ajuste sin tensión	Por tomas de ajuste	Tomas maniobrables sin tensión que actúan sobre la tensión más alta para adaptar el transformador al valor real de la tensión de alimentación. Los valores estándar son de $\pm 2,5$ %
Altitud de utilización		$\leq 1\,000$ m (norma CEI 76)
Temperatura de utilización	Estándar	- 25 °C a + 40 °C (norma CEI 76)
	Media diaria del mes más caluroso	30 °C (norma CEI 76)
	Media anual	20 °C (norma CEI 76)
Modo de instalación	Exterior en poste	$P \leq 160$ kVA
	Exterior o interior en cabina	Todas las potencias

Características relacionadas con el modo constructivo			
Modo constructivo	Sumergido	Seco	
Dieléctrico	Aceite mineral en general	Inserción en resina	
Clase térmica y calentamiento	A determinar	A determinar	
Refrigeración	Natural	Aire natural (AN)	Aceite Natural Aire natural (ONAN)
	Forzada	Aire forzado (AF)	Aceite Natural Aire forzado (ONAF)
Conexión AT	Atornillada	En zonas de contacto	En pasamuros de porcelana
	Enchufable	En partes fijas enchufables HN 52 S61	
Accesorios MT	Bloqueo del panel MT con cerradura Partes móviles enchufables HN 52 S61 con bloqueo y cerradura		
Conexión BT	Por pasamuros de porcelana Por entrada de barras	En juegos de barras u otro	
Accesorios BT	Caperuza BT		
Accesorios de protección interna	DGPT, DGPT2, relé Bucchoz + secador de aire, etc.	Sondas de temperatura interna	
Otros accesorios	Dedo de guante Cuba de vaciado Bloqueo...	Bloqueo	

### ! Designación simbólica de las conexiones

La conexión de los devanados trifásicos se designa con las letras Y, D y Z para los devanados de alta tensión e y, d y z para los de baja tensión.

Si el punto neutro de los devanados en estrella o en zigzag es accesible para su conexión, las designaciones se convierten en YN o ZN e yn o zn.

Conexión (o montaje)	Estrella	Triángulo	Zigzag
Esquema			
Símbolo			
Letra	<b>Y o y</b>	<b>D o d</b>	<b>Z o z</b>
Observaciones	Sencillo, robusto y adecuado a las tensiones muy altas	Más adecuado para corrientes fuertes	Utilizado en el secundario de los transformadores de distribución Mayor número de conexiones



### Configuraciones de conexión primario / secundario más utilizadas

- Estrella / Estrella (Y, y): robusta, sencilla, neutra y accesible, pero inadecuada en régimen desequilibrado y con corrientes muy fuertes.
- Estrella / Triángulo (Y, d): buen comportamiento en régimen desequilibrado y ausencia de armónicos de tercer orden, pero no es posible la distribución BT con cuatro hilos (no hay neutro en el secundario).
- Triángulo / Estrella (D, y): sin neutro en el primario pero con posibilidad de neutro en el secundario (puesta a tierra y distribución con 4 hilos).
- Estrella / Zigzag (Y, z): primario adecuado para AT (alta tensión), posibilidad de punto neutro puesto a tierra, ausencia de armónicos de tercer orden, buen comportamiento en régimen desequilibrado, caídas de tensión interna pequeñas pero mayor coste y volumen, y realización más delicada.
- Triángulo / Zigzag (D, z): misma calidad que la anterior, con mejor comportamiento en régimen desequilibrado pero sin neutro en el primario.

### Índice horario

La designación de las conexiones (por medio de letras) se completa con una cifra que indica el desfase angular, por ejemplo Yy6, Yd11, Ynyn0 (neutro de salida). En lugar de expresar el desfase angular entre los vectores de tensión primaria/secundaria (entre polos o entre fases) en grados (u otra unidad angular) en un círculo trigonométrico con centro en el punto neutro, se utiliza un medio más descriptivo: el índice horario. Se supone que el vector de tensión del lado primario está situado en la posición de las 12 en punto y el índice horario indica la posición de la hora en que está situado el vector correspondiente del lado secundario.

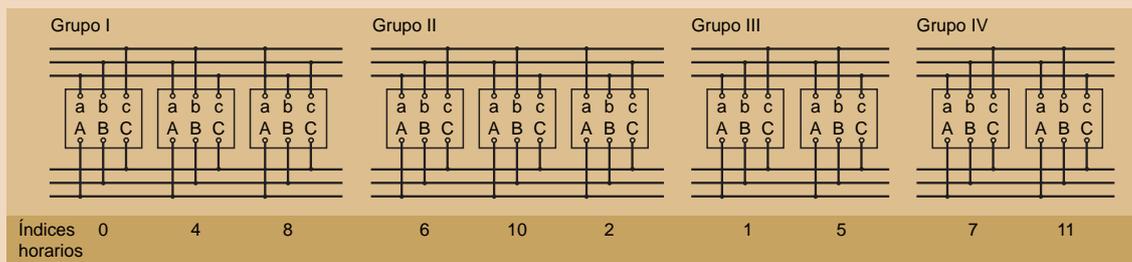
Conexiones usuales de los transformadores					
<b>Dd0</b>		<b>Yy0</b>		<b>Dz0</b>	
<b>Dy5</b>		<b>Yd5</b>		<b>Yz5</b>	
<b>Dd6</b>		<b>Yy6</b>		<b>Dz6</b>	
<b>Dy11</b>		<b>Yd11</b>		<b>Yz11</b>	



### Funcionamiento en paralelo de los transformadores

Para que dos transformadores trifásicos puedan funcionar en paralelo, es necesario que tengan:

- una relación de potencia 2
- características de tensión iguales (relación de transformación)
- características de cortocircuito iguales (% de tensión, corriente)
- conexiones estrella-triángulo compatibles
- índices horarios idénticos (conexiones entre bornas) o pertenecientes al mismo grupo de conexión si el régimen de utilización es equilibrado.



Se puede conseguir que funcionen en paralelo transformadores de grupos diferentes modificando conexiones, pero esto estará sujeto obligatoriamente a la aprobación de los fabricantes.

### 3 GRUPOS ELECTRÓGENOS

Al satisfacer la necesidad de continuidad en el suministro de energía, los grupos electrógenos son objeto de una utilización cada vez mayor.

Según sus características, pueden constituir:

- alimentaciones de sustitución para reemplazar a la alimentación principal en caso de fallo de esta última (con posibilidad de selección si la potencia del grupo es insuficiente),
- alimentaciones de sustitución como segunda fuente de alimentación principal para suplir a la primera fuente por razones de economía o en caso de picos de consumo,
- alimentaciones para servicio de seguridad, asociadas en su caso a un ondulador para poner y mantener instalaciones en condiciones de seguridad en períodos incompatibles con la autonomía de las baterías.

En todos los casos, el criterio dominante al elegir un grupo es su aptitud para funcionar de manera autónoma durante largos períodos. La oferta de los fabricantes de grupos electrógenos es casi ilimitada, y abarca desde pequeños grupos portátiles de algunos kVA, que se utilizan como fuente autónoma, hasta centrales de energía de varios MVA pasando por los grupos móviles sobre ruedas (destinados, por ejemplo, a la alimentación de la red pública en caso de avería) o por los grupos estacionarios de varios centenares de kVA (destinados en su mayoría a un servicio de seguridad o de sustitución). También las fuentes de energía están evolucionando y, aunque todavía se usa mucho el gasóleo, cada vez se emplea más el gas o incluso el vapor en las centrales de cogeneración.



**Están llegando al mercado nuevas tecnologías de generación en sustitución o como complemento de los grupos electrógenos y, aunque no todas se encuentran aún en fase comercial, sin duda acabarán modificando la noción de producción autónoma y, sobre todo, su gestión eléctrica. En este contexto, cabe citar:**

- los turbogeneradores de alta velocidad (microturbinas de gas),
- las pilas de combustible,
- los generadores eólicos,
- las células fotovoltaicas.

**Todas estas tecnologías se benefician implícitamente de la evolución de la electrónica de potencia, que permite transformar la corriente producida (continua, variable, de alta frecuencia) en una corriente utilizable de 50 Hz.**

Ante tal diversidad, resulta un poco ilusorio establecer una clasificación aunque, normalmente, se hace una distinción entre grupos atendiendo a ciertos criterios

- El tiempo de intervención, definido en cuatro clases:

- sin interrupción (llamado también de tiempo cero) para la alimentación de instalaciones de seguridad tipo A,

- de corta interrupción (con tiempo de intervención no superior a 1 s) para las instalaciones de seguridad tipo B,

- de larga interrupción (se requieren hasta 15 s para tomar el relevo de la alimentación) para las instalaciones de seguridad tipo C,

- de retardo no especificado (se requiere un tiempo superior a 15 s o una activación manual).

- El tipo de aplicación, definido por cuatro clases que establecen las tolerancias de fluctuación de tensión y de frecuencia en función de las exigencias de las cargas alimentadas:

- G1 ( $U : \pm 5\%$ ,  $f : \pm 2,5\%$ )<sup>1</sup> para las cargas resistivas simple (alumbrado, calefacción).

- G2 ( $U : \pm 2,5\%$ ,  $f : \pm 1,5\%$ ) para aplicaciones similares a las alimentadas por la red pública (alumbrado, motores, aparatos electrodomésticos ...),

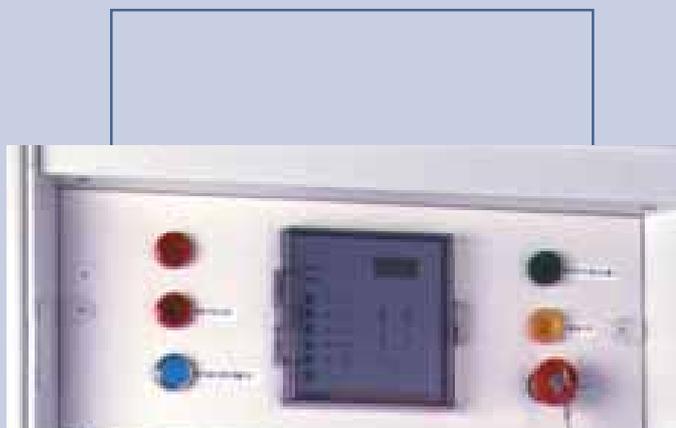
- G3 ( $U : \pm 1\%$ ,  $f : \pm 0,5\%$ ) para aplicaciones sensibles (regulación, telecomunicaciones, ...).

- G4 (a especificar) para usos con características de forma de onda especificadas (informáticos, ...).

(1) valores en régimen permanente. Los valores transitorios también están especificados.

## Inversor de fuente

**Los automatismos de inversión de fuentes de los DPX permiten, según las opciones de esquema, realizar todas las funciones necesarias:**

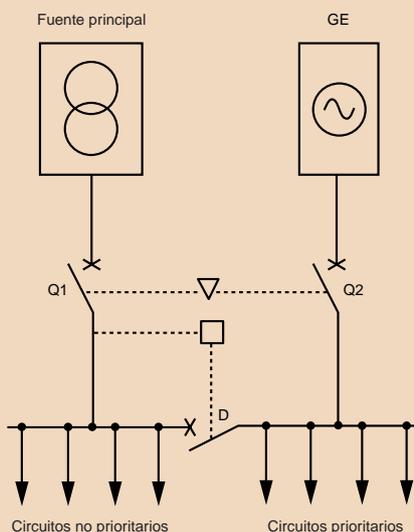


- **conmutación temporizada de las fuentes,**
- **corte a distancia,**
- **protección y confirmación de fallos,**
- **mando a distancia del grupo,**
- **mando de selección de cargas**

**Principios de conexión de un grupo electrógeno como fuente de sustitución o de seguridad**

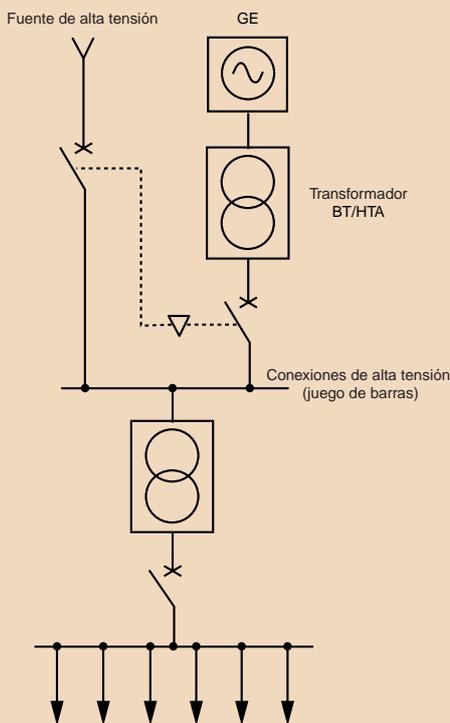
En caso de fallo de la fuente principal, ésta se desconecta (apertura de Q1) y D es accionado (apertura), si procede, para deslastrar la carga antes de cerrar Q2, que permitirá al grupo alimentar los circuitos deseados.

La secuencia de maniobras puede ser manual, semiautomática o automática pero, en todos los casos, bloqueos eléctricos y mecánicos deben impedir la realimentación de la red por el grupo o la conexión de ambas fuentes juntas.



En las instalaciones de muy alta potencia, alimentadas directamente en AT (alta tensión), puede ser preferible conectar la fuente de sustitución directamente a la red de AT por medio de un transformador elevador BT/AT. En ese caso, las conmutaciones se efectúan directamente en AT y, por tanto, bajo corrientes más débiles.

La conexión de las masas de AT se hará preferiblemente según el esquema TNR.



## 4 ONDULADORES

El ondulator es una fuente de sustitución cuya autonomía está en función de la capacidad de su batería. La tecnología «on line» permite igualmente proteger ciertos equipos sensibles (informática) de las perturbaciones de la alimentación (microinterrupciones).

### 1 Tipo «off-line» o «en espera»

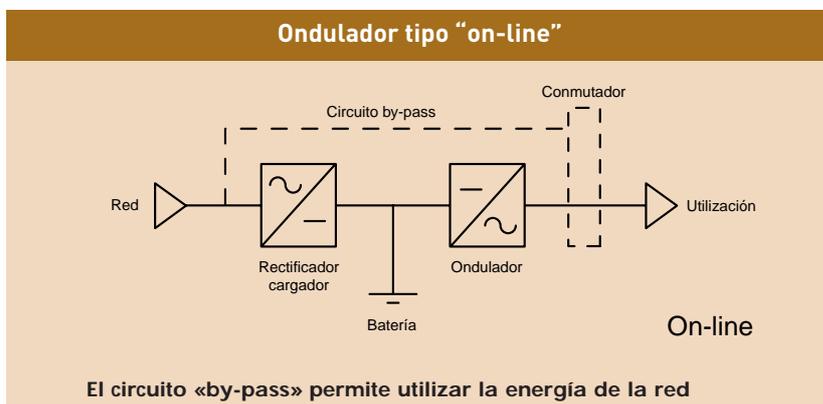
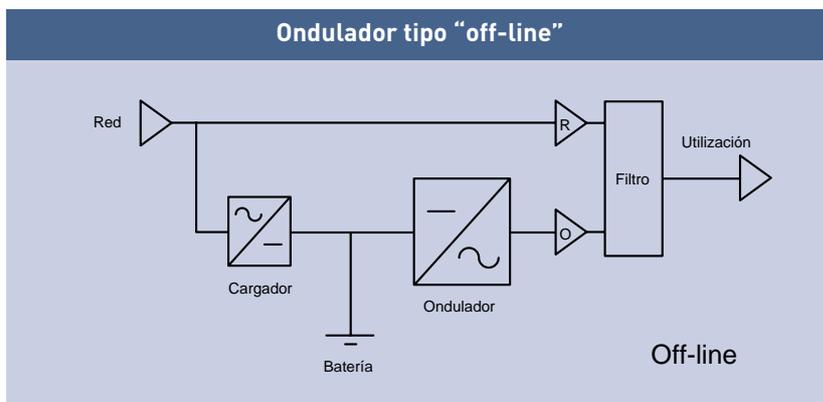
Esta tecnología, llamada también «stand-by», se utiliza para bajas potencias, no superiores a unos pocos kVA. La carga (utilización) es alimentada directamente por la red a través de un simple filtro que permite atenuar las perturbaciones.

En caso de fallo en un punto anterior de la red eléctrica, la utilización es transferida al ondulator y su batería por un conmutador rápido (de 2 a 10 ms). Es muy importante comprobar que el equipo alimentado puede soportar esta breve interrupción.

### 2 Tipo «on-line» o «en funcionamiento continuo»

Esta tecnología, la más utilizada por encima de 3 kVA, se considera la más eficaz. La carga (utilización) es alimentada constantemente por el ondulator, lo que garantiza una regulación permanente de la tensión y la frecuencia a la salida del aparato ( $\pm 1$  a 3%). En caso de fallo en un punto anterior de la red eléctrica, la carga continúa siendo alimentada sin conmutación.

Resumen de tecnologías		
Funcionalidades	Off - line	On - line
Tiempo de transferencia a batería en los cortes de la red	Sí	No
Protección contra microinterrupciones de duración inferior a 5 ms	No	Sí
Regulación de frecuencia	No	Sí
Regulación de tensión	No	Sí
Absorción de picos de tensión	No	Sí
Filtrado de armónicos	No	Sí
Absorción de impactos de carga (corriente de llamada)	No	Sí



Existen también otras denominaciones del tipo «no-break», «in-line», «doble-conversión», etc..., pero son más comerciales que técnicas.

## 5 BATERÍAS

Una batería se compone de elementos acumuladores conectados entre sí. Hay dos tipos de baterías:

- baterías abiertas, constituidas por elementos provistos de orificios que permiten evacuar a la atmósfera la mezcla gaseosa (oxígeno e hidrógeno) y repone el nivel de electrolito; se utilizan en configuraciones importantes y requieren un local ventilado
- baterías sin mantenimiento, constituidas por elementos con una tasa de recombinación del 95% como mínimo; no es necesario añadirles agua durante su utilización. Se utilizan para potencias de hasta 250 kVA.
- el local ha de tener una ventilación adecuada. Por lo general, las baterías se instalan en un soporte o estante específico.

La autonomía y vida útil de las baterías dependen de sus condiciones de uso: potencia a suministrar, régimen de descarga, temperatura ambiente, antigüedad, condiciones de descarga. Este tipo de fuente de alimentación se utiliza con frecuencia para atender necesidades puntuales como fuente de seguridad (alumbrado de seguridad, alimentación estabilizada asistida...)



# CONSIDERACIÓN DE LOS RIESGOS

**Aunque el término riesgo en sí tiene un significado totalmente claro para todo el mundo, su realidad es mucho más compleja ya que las nociones que crean el riesgo, y por tanto la reacción al mismo, es decir, la seguridad, etc., son a un tiempo amplias y sutiles, numerosas y específicas Interdependencias, umbrales admisibles, siempre difíciles de estimar pero que miden sin concesiones las estadísticas. Estas últimas expresan claramente la verdadera seguridad de la energía eléctrica teniendo en cuenta su universalidad**

Es innegable que la tecnología ha permitido mejorar la eficacia y la fiabilidad de los aparatos. La normalización y la reglamentación han acompañado esta evolución al tiempo que los usos de la electricidad han ido multiplicándose hasta hacerse omnipresentes.

Ni que decir tiene que la competencia, el sentido común, la organización y el comportamiento serán siempre los pilares de la seguridad, pero los conocimientos necesarios son ahora tan precisos, diversos y numerosos que con frecuencia es necesario recurrir a la ayuda de especialistas.

Los organismos competentes, pueden ayudar a las empresas.

Si distinguimos las consecuencias humanas de las materiales, los accidentes e incidencias de origen eléctrico requieren conclusiones matizadas:

– los accidentes laborales de origen eléctrico están en constante disminución aunque siguen siendo la causa de algunos fallecimientos mientras que los riesgos eléctricos siguen siendo una de las principales causas de incendio. Respecto a este punto, habría que tener en cuenta también las causas reales y las supuestas y, sobre todo, su origen exacto. El cortocircuito, contrariamente a lo que suele decirse, es rara vez la causa del siniestro. Las sobrecargas prolongadas (líneas subdimensionadas), los

calentamientos locales (conexiones), las chispas (descargas electrostáticas en ambiente explosivo, silos, minas) y, por supuesto, el rayo, son las principales causas de siniestros.

## SEGURIDAD FÍSICA Y SEGURIDAD FUNCIONAL

No hay que confundir seguridad física con seguridad funcional.

La seguridad física tiene que ver con las consecuencias directas o indirectas para las personas o los bienes derivadas de un fallo, un error de maniobra o incluso de ciertas acciones voluntarias, debiendo considerarse incluido al medio ambiente en el concepto de los bienes.

La seguridad funcional integra nociones más mensurables de eficacia, vida útil, robustez y, especialmente, en el campo de la distribución eléctrica, de fiabilidad y continuidad de funcionamiento.

La seguridad funcional es uno de los elementos que permiten garantizar la seguridad física.



## PARA UNA MEJOR CONSIDERACIÓN DE LA SEGURIDAD

### En la fase de diseño:

- conocer los textos reglamentarios pertinentes
- y las características específicas del proyecto (instalaciones clasificadas, obras peligrosas)
- respetar las reglas de cálculo de las instalaciones.

### En la fase de realización:

- elegir materiales seguros y acreditados
- velar por la correcta ejecución de los trabajos.

### En la fase de explotación:

- definir consignas precisas de maniobra o de urgencia
- elaborar un programa de mantenimiento
- formar al personal en las tareas que ha de realizar (calificaciones y habilitaciones).

# Seguridad de las personas

## 1 EL RIESGO DE ELECTROCUCIÓN

Los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano dependen de dos factores:

- el tiempo de paso de la corriente a través del cuerpo
- la intensidad y frecuencia de la corriente.

Estos dos factores son independientes entre sí, pero el nivel de riesgo será más o menos elevado en función del valor de cada factor. La intensidad de corriente peligrosa para el ser humano depende de la tensión y de la tolerancia del cuerpo. En la práctica, la intensidad se define a partir de una tensión límite UL generalmente considerada igual a 50 V. Esta tensión tiene en cuenta la corriente máxima que puede soportar un ser humano que posea una resistencia eléctrica interna mínima, en determinadas condiciones. También tiene en cuenta la duración máxima admisible del tiempo de paso de la corriente por el cuerpo, sin efectos fisiopatológicos peligrosos (fibrilación cardíaca).

### 1 Aspecto fisiológico

Cuando el cuerpo humano se ve sometido a una tensión eléctrica, reacciona como un receptor clásico que posee una determinada resistencia interna.

Es recorrido por una corriente eléctrica, lo que entraña tres riesgos graves:

- tetanización: la corriente mantiene contraídos los músculos por los que circula; si se trata de la caja torácica, puede provocar un bloqueo respiratorio.

- fibrilación ventricular: completa desorganización del ritmo cardíaco
- efectos térmicos que provocan lesiones más o menos graves de los tejidos, incluso quemaduras profundas en el caso de corrientes muy elevadas.

El cuadro adjunto muestra que, con una tensión de contacto de 230 V, el cuerpo humano sería atravesado por una corriente de 153 mA. Para evitar cualquier tipo de riesgo, dicha corriente no debería mantenerse más de 0,17 segundos.

Relación tiempo de paso máximo / tensión de contacto en condiciones de contacto normales ( $U_L$ : 50 V)

Tensión de contacto	Impedancia eléctrica del cuerpo humano	Corriente que atraviesa el cuerpo humano	Tiempo de paso máximo
$U_c$ (V)	$Z_n$ ( $\Omega$ )	$I_n$ (mA)	$t_n$ (s)
50	1725	29	5
75	1625	46	0,60
100	1600	62	0,40
150	1550	97	0,28
230	1500	153	0,17
300	1480	203	0,12
400	1450	276	0,07
500	1430	350	0,04

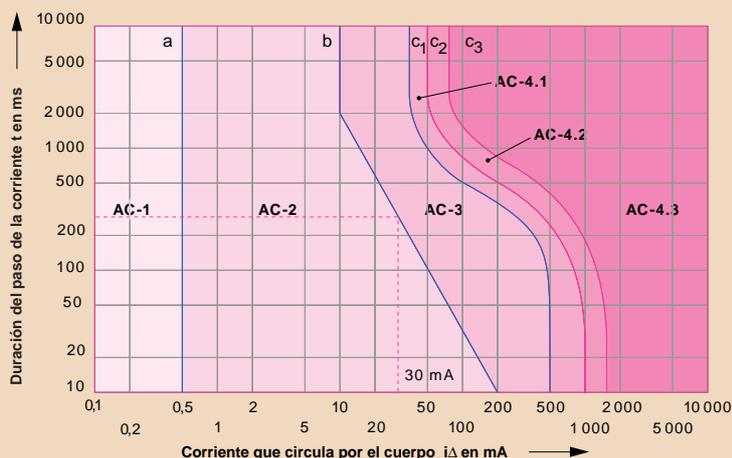
Las normas definen las curvas límites corriente/tiempo considerando los dos parámetros que se han de tener en cuenta para la evaluación del riesgo  
 $i_{\Delta}$ : corriente que circula por el cuerpo  
 t: tiempo de paso de la corriente a través del cuerpo.

Estas curvas, definidas por la CEI 60479-1, indican los diferentes límites de los efectos de la corriente alterna a 50 Hz en las personas y determinan 4 zonas principales de riesgo.



**Las curvas corrientes/tiempos vienen determinadas para una frecuencia de 15 a 50 Hz. El riesgo aumenta considerablemente con la frecuencia.**

curvas corrientes/tiempos



Para duraciones del paso de corriente inferiores a 10 ms, el límite de corriente que circula por el cuerpo, línea b, permanece constante y es igual a 200 mA

Zona	Efectos fisiológicos
<b>AC-1</b>	Habitualmente, ninguna reacción.
<b>AC-2</b>	Habitualmente, ningún efecto fisiológico peligroso.
<b>AC-3</b>	Habitualmente, ningún daño orgánico; probabilidad de contracciones musculares y de dificultades respiratorias para duraciones de paso corriente superiores a 2 s. Perturbaciones reversibles en la formación de la propagación de los impulsos en el corazón sin fibrilación ventricular, que aumentan con la intensidad de la corriente y con el tiempo de paso.
<b>AC-4</b>	Aumentando con la intensidad y con el tiempo, pueden producirse efectos fisiopatológicos tales como paro cardíaco, paro respiratorio graves quemaduras, complementados con los efectos de la zona 3.
<b>AC-4.1</b>	Probabilidad de fibrilación ventricular hasta el 5% aproximadamente
<b>AC-4.2</b>	Probabilidad de fibrilación ventricular hasta el 50% aproximadamente
<b>AC-4.3</b>	Probabilidad de fibrilación ventricular superior al 50%.

## 2 Riesgo de contacto directo

Decimos que existe contacto directo cuando una persona toca directamente una parte desnuda y bajo tensión eléctrica de un aparato, equipo o instalación (por imprudencia, torpeza, o a causa de un defecto...).

## 3 Riesgo de contacto indirecto

Hablamos de contacto indirecto cuando una persona toca una masa metálica por la que accidentalmente circula corriente (fallo de aislamiento del aparato o de la máquina eléctrica).

Por lo tanto, es importante detectar y eliminar rápidamente el fallo antes de que alguien entre en contacto con la masa metálica.



## 2 RIESGO DE QUEMADURAS

### 1 Contacto de superficies calientes

Las temperaturas alcanzadas por las superficies accesibles de los equipos eléctricos no deben ser susceptibles de provocar quemaduras al ser tocadas dichas superficies.

Si determinadas superficies pueden alcanzar valores más elevados, aunque sólo sea durante breves instantes, deberán estar protegidas.



Valores recomendados de temperatura máxima admisible de las superficies

Partes accesibles	Material de las partes accesibles	Temperaturas máximas (°C)
Órganos de mando manual	Metálico	55
	No metálico	65
Previstas para ser tocadas pero no destinadas a tenerlas en la mano	Metálico	70
	No metálico	80
No destinadas a ser tocadas en servicio normal	Metálico	80
	No metálico	90



La evaluación del riesgo efectivo de quemaduras debe realizarse teniendo en cuenta:

- la temperatura de la superficie
- el material constitutivo de dicha superficie
- la duración del contacto con la piel.

Pueden ser necesarios datos complementarios tales como la forma (ranuras), la presencia de un revestimiento o la presión de contacto. La norma UNE EN 563-96 «temperatura de superficies tangibles» indica los límites basándose en datos ergonómicos.

### 2 Arco eléctrico

Aparte de las consecuencias materiales, muy destructivas, los riesgos de un arco eléctrico accidental son sobre todo térmicos (quemaduras directas por plasma, proyección de material en fusión) y luminosos (destello intenso). El arco puede provenir de la apertura o el cierre de un circuito o de un cortocircuito: En este segundo caso, puede ser extremadamente energético ya que únicamente está limitado por la potencia de la fuente.



No existen protecciones específicas contra el arco eléctrico, que sigue siendo un fenómeno imprevisible. Las pantallas o tabiques pueden limitar sus consecuencias pero la mejor prevención sigue siendo el respeto de las «reglas del oficio» y la conformidad con la reglamentación al realizar las instalaciones.

A fin de reducir la probabilidad de cortocircuito, deben tomarse precauciones especiales en las partes de dichas instalaciones que no están protegidas (por estar situadas antes de los dispositivos de protección).

### 3 EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE BAJA FRECUENCIA (EXCEPTO RADIOFRECUENCIAS)

La exposición profesional a los campos electromagnéticos no está reglamentada ni a escala nacional ni a escala internacional. Se han llevado a cabo numerosos estudios epidemiológicos que no han aportado conclusiones que demuestren los efectos de los campos electromagnéticos en sujetos humanos. Por lo tanto, la evaluación de este posible riesgo sigue siendo objeto de numerosas investigaciones.



Los portadores de implantes médicos, tanto activos como pasivos, deben indicar esta circunstancia al médico de la empresa a fin de que se comprueben las condiciones reales de exposición (campo magnético y campo eléctrico), así como su compatibilidad.

#### 1 Campos magnéticos de baja frecuencia (en A/m)

Están generados por las corrientes y son proporcionales a su intensidad. Inducen en el cuerpo humano corrientes perpendiculares al campo magnético. Los valores del campo magnético van desde algunos pT (picotesla) a varios mT (militesla). El valor de exposición disminuye rápidamente con el cubo de la distancia. Por lo tanto, las exposiciones más intensas se alcanzan con aparatos domésticos muy cercanos al cuerpo (secador de cabello, afeitadora, manta eléctrica).



#### 2 Campos eléctricos de baja frecuencia (en V/m)

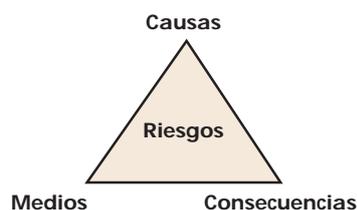
El campo eléctrico en la superficie del cuerpo humano se modifica en función de la conductividad de éste. La intensidad del campo es máxima al nivel de la cabeza. El campo eléctrico induce corrientes especialmente en el eje del cuerpo. Los valores medidos más elevados (hasta varios kV/m) se sitúan cerca de las líneas de energía y de los transformadores de alta tensión, de las soldadoras y de los hornos de inducción. El campo eléctrico disminuye con el cuadrado de la distancia.



Prueba de la dificultad del tema y de las controversias que genera, es lo limitado de la edición de documentos oficiales (normas, reglamentos) en cuanto al número de estudios, tesis e informes disponibles sobre dicho tema. Citaremos la norma IEEE 95-1-1991 de origen americano y la recomendación del Consejo de la Unión Europea 1999/519/CE.

# Seguridad de los bienes

La seguridad de los bienes, íntimamente ligada a la de las personas, requiere un enfoque preventivo basado en un análisis del siguiente tipo:



El cuadro adjunto recuerda, a título indicativo, los principales elementos que deben tenerse en cuenta en relación con los factores de riesgo eléctrico, sin que esto sustituya al necesario «análisis de riesgos» que debe acompañar a todo proyecto.

Análisis de riesgos eléctricos	
Factores de riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobreintensidades (sobrecargas, cortocircuitos)</li> <li>• Corrientes de defecto</li> <li>• Sobretensiones (rayo, descargas electrostáticas...)</li> <li>• Bajadas de tensión y cortes de alimentación</li> <li>• Perturbaciones electromagnéticas</li> <li>• Degradaciones, envejecimiento, corrosión</li> <li>• ...</li> </ul>
Condiciones medioambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de los edificios</li> <li>• Materiales de construcción</li> <li>• Naturaleza de los materiales tratados o almacenados</li> <li>• Condiciones de evacuación de las personas</li> <li>• Lugares públicos (vandalismo)</li> <li>• Condiciones climáticas medioambientales</li> <li>• Tensiones mecánicas, vibraciones, terremotos</li> <li>• Presencia de fauna y flora (mohos...)</li> <li>• Exposición a la intemperie (viento, lluvia, inundaciones...)</li> <li>• ...</li> </ul>
Consecuencias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incendio</li> <li>• Explosión</li> <li>• Discontinuidad de la explotación</li> <li>• Mal funcionamiento (CEM)</li> <li>• Contaminación medioambiental</li> <li>• ...</li> </ul>
Medios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivos de protección contra sobreintensidades</li> <li>• Limitación de las corrientes de fallo</li> <li>• Utilización de materiales, conductos y conductores conforme a las normas</li> <li>• Evaluación de la carga calorífica</li> <li>• Resistencia y reacción frente al fuego de los elementos constructivos</li> <li>• Compartimentación, eliminación de humos</li> <li>• Detección, alarmas</li> <li>• Medios de lucha</li> <li>• Dispositivos anti-intrusión, antivandalismo</li> <li>• Protección adecuada a las condiciones medioambientales (climática, mecánica, química...)</li> <li>• ...</li> </ul>



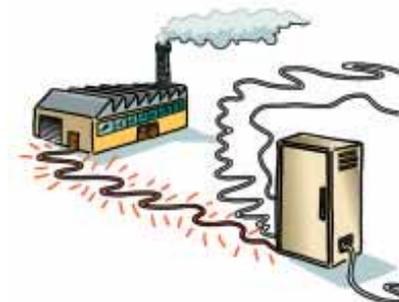
**La protección total no existe; la mejor seguridad pasa por la búsqueda de compromisos razonables y razonados en los que la protección de las personas es prioritaria.**

## 1 RIESGO DE SOBREINTENSIDADES

Por principio, todos los conductores activos de la instalación (fases y neutro) deben estar protegidos contra sobrecargas y cortocircuitos.

### 1 Sobrecarga

Es una sobreintensidad que circula por un circuito en ausencia de fallo eléctrico. Se debe a una canalización infradimensionada para la carga alimentada (o, a la inversa, a una carga demasiado elevada para la canalización).



Deben preverse dispositivos de protección para interrumpir cualquier corriente de sobrecarga antes de que el calentamiento del conductor perjudique su aislamiento, sus conexiones y los materiales que le rodean. La protección contra las sobrecargas puede efectuarse también mediante fusibles (tipo gG), automáticos con relé térmico, automáticos con relé electrónico, o interruptores con relé de medida. ¡Atención! Los fusibles aM no protegen contra las sobrecargas. Las reglas de determinación para garantizar la protección contra las sobrecargas se describen en el capítulo II.A.1.

### 2 Cortocircuito

Se trata de una sobreintensidad producida por un fallo de impedancia despreciable entre conductores de potencial diferente.

Su origen es accidental y puede ser debido a un error (caída de una herramienta, corte de un cable) o a un fallo del material.



Deben preverse dispositivos de protección a fin de limitar y cortar las corrientes de cortocircuito antes de que sus efectos térmicos (calentamiento de los conductores, arco eléctrico) y mecánicos (esfuerzos electrodinámicos) puedan ser perjudiciales y peligrosos.

La protección contra cortocircuitos puede efectuarse mediante fusibles (tipo gG o aM), automáticos con relé magnético, o automáticos con relé electrónico (corriente máxima).

Su poder de corte y su tiempo de apertura del circuito deben ser los adecuados para el circuito protegido. Las reglas de determinación para garantizar la protección contra cortocircuitos se describen en el capítulo II.A.3.



**Los dispositivos de protección de los circuitos de instalación no están previstos para garantizar la protección de los circuitos internos de los aparatos ni la de los conductores flexibles (cables de alimentación de aparatos móviles) conectados a enchufes.**

**Puede ser necesario el estudio de protecciones independientes y apropiadas si existe riesgo de sobreintensidades (sobrecarga en motores, por ejemplo).**



**Por principio, todas las líneas deben estar protegidas contra cortocircuitos. Están autorizadas las asociaciones de aparatos para aumentar el poder de corte (véase el capítulo II.B.2). En ciertos casos es posible igualmente que no exista necesidad de protección.**

**Dentro de las precauciones de cableado debe tenerse en cuenta la protección de conductores en paralelo (de un mismo circuito) y la protección de la instalación antes de los dispositivos de protección.**

## 2 RIESGO DE CORRIENTES DE DEFECTO

En equipos e instalaciones, las corrientes de defecto entre partes activas y masas obedecen generalmente a un fallo o al envejecimiento de la instalación. Según el valor alcanzado, la circulación de la corriente puede crear chispas, e incluso inflamar el material circundante. La elección del régimen de neutro determina el valor máximo de las corrientes de defecto.

En caso de riesgo de incendio:

- el esquema TN-C está prohibido, las corrientes pueden alcanzar varios kA y circular incluso a través de la estructura de los edificios
- el esquema TN-S es desaconsejable salvo que se complemente con dispositivos diferenciales de sensibilidad In 500 mA
- el esquema TT es posible (limitación por diferencial)
- el esquema IT está recomendado por su seguridad intrínseca ya que la corriente de 1<sup>er</sup> fallo puede limitarse a un valor muy débil (unos pocos mA), para evitar el riesgo de arco. Atención al 2<sup>o</sup> fallo, que debe estar protegido con un diferencial In 500 mA

## 3 RIESGO DE SOBREINTENSIDADES

Las sobretensiones pueden tener diversas causas, de las cuáles es importante conocer sus características para implantar los medios de protección apropiados.

### 1 Sobretensiones de origen atmosférico

Los mecanismos del rayo son muy complejos, pero podemos decir de manera simplificada que se trata de una descarga eléctrica de gran energía provocada por un reequilibrio del potencial entre nubes o entre nubes y suelo. Las corrientes de rayo alcanzan valores de 10 a 100 kA, con tiempos de aumento de unos pocos microsegundos.

El rayo provoca daños considerables. En España, centenares de edificios, líneas telefónicas y eléctricas quedan inutilizados cada año como consecuencia de este fenómeno. Miles de animales y decenas de personas son víctimas de los rayos.



En situaciones de riesgo, es muy recomendable efectuar un mantenimiento preventivo basado en el seguimiento del valor de aislamiento del conjunto de la instalación: valores indicados por el controlador permanente de aislamiento (IT) o campañas regulares de mediciones de la resistencia de aislamiento.

La presencia de contaminantes, humedad o envejecimiento de los aislantes se traduce en puntos débiles del aislamiento. Si se aumenta significativamente el valor de la tensión de prueba, se observará una notable disminución del valor de la resistencia. La aplicación de tensiones crecientes de medición, por ejemplo: 500 V, 1.000 V, 1.500 V, 2.500 V, 5.000, revelará deficiencias si el valor del aislamiento cae más de un 25% en cada salto de tensión.

¡Atención! El valor de prueba debe ser netamente inferior a la rigidez dieléctrica de la instalación (mínimo  $2 U + 1.000$ ).



El riesgo local de tormenta viene determinado por el nivel cerámico, que es el número de días en el que se ha oído el trueno durante un año. Las regiones montañosas son las más expuestas. Los efectos del rayo se dividen normalmente en directos e indirectos.

- Efectos directos

La fulminación provoca en el punto de impacto:

- efectos térmicos directos (fusión, incendio) debidos al arco eléctrico
- efectos térmicos y electrodinámicos inducidos por la circulación de la corriente del rayo
- efectos de deflagración (onda de choque y sople de aire) producidos por el calor y la dilatación del aire.

La protección contra los efectos directos del rayo se basa en la captación y el transporte de la corriente a tierra (pararrayos, varillas de captura...).

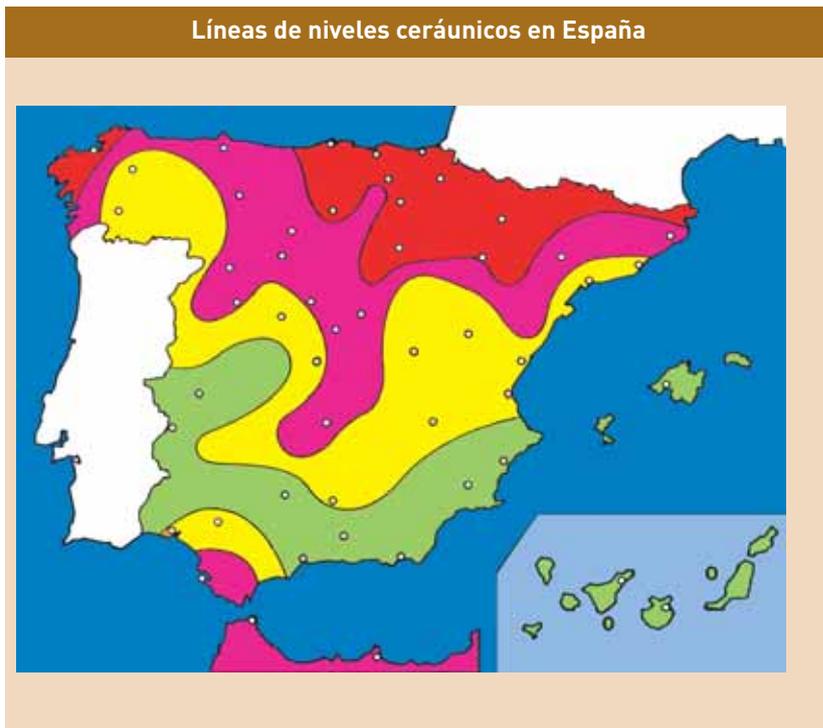
- Efectos indirectos

La caída de un rayo al suelo provoca una subida de potencial de la tierra, que puede propagarse a la instalación (subida de tierra).

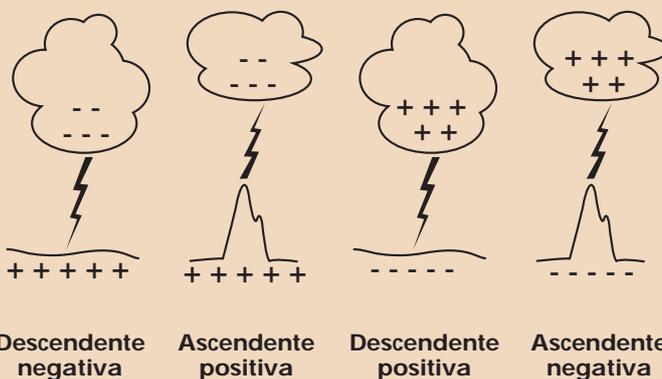
La caída del rayo en líneas aéreas provoca la propagación de sobretensiones a las redes de AT y BT, que pueden llegar a varios miles de voltios.

La descarga del rayo está asociada igualmente a un campo electromagnético de amplio espectro de frecuencia, el cual, acoplándose con los elementos conductores (estructuras de edificios, instalaciones eléctricas), genera corrientes inducidas destructivas.

La protección contra los efectos indirectos se basa fundamentalmente en la utilización de pararrayos, en la equipotencialidad de masas y en el malla de edificios.

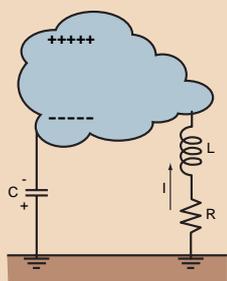


Según el sentido de desarrollo de la carga (descendente o ascendente) y según la polaridad de las cargas (positiva o negativa), podemos distinguir cuatro tipos de descarga de rayos al suelo.





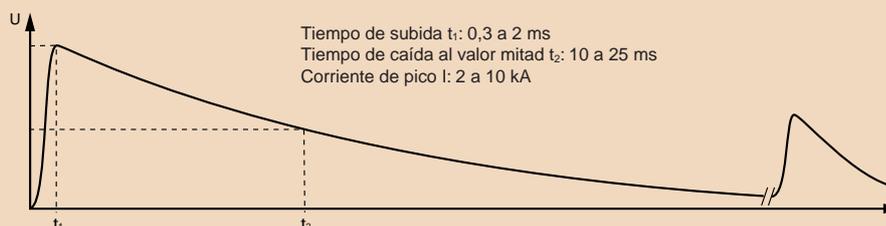
### Modelo eléctrico de una descarga atmosférica



Las descargas de rayo ascendentes se desarrollan a partir de una prominencia natural o artificial. Las descargas más frecuentes en llano son las descendentes negativas.

Una primera descarga (precursora) parte de la nube y avanza hacia el suelo. Cerca de éste, se encuentra con un «líder ascendente» formado a partir de un punto conectado a tierra (árbol, pararrayos, o el propio suelo). Al encontrarse el precursor con el líder, se produce la descarga propiamente dicha, con emisión luminosa (rayo), sonora (trueno) y descarga de una intensa corriente que puede alcanzar los 50 kA.

Aspecto típico de la corriente de descarga de una caída de rayo negativa (valor en el 90% de los casos).



Las Normas Tecnológicas de la Edificación proporcionan información para el diseño y realización de sistemas de protección con pararrayos.

El REBT en su ITC-BT 23, trata de la protección de las instalaciones eléctricas contra sobretensiones transitorias.



Las instalaciones de protección contra el rayo nunca garantizan una protección absoluta de los bienes y las personas. Las disposiciones que se toman están encaminadas a la reducción estadística de los riesgos para los elementos a proteger.

## 2 Sobretensiones de maniobra

Prácticamente todas las conmutaciones en las redes industriales, y particularmente las de elevada potencia, producen sobretensiones. Éstas son provocadas por la interrupción brusca de la corriente. Las líneas y los transformadores se comportan entonces como "self-inductions" (autoinducciones). La energía aplicada en forma de transitorios depende de las características del circuito conmutado. El tiempo de subida es del orden de unas decenas de microsegundos, con un valor de varios kV.

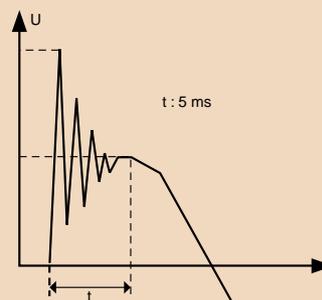
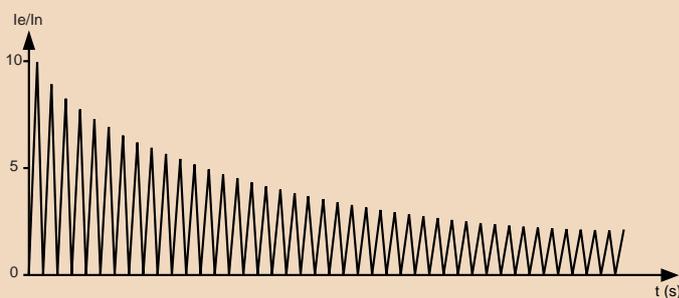


La instalación de pararrayos destinados a la protección contra sobretensiones de origen atmosférico (rayo) permite generalmente prevenir las sobretensiones de maniobra.



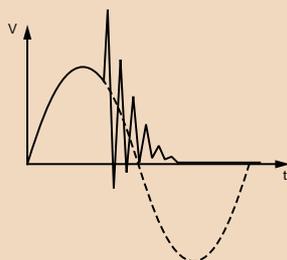
### Curvas típicas de sobretensión de maniobra

Los regímenes transitorios, que pueden constituir fuentes de sobretensiones y de sobreintensidades, pueden generarse como consecuencia de la activación o de la desactivación de cargas. Los transitorios más comunes tienen que ver con transformadores, motores, condensadores y baterías.



La activación de un transformador genera una corriente de llamada de 10 a 20  $I_n$ , con una componente aperiódica amortiguada. Esto provoca una sobretensión en el secundario por acoplo capacitado y efectos oscilatorios como consecuencia de las capacidades y de las inductancias entre espiras.

La desconexión (o la apertura) de un transformador crea una sobretensión transitoria debida a la interrupción de la corriente en un circuito inductivo. Esta sobretensión puede crear recibados de arco en los dispositivos de corte, los cuáles deben escogerse en consecuencia.



Sobretensión al desconectarse un transformador

### 3 Sobretensiones por fallo del aislamiento con respecto a instalaciones de tensión más elevado

Por regla general, las sobretensiones de este tipo sólo se tienen en cuenta para los fallos entre la alta tensión y la masa del centro de transformación AT/BT. La naturaleza de la conexión entre estas últimas y la alta tensión viene determinada por un esquema particular R, N o S.

### 4 Descargas electrostáticas

Aunque no pueda decirse con propiedad que se transmiten por la red eléctrica, ya que su origen es exterior, las descargas electrostáticas pertenecen a la categoría de las sobretensiones.



Son una causa importante de destrucción de componentes o de equipos electrónicos, así como de

**Si el riesgo de fallo directo entre instalaciones de AT y BT no es despreciable y las tomas de tierra del centro y de la instalación son diferentes (letras N y S: TTN, TTS, ITN, ITS), deberá comprobarse que el valor de la toma de tierra del neutro  $R_{t1}$  (de la instalación) es lo bastante bajo como para limitar el aumento de potencial de la instalación de BT.**

$$R_{t1} \leq \frac{U_{ta} - U}{I_m}$$

**$R_{t1}$ : resistencia de la toma de tierra del neutro**  
 **$U_{ta}$ : tensión de rigidez dieléctrica a 50 Hz (generalmente se toma  $2U + 1.000$ )**  
 **$U$ : tensión nominal de la instalación (tensión simple fase/N en TT, tensión compuesta fase/fase en IT)**  
 **$I_m$ : corriente máxima de fallo entre fase y tierra de la instalación de AT**

incendios o explosiones en locales en los que se manejan materias pulverulentas (harinas), inflamables (disolventes) o en condiciones polvorientas (silos de grano).

Al frotar dos materiales aislantes entre sí, uno de ellos cede electrones al otro. Es el efecto de carga electrostática.

Algunos materiales tienen tendencia a cargarse positivamente (pérdida de electrones) y otros a cargarse negativamente (ganancia de electrones). Cuanto más alejados se encuentren los materiales en la escala de potenciales, mayor será el intercambio. Numerosas asociaciones de materiales constituyen fuentes de cargas electrostáticas.

Escala de potenciales de algunos materiales	
<span style="font-size: 2em;">+</span> <b>carga positiva</b>	Aire Mano Vidrio Mica Cabello humano Nylon Lana Pieles Plomo Aluminio Papel
Referencia 0	Algodón (seco)
<span style="font-size: 2em;">-</span> <b>carga negativa</b>	Acero Madera Níquel, Cobre Plata Oro, Platino Acrílico Poliéster Polietileno Polipropileno Poliuretano Policloruro de vinilo Silicio Teflón

• **Electrización del cuerpo humano**

El hombre, al moverse o caminar, transmite electrones a las superficies con las que entra en contacto (moqueta, mobiliario...). Tras algunos movimientos se establece un equilibrio y la carga puede entonces alcanzar algunos microculombios y varias decenas de kV.

El contacto con un elemento conectado a tierra provocará una violenta descarga, capaz de perturbar o de destruir la mayor parte de los componentes electrónicos.

Los efectos son directos (descarga eléctrica) o indirectos (campo magnético inducido por la circulación de la corriente de descarga, que puede alcanzar varias decenas de amperios).

• **Electrización de máquinas, fluidos, partículas**

Las correas de transmisión en las poleas, las cintas textiles sobre rodillos, el papel en las rotativas y todos aquellos sistemas en los que se producen rozamientos permanentes, son fuentes de descargas electrostáticas. Sus consecuencias van desde las molestias que puede sentir el personal, hasta el riesgo de incendio o de explosión según los materiales tratados.

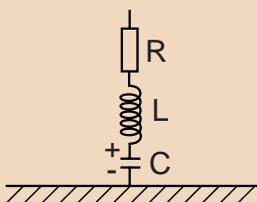
Los líquidos pueden igualmente electrificarse en las canalizaciones, especialmente si estas últimas son de material aislante. También la descarga de gases comprimidos o de chorros de vapor puede generar cargas electrostáticas.

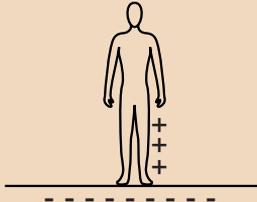
Las nubes de polvo pueden acumular cargas considerables, cuyo potencial puede sobrepasar los 10 kV.

La cantidad de cargas electrostáticas



**El hombre puede considerarse como un condensador de varios centenares de picofaradios (pF) en serie, con una resistencia de varios kΩ.**





**En el momento de la descarga, son los elementos eléctricos R, L, C del circuito de descarga los que determinan las características: tiempo de subida, duración, valor de pico...**

**Aspecto típico de una descarga electrostática.**



**t1:** tiempo de subida, 1 a 5 ns  
**t2:** tiempo de caída a la mitad del valor, 50 a 100 ns  
**U:** potencial electrostático, 15 kV (máx. 25 a 40 kV)  
**I:** 5 a 20 A (máx. 70 A)

aumenta con la concentración, la finura y la velocidad de desplazamiento. La inflamación, o más frecuentemente la explosión, puede proceder de una descarga espontánea en la nube de polvo o de una fuente exterior (cinta transportadora, persona...).

El riesgo de descargas electrostáticas también debe tenerse en cuenta de modo especial en los hospitales: mezclas inflamables, presencia de oxígeno, humedad relativa reducida por la calefacción, numerosos rozamientos de tejidos (camas, ropa...), son los principales ingredientes.



**El efecto de carga electrostática depende de numerosos parámetros, como la naturaleza de los materiales en rozamiento (permitividad), las condiciones de rozamiento y de separación (velocidad relativa), pero sobre todo de las condiciones de temperatura y de humedad ambientales. Según las posibilidades o las exigencias de los procesos o de los locales, la reducción del riesgo de descarga electrostática pasará por:**

- la humidificación de la atmósfera (> 70%)
- el incremento de la conductividad de los aislantes
- la puesta a tierra y el establecimiento de conexiones equipotenciales
- la reducción de los rozamientos
- la neutralización de las cargas (ionización del aire, eliminadores por inducción o radiactivos...)

#### 4 INTERRUPCIONES Y CAÍDAS DE TENSIÓN

La desaparición de la tensión de alimentación y su restablecimiento súbito pueden constituir una fuente de peligro. Del mismo modo, determinados materiales pueden ser incapaces de soportar una caída de tensión (por encima de los límites habituales) y su comportamiento verse afectado: calado de motores, reacciones imprevistas de los automatismos...

Las interrupciones de tensión deben analizarse considerando todas sus consecuencias: riesgo de pánico, paro de máquinas, paro de operaciones que puedan hacer peligrar la vida de las personas... Según las exigencias de explotación y/o de seguridad, la alimentación de energía deberá garantizarse con o sin interrupción.

##### Magnetotérmicos Legrand para motores



... garantizan el control y la protección de motores trifásicos. Pueden estar provistos de un interruptor de seguridad de falta de tensión ref. 029 37 / 38 regulable de 0,35 a 0,7 IN



Existen dispositivos de tensión mínima temporizados que pueden garantizar una protección apropiada para un nivel de caída de tensión predeterminado, para un tiempo de interrupción o de caída, o para ambas cosas simultáneamente, pero no deben impedir ni retrasar cualquier maniobra de control de paro o de parada de emergencia.

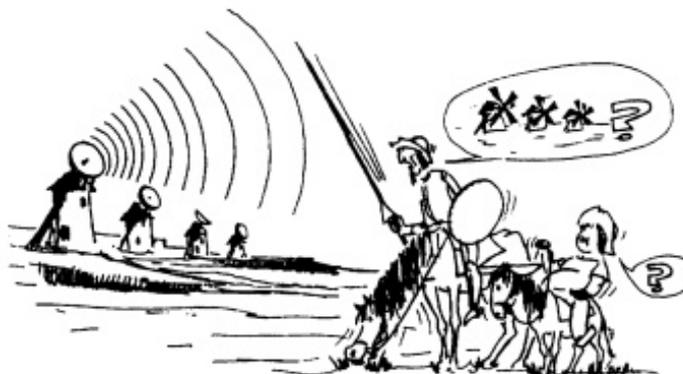
## 5 PERTURBACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

El desarrollo acelerado de la energía eléctrica y de sus aplicaciones (electrónica, informática) así como la multiplicación de aparatos, fijos o móviles, y la descentralización de las funciones, han modificado verdaderamente el medio ambiente natural.

La compatibilidad electromagnética (o CEM) se define como la aptitud de un material, de un sistema o de una instalación para funcionar correctamente en su entorno, sin generar por sí mismo perturbaciones intolerables para los demás elementos de dicho entorno. Es una exigencia inexcusable que no se puede ignorar en las instalaciones actuales.

Según los casos, la CEM se tratará en el marco de la fuente (reducción de la emisión), en el de la víctima (mejora de la inmunidad o «endurecimiento»), o en ambos.

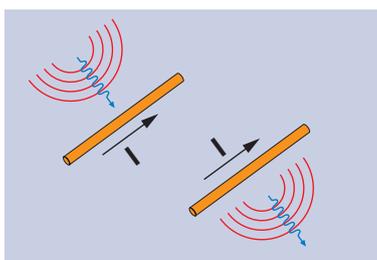
La complejidad de los problemas de la CEM está ligada frecuentemente al hecho de que las fuentes pueden también ser víctimas y víctimas de las fuentes, y que el acoplamiento se lleva a cabo conjuntamente según dos modos: irradiado y conducido. La directiva europea 89/336 (D.O. de 23 de mayo de 1989) ordena a cada Estado miembro aplicar y armonizar los medios necesarios; transcrita de nuevo en los derechos nacionales, no ha sido de aplicación obligatoria hasta el 1 de enero de 1996.



La CEM viene definida por tres parámetros:

Fuente ⇒ Acoplamiento ⇒ Víctima

- La fuente se caracteriza por un nivel de emisión. Las principales fuentes de perturbación son: el rayo, los emisores hertzianos, los generadores de alta frecuencia, los disyuntores e interruptores de potencia, los hornos de arco y de inducción, las alimentaciones de corte, la iluminación fluorescente, los relés, los motores eléctricos, las herramientas, los electrodomésticos, las descargas electrostáticas...
- La víctima se caracteriza por un nivel de inmunidad. Las principales víctimas son: la radio, la televisión, las telecomunicaciones, los modems, la informática, los aparatos provistos de circuitos electrónicos...
- El acoplamiento define la vía de transmisión de la perturbación. Existen dos modos de transmisión:
  - la radiación (en el aire, sin soporte material)
  - la conducción (a través de los elementos conductores: masas, tierra, cables...).



Los conductores son antenas que no solo reciben... sino que también emiten



La verificación de la conformidad se apoya actualmente en un conjunto consecuente de normas internacionales (de la serie CEI 61000).

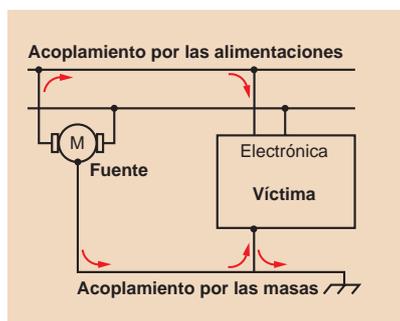
- CEI 61000-1-1: aplicación e interpretación de definiciones y términos fundamentales
- CEI 61000-2-1: descripción del medio ambiente electromagnético
- CEI 61000-2-2: niveles de compatibilidad de las perturbaciones – conductos BF y transmisión de señales en las redes públicas de alimentación BT
- CEI 61000-2-3: descripción del medio ambiente – fenómenos radiados y fenómenos conducidos a frecuencias diferentes de las de la red
- CEI 61000-2-4: niveles de compatibilidad en las instalaciones industriales para las perturbaciones conducidas BF
- CEI 61000-2-5: clasificación de los entornos electromagnéticos
- CEI 61000-2-6: evaluación de los niveles de emisión en la alimentación de las centrales industriales teniendo en cuenta las perturbaciones conducidas BF
- CEI 61000-2-7: campos magnéticos BF
- CEI 61000-2-9: descripción del entorno IEMN-HA<sup>(1)</sup> – perturbaciones radiantes
- CEI 61000-2-10: entorno IEMN-HA<sup>(1)</sup> – perturbaciones conducidas
- CEI 61000-2-11: clasificación del entorno IEMN-HA<sup>(1)</sup>
- CEI 61000-3-2: límites para las emisiones de corriente armónica (aparatos < 16 A)
- CEI 61000-3-3: limitación de las fluctuaciones y del flicker en las redes BT (aparatos < 16 A)
- CEI 61000-3-4: límites de las emisiones de corrientes armónicas en las redes BT (aparatos > 16 A)
- CEI 61000-3-5: limitación de las fluctuaciones de tensión y del flicker en las redes BT (aparatos > 16 A)
- CEI 61000-3-6: evaluación de los límites de emisión para las cargas deformantes conectadas a las redes MT y AT
- CEI 61000-3-7: evaluación de los límites de emisión de las cargas fluctuantes en las redes MT y AT
- CEI 61000-3-8: transmisión de señales en las instalaciones eléctricas BT
- CEI 61000-4-1: vista de conjunto de los ensayos de inmunidad
- CEI 61000-4-2: ensayo de inmunidad a las descargas electrostáticas
- CEI 61000-4-3: ensayo de inmunidad a los campos EM irradiados a las frecuencias radioeléctricas
- CEI 61000-4-4: ensayo de inmunidad a los transitorios rápidos en salvas
- CEI 61000-4-5: ensayo de inmunidad a las ondas de choque
- CEI 61000-4-6: ensayo de inmunidad a las perturbaciones conducidas inducidas por campos radioeléctricos
- CEI 61000-4-7: guía relativa a las mediciones, aparatos, aparatos conectados a las redes de alimentación para los armónicos e interarmónicos
- CEI 61000-4-8: ensayo de inmunidad al campo magnético a frecuencia de red
- CEI 61000-4-9: ensayo de inmunidad al campo magnético de impulsos
- CEI 61000-4-10: ensayo de inmunidad al campo magnético oscilatorio amortiguado
- CEI 61000-4-11: ensayo de inmunidad a los mínimos de tensión, cortes breves y variaciones
- CEI 61000-4-12: ensayo de inmunidad a las ondas oscilatorias
- CEI 61000-4-14: ensayo de inmunidad a las fluctuaciones de tensión
- CEI 61000-4-15: flickerómetro – especificación funcional y diseño
- CEI 61000-4-16: ensayo de inmunidad a las perturbaciones conducidas en modo común (0 a 150 kHz)
- CEI 61000-4-17: ensayo de inmunidad a la ondulación residual sobre entrada de potencia de corriente continua
- CEI 61000-4-24: ensayos de los dispositivos de protección contra las perturbaciones conducidas IEMN-HA<sup>(1)</sup>
- CEI 61000-4-28: ensayo de inmunidad a la variación de la frecuencia de alimentación
- CEI 61000-5-1: guía de instalación – consideraciones generales
- CEI 61000-5-2: guía: conexión a tierra y cableado
- CEI 61000-5-3: guía: conceptos de protección
- CEI 61000-5-4: guía: inmunidad al IEMN-HA<sup>(1)</sup>
- CEI 61000-5-5: guía: dispositivos de protección contra las perturbaciones EIMN-HA<sup>(1)</sup>
- CEI 61000-6-1: niveles genéricos – inmunidad para entornos residenciales, comerciales e industria ligera
- CEI 61000-6-2: niveles genéricos – inmunidad para entornos industriales
- CEI 61000-6-4: niveles genéricos – emisión para entornos industriales

<sup>(1)</sup> Impulso Electromagnético Nuclear a Gran Altitud.

Los problemas de la CEM provienen de los «acoplamientos» que se establecen entre los diferentes elementos de un sistema o de una instalación. Estos fenómenos son aún más cruciales cuando coexisten aparatos de potencia con aparatos electrónicos, cuando sus líneas de alimentación (corrientes fuertes) y de transmisión (corrientes débiles) están próximas entre sí y cuando el medio ambiente se encuentra perturbado como consecuencia de la propia actividad. El acoplamiento, que transmite la perturbación, puede presentarse de cuatro modos.

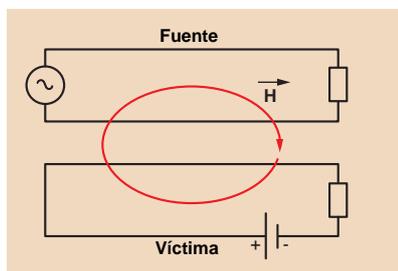
### 1 Acoplamiento por impedancia común

Las perturbaciones se transmiten por los circuitos comunes a la fuente y a la víctima: alimentación, masas de los circuitos de protección auxiliares... Este modo recibe también el nombre de «acoplamiento galvánico».



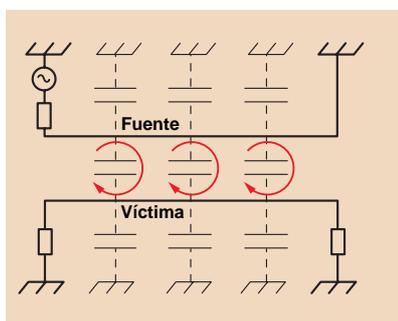
### 2 Acoplamiento inductivo

Las perturbaciones se transmiten por la creación de un campo magnético y la inducción de una f.e.m. en el conductor víctima.



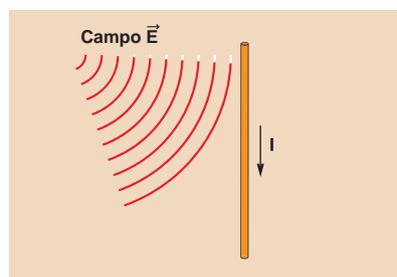
### 3 Acoplamiento capacitivo

Las perturbaciones se transmiten por efecto capacitivo entre las líneas que discurren próximas entre sí. Se llama diafonía a los efectos asociados de los acoplamientos inductivos y capacitivos.



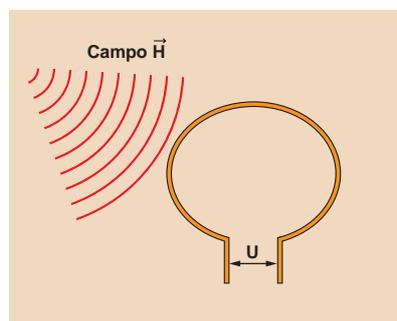
### 4 Acoplamiento entre campo eléctrico y cable

Las variaciones de campo electromagnético (componente eléctrica E) inducen corrientes en los conductores, que se comportan como antenas.



### 5 Acoplamiento entre campo magnético y bucle

Las variaciones del campo magnético H, inducen tensiones (f.e.m.) en los bucles conductores.



Como en todos los terrenos, la mejor protección contra los problemas de la CEM pasa por la prevención. Para cada uno de los modos de acoplamiento y riesgos de transmisión de perturbaciones que se indican existen precauciones elementales. Estas se describen en los capítulos I.C.1 «Principios de protección» e I.C.2 «Construcción del material». El hecho de tener en cuenta la CEM implica nuevas exigencias de instalación que van más allá de las reglas del oficio habituales.

## 6 FENÓMENOS DE DEGRADACIÓN Y ENVEJECIMIENTO

Las condiciones de exposición a las tensiones del entorno son muy variables en función de los lugares de instalación.

De hecho, los factores potenciales de degradación pueden clasificarse en dos grandes categorías:

- factores climatológicos asociados a la temperatura, a la insolación, al viento, a las precipitaciones y a la humedad
- factores específicos de la utilización y del lugar de instalación, cuya acción está ligada a la naturaleza y a la presencia de agentes corrosivos y contaminantes, a la presencia de agua o de polvo (caracterizada por el código IP), incluso a la acción de la fauna, de la flora o del enmohecimiento en ciertos casos.

El material instalado debe poder soportar sin daños, y con una esperanza de vida suficiente, las solicitaciones del lugar en que se encuentra instalado.

La protección puede garantizarse:

- directamente por el propio material, que deberá en tal caso poseer las características apropiadas (IP, IK, resistencia a la corrosión...)
- mediante una protección complementaria aportada por una cubierta (caja, armario) apropiada
- mediante instalación en un emplazamiento en el que las solicitaciones sean reducidas: al abrigo, locales eléctricos, canalizaciones técnicas...



**Los niveles de prestaciones y los ensayos relacionados con la presencia de agua, de cuerpos sólidos y de riesgos de choques, están bien definidos y corresponden a una clasificación de materiales: código IP, código IK.**

**Por el contrario, los criterios relativos a los factores climáticos o específicos (corrosión, radiaciones...) no dan lugar a una clasificación de materiales.**

**Con una visión más exhaustiva, la norma NF C 20-000 (procedente de la CEI 60721) propone al mismo tiempo una clasificación de los agentes medioambientales individuales: temperatura, humedad, así como de olas, salpicaduras, arena, barro o gases de acción corrosiva, con valores o niveles tipo.**

**Asimismo propone una clasificación de grupos de agentes medioambientales y de sus rigores, permitiendo así caracterizar todos los lugares de utilización o de instalación: almacenaje, transporte, puesto fijo resguardado, puesto fijo exterior, vehículos, barcos...**

### 1 Instalaciones exteriores

Para escoger los materiales y las envoladuras, habrá que considerar ante todo las condiciones climáticas del lugar (véase el mapa adjunto).

A las características del clima tipo, habrá que superponer los factores específicos ligados a las propias condiciones de utilización o de instalación que pueden variar para un mismo clima. A pesar de su diversidad y complejidad, dichos factores pueden clasificarse en cinco grandes categorías o «atmósferas».

- Atmósfera rural, que corresponde

a las condiciones de exposición en el campo, sin agentes corrosivos en cantidad apreciable salvo la humedad ambiente.

- Atmósfera urbana, que designa las condiciones de exposición en ciudad, con alternancia de humedad y de sequedad, presencia de hollines, polvos, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono, metales pesados, dióxido de azufre, producidos por la circulación de los automóviles. Los efectos de la corrosión aumentan considerablemente.

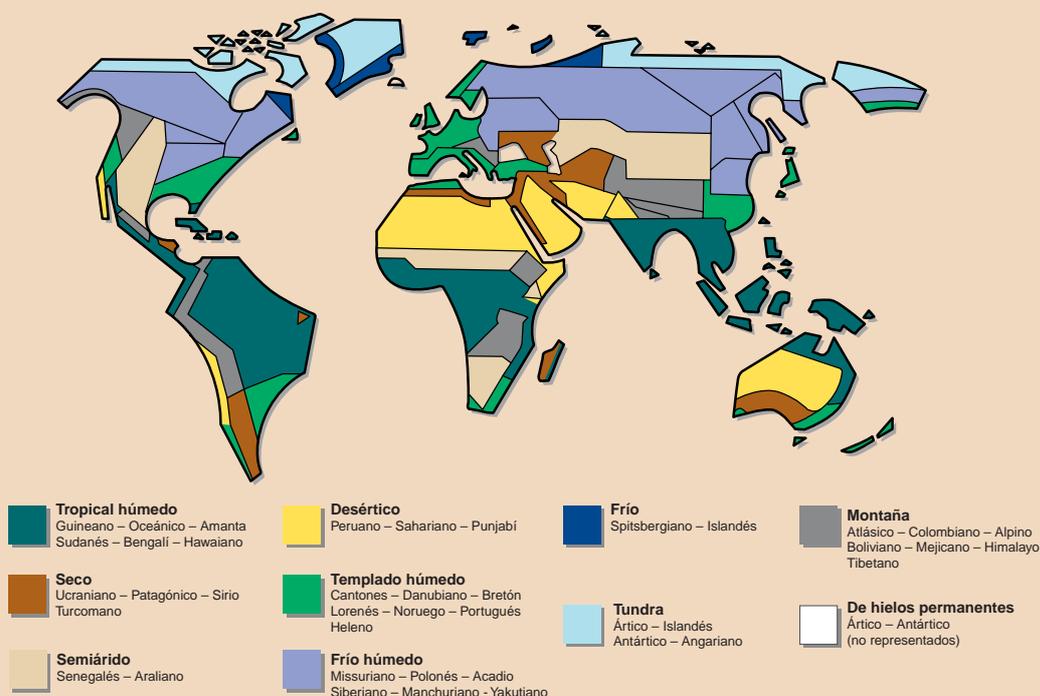
- Atmósfera industrial, cuyas condiciones agresivas se deben funda-

mentalmente al contenido de compuestos de azufre (H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>) y halogenados (HCl).

- Atmósfera marina, caracterizada por un ataque corrosivo muy intenso como consecuencia de la sal (cloruros) y del alto nivel de humedad. Si dichas condiciones existen evidentemente al borde del mar (muelles, malecones...), y con mayor motivo en pleno mar (barcos, plataformas...), no deben despreciarse en la franja costera, que puede alcanzar hasta varios kilómetros bajo el efecto de vientos dominantes.



Existen varias clasificaciones de climas. La del geógrafo francés Emmanuel de Martonne (1873-1955) califica cada clima por el nombre de la región correspondiente y bajo el que se agrupan los datos meteorológicos de temperatura, insolación, precipitaciones y humedad relativa. Los climas locales pueden agruparse en grandes tipos, cuyo número de características son generalmente suficientes: tropical húmedo, seco, semiárido, desértico, templado húmedo (la mayoría de Europa), frío húmedo, frío, extremadamente frío.



- Atmósfera tropical, cuyas condiciones reales pueden de hecho ser muy variables, pero en donde predominan una temperatura y humedad elevadas que no son suficientes por sí solas para aumentar notablemente la corrosión. Sin embargo, deben considerarse otros factores: mohos, microorganismos, líquenes, insectos, pólenes... para adaptar lo mejor posible las prescripciones de tratamiento. Al ser su conocimiento frecuentemente aleatorio, las condiciones se consideran empíricamente como muy rigurosas y los materiales se escogen en consecuencia (tratamiento de tropicalización).

Para todos los tipos de exposición, la elección del índice IP del producto podrá efectuarse separando los usos al abrigo de precipitaciones directas en forma de lluvia y/o del sol (tejadillo, alero, hangar abierto), de los directamente expuestos a la intemperie.



## 2 Instalaciones interiores

Las condiciones interiores pueden clasificarse en numerosos niveles basándose en criterios de calefacción (sin hielo, regulado, climatizado...), de humedad, de ventilación (subterráneo cerrado, ventilado), de efectos de absorción o de invernadero...

En la práctica, podemos considerar tres tipos principales.

- Interior seco, que caracteriza a los locales con calefacción en invierno y sin condensación ni humedad. Se incluyen generalmente en este tipo los locales residenciales, los del sector terciario y los talleres de montaje.
- Interior húmedo, aplicable a los locales o emplazamientos sometidos a humedad y a condensaciones repetidas (interiores de hangares, almacenes cerrados sin calefacción, almacenes con muelles abiertos, sótanos...). El volumen interior de

espacios cerrados (armarios, contenedores, cabinas) situados en el exterior se incluye en este nivel.

- Interior agresivo, cuyas condiciones se caracterizan por la presencia de contaminantes o agentes corrosivos, ocasionalmente combinados con humedad o proyecciones importantes de agua (agroalimentario, tratamientos químicos, locales de ganado...).



**Simulación de la exposición en atmósfera industrial en una estufa de SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre)**

### 3 Radiación solar

Los fenómenos de envejecimiento provocados por la radiación solar son extremadamente complejos y difíciles de recrear en un laboratorio. A esto se añaden otros factores tales como la temperatura, la humedad o los agentes químicos, cuyos efectos actúan en sinergia con el sol.

Las degradaciones observadas van desde el cambio de color o de brillo hasta la alteración de las características físicas de los materiales.



Entre los diferentes documentos normativos que tratan de la radiación solar y de los ensayos aplicables, podemos citar los siguientes:

**CEI 60068-2-5: radiación solar artificial al nivel del suelo**

**CEI 60068-2-9: guía para el ensayo de radiación solar**



En la práctica, los materiales que constituyen los productos se escogen para que puedan resistir la radiación solar de los emplazamientos para los que están previstos.

Sin embargo, puede ser necesario efectuar comprobaciones en determinados casos extremos:

- instalaciones de montaje por encima de 2.000 m
- condiciones de insolación elevadas (> 2.400 h/año)
- instalaciones próximas a fuentes de iluminación ricas en rayos UV (fluorescencia, luminiscencia).



La radiación solar se caracteriza por su nivel de energía (expresado en  $W/m^2$ ) y por el espectro de su emisión (longitudes de onda  $\lambda$ ).

La energía irradiada varía según las regiones (latitud), la turbidez del aire (sobre las ciudades) y, evidentemente, en función de la presencia de nubes.

Se caracteriza por su valor instantáneo en  $W/m^2$  o ponderado a lo largo de la exposición, que puede ser diaria, mensual o anual.

Dejando de lado los climas tropicales o desérticos, los valores tipo máximos, a mediodía, sin nubes, son de 1.050 W en las grandes ciudades, de 1.120 W en la llanura y de 1.180 W en la montaña.

El valor de la exposición energética diaria a 45° de latitud Norte es de 7,45 Wh/m<sup>2</sup>.

La radiación electromagnética del sol cubre, al nivel de la superficie terrestre, un espectro bastante amplio en una banda de longitudes de onda comprendida entre 0,3  $\mu m$  a 4  $\mu m$ , con un máximo en la banda visible entre 0,4  $\mu m$  y 0,8  $\mu m$ .

La radiación puede afectar a los materiales fundamentalmente por calentamiento (efecto de rayos infrarrojos,  $\lambda > 0,8 \mu m$ ) o por fotodegradación (efecto de rayos ultravioleta  $\lambda < 0,4 \mu m$ ). Esto último se traduce en decoloraciones, blanqueo de superficies, así como resquebrajaduras o disgregaciones.

## 7 LA CORROSIÓN

Si bien es cierto que la elección de las envolventes y los materiales es algo esencial, también su montaje influye en la fiabilidad y duración de las instalaciones. A este respecto, un mínimo conocimiento de los fenómenos de corrosión y de sus causas puede evitar algunos sinsabores.

### 1 Fenómenos de corrosión

La corrosión es el término con que se designan los fenómenos de degradación progresiva que, con mayor o menor lentitud, afectan a todos los metales excepto a los denominados preciosos, como el oro o el platino. Para algunos, los fenómenos de corrosión son muy diversos y complejos (gas, alta temperatura, metales en fusión...). En la atmósfera ambiente, la corrosión la provocan esencialmente soluciones acuosas más o menos concentradas.

No obstante, hay que distinguir dos fenómenos:

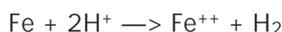
- la corrosión química (o electroquímica), que es el ataque que sufre un metal debido a desplazamientos de cargas eléctricas (electrones) en su superficie
- la corrosión electrolítica (o galvánica), fenómeno consistente en la circulación de una corriente eléctrica entre dos metales de distinta naturaleza, uno de los cuáles es atacado en provecho del otro.

El primer fenómeno es más bien de naturaleza microscópica, mientras que el segundo es de naturaleza macroscópica. En ambos tipos de corrosión, el fenómeno se inicia por la presencia de una solución (generalmente acuosa).

### 2 Corrosión química

Se sabe actualmente que la superficie de un metal está dividida, a escala microscópica, en zonas anódicas y en zonas catódicas. Esta heterogeneidad tiene múltiples causas: metalúrgicas (carburos precipitados, tratamientos térmicos...) físicas (endurecimientos locales por acritud, amolado, mecanizado...) o químicas (incrustación de otros metales, de polvos).

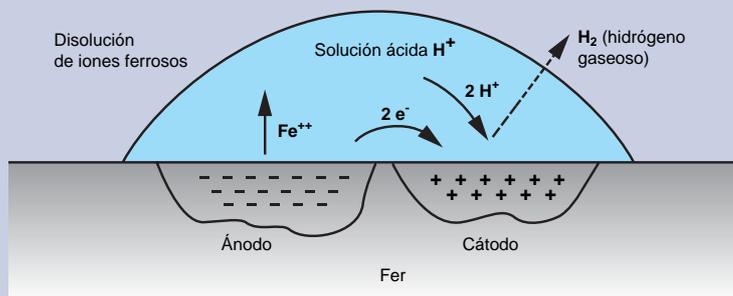
La inmersión en un medio no homogéneo (trozo de hierro semi-sumergido) produce las mismas consecuencias. En presencia de una solución ácida se producen, por tanto, reacciones de oxidorreducción (especie de micropilas) en la superficie del metal que pueden expresarse como sigue:



La solución ácida puede provenir de la disolución de un gas: por ejemplo, con la humedad del aire, el dióxido de azufre,  $\text{SO}_2$ , forma ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

El caudal eléctrico de esta reacción y el sentido de la corriente dependen del potencial entre el metal y la solución (por convenio se toma 0 V para el hidrógeno  $\text{H}^+$ ). El potencial electroquímico de cada metal (ver tabla de la página 656) permite caracterizar su resistencia a la corrosión. También se utiliza el término «potencial Redox».

#### Ejemplo del ataque del hierro por una solución ácida



Se produce una primera reacción anódica de disolución del metal en la que se liberan dos electrones. El hierro disuelto pasa a solución en forma de iones ferrosos  $\text{Fe}^{++}$ .

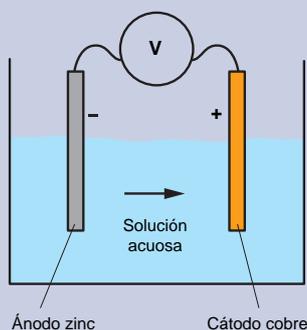
Se produce una segunda reacción en el cátodo, donde los electrones liberados se combinan con los iones  $\text{H}^+$  de la solución ácida. A continuación, estos últimos son reducidos y se liberan en forma de hidrógeno gaseoso  $\text{H}_2$ .

Más generalmente, es el oxígeno del aire que, en presencia de agua (humedad) reacciona aportando dos electrones suplementarios en la forma  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^-$ , lo que conduce a la formación de óxido,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### 3 Corrosión electrolítica

Este tipo de corrosión está directamente relacionado con el principio de la pila eléctrica de Volta. Al contrario que en la corrosión química, los electrodos ánodo y cátodo son de distinta naturaleza y la solución acuosa entre ellos no genera forzosamente una reacción química sino que tan sólo actúa como electrolito, permitiendo el transporte de iones del ánodo (-) al cátodo (+). La diferencia de potencial será tanto más elevada cuanto más alejados en la escala de potenciales electroquímicos estén los dos metales presentes. Fuera del laboratorio, este fenómeno se produce cuando dos metales de distinta naturaleza se unen por medio de un electrolito conductor: ácido, base, agua no pura y, particularmente, agua de mar.

#### Ejemplo de corrosión electrolítica entre el zinc y el cobre

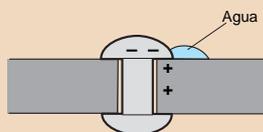


Cargas positivas, iones de zinc, se desprenden del ánodo de zinc y se depositan en el cátodo de cobre. El zinc es destruido en provecho del cobre.



La corrosión electrolítica tiene pocos límites en lo que a dimensiones geométricas se refiere; he aquí algunos ejemplos:

#### Ensamblajes



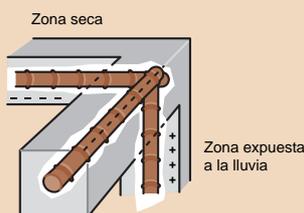
El remache de aluminio, electronegativo con respecto al hierro, sufre una corrosión que puede conducir a la rotura.

El mismo fenómeno afectará a un perno de acero cincado en contacto con acero inoxidable.

Tratamientos más apropiados: para el contacto con el acero inoxidable

se utilizará tornillería inoxidable o de latón niquelado.

#### Hormigón armado



Zona seca: la armadura se comporta como un ánodo.

Zona expuesta a la lluvia: el hormigón permanece húmedo, la armadura se comporta como un cátodo.

La circulación de una corriente galvánica provocará la corrosión de la armadura.

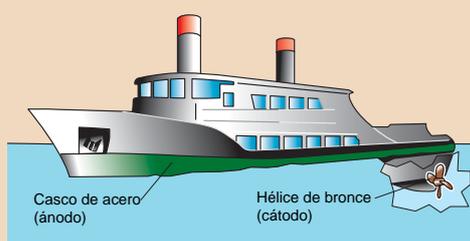
#### Torres del tendido eléctrico



La diferencia de potencial entre tierra y torre provoca la circulación de una corriente.

Puede aumentar la corrosión de las partes enterradas. En las obras de fábrica se utilizan complejos sistemas de protección para «desplazar» la corrosión hacia ánodos sacrificiales (recubrimiento de zinc) o para impedir que los cloruros lleguen al acero (membranas hidrófugas).

#### Barcos



El agua del mar constituye un electrolito disponible y permanente.

La corrosión del casco del navío corre el riesgo de aumentar debido a la presencia de la hélice de bronce.

También en este caso la disposición «de ánodos sacrificiales» en el casco del barco permitirá «desplazar» el fenómeno de corrosión.

Igual finalidad tiene la presencia de una pletina de magnesio en un calentador de agua para proteger la cuba. Atención: cuando el ánodo desaparece totalmente, deja de haber protección.

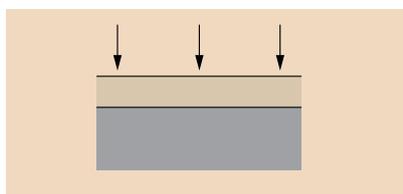


El valor de la tensión galvánica admisible (en general 300 mV y, en condiciones secas controladas, 400 mV) permite conocer las asociaciones posibles de metales.

Atención: éstas son sólo indicativas, el pH del medio (ácido o básico) y fenómenos de pasividad pueden modificar los valores de potencial.

Normalmente, la protección del metal contra la corrosión puede realizarse de tres maneras.

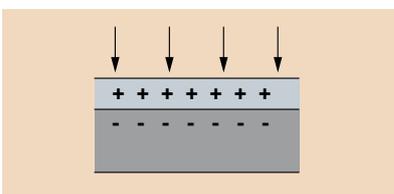
- Depositando una película estanca (pintura, barniz...) que impida el contacto del metal con la atmósfera ambiente.



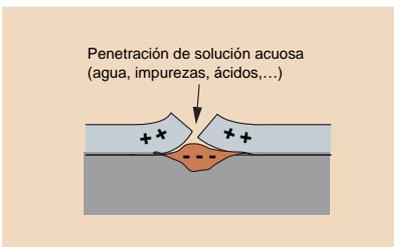
Si el revestimiento es aislante, este mismo principio puede impedir que circule una corriente electrolítica entre dos metales diferentes.

Un ejemplo de lo anterior lo ofrece el «truco» de fontanero consistente en envolver el tubo de cobre con varias vueltas de cinta aislante para limitar la corrosión de la abrazadera Atlas de acero.

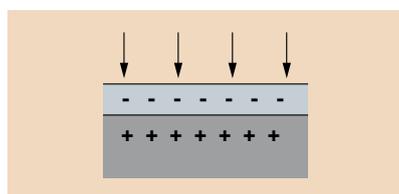
- Depositando un tratamiento metálico de mayor potencial electroquímico que el metal base (a veces se utiliza el término de protección anódica, pero puede inducir a confusión); por ejemplo: estaño sobre zinc, níquel sobre hierro, plata sobre cobre.



Este tipo de protección sólo es aceptable si el tratamiento es perfectamente estanco. De lo contrario, se producirá corrosión por picaduras del metal subyacente y, con el tiempo, el tratamiento acabará por desprenderse.

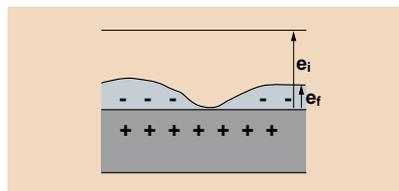


- Depositando un tratamiento metálico de menor potencial que el metal base (también se habla de protección catódica) por ejemplo: zinc sobre hierro, estaño sobre cobre.



El metal depositado será atacado en beneficio del metal que se desea proteger. Se habla entonces de ánodo sacrificial.

La protección será proporcional a la cantidad (espesor inicial  $e_i$ ) de metal depositado y cesará cuando se haya consumido todo el tratamiento (ver dura-

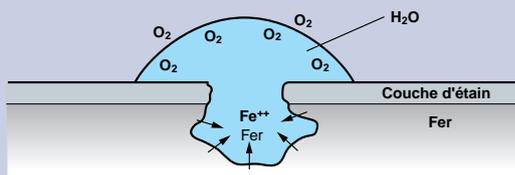


ción previsible de los tratamientos). Ciertas zonas de metal desnudas seguirán estando protegidas por efecto de proximidad aunque la capa de espesor final  $e_f$  no sea totalmente continua. El galvanizado ilustra este tipo de protección.

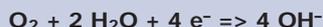


Revestimiento catódico al final de la vida útil. La capa de zinc (galvanización) se ha consumido completamente en algunos lugares, dejando al descubierto el metal de base.

### Ejemplo de ataque por picaduras del hierro estañado



Si aparece una fisura o una discontinuidad en la capa de estaño, el hierro subyacente puede sufrir oxidación por  $O_2$  (disuelto en el agua). Como la superficie del ánodo representado por el hierro es pequeña en comparación con la del cátodo (estaño), el ataque local será fuerte y profundo a fin de poder suministrar los electrodos necesarios para la reacción:



lo que conducirá a la formación de óxido  $4 Fe(OH)_3$

El hierro estañado u hojalata se utiliza cuando no hay riesgo de destrucción local: interior de latas de conservas.



### Ánodo, cátodo y sentido de la corriente

El ánodo se define convencionalmente como el electrodo positivo de un aparato, el que recibe el polo  $\oplus$  de la alimentación; no obstante:

- en una pila, el ánodo es el electrodo negativo que cede electrones; éstos se desplazan entonces del polo  $\ominus$  al polo  $\oplus$
- en una reacción de electrólisis la corriente viene impuesta, el ánodo es el electrodo positivo y los electrones se desplazan entonces del polo  $\oplus$  al polo  $\ominus$ ; se produce disolución del ánodo
- en un tubo electrónico (o catódico) el electrodo llevado al potencial elevado de una fuente emite electrones convirtiéndose entonces en ánodo.

De hecho, la mejor definición es la que proporciona la etimología, según la cual el ánodo (del griego ana: alto) designa el potencial alto con respecto al potencial bajo (cata) del cátodo.



Cuando la masa de un aparato, equipo, vehículo o navío se utiliza como polo eléctrico, es fundamental conectar éste al polo  $\ominus$  de la alimentación. La masa representará entonces el cátodo (bajo potencial) que recibe las cargas eléctricas.

En el caso inverso, polo  $\oplus$  a masa, por tanto ánodo, los elementos de la masa podrían resultar corroídos por electrólisis.



Las normas relativas a los tratamientos de superficie y a la corrosión son muy numerosas; entre otras normas genéricas cabe citar la: ISO 2177 y 4518 «Medición del espesor de los revestimientos»

## 4 Pasividad

El fenómeno de pasividad corresponde al estado en el que un metal sumergido en un medio suficientemente oxidante ya no es atacado. Está entonces recubierto por una capa fina e invisible que frena la penetración del agua y del oxígeno. Por ejemplo, el hierro se hace pasivo en ácido nítrico muy concentrado y deja de ser atacado. Algunos metales pueden hacerse pasivos, y por tanto protegerse, en condiciones ambiente: cobre, estaño, plomo, zinc, pero estas condiciones son más o menos precarias y dicho estado puede no ser lo suficientemente estable como para considerarlo una protección duradera.

El estado de pasividad, con frecuencia asimilable a la «pátina del tiempo», tarda demasiado en conseguirse por procedimientos industriales, por lo que el estado pasivo se obtiene mediante un tratamiento de conversión química:

- Cromado del zinc
- Fosfatado y cromado del acero
- Anodizado del aluminio.

El tratamiento permitirá según los casos un mejor agarre de los revestimientos posteriores o una protección temporal e incluso definitiva.



### Pasividad del acero inoxidable

Lo que confiere al acero su carácter de inoxidable es la incorporación de cromo a más del 12%. Este elemento de aleación tiene la propiedad de formar un compuesto oxidado que genera pasividad en la superficie del metal. Esta delgada capa es la que determina la resistencia a la corrosión. Su estabilidad dependerá de varios factores: composición del acero, estado superficial, naturaleza del medio...

La capa pasiva se regenera espontáneamente por exposición al aire ambiente tras sufrir un daño accidental. Pero estas condiciones pueden verse comprometidas en presencia de iones halógenos (cloro, bromo, flúor, yodo), que pueden originar entonces corrosión por picaduras.

El aporte de molibdeno (316 L) reduce en gran parte este riesgo pero demuestra la importancia de permitir la regeneración de la capa pasiva o de provocarla.



### La doble vida del zinc

El zinc, sin duda el elemento de protección anticorrosión más utilizado, tiene un comportamiento que oscila, según las condiciones ambientales, entre un papel sacrificial y otro de autoprotección. El primero es muy conocido: en efecto, el zinc se disuelve y se consume, particularmente en presencia de soluciones ácidas en las atmósferas urbanas e industriales. El segundo no lo es tanto, ya que resulta más complejo y está relacionado con el fenómeno de la generación de la pasividad.

Si sólo se consideran las reacciones conducentes a formas estables y protectoras de los óxidos formados, han de tenerse en cuenta dos elementos esenciales: la concentración de vapor de agua y la de gas carbónico.

En presencia de vapor de agua ( $H_r > 50\%$ ), se produce un aumento de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  que, al combinarse con la forma oxidada  $\text{Zn}_2$ , generan una forma hidratada de óxido de zinc,  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , altamente insoluble. Este hidróxido frena la penetración del agua y el oxígeno, e inhibe la corrosión.

El gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ) contenido en el aire (0,3% como mínimo) provoca por su parte la precipitación de formas carbonatadas del zinc, igualmente muy insolubles. Al parecer, cuantos más carbonatos contiene la capa pasiva mayor es su acción protectora, de ahí la importancia de la concentración de  $\text{CO}_2$  y de su renovación.

La mejor durabilidad de los revestimientos de zinc se obtiene cuando éstos se hallan en estado pasivo, condición que exige una buena ventilación (renovación del  $\text{CO}_2$ ) y favorecer el chorreo que elimina las especies solubles y los depósitos pulverulentos.

¡El zinc prefiere por tanto el aire libre...!

También en este caso, cuando es difícil obtener el fenómeno de pasividad natural (atmósferas ácidas o confinadas) resulta ventajoso utilizar los tratamientos de conversión, como el cromado (color blanco claro), el bicromado (color verde/amarillo) o el cromado grueso (verde/negro), que ralentiza sensiblemente la corrosión.

Hay que señalar también que al tener los cromados un potencial electroquímico (+ 0,3 V) más elevado que el zinc (- 0,76 V) sufrirán un ataque bastante menor.

**8 SOLICITACIONES POR EXPOSICIÓN: POLVO, AGUA Y HUMEDAD**

El material o las cubiertas destinados a la protección deben escogerse para liberarse de los efectos perjudiciales que produciría la penetración de cuerpos sólidos (polvo, arena) o agua, no solo en forma líquida sino también en forma gaseosa: humedad.



**1 Polvo**

Numerosas actividades humanas (circulación, industria, agricultura, obras públicas...), así como la propia naturaleza (tierra, arena, pólenes...), generan polvo conductor, o que puede serlo al combinarse con la humedad.

Al cabo de cierto tiempo, penetraciones importantes en el material eléctrico pueden provocar mal funcionamiento, fallos de aislamiento e incluso cortocircuitos.



**El código IP (índice de protección) define el nivel de protección aportado. La norma CEI 60529 EN-60529 prescribe los ensayos a efectuar para su comprobación**

1ª cifra: protección contra los cuerpos sólidos		
IP	Tests	
0		Sin protección
1		Protegido contra cuerpos sólidos mayores de 50 mm
2		Protegido contra cuerpos sólidos mayores de 12,5 mm
3		Protegido contra cuerpos sólidos de más de 2,5 mm (herramientas, tornillos)
4		Protegido contra cuerpos sólidos mayores de 1 mm (herramientas finas, cables pequeños)
5		Protegido contra el polvo (sin depósitos perjudiciales)
6		Totalmente protegido contra el polvo

2ª cifra: protección contra los cuerpos líquidos		
IP	Tests	
0		Sin protección
1		Protegido contra caída vertical de gotas de agua (condensación)
2		Protegido contra caída de gotas de agua hasta 15° respecto a la vertical
3		Protegido contra el agua de lluvia hasta 60° respecto a la vertical
4		Protegido contra proyecciones de agua procedentes de cualquier dirección
5		Protegido contra chorros de agua de manguera procedentes de cualquier dirección
6		Totalmente protegido contra proyecciones de agua asimilables a golpes de mar
7		Protegido contra efectos de inmersión
8		Protegido contra efectos de inmersión prolongada en condiciones específicas

El nivel de accesibilidad a las partes peligrosas, definido igualmente por la 1ª cifra o por una letra adicional, no se incluye en esta tabla.



En el marco del mantenimiento preventivo, los locales de servicio eléctrico, los cuadros y las canalizaciones técnicas deben ser objeto de una limpieza regular por aspiración. La periodicidad depende de las condiciones locales, aunque en cualquier caso no debería ser superior a doce meses.

Estos defectos, a menudo solapados e insidiosos, aparecen con el tiempo y la falta de mantenimiento.

Los periodos de funcionamiento y de parada, al crear presiones y depresiones en las cubiertas, favorecen la penetración del polvo. Los sistemas de ventilación transportan enormes cantidades de polvo. Los filtros no pueden impedir completamente su paso y deben limpiarse regularmente.



**Ensayo de penetración de sólidos:** en este caso, ensayo al polvo de talco



Los intercambiadores de calor Legrand (4 modelos de 25 W/°C a 81,5 W/°C) permiten un enfriamiento muy eficaz en los ambientes más polvorientos



Reglas generales para la elección de la 1ª cifra según los emplazamientos.

- IP 2x: emplazamientos o locales de uso doméstico y terciario, donde no exista ninguna cantidad apreciable de polvo y no se manipulen objetos pequeños. Numerosos locales técnicos de servicio y de control se encuentran en este caso.
- IP 3x: emplazamientos o locales de uso industrial y similares (garajes, bricolaje), en donde se manipulan objetos pequeños (tornillería, herramientas...) – salas de máquinas, talleres de montaje, de fabricación, de mecánica – emplazamientos exteriores: camping, obras, calles, patios, jardines, establecimientos feriales, piscinas...
- IP 4x: condiciones idénticas a las de severidad 3, pero con presencia de cuerpos extraños más pequeños (hilos, paja...) (locales agrícolas ganaderos, talleres de precisión...).
- IP 5x y 6x: emplazamientos o locales en los que existen cantidades importantes (5), o muy importantes (6), de polvo (almacenes de forraje, graneros, granjas, silos, talleres textiles, madereros, canteras, cementeras, abonos, material plástico, azucareras...).

## 2 Agua

Al igual que el polvo, el agua no debe penetrar en el material eléctrico: corrosión, degradación de los contactos, disminución del aislamiento... Toda una serie de efectos nefastos de los que es preciso preservarse para garantizar la duración de los equipos.

Evidentemente, hay que escoger materiales y cubiertas cuyo índice de protección sea adecuado para el lugar de instalación, a fin de evitar la penetración directa del agua en forma líquida.



**Ensayo de protección contra proyecciones de agua IP x 6**



Los ensayos de estanqueidad prescritos por la norma EN 60529 están adaptados a los casos de las instalaciones más normales en climas templados. Determinadas aplicaciones pueden presentar exigencias diferentes o más severas, que es importante determinar claramente a fin de garantizar las prestaciones de los productos escogidos: subida de la marea o diluvio en las instalaciones off-shore, lavado a alta presión (Karcher™), formación de hielo o, lo que es lo mismo, funcionamiento bajo hielo, carga de nieve...



Reglas generales para la elección de la 2ª cifra del IP según los emplazamientos.

- IP x1: emplazamientos o locales en los que la humedad se condensa ocasionalmente en forma de gotas de agua. El índice de humedad (vapor de agua) puede ser elevado durante largos periodos (cavas, despensas, cuartos de lavado, baños, cuartos de secado, sótanos, terrazas acristaladas, laboratorios, cuartos de calderas, talleres, garajes, lavabos individuales, almacenes de combustible, algunos almacenes...).
- IP x2: este grado de rigor no es específico de emplazamientos o locales tipo. Sin embargo, se podrá aplicar cuando exista el riesgo de que las gotas de agua no caigan verticalmente como consecuencia del viento (terrazas cubiertas, por ejemplo), o el producto no esté instalado en las condiciones de posición para las que está previsto (falsa verticalidad, suelo en pendiente...).
- IP x3: emplazamientos o locales en los que el agua chorrea por la pared y el suelo (lavaderos, huecos sanitarios, cámaras frigoríficas, sobrealimentadores, estaciones de vapor o de agua caliente, locales de recarga de baterías, lavabos colectivos, almacenes de alcoholes, bodegas, cavas de destilación, invernaderos, establecimientos feriales, diversos almacenes, fabricación de abonos, detergentes, colas, pinturas, espirituosos, barnices...).
- IP x4: emplazamientos o locales en los que los materiales están sometidos a proyecciones de agua (carnicerías, charcuterías, lecherías, fabricación de pasta de papel, refinerías...). Este grado de rigor y los superiores son aplicables a los emplazamientos exteriores no cubiertos (calles, patios, jardines, terrazas...).
- IP x5: emplazamientos o locales normalmente lavados con chorros de agua (cuartos de basuras, patios, jardines, aledaños de piscinas, cría de aves de corral, pocilgas, establos, salas de ordeño, caballerizas, canteras, cadenas de embotellado, lecherías, lavanderías, lavaderos públicos, queserías, mataderos, tintorerías, azucareras, tenerías, pescaderías, obras, muelles de descarga...):
- IP x6: emplazamientos o locales sometidos a olas o golpes de mar (malecones, playas, muelles, pontones, áreas de lavado...).

### 3 Humedad

Si los modos de transporte del agua (caída de gotas, lluvia, chorros...) son fáciles de identificar y los medios para protegerse están bien codificados, no ocurre lo mismo con la humedad del aire, cuya condensación puede provocar daños imprevisibles. Al cabo de cierto tiempo pueden acumularse cantidades insospechadas de agua condensada, con las consecuencias que es fácil deducir. Esto es así especialmente en el caso de materiales sometidos a variaciones cíclicas de

temperatura. En el exterior, tenemos las variaciones estacionales, el enfriamiento nocturno, una tormenta con tiempo cálido, la sombra tras la insolación...

En el interior, están los ciclos de puesta en marcha y de parada, el lavado con agua fría, el corte de la calefacción en periodos no laborales, las diferencias de temperatura, importantes en ciertos locales (papejería, agroalimentario...).



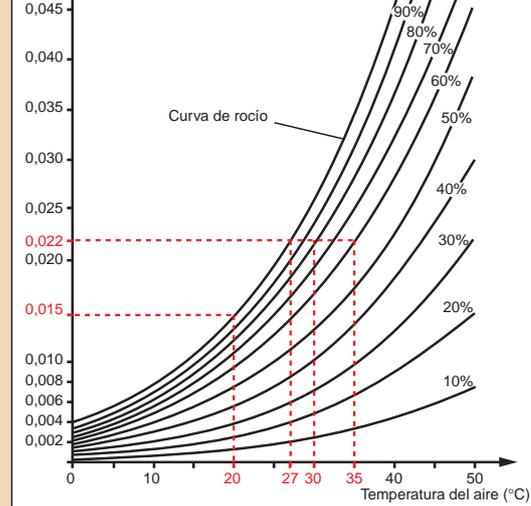
**Ensayo en recinto climático que permite recrear las condiciones de humedad y de condensación**



Entre sus numerosos componentes (nitrógeno, gas carbónico, oxígeno...), el aire contiene también agua en forma de gas: es el vapor de agua, que no hay que confundir con el agua en suspensión, como la niebla o el vaho.

Se llama humedad absoluta  $Q$  a la masa de agua en forma de gas (vapor) contenida en una determinada cantidad de aire.  $Q$  se expresa en kg de agua por kg de aire seco. Una masa de aire determinada solo puede contener, a una cierta temperatura, una cantidad máxima de agua llamada humedad absoluta máxima  $Q_M$ . Por encima de esta cantidad, el aire se satura y el vapor pasa al estado líquido, es lo que llamamos condensación. Este punto de saturación recibe el nombre de punto de rocío (por asimilación con el rocío de la hierba).

Cuanto más caliente está el aire, más agua en forma de vapor puede contener. Se puede definir así una curva llamada curva de rocío que caracteriza la cantidad de agua en forma de vapor que puede contener el aire en función de la temperatura.



En la práctica, se utiliza frecuentemente el término de humedad relativa HR (o grado higrométrico), que expresa la relación (en %) entre la cantidad  $Q$  de vapor de agua presente en el aire a una determinada temperatura (humedad absoluta) y la cantidad máxima  $Q_M$  que puede contener el aire a dicha temperatura.

$$HR (\%) = Q / Q_M \times 100$$

Conociendo  $Q_M$  (curva de rocío), es posible calcular la humedad relativa para diferentes temperaturas y definir así una red de curvas, llamada diagrama de Mollier.

Se puede constatar en dicha red que, para una determinada humedad absoluta, la humedad relativa es inversamente proporcional a la temperatura.

Observando el ejemplo de la curva: 1 kg de aire (es decir, 1 m<sup>3</sup> aproximadamente) a 30 °C y 80% HR contiene 0,022 kg de vapor de agua. Si este aire se calienta a 35 °C, la cantidad de agua no

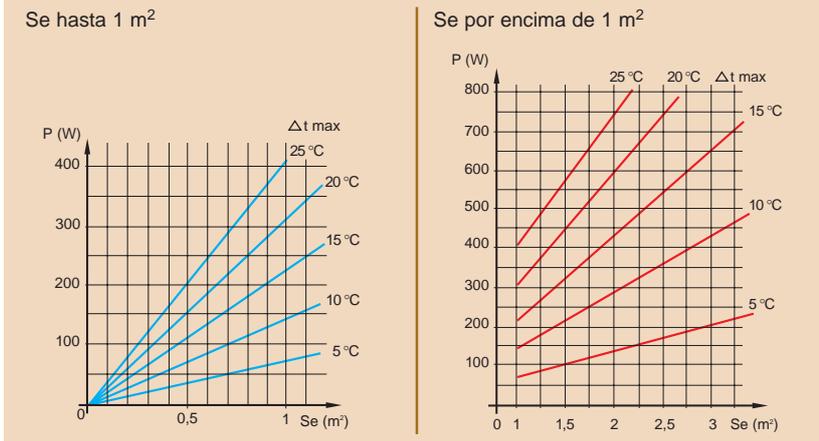
varía, pero la humedad relativa es sólo del 60%.

Si este mismo volumen de aire se enfría a 27 °C, la humedad relativa es del 100%, habiéndose alcanzado entonces el punto de rocío. La diferencia de temperatura (3 °C en el ejemplo) es lo que se denomina «diferencia psicrométrica».

Si este mismo aire se enfría ahora a 20 °C, la humedad absoluta máxima será de 0,015 kg. Por lo tanto, habrá condensación de una masa de agua igual a 0,022 - 0,015 = 0,007 kg, que habrá pasado a forma líquida.

Las curvas adjuntas permiten determinar la potencia de calentamiento a instalar en función de (y de la superficie de disipación equivalente  $Se$  de la cubierta.

Las resistencias ref. 348 00/01/02 están autorreguladas (PTC). Pueden utilizarse con un termostato de ambiente (ref. 348 47), un interruptor crepuscular, o un interruptor de parada.



La oferta de resistencias de calentamiento Legrand permite una verdadera gestión térmica de las cubiertas. Potencias de 20, 60, 120 y 350 W permiten responder a todos los casos de la figura



Para evitar la condensación, es preciso mantener la humedad relativa en un valor inferior al 100%. Por lo tanto, la temperatura no debe descender por debajo del punto de rocío. En cada aplicación, habrá que conocer con precisión los diferentes parámetros que pueden influir, así como el aporte de calor procedente de los aparatos.

El valor (t) indica la diferencia entre la temperatura mínima nocturna y la temperatura del punto de rocío. Se trata por lo tanto del calentamiento mínimo que es necesario mantener para evitar la condensación.

Estación	Invierno	Primavera Otoño	Verano
Temperatura de condensación (punto de rocío) HR: 100%	+ 4 °C	+ 18 °C	+ 28 °C
Temperatura mínima nocturna	- 5 °C	0 °C	+ 20 °C
$\Delta t$	+ 9 °C	+ 18 °C	+ 8 °C



Regla de cálculo aproximado para determinar la potencia de calentamiento.

Locales cerrados sin calefacción:

Prever 0,4 W/dm³ de volumen de la cubierta.

Instalaciones exteriores:  
Prever 1 W/dm³ de volumen de la cubierta.

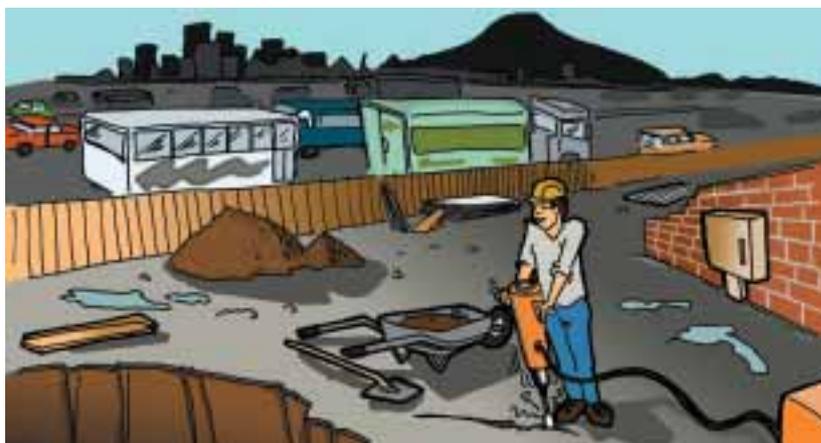
## 9 SOLICITACIONES MECÁNICAS

Aparte de las exigencias normales de funcionamiento mecánico que deben soportar los materiales (apertura de puertas, desencuadre, cerrado...), es importante comprobar que en su elección e instalación se han tenido en cuenta las solicitaciones mecánicas derivadas del entorno y éstas, a menudo indirectas, no siempre son fáciles de determinar.

### 1 Sustancias mecánicamente activas

Aparte del riesgo de penetración en los equipos (ver solicitaciones por exposición), la presencia de arena o de polvo en abundancia puede afectar a los equipos por sedimentación (atascamiento de los mecanismos) o por abrasión (desgaste y corrosión).

Tales condiciones pueden darse en determinadas actividades (canteras, cementeras...) y en las regiones desérticas y subdesérticas. La arena, consti-



tuida fundamentalmente por partículas de cuarzo de 100 a 1.000  $\mu\text{m}$  de grosor, raya la mayor parte de los materiales, incluido el vidrio

### 2 Presión mecánica del viento

Los efectos mecánicos ligados a los movimientos del aire se tienen fundamentalmente en cuenta en las líneas aéreas.

Los cuadros eléctricos, así como las cubiertas y sus fijaciones, pueden igualmente verse sometidos a esfuerzos nada despreciables y proporcionales a sus dimensiones.

En las zonas muy ventosas, en los barcos, malecones, plataformas, pueden realizarse intervenciones en condiciones extremas.



Según el destino de las instalaciones, las solicitaciones mecánicas son diversas y variables:

- utilización de puesto fijo protegido de la intemperie (instalaciones interiores)
- utilización exterior no protegida (grúas, puentes)
- instalaciones difíciles (obras)
- instalaciones en vehículos (compresores, grupos electrógenos...).

Las exigencias mecánicas deben evaluarse cuidadosamente y probarse en consecuencia.



Las solicitaciones mecánicas, choques, vibraciones y seísmos son objeto de una codificación, como influencias externas. La CEI 60721-3 propone una clasificación muy exacta (hasta 8 niveles) con valores característicos de amplitud, aceleración y frecuencia.



La fuerza ejercida por el viento sobre una superficie puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$F = 0,62 v^2 S$$

F: fuerza en newtons (N)

v: velocidad del viento en m/s

S: superficie perpendicular al viento en  $\text{m}^2$

Por ejemplo, una puerta de armario de 1.000 x 1.800 abierta por una ráfaga de 30 m/s estará sometida a una fuerza de 468 N (50 kg aproximadamente).

### 3 Precipitaciones sólidas

El granizo, la escarcha y el hielo pueden requerir precauciones especiales por lo que a sus efectos mecánicos se refiere.

- El granizo debe considerarse fundamentalmente bajo el punto de vista de los impactos mecánicos. Por regla general, se considerará la caída de granizo que no exceda de 20 mm, es decir una energía de 1 julio.

Podrá contemplarse una protección complementaria (techo, deflector) en las regiones con riesgo elevado: donde pueda caer granizo de 50 mm (energía de choque de 40 julios).

- La nieve debe considerarse bajo el punto de vista de la carga mecánica y del agua que representa cuando se funde. El riesgo de penetración (nieve en polvo) está cubierto normalmente por el índice de protección mínima (IP x4) para los productos exteriores.

La densidad de la nieve recién caída es la décima parte de la del agua aproximadamente. Aunque aumenta con el asentamiento, esto no modifica la carga.



Una altura de nieve de 1 m representa por lo tanto una presión de 1 kPa (10 g/cm<sup>2</sup>).

- La escarcha y el hielo son dos fenómenos que solo difieren en las condiciones de su formación. En ambos casos, se trata de gotitas en «sobrefusión»; el hielo se forma sobre una película de agua, mientras que la escarcha es una acumulación ligada al viento. Los depósitos que representan deben considerarse bajo los aspectos de la carga y del riesgo de bloqueo de los mecanismos.

La densidad del hielo es parecida a la del agua y, aunque su espesor sea limitado, la adherencia del hielo es tal que la carga representa un riesgo muy real en las líneas aéreas



Los riesgos de obturación y de bloqueo derivados de la escarcha y el hielo, deben evaluarse especialmente en las zonas en hondonada, donde pueden producirse retenciones. Deberán protegerse las juntas de cierre no drenadas, así como los mecanismos que puedan bloquearse como consecuencia de la penetración de agua. Una capa de grasa o una película a base de silicona pueden ser suficientes; suele ser difícil proteger eficazmente las cerraduras con llave. Los techos añadidos en voladizo representan una protección sencilla y eficaz.



Se considera que los productos y cubiertas con una resistencia al choque igual a 5 julios (IK > 07) como mínimo, son resistentes a los impactos de granizo más probables. La carga potencial de la nieve deberá tenerse en cuenta al considerar la superficie superior de los equipos y de sus dispositivos de fijación. En las regiones templadas, se puede considerar un valor estándar de 20 g/m<sup>2</sup> (2 m de altura).

En las regiones de grandes nevadas (montaña), cabría considerar una protección complementaria que contemplase una altura de 10 m (100 g/cm<sup>2</sup>), teniendo en cuenta la nieve transportada por el viento (ventisca).



Patillas de fijación ref. 364 01 para armarios Atlantic. Carga nominal 300 kg para resistir todas las exigencias de instalación

#### 4 Vibraciones

El término vibraciones engloba numerosos fenómenos oscilatorios cuyas características y efectos son muy variables. Podemos distinguir pues las vibraciones estacionarias sinusoidales, las vibraciones aleatorias pero estacionarias, o las vibraciones aleatorias de espectro específico (choques, impactos, frenado...).

El material eléctrico, especialmente el de elevada potencia, genera por sí mismo vibraciones ligadas a la frecuencia 50 Hz de la red; este dato se toma en consideración en el propio diseño de los productos.

Por el contrario, existen numerosas vibraciones vinculadas a la actividad o al entorno exterior que pueden transmitirse a las instalaciones y provocar con el tiempo funcionamientos defectuosos.

Se pueden proponer numerosos tipos de exposición, pero, de manera sencilla y realista, podemos contemplar aquí tres niveles para el material instalado en puesto fijo.

- 1<sup>er</sup> nivel

Las fuentes de vibración son inexistentes o momentáneas, las estructuras son rígidas y el material eléctrico no está sometido a vibraciones significativas.

- 2<sup>o</sup> nivel

La proximidad de máquinas, transportadores mecánicos, paso de vehículos, constituyen fuentes de vibraciones que se propagan a través de los elementos de la estructura (muros, armazón) hasta los equipos y mecanismos eléctricos. En tales condiciones, los valores característicos al nivel de la fuente no sobrepasan los siguientes: 3 mm de amplitud de desplazamiento, 10 m/s<sup>2</sup> de aceleración (< 1 g) y de 2 a 200 Hz de frecuencia. Teniendo en cuenta la amortiguación, la amplitud resultante no pasa

de 0,2 mm al nivel de los equipos. Una cuidadosa instalación, el cumplimiento de los pares de apriete preconizados, la correcta fijación de los aparatos y del cableado a fin de evitar resonancias o amplificaciones, permiten normalmente prever posibles problemas en tales condiciones.

- 3<sup>er</sup> nivel

El material eléctrico está directamente fijado a las máquinas o a chasis comunes. Las vibraciones o choques son importantes y repetitivos. Al nivel de la fuente, la amplitud puede alcanzar los 15 mm y la aceleración los 50 m/s<sup>2</sup> (5 g), valores que pueden generar desplazamientos del material de 1 mm e incluso superiores.



**Armario Atlantic sobre el chasis de una prensa**

En tales condiciones, es indispensable tomar ciertas precauciones:

- utilizar arandelas de bloqueo, «frenos de rosca»... contra el aflojado de las conexiones y de las fijaciones. En todo caso, se recomienda el marcaje de los sistemas atornillados como parte del mantenimiento predictivo (barniz agrietable o pintura).
- utilizar conductores flexibles y pro-

tegerlos de cualquier contacto que pueda ser o volverse destructivo

- guiar y fijar los conductores (canales, fundas)
- respetar imperativamente la posición recomendada para la instalación de los aparatos
- en caso necesario, fijar las cubiertas sobre antivibradores (silentblochs, elastómeros...).



**Altis inox integrado en el chasis de una máquina automática**



**Para usos en desplazamiento, deben aplicarse especificaciones particulares: aceleraciones verticales tipo choque para los vehículos; desplazamientos angulares permanentes y oscilantes para los barcos...**

### 5 Choques con impactos

Tal como ocurre con el código IP, el nivel de protección contra los choques (código IK) debe seleccionarse en función de los riesgos del emplazamiento de la instalación. Por regla general, se requiere el IK 02 para las aplicaciones domésticas, si bien determinados emplazamientos (cavas, graneros, escaleras...) pueden requerir el nivel IK 07. El IK 07 es necesario para la mayoría de los

locales técnicos, así como en las explotaciones agrícolas y en ciertos locales de pública concurrencia.

El nivel IK 08 se requiere en algunos locales de pública concurrencia, en los establecimientos industriales y en emplazamientos de riesgo (reservas, obras, muelles...).

El IK 10 se aplica a los emplazamientos situados a menos de 1,5 m sobre el suelo y donde circula maquinaria de mantenimiento.



Protección específica contra los choques en armarios móviles



### Nivel de protección contra los choques

Grados de protección IK contra los impactos mecánicos según norma EN 50102

Antiguas denominaciones equivalentes

Grado IK	Ensayos	Energía en Julios	IP 3ª cifra	código AG
IK 00		0		
IK 01		0,15		
IK 02		0,2	1	1
IK 03		0,35		
IK 04		0,5	3	
IK 05		0,7		
IK 06		1		
IK 07		2	5	2
IK 08		5	7	3
IK 09		10		
IK 10		20	9	4

El choque generado por el martillo IK es un choque de tipo contundente. Según las modalidades de la norma, se pueden efectuar choques de hasta 50 Julios elevando la altura de caída a 1 metro.

## 6 Movimientos

Ciertos equipos instalados en particular sobre dispositivos de mantenimiento (grúas, puentes grúa, ascensores...) se encuentran sometidos a movimientos de gran amplitud. Aunque tales movimientos no generan forzosamente vibraciones, deben tomarse precauciones bajo estos dos aspectos:

- Solicitaciones aplicadas a los conductores que sufren deformaciones repetidas.

Estos últimos deben seleccionarse correctamente en función del uso previsto (Buflex TM, cables planos H07 VVH6-F, cables H05 VVD3H6-F para ascensores...). Determinados dispositivos (troles, fijaciones en guirnalda...) permiten garantizar sus desplazamientos.

- Esfuerzos aplicados a los componentes y, sobre todo, a su fijación en las fases de aceleración y de frenado. Estos esfuerzos son proporcionales a la masa de los elementos fijos, y cuanto más pesados sean éstos (transformadores, armarios cableados), mayores serán los esfuerzos a causa de la inercia. Deben contemplarse fijaciones complementarias (escuadras, pasadores...).



**Instalación de cubiertas y de transformadores en un puente grúa**

## 6 Seísmos

La comprensión de los temblores de tierra y, sobre todo, de sus dramáticas consecuencias, ha llevado a una mejor consideración de este riesgo en la construcción de obras y edificios en las regiones más expuestas. Pero la ingeniería parasísmica no se detiene en las construcciones. Un verdadero análisis ha de tener en cuenta los servicios mínimos que deben mantenerse durante y después del seísmo (salvaguardia). Los daños admisibles, los costes de reconstrucción, se compararán con los sobrecostes de construcción en relación con el riesgo estadístico de magnitud de los seísmos (repetidos, de intensidad moderada a excepcionalmente elevada).

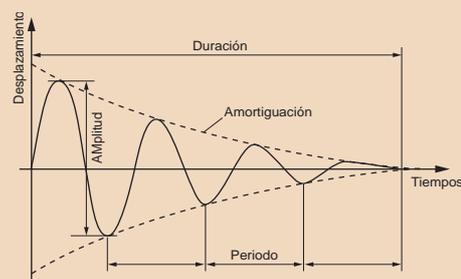
En este planteamiento, los equipos, especialmente los eléctricos, pueden ser objeto de exigencias parasísmicas cuando su duración afecta a la seguridad. Las instalaciones nucleares son por supuesto el objetivo prioritario, pero otras industrias sensibles (química, siderúrgica, farmacéutica...), o establecimientos públicos (hospitales, salas de espectáculos...), pueden verse afectados, al menos en lo que se refiere a la parte de los sistemas de seguridad y energía de sustitución.



**El temblor de tierra está ligado a una liberación brutal de energía en las profundidades de la tierra. La teoría de la «tectónica de placas» explica que los seísmos se generan a lo largo de las fallas debido a levantamiento o deslizamiento relativo de dichas placas.**

**La corteza terrestre externa está constituida por una docena de placas mayores (placa suramericana, euroasiática, del Pacífico, africana, antártica...) y por otras placas más pequeñas.**

**Relación entre el desplazamiento y el tiempo de una onda amortizada**



**Las ondas sísmicas principales se propagan en todas direcciones a través de la corteza terrestre. Su dirección y progresión son complejas y su frecuencia variable, pero los efectos más devastadores son debidos a las ondas lentas (inferiores a 10 Hz) y transversales.**

**Generalmente, la mayor atención se dirige a las fuerzas horizontales generadas por los seísmos. Los valores de aceleración prescritos por los ensayos son 2 veces mayores en sentido horizontal que vertical.**



# PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN

**La seguridad de las personas y de sus bienes pasa por la utilización de medios y materiales, y por la aplicación de medidas adecuadas destinadas a limitar en lo posible las consecuencias del uso de la energía eléctrica, no sólo en una situación normal de explotación sino también en situación de fallo**

## 1 PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS

La protección de las personas contra los riesgos derivados del contacto con las partes activas de un aparato, o de una parte de la instalación, puede obtenerse de varias maneras

### 1 Protección con aislamiento

Las partes activas están recubiertas por un aislante que solo puede quitarse si se desmonta o destruye. El material producido en fábrica, los cables y, más generalmente, los aparatos de utilización (herramientas, luminaria...), están protegidos con aislantes. Las reglas de formación del aislamiento, principal,

doble, complementario, se describen en el capítulo I.C.2.

### 2 Protección con barreras y carcasas

Las partes activas están situadas detrás de barreras o en el interior de carcasas, que garantizan un grado de protección IP 2x o xxB. Esta protección alcanza el grado IP 4x o xxD en el caso de partes horizontales sobre las cuáles, o por encima de las cuáles, pueden transitar personas (pasarelas, enrejados).

Debe mantenerse una distancia de aislamiento suficiente entre las barreras y

carcasas y las partes activas. Su desmontaje y el acceso a las partes activas sólo deben poder llevarse a cabo con una de las siguientes condiciones:

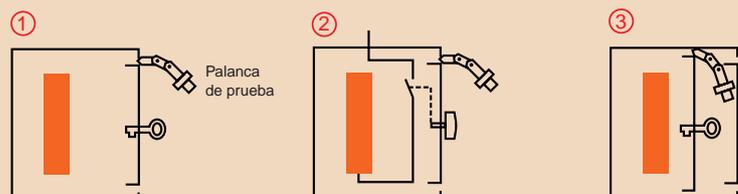
- utilizando una llave o herramienta ①.
- previa desconexión de las partes accesibles (servidumbre con un dispositivo de corte) ②.
- cuando un segundo nivel de barrera (pantalla) garantice la conservación del grado IP 2x o xxB, no pudiendo retirarse más que con una llave o herramienta ③.

El concepto general de cierre mediante llave o herramienta deberá ser adecuado a las exigencias reales del lugar de la instalación.



Salvo que se justifiquen unas propiedades no solo aislantes sino también mecánicas, químicas y térmicas suficientes y permanentes, no suele admitirse la utilización de barnices, pinturas o tratamientos, (aparte de los productos garantizados por el constructor).

### Protección con barreras y carcasas



### 3 Protección mediante obstáculos

Los obstáculos están constituidos por barandillas, rejas... que impiden el acceso a las partes que se encuentran bajo tensión. Si es posible el franqueo intencionado del obstáculo o el paso de elementos conductores, la utilización de este medio de protección se limitará a los locales eléctricos.

### 4 Protección por alejamiento

Si existen partes con potenciales diferentes (circuitos distintos, parte activa y masa), deberán estar lo bastante distanciadas como para no ser simultáneamente accesibles.

La distancia mínima de separación será de 2,5 m, aumentándose eventualmente si pueden utilizarse objetos conductores (escaleras...) en sus proximidades. Este medio de protección, que puede combinarse con obstáculos, está reservado a locales eléctricos y a líneas aéreas.



La ausencia de normativa relativa a la accesibilidad a las partes activas tras la apertura de la puerta o la retirada de protecciones (con una llave o herramienta) da lugar a diversas interpretaciones.

Con frecuencia, organismos de control, servicios de seguridad o prescriptores, en sus pliegos de condiciones, amplían la necesidad del nivel IP xxB al material dispuesto bajo carcasa cerrada y que, por tanto, tiene garantizada en teoría la protección contra el contacto directo. El argumento se basa en que dichas carcasas rara vez están cerradas con llave y que personas no cualificadas efectúan en ellas operaciones sencillas, como el rearme

Aunque, en el fondo, esta exigencia tiene su justificación, hay que ser consciente de que un nivel real IP xxB es difícil de obtener, tanto más cuanto mayor es la potencia (conexiones, terminales, barras,...). Por lo tanto, la solución práctica consistiría en trasladar al frontal, a una plancha o a una carcasa exclusiva, las funciones cuya accesibilidad es necesaria.

En principio, el requisito IP xxB no tiene sentido detrás de planchas protectoras que, a su vez, son IP xxB y pueden desmontarse con una herramienta. A este respecto también sería preciso estar seguros de la integridad y permanencia de la protección: no debe darse una falsa sensación de seguridad con la presencia de elementos supuestamente protectores pero incompletos, o incluso crear riesgos añadidos al proceder a su desmontaje.

Si se prescribe un nivel de protección tras las planchas para un operario cualificado, el nivel IP xxA (esfera de 50 mm simulando el dorso de la mano) suele ser suficiente para prevenir contactos ocasionales.



La 1ª cifra del Código IP tiene un doble significado: la protección contra el acceso a las partes peligrosas y la protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños (norma EN 60529). La expresión bajo la forma IP 2x implica la consideración de los dos significados, que se ensayan con calibres diferentes: el calibre de accesibilidad (palanca articulada) para el acceso a las partes peligrosas y el calibre objeto (bola) para la penetración de cuerpos sólidos. En el caso de la protección de personas, sólo debería comprobarse la accesibilidad, siendo más apropiada la forma xxB.

### 5 Protección mediante muy baja tensión de seguridad

La protección está garantizada mediante la utilización de una tensión no peligrosa, suministrada por una fuente de seguridad. El límite superior de tensión es de 50 V (valor límite convencional), aunque también se utilizan valores inferiores, 25 V ó 12 V, para condiciones de uso en medio húmedo o sumergido.

Si la muy baja tensión (MBT) no es suministrada por una fuente de seguridad (autotransformadores, alimentación electrónica, variador), el circuito en cuestión deberá poseer otras medidas de seguridad distintas de la MBT (generalmente las mismas que las del circuito de alimentación BT). La muy baja tensión de seguridad no sólo garantiza la protección contra el contacto directo, sino también contra el contacto indirecto (ver página siguiente).

### 6 Protección por limitación de la energía de descarga

Esta medida se aplica únicamente a los aparatos que responden a exigencias específicas, no siendo aplicable al conjunto de la instalación. La energía y la corriente de descarga se limitan según los casos (interruptores de contacto ligero, aparatos de electroterapia, cierres eléctricos,...) a valores que pueden inducir reacciones sensitivas variables pero no peligrosas.

#### Transformadores de seguridad Legrand



... conformes con la norma EN 61558-2-6 constituyen fuentes de seguridad de 63 VA a 10 kVA

### 7 Protección por dispositivo diferencial de alta sensibilidad

La utilización de diferenciales que no sobrepasan un umbral de funcionamiento de 30 mA permite una protección complementaria contra contacto directo en caso de fallo de los medios tradicionales, de torpeza o de imprudencia por parte de los usuarios. Este medio de protección no se considera suficiente por sí solo, teniendo en cuenta que únicamente protege contra los contactos entre masa y conductores activos (fase/PE), pero no contra un contacto entre conductores activos (fase/fase o fase/N). En el capítulo II.D.1 se describen los casos de utilización recomendados (como complemento de los regímenes de neutro) o exigidos por la reglamentación (tomas de corriente, cuartos de baño...).



Las fuentes de seguridad reciben los nombres de:

- SELV (en inglés) si el circuito MBT no está conectado a tierra
- PELV (en inglés) si el circuito MBT está conectado a tierra.

## 2 PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS

Destinada a garantizar la seguridad tras un fallo de aislamiento, la protección contra contactos indirectos se basa en la asociación de medidas incluidas en la realización de la instalación (régimenes de neutro) y en las características del material (clase I, II o III).

### 1 Protección por corte automático de la alimentación

La instalación de conductores de protección que conectan todas las tierras de todos los equipos permite constituir un circuito llamado "bucle de fallo", destinado a permitir la circulación de la corriente que se originaría como consecuencia de un fallo de aislamiento. Según el régimen del neutro, la corriente de fallo pasará o no por tierra pero, en cualquier caso, el objetivo es que el potencial de las masas se mantenga en un valor inferior a la tensión límite de 50 V.

Según los casos, el valor de la corriente de fallo determinará el dispositivo de corte que deberá instalarse:

- dispositivo contra sobrecorrientes para interrumpir una corriente de cortocircuito elevada en régimen TN
- dispositivo diferencial para interrumpir una corriente de fallo débil en régimen TT

- no hay necesidad de interrumpir la corriente de 1er fallo, ya que es muy débil en régimen IT.

La aplicación de la medida de protección por corte de la alimentación implica la utilización de materiales de clase I.

Para los aparatos, este requisito se traduce generalmente en la simple conexión del conductor de protección. Para la realización de conjuntos, la aplicación de las reglas de construcción de la clase I es mucho más compleja y está sujeta a diversas interpretaciones (véase el capítulo I.C.2).

### 2 Protección por doble aislamiento

La limitación se obtiene por redundancia del aislamiento.

La protección por doble aislamiento no depende de la organización eléctrica de la instalación (régimen de neutro y conductores de protección), sino únicamente del material (véanse los principios de construcción, en el capítulo I.C.2).

Podemos distinguir:

- aparatos de clase II, marcados con el símbolo , que responden a su propia norma (electrodomésticos, herramientas, transformadores, aparatos de calefacción,...)

- conjuntos o cuadros llamados de "aislamiento total" según la norma EN 60439-1, y que están provistos de

una carcasa aislante continua. En aplicaciones domésticas o de distribución terminal, estas carcasas están marcadas con el símbolo . Para potencias más elevadas o en aplicaciones industriales, el marcaje es responsabilidad del instalador

- conjuntos de aislamiento complementario, pertenecientes a la clase II, en todo o en parte, como consecuencia de disposiciones constructivas de la instalación.

### 3 Protección mediante el empleo de muy baja tensión de seguridad

Las condiciones de protección y la exigencia de una fuente de seguridad son idénticas a las que se aplican en el caso de la protección contra contactos directos. Sin embargo, deben tomarse ciertas precauciones en lo que se refiere a la conexión de las tierras de los circuitos MBT.



**Contrariamente a lo que sucede con el corte de corriente en situación de fallo o de contacto accidental por parte de un dispositivo diferencial, la protección mediante muy baja tensión de seguridad es intrínseca a la fuente. Está basada, entre otros, en el aislamiento entre el circuito primario y el circuito secundario.**

**Los transformadores de seguridad Legrand, al respetar rigurosamente la norma EN 61558-2-6, garantizan la posibilidad de utilización en las condiciones más rigurosas.**

**Los aparatos alimentados bajo MBTS (a 12 V) son los únicos que pueden utilizarse en los volúmenes 0 ó 1 de locales sanitarios, piscinas, etc.**

**La muy baja tensión de seguridad está recomendada en todas las instalaciones con riesgo de humedad (saunas, ambientes marinos).**

**Debe utilizarse para condiciones de trabajo de riesgo (recinto conductor, medio húmedo), en la alimentación de lámparas portátiles, calefacción por suelo...**



- **Circuito MBTS (muy baja tensión de seguridad): no conectado a tierra**

Las partes activas de los circuitos MBTS no están conectadas a tierra, a otras partes activas ni a un conductor de protección.

Las masas de los circuitos MBTS no están conectadas a otras masas ni a un conductor de protección.

**NOTA:** en caso de que la tensión del circuito MBTS sea superior a 25 V, deberá considerarse una protección contra contactos directos IP xxB para las partes bajo tensión.

- **Circuito MBTP (muy baja tensión de protección): un punto del secundario conectado a tierra**

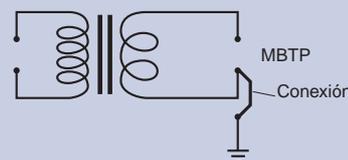
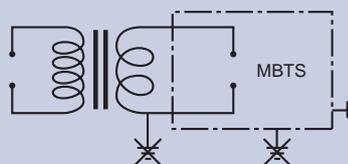
Esta disposición permite fijar el potencial del circuito secundario con respecto a una referencia, por ejemplo la tierra.

Puede utilizarse el conductor de protección de la alimentación del primario. Los transformadores Legrand facilitan esta operación al disponer de un borne para el conductor PE cerca de los bornes de salida del secundario.

La existencia de una grapa (suministrada) permite efectuar la conexión.

**NOTA:** las masas de los circuitos MBTP no deben conectarse a un conductor PE o a otras masas que, a su vez, estén conectadas a un conductor PE, ya que en ese caso la protección contra contactos indirectos no estaría garantizada por la MBT, sino por las disposiciones adoptadas para esas otras masas (regímenes de neutros, dispositivo diferencial, clase II...).

Estamos entonces ante la MBTF (muy baja tensión funcional), en la que el uso de la MBT no viene dictado por la seguridad, sino por razones funcionales (características de los aparatos alimentados).



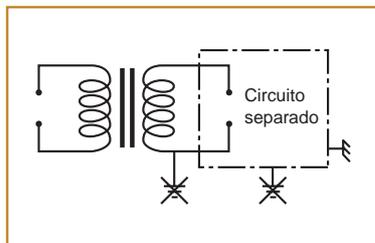
#### 4 Protección separación eléctrica

El circuito de utilización está separado del de alimentación por un transformador de separación de circuitos, de modo que en caso de fallo no pueda aparecer ninguna tensión peligrosa entre el circuito separado y tierra.

Generalmente, la medida de protección por separación se limita a un solo aparato.

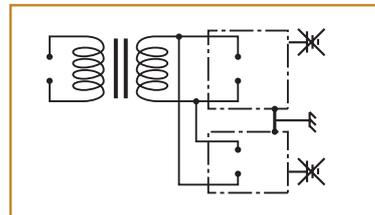
Las partes activas del circuito separado no deben estar conectadas a ningún otro circuito y no tener ningún punto conectado a tierra.

Las masas del circuito separado no deben estar conectadas a otras masas ni a un conductor de protección.



Cuando un circuito separado alimenta varios aparatos, las masas de éstos deben estar conectadas entre sí mediante conductores de

equipotencialidad no conectados a tierra.



Si el circuito secundario es grande, se recomienda aplicar las medidas de protección apropiadas para crear un islote con un régimen de neutro específico (véanse las condiciones de instalación del capítulo I.D.2).



La separación del circuito permite alimentar aparatos en condiciones de aislamiento reducidas:

- volumen 2 de locales sanitarios con potencia limitada (enchufes de afeitadoras)
- volumen 3 de locales sanitarios y piscinas
- herramientas portátiles y aparatos de medida en instalaciones de obra.



### Otros usos de la separación de circuitos

- **Instalaciones no vigiladas**

La separación de circuitos permite evitar la interrupción de ciertos equipos en caso de fallo: congelador, instalaciones de seguridad, equipos de transmisión, dispositivos de alarmas, balizas...

- **Exenciones de protección contra sobrecargas por razones de seguridad**

Algunos transformadores pueden resistir sobreintensidades como consecuencia de su construcción y no necesitan, salvo reserva de dimensionamiento de líneas, estar provistos de dispositivos de protección, por lo que se recomienda no utilizarlos en determinados casos: alimentación de electroimanes de elevación o de manutención, circuitos de excitación de máquinas.

- **Protección contra sobretensiones**

Al aislar el aparato de utilización del circuito de alimentación, el transformador de separación de circuitos reduce notablemente los riesgos de deterioro ligados a las sobretensiones comunes, generalmente las más frecuentes (rayo o conmutación).

- **Protección contra perturbaciones electromagnéticas conducidas**

Como protección contra sobretensiones, el transformador de separación es un medio sencillo, eficaz y rentable de limitar la propagación de perturbaciones en el espectro de frecuencia más común (hasta 10 MHz). Legrand está en condiciones de suministrar las prestaciones de atenuación de los transformadores (expresadas en dB en función de la frecuencia), así como de estudiar y suministrar productos adecuados (provistos de pantallas por ejemplo).

#### 5 Protección en los emplazamientos no conductores

Esta medida de protección se basa en la imposibilidad de un contacto simultáneo entre dos masas o entre una masa y un elemento conductor. Ello implica que el suelo y las paredes deben ser aislantes y que el local o emplazamiento debe carecer de elementos conductores. Esta medida se ha utilizado en habitaciones de suelo aislante (parquet, moqueta) cuyos enchufes, por esta causa, no

tenían polo de tierra (toma de dos polos). Hoy ya no se admite a causa de las dudas relativas a la continuidad de las condiciones de aislamiento.

#### 6 Protección por conexión equipotencial local no conectada a tierra

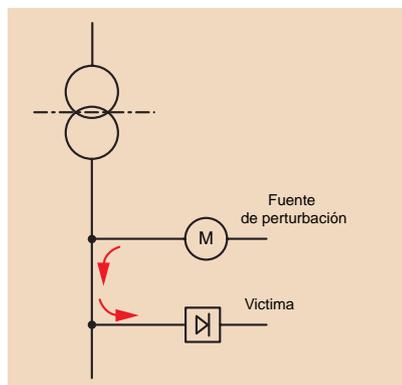
Todas las masas simultáneamente accesibles están conectadas de modo que no pueda aparecer ninguna tensión peligrosa entre ellas.

En la práctica, esta medida se utiliza en determinados puestos de trabajo,

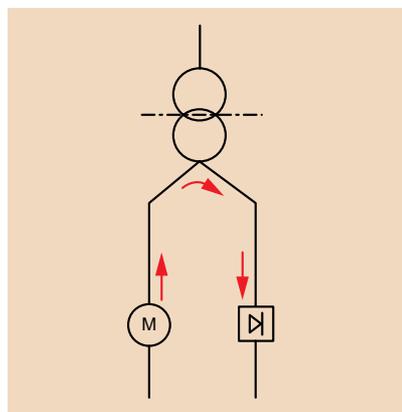
en plataformas de medida de poca extensión, o en instalaciones autónomas en las que la conexión a tierra no es necesaria o deseable (véase la CEM y el régimen de neutro del capítulo I.D.4).

## 2 SEPARACIÓN ELÉCTRICA DE LAS ALIMENTACIONES

La alimentación común de los equipos permite que las perturbaciones circulen entre ellos. Es lo que se denomina acoplamiento galvánico o por impedancia común.

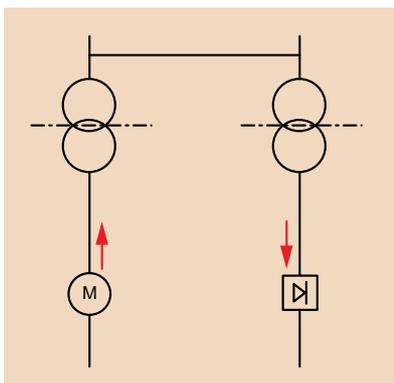


La primera regla de sentido común es por tanto no alimentar con la misma línea aparatos que pueden perturbarse mutuamente, por ejemplo aparatos perturbadores (motores, puestos de soldadura...) y aparatos sensibles (radio, informática...).

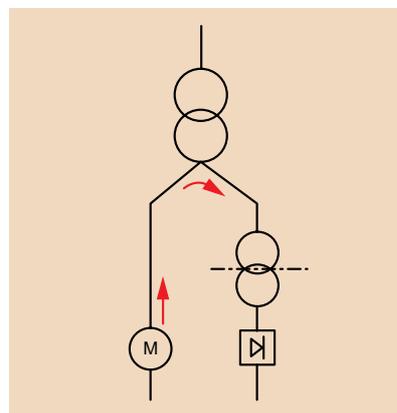


¡Atención! Esta práctica de las alimentaciones separadas (aparatos en estrella) presenta el inconveniente de disminuir la equipotencialidad de los aparatos entre sí cuando esta última sólo está garantizada por los conductores de protección (nivel 0 de equipotencialidad). Por lo tanto, se reservará a los aparatos que no hayan de comunicarse entre sí. En el caso de equipos muy sensibles o altamente perturbadores, podemos vernos obligados a separar realmente las alimentaciones.

Podemos encontrarnos con esta disposición cuando ciertas partes de la instalación (que deben funcionar de forma segura) están alimentadas por un ondulador o por una fuente de seguridad.



La práctica más frecuente consiste de hecho en alimentar los aparatos sensibles (generalmente también los menos potentes) con un transformador de separación de circuitos.



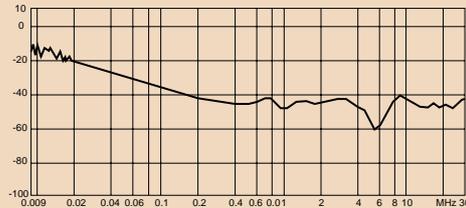
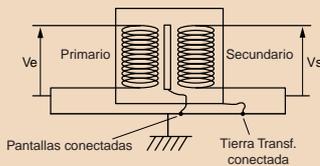
La separación de circuitos por transformador está fundamentalmente destinada a garantizar la protección contra contactos indirectos (véase el capítulo II.D), aunque también puede utilizarse el transformador como filtro de alimentación.



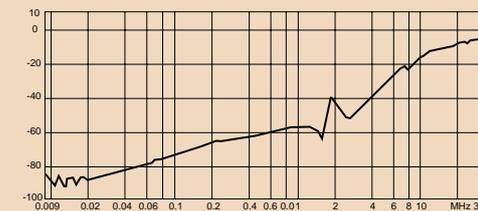
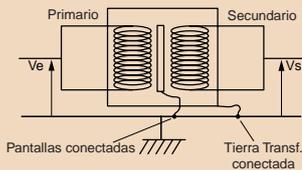
### Características de atenuación de los transformadores

Las prestaciones de filtrado de un transformador se expresan mediante la relación de atenuación (en dB) de las perturbaciones entre las bobinas primaria y secundaria.

En modo diferencial (con un punto conectado a tierra)



En modo común



Las características de atenuación de los transformadores están fundamentalmente ligadas a las capacidades parásitas entre el primario y el secundario, entre el primario y el circuito magnético y entre el secundario y el circuito magnético. Dependen en gran parte de elementos físicos tales como la permitividad entre capas (características

de los aislamientos) y de aspectos dimensionales (forma y altura de las bobinas, superficies enfrentadas). La instalación de una o varias pantallas entre primario y secundario mejora la atenuación.

En modo común (la gran mayoría de perturbaciones), el nivel de filtrado es generalmente excelente hasta una frecuencia de 1 MHz, incluso más en el caso de transformadores de pequeña potencia (algunos centenares de VA).

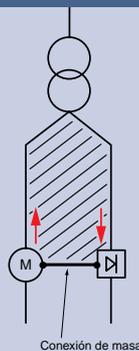
Las prestaciones de atenuación disminuyen con la potencia, por lo que es preferible alimentar varios aparatos sensibles mediante transformadores pequeños que alimentar todo el conjunto con uno solo más grande.

### 3 SEPARACIÓN GEOMÉTRICA

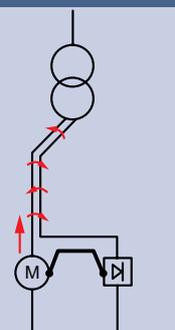
Del mismo modo que la separación eléctrica de las alimentaciones forma parte de las soluciones básicas, es necesario que esta separación sea geométrica a fin de limitar los acoplamientos entre las líneas perturbadoras y las perturbadas. En la práctica, la separación de líneas plantea el problema de la creación de bucles de gran superficie que pueden constituir a su vez fuentes de tensiones inducidas bajo el efecto de campos magnéticos.

Por otro lado, hay que evitar que al tratar de reducir la superficie de los bucles las líneas queden demasiado cerca unas de otras.

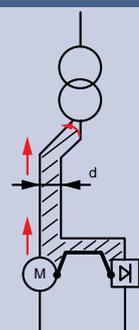
#### Separación geométrica de las líneas



Creación de una superficie de bucle amplia



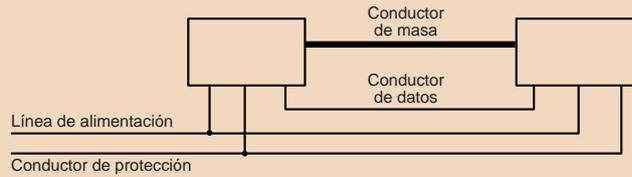
Superficies de bucle reducidas, pero proximidad entre líneas y riesgo de acoplamiento (diafonía)



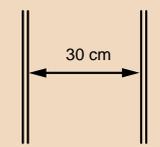
Compromiso entre superficies de bucles reducidas y distancias de separación suficientes



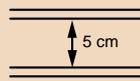
Debemos ser prudentes para evitar un alejamiento excesivo (varios metros) de los conductores de un mismo sistema. Siempre es preferible que todos los conductores (masa, datos, alimentaciones) discurren con «una cierta proximidad».



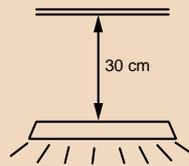
Fundamentalmente, deberán tomarse precauciones para contrarrestar la proximidad entre las corrientes fuertes (alimentación) y las débiles (datos). Con ese fin, se prescribe el respeto de distancias mínimas (véanse los esquemas adjuntos) o la utilización de conductores blindados.



Circulación vertical



Circulación horizontal



Proximidad a una fuente de perturbaciones (motor, fluorescentes,...)



Cruce de conductores



El acoplamiento entre conductores depende de varios factores:

- la frecuencia de la señal perturbadora
- la longitud del recorrido común
- la distancia entre conductores.

La naturaleza de los conductores influye directamente en el acoplamiento:

- par trenzado para limitar la componente inductiva
  - pantalla o blindaje para limitar la componente capacitiva.
- Los conductores apantallados o blindados (tipo FTP o SFTP) no requieren distancias mínimas de separación. Es muy conveniente colocar los conductores no blindados (tipo UTP) lo más cerca posible de las masas para aprovechar el efecto reductor.



Se aconseja la separación física entre corrientes débiles y fuertes. Las gamas de canales DLP son particularmente adecuadas para tales exigencias, permitiendo la compartimentación entre los diferentes circuitos.



### 3 LA EQUIPOTENCIALIDAD DE LA INSTALACIÓN

La protección contra la propagación de las perturbaciones electromagnéticas en las instalaciones se apoya en dos reglas esenciales.

- La equipotencialidad, que debe aplicarse necesariamente de manera adecuada a la sensibilidad de la instalación. Se proponen cinco niveles de realización de la red de masa.
- La separación eléctrica y geométrica de los aparatos (y de sus líneas) perturbados y perturbadores puede ser menos crítica, pero no forzosamente más fácil de llevar a la práctica. Para este caso se proponen también varias soluciones.

En lo que a la CEM se refiere, es innegable la importancia de la red de masa para la buena marcha de los equipos, si bien su cumplimiento exhaustivo no está exento de problemas técnicos o financieros. Por ello, y la experiencia lo atestigua, la constitución de dicha red debe ser adaptativa. Se contemplan los cinco niveles que se citan a continuación.

- Equipotencialidad de nivel 0

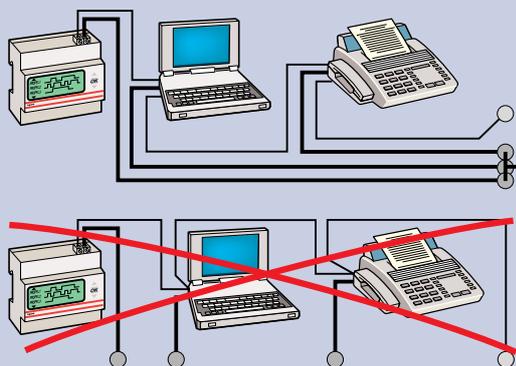
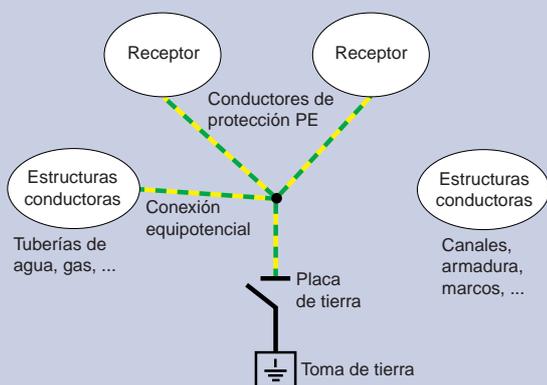
El nivel 0 corresponde realmente a la conexión de los equipos con conductores de protección (cables verde /amarillo) a un punto central único. A menudo se habla de conexión en estrella. Es obligatorio para la protección de las personas. Si bien esta técnica es apropiada en BF, en alta frecuen-

cia alcanza pronto sus límites, ya que la impedancia de los conductores se hace demasiado grande debido a su longitud.

Este nivel de instalación se reserva generalmente para instalaciones domésticas y residenciales, en las que los aparatos conectados funcionan independientemente unos de otros.

Esta práctica mínima tiene también como inconveniente el hecho de crear bucles de grandes dimensiones en los que pueden inducirse sobretensiones considerables, especialmente a causa del rayo.

### Equipotencialidad de nivel 0



Quando existen aparatos que deben comunicarse conjuntamente, es muy recomendable conectarlos a un punto de alimentación único (y por lo tanto al mismo conductor de protección). De este modo, mejora su equipotencialidad y se reducen las superficies de bucle.

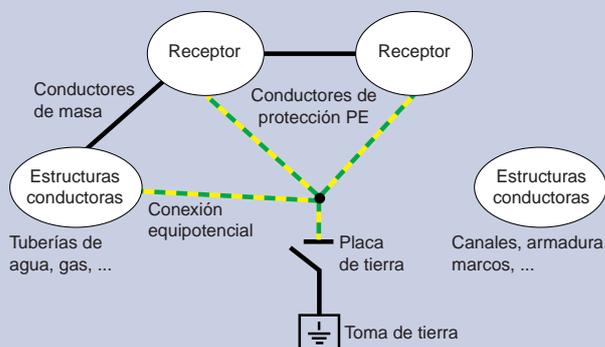


En algunas publicaciones se ha hablado a veces de efectuar la conexión al conductor de protección más cercano. Si bien esta consideración puede resultar tentadora ya que limita las impedancias comunes y las superficies de bucle, resulta de hecho poco realista a la hora de su aplicación: la multiplicación de las conexiones y la dificultad de determinar la sección necesaria pueden comprometer la seguridad.

## 2 Equipotencialidad de nivel 1

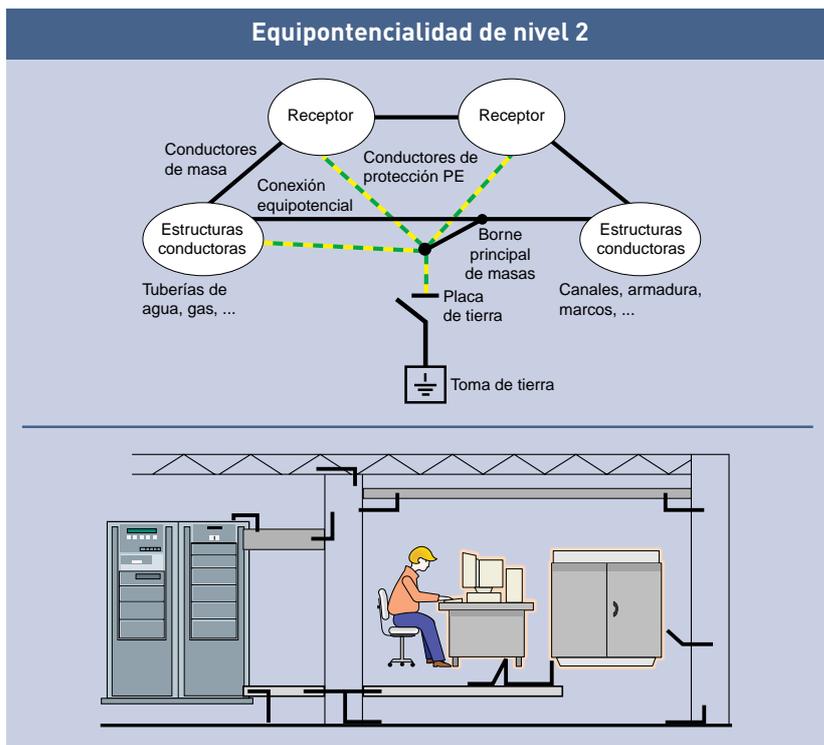
El nivel 1, sencillo de aplicar, económico y a menudo suficiente, responde a la evolución de los usos. Basta con añadir una conexión equipotencial entre las masas de los aparatos que se comunican entre sí. Esta conexión puede estar constituida por un conductor corto o, mejor aún, por una estructura metálica común. Igualmente, en este caso la conexión será más eficaz cuanto más cerca se haga de los conductores sensibles, sobre los que tendrá un efecto reductor.

### Equipotencialidad de nivel 1



### 3 Equipotencialidad de nivel 2

El nivel 2 se aplicará a instalaciones más sensibles, o cuando existan fuentes importantes de contaminación electromagnética: aplicaciones de automatismos y de conducción de procedimientos, redes informáticas locales de categoría 5 (hasta 100 MHz), en cuyo caso interesa sobremanera interconectar todos los elementos metálicos accesibles: pilares, armaduras, canales, repisas, canales, marcos de puertas y ventanas, los cuáles constituyen un entramado, ciertamente imperfecto, pero que reduce notablemente las impedancias comunes y las superficies de bucle.



Las cualidades de equipotencialidad de las carcasas XL de Legrand facilitan no solo la conexión de las masas de los aparatos protegidos por dichas carcasas, sino también de los elementos conductores cercanos.

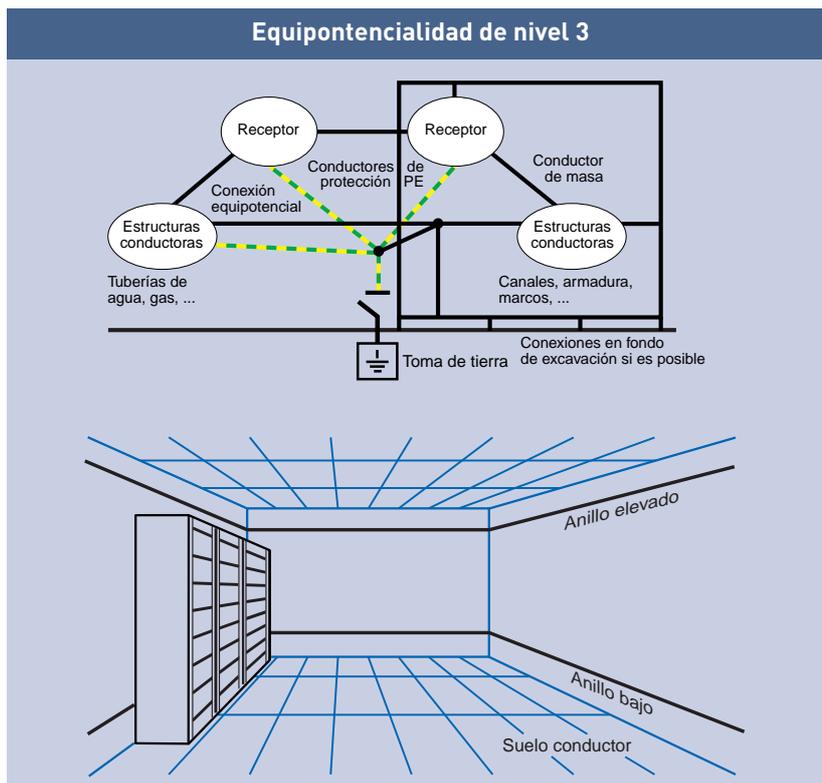


¡Atención! Los cables de conexión de señales no siempre garantizan una buena equipotencialidad: los contactos y alvéolos a 0 V (o masa) han de estar efectivamente conectados a un conductor específico que garantice la conexión de las masas. El blindaje constituido por una trenza de cobre no ofrece excelentes prestaciones en BF y las pantallas suelen estar constituidas por una sencilla hoja de poliéster metalizado. ¡Solamente los cables de energía con chapa metálica garantizan en efecto una conexión equipotencial, siempre que la continuidad al nivel de los extremos esté plenamente garantizada! Las aplicaciones locales de ofimática (ordenadores, impresoras...), los terminales telefónicos analógicos o digitales, los aparatos de radio, los terminales de Internet, los buses de mando y control y globalmente todos los sistemas de poca amplitud y de frecuencia no superior a 1 MHz funcionan generalmente con el nivel 1 de red de masa.

#### 4 Equipotencialidad de nivel 3

El nivel 3 contempla el concepto de enrejado por islotes. Ciertos equipos más sensibles, o que deben asegurarse debido a su precio o a la necesidad de su disponibilidad, requieren una protección específica contra los campos de alta potencia irradiados por los cables de energía o por el rayo. En tal caso, el nivel de equipotencialidad de los aparatos y de su entorno ha de ser excelente.

A título de ejemplo, podemos citar las salas informáticas y los servidores, los chasis de distribución, los conmutadores de elevado caudal, los controles de vídeo y en general las aplicaciones de frecuencia superior a 100 MHz. También puede ser necesaria la creación de un islote enrejado cuando el edificio no posee una estructura conductora suficiente (construcción tradicional de albañilería).



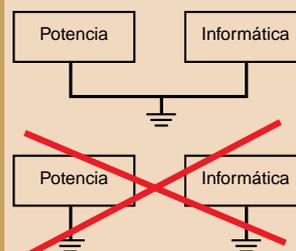
Un enrejado apretado y localizado puede estar constituido por un suelo conductor y un anillo periférico del local (hoja de cobre de 20 mm de anchura como mínimo) situado en la parte inferior. Si la altura hasta el techo es superior a 3 m, se podrá instalar también un anillo elevado. Es evidente que todas las masas citadas en el nivel 2 deberán estar conectadas a este enrejado del islote mediante conexiones lo más directas posible y constituidas por trenzas u hojas de cobre o, en su caso, por conductores flexibles con una sección mínima de 25 mm<sup>2</sup>. En la medida de lo posible, se impedirá el acceso al anillo en toda su longitud (instalación vista o en canal), y los pasamuros deberán estar aislados a fin de protegerlos contra la corrosión. Si existen dos islotes yuxtapuestos, las redes enrejadas de cada uno de ellos se interconectarán en varios puntos. Los enrejados de islotes se conectarán a las estructuras accesibles del edificio.

En cualquier caso, la eficacia de la protección contra el rayo exige una buena conexión de la red de masa con el suelo a través de una toma de tierra de buena calidad (< 10 Ω), constituida en la medida de lo posible por un anillo en fondo de excavación.



#### Una sola tierra

Un edificio debe tener una sola toma de tierra. Debe prohibirse formalmente cualquier pres-

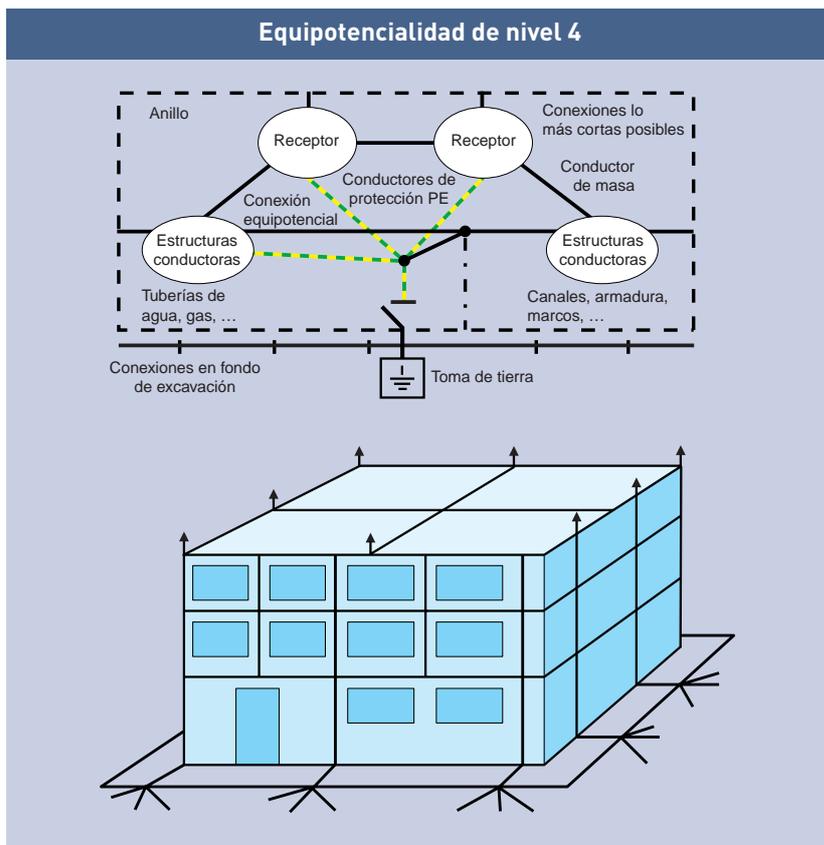


cripción de tomas de tierra separadas en términos de tierra propia, de tierra informática. La tierra única constituye una referencia de potencial. Multiplicar el número de tierras es arriesgarse a que existan diferencias de potencial entre los diferentes circuitos (por ejemplo, en caso de rayo).

### 5 Equipontencialidad de nivel 4

En el nivel 4, los dispositivos para el enrejado de islote (nivel 3) se extienden a todo el edificio.

En cada piso se deberán constituir anillos periféricos; todas las estructuras conductoras, las armaduras del hormigón, las bajadas de pararrayos (en caso de protección por caja enrejada y varillas de captura), se conectarán entre sí, al igual que los conductores de tierra de los dispositivos de protección contra sobretensiones, los de conexión a tierra de las antenas y todos los conductores de conexión equipotencial. El conjunto del enrejado realizado se conectará al anillo de fondo de excavación en toda la periferia. La resistencia de la toma de tierra será la menor posible ( $< 1 \Omega$ ). Estas disposiciones se aplican en zonas con riesgo de caída de rayos y/o cuando los equipos a proteger son especialmente sensibles.



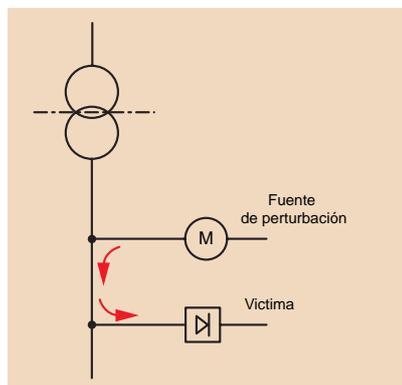
Los conductores de protección (verde / amarillo) deben estar dimensionados y conectados de forma que garanticen la protección de las personas. Nunca deben sustituirse por conexiones de la red de masa, cuya misión es mejorar la inmunidad CEM. En estas últimas conexiones no debe utilizarse la doble coloración verde / amarillo. Actualmente, el marcaje de las conexiones de masa todavía no está normalizado pero, a priori, tiende a generalizarse el uso del color negro.



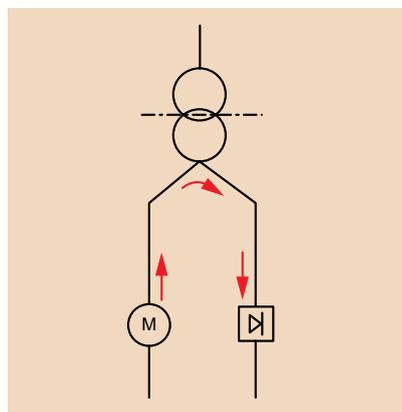
La realización de redes de masas ha sido objeto de numerosas obras, entre las que destacamos «Cableados de edificios profesionales», France Telecom., 1994. El documento EN 50174-2 indica reglas de planificación y puesta en práctica de instalaciones en el interior de edificios para los sistemas de cableado de tecnologías de la información.

## 2 SEPARACIÓN ELÉCTRICA DE LAS ALIMENTACIONES

La alimentación común de los equipos permite que las perturbaciones circulen entre ellos. Es lo que se denomina acoplamiento galvánico o por impedancia común.

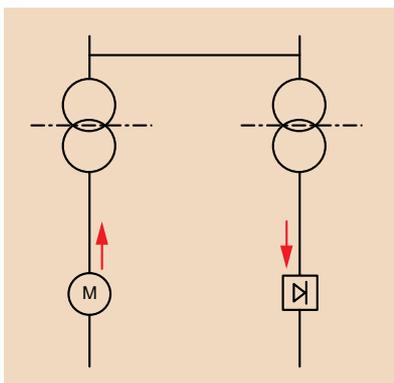


La primera regla de sentido común es por tanto no alimentar con la misma línea aparatos que pueden perturbarse mutuamente, por ejemplo aparatos perturbadores (motores, puestos de soldadura...) y aparatos sensibles (radio, informática...).

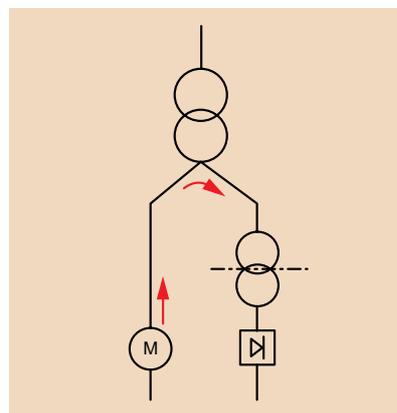


¡Atención! Esta práctica de las alimentaciones separadas (aparatos en estrella) presenta el inconveniente de disminuir la equipotencialidad de los aparatos entre sí cuando esta última sólo está garantizada por los conductores de protección (nivel 0 de equipotencialidad). Por lo tanto, se reservará a los aparatos que no hayan de comunicarse entre sí. En el caso de equipos muy sensibles o altamente perturbadores, podemos vernos obligados a separar realmente las alimentaciones.

Podemos encontrarnos con esta disposición cuando ciertas partes de la instalación (que deben funcionar de forma segura) están alimentadas por un ondulador o por una fuente de seguridad.



La práctica más frecuente consiste de hecho en alimentar los aparatos sensibles (generalmente también los menos potentes) con un transformador de separación de circuitos.



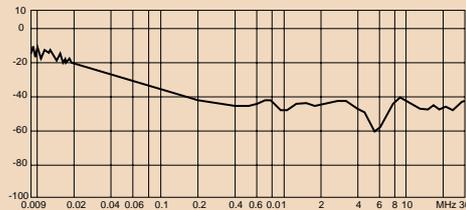
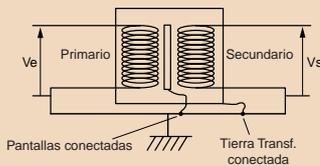
La separación de circuitos por transformador está fundamentalmente destinada a garantizar la protección contra contactos indirectos (véase el capítulo II.D), aunque también puede utilizarse el transformador como filtro de alimentación.



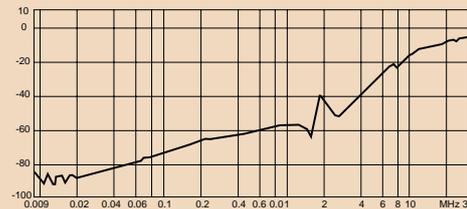
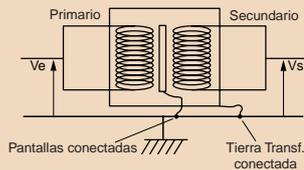
### Características de atenuación de los transformadores

Las prestaciones de filtrado de un transformador se expresan mediante la relación de atenuación (en dB) de las perturbaciones entre las bobinas primaria y secundaria.

En modo diferencial (con un punto conectado a tierra)



En modo común



Las características de atenuación de los transformadores están fundamentalmente ligadas a las capacidades parásitas entre el primario y el secundario, entre el primario y el circuito magnético y entre el secundario y el circuito magnético. Dependen en gran parte de elementos físicos tales como la permitividad entre capas (características

de los aislamientos) y de aspectos dimensionales (forma y altura de las bobinas, superficies enfrentadas). La instalación de una o varias pantallas entre primario y secundario mejora la atenuación.

En modo común (la gran mayoría de perturbaciones), el nivel de filtrado es generalmente excelente hasta una frecuencia de 1 MHz, incluso más en el caso de transformadores de pequeña potencia (algunos centenares de VA).

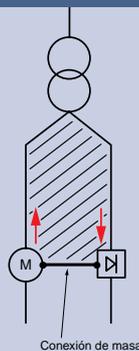
Las prestaciones de atenuación disminuyen con la potencia, por lo que es preferible alimentar varios aparatos sensibles mediante transformadores pequeños que alimentar todo el conjunto con uno solo más grande.

### 3 SEPARACIÓN GEOMÉTRICA

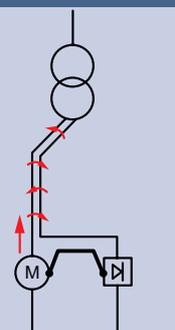
Del mismo modo que la separación eléctrica de las alimentaciones forma parte de las soluciones básicas, es necesario que esta separación sea geométrica a fin de limitar los acoplamientos entre las líneas perturbadoras y las perturbadas. En la práctica, la separación de líneas plantea el problema de la creación de bucles de gran superficie que pueden constituir a su vez fuentes de tensiones inducidas bajo el efecto de campos magnéticos.

Por otro lado, hay que evitar que al tratar de reducir la superficie de los bucles las líneas queden demasiado cerca unas de otras.

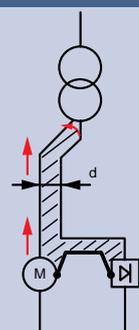
#### Separación geométrica de las líneas



Creación de una superficie de bucle amplia



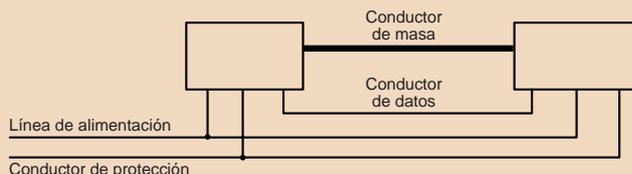
Superficies de bucle reducidas, pero proximidad entre líneas y riesgo de acoplamiento (diafonía)



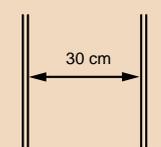
Compromiso entre superficies de bucles reducidas y distancias de separación suficientes



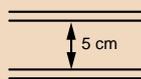
Debemos ser prudentes para evitar un alejamiento excesivo (varios metros) de los conductores de un mismo sistema. Siempre es preferible que todos los conductores (masa, datos, alimentaciones) discurren con «una cierta proximidad».



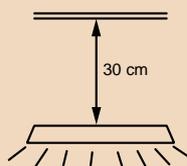
Fundamentalmente, deberán tomarse precauciones para contrarrestar la proximidad entre las corrientes fuertes (alimentación) y las débiles (datos). Con ese fin, se prescribe el respeto de distancias mínimas (véanse los esquemas adjuntos) o la utilización de conductores blindados.



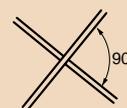
Circulación vertical



Circulación horizontal



Proximidad a una fuente de perturbaciones (motor, fluorescentes,...)



Cruce de conductores



El acoplamiento entre conductores depende de varios factores:

- la frecuencia de la señal perturbadora
- la longitud del recorrido común
- la distancia entre conductores.

La naturaleza de los conductores influye directamente en el acoplamiento:

- par trenzado para limitar la componente inductiva
  - pantalla o blindaje para limitar la componente capacitiva.
- Los conductores apantallados o blindados (tipo FTP o SFTP) no requieren distancias mínimas de separación. Es muy conveniente colocar los conductores no blindados (tipo UTP) lo más cerca posible de las masas para aprovechar el efecto reductor.



Se aconseja la separación física entre corrientes débiles y fuertes. Las gamas de canales DLP son particularmente adecuadas para tales exigencias, permitiendo la compartimentación entre los diferentes circuitos.



# Construcción del material

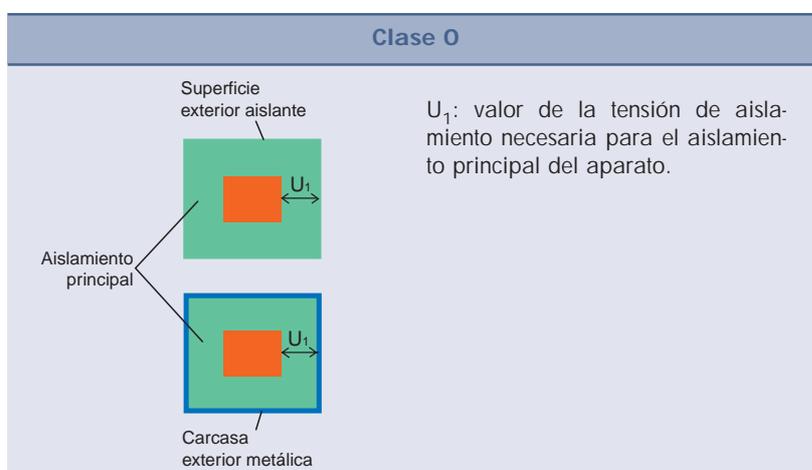
Los aparatos y equipos se clasifican en función de su modo de protección contra contactos indirectos. No todas las clases de protección pueden utilizarse en todas las aplicaciones.

Es importante conocer bien las condiciones locales de utilización para realizar la elección apropiada

## 1 CLASE 0

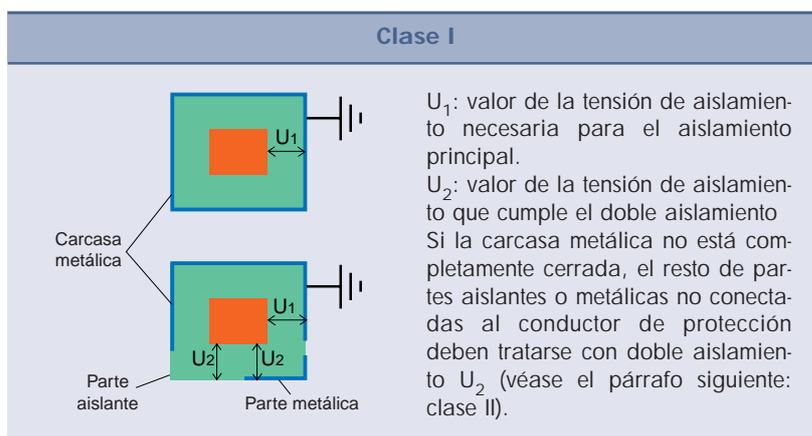
No se prevé ni se toma ninguna disposición para conectar las partes metálicas accesibles, si existen, a un conductor de protección. En caso de fallo de aislamiento, dichas partes podrán encontrarse bajo tensión.

La protección reside en este caso en la imposibilidad de establecer contacto con otro potencial, condición que sólo puede establecerse en los emplazamientos no conductores (locales aislantes) o si el aparato de clase 0 está alimentado por una fuente de separación de circuito.



## 2 CLASE 1

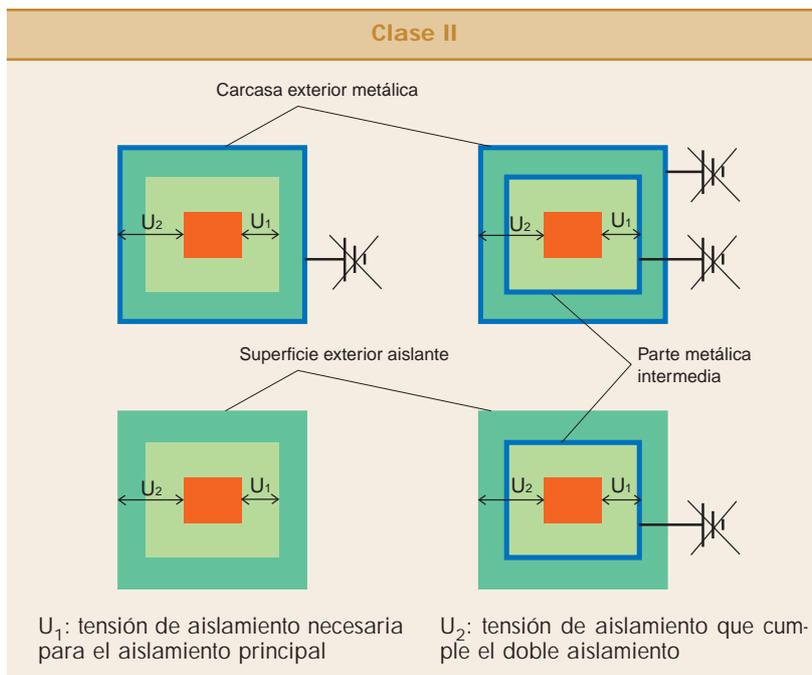
Además del aislamiento principal, la seguridad reside en la conexión de las masas, o partes metálicas accesibles, a un conductor de protección que forma parte de la instalación y está conectado a tierra. El diseño de clase I supone la equipotencialidad de las masas simultáneamente accesibles, la continuidad de las masas entre sí, la fiabilidad de los dispositivos de conexión y una conductividad suficiente para la circulación de las corrientes de fallo.



Los aparatos, material y equipos de clase I no garantizan por sí solos la seguridad contra contactos indirectos. Esta última es indisoluble de las medidas aplicadas al propio nivel de la estructura de la instalación: creación de un bucle de fallo, detección de dicho fallo e interrupción o limitación según el régimen de neutro.

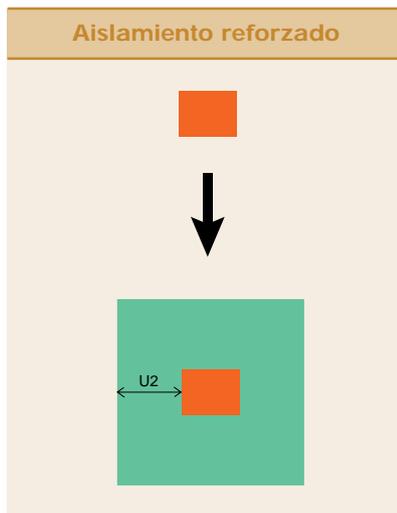
### 3 CLASE II (O DOBLE AISLAMIENTO)

Contrariamente a la clase I, la protección de clase II no depende de las condiciones de instalación. La seguridad se basa en la pequeña probabilidad de un fallo simultáneo de los dos aislamientos que constituyen el doble aislamiento. Por principio, el doble aislamiento se obtiene durante la construcción, añadiendo al 1er aislamiento (aislamiento principal) un segundo aislamiento (llamado aislamiento suplementario). Normalmente, los dos aislamientos deben poder probarse de manera independiente. Si existen partes metálicas accesibles, en ningún caso deberán estar conectadas a un conductor de protección.



#### ! Aislamiento reforzado

Se trata de una variante del doble aislamiento. Está constituido por un solo aislamiento que posee normalmente las mismas características eléctricas y mecánicas... (por ejemplo, material aislante moldeado de mayor espesor). Sólo debe utilizarse en los casos en que sea imposible efectuar el doble aislamiento.



La protección por doble aislamiento se usa con frecuencia para los electrodomésticos (lámparas, aparatos, ...) y para los aparatos portátiles (herramientas). La ausencia de conductor de protección en el cable flexible evita que pueda romperse.

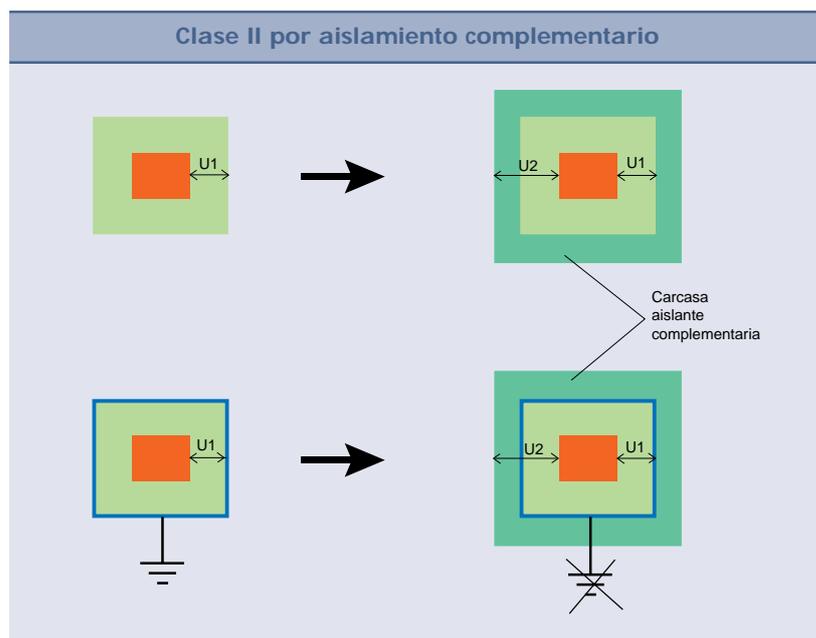
Actualmente, este concepto está en evolución y la clase II se aplica no solo a receptores fijos (radiadores de calefacción), sino también a partes completas de instalaciones y a cuadros de distribución. Estos últimos casos se refieren más concretamente a las partes situadas antes de los dispositivos de protección que garantizan una eficaz protección contra contactos indirectos (véase el capítulo II.D).

#### 4 MATERIALES ASIMILADOS A LA CLASE II POR AISLAMIENTO COMPLEMENTARIO DE LA INSTALACIÓN

Mediante la adición de un aislamiento complementario, esta práctica permite aportar las condiciones de protección de la clase II a materiales de la clase 0 ó I. En este último caso, evidentemente el conductor de protección no debe estar conectado.

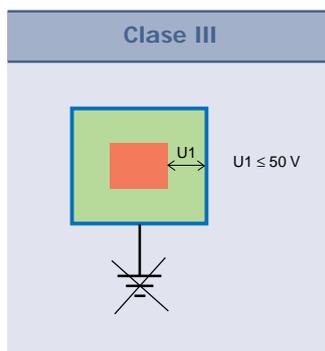
Esta práctica puede aplicarse:

- para utilizar un aparato o un equipo en condiciones de entorno inadaptado (ausencia de conductor de protección)
- para aportar un nivel de aislamiento equivalente a la clase II en la realización de cuadros o de conjuntos (véase el capítulo II.D.2).



#### 5 CLASE III

Se caracteriza por el hecho de que la protección contra choques eléctricos está garantizada por la alimentación de muy baja tensión (ámbito de la MBT < 50 V). Un aparato o equipo de clase III carece de borna de puesta a tierra. Salvo excepción prevista en la norma específica, tampoco debe tener borna de masa (conexión equipotencial) o de tierra funcional (tierra sin ruido).



**Un material de clase III que produzca internamente tensiones superiores al ámbito de la MBT (televisor con baterías, por ejemplo) no se considera de clase III.**



**La seguridad de un aparato de clase III sólo puede garantizarse si está alimentado por una fuente de seguridad MBTS (Muy Baja Tensión de Seguridad), como es el caso de un transformador de seguridad.**

**Una instalación MBTS cumple dos condiciones:**

- todas las partes activas están separadas, por un aislamiento doble o reforzado, de las partes activas de cualquier otra instalación
- las partes activas están aisladas de tierra, así como de cualquier conductor de protección perteneciente a otra instalación.

**Una instalación MBTP (Muy Baja Tensión de Protección) es una instalación del ámbito MBT que solo cumple la 1ª condición.**

**Una instalación MBTF (Muy Baja Tensión Funcional) es una instalación del ámbito MBT que no es ni MBTS ni MBTP.**

## 6 REGLAS DE CONSTRUCCIÓN DE ENVOLVENTES DE CLASE I

Las reglas descritas a continuación sintetizan las exigencias de las normas EN 60204-1, EN 60439-1, CEI 1140 y las recomendaciones constructivas del buen hacer.

Se consideran masas todas las partes metálicas directamente accesibles por el usuario, aunque estén recubiertas de pintura o de otro revestimiento, salvo si demuestran poseer cualidades de aislamiento reconocidas y probadas con el espesor depositado (ejemplo: película pegada).

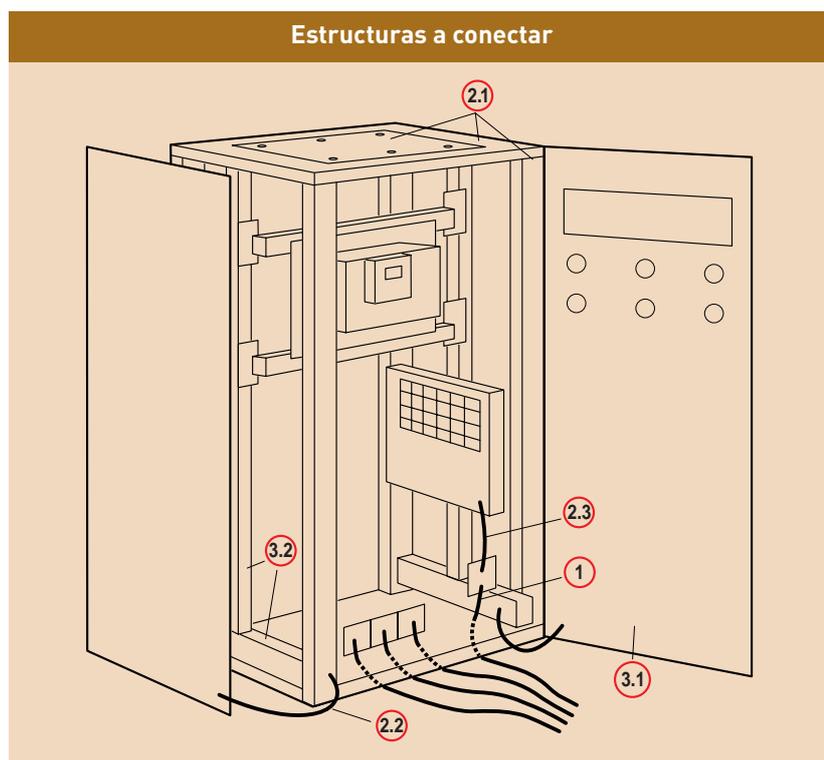
El concepto de masa se extiende igualmente a todas aquellas partes metálicas inaccesibles por el usuario pero accesibles a un operario, aunque esté cualificado, incluso tras el desmontaje, en la medida en que sus posiciones o dimensiones presenten un riesgo de contacto no despreciable (ejemplos: railes, pletinas, soportes de aparatos,...), así como aquellas partes metálicas intermedias inaccesibles pero en contacto mecánico con masas, en la medida en que puedan propagar un potencial (ejemplo: transmisión de un mecanismo).

Las partes totalmente inaccesibles (al usuario y a los operarios), las masas que por sus pequeñas dimensiones (menos de 50 x 50 mm) no pueden estar en contacto con el cuerpo (salvo si pueden agarrarse con los dedos o caben en la mano), los núcleos de contactores, electroimanes,... no se consideran masas y pueden no estar conectados a un conductor de protección.

### 1 Conexión del conductor de protección

Borne principal: borne conectado al (a los) chasis o a la estructura principal, destinado a la conexión del conductor de protección de la línea de alimentación. Debe estar situado cerca de los bornes de entrada. Este borne debe calibrarse para recibir un conductor de protección de la sección definida en el cuadro I y marcarse con el símbolo  $\opl�$ .

La reconexión bajo un mismo punto de apriete no está autorizada. En caso necesario, se colocarán dos bornes independientes. A excepción de las barras colectoras de los conjuntos de potencia destinadas a su conexión mediante terminales, un simple orificio roscado o una lengüeta para clavija soldable no se consideran suficientes. No es admisible la necesidad de raspar la pintura o de retirar un revestimiento.



Cuadro I (EN 60439-1)

Sección de los conductores de fase de alimentación S (mm <sup>2</sup> )	Sección mínima del conductor de protección correspondiente S <sub>PE</sub> (mm <sup>2</sup> )
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
35 < S ≤ 400	S/2
400 < S ≤ 800	200
S > 800	S/4

### 3 Equipotencialidad de las masas

Las masas deben estar eléctricamente conectadas entre sí a fin de que no pueda crearse ningún potencial peligroso entre masas simultáneamente accesibles. Dicha continuidad puede obtenerse mediante el propio método de construcción o utilizando conductores de conexión equipotencial.

#### 3.1 – Continuidad de las masas por construcción

Deberá estar bien protegida contra deterioro mecánico y químico.

El desmontaje de un elemento no deberá implicar discontinuidad en la conexión. A tal efecto, las masas no deberán estar conectadas «en serie». En la medida de lo posible, la conexión eléctrica deberá depender de la fijación mecánica (por ejemplo, utilizando un mismo tornillo), de modo que la segunda función no pueda desempeñarse sin la primera.

Se recomienda la redundancia de los puntos de conexión. En lo que se refiere a las tapas, placas y piezas similares, se consideran suficientes las fijaciones metálicas, tornillos, pasadores, remaches, siempre que se haya eliminado todo resto de pintura y que no haya ningún equipo eléctrico (sin su propio conductor de protección) fijado a dichos puntos.

Los sistemas de garras, clavos, arandelas de picos, remaches acanalados que atraviesan el revestimiento de superficie, deben comprobarse según el ensayo de continuidad del punto 4.

#### 3.2 – Continuidad de masas mediante conductores de conexión equipotencial

Cuando las masas (puerta, pantalla de protección, panel de cierre,...) no soportan ningún material o equipo, la conexión equipotencial de dichas masas debe efectuarse mediante un conductor con una sección mínima de 2,5 mm<sup>2</sup> si está protegido mecánicamente (conductor de un cable multi-conductores, conductor aislado con funda de protección, conductor fijado a lo largo de todo su recorrido...). Esta sección será de 4 mm<sup>2</sup> si el conductor de conexión no está protegido o si está sometido a maniobras repetidas (apertura de una puerta, manipulación). Las conexiones de este conductor deberán tener un contacto fiable con las masas conectadas (pintura eliminada, protección contra la corrosión y el aflojamiento); la comprobación de la continuidad se efectuará según las modalidades del punto 4.

NOTA: las conexiones equipotenciales efectuadas con conductores son generalmente independientes de las funciones mecánicas y, por lo tanto, podrían quedar sin conectar después de una operación de mantenimiento. Para limitar dicho riesgo, las conexiones estarán lo más cerca posible de las fijaciones e irán marcadas de modo inequívoco: conductores con doble coloración verde / amarillo, o marcadas en cada uno de sus extremos con dichos colores y con el símbolo  cerca de las conexiones.

#### 3.3 – Conexión de equipos

Cuando haya aparatos o equipos fijados a las masas y, especialmente, cuando éstas sean amovibles (puertas, paneles, placas...), el equipo fijado deberá conectarse directamente con un conductor de protección si éste posee un borne previsto al efecto. La sección de este conductor se determinará en función de la de los conductores de fase que alimentan el aparato en cuestión según lo indicado en el cuadro I. Los bornes para los conductores PE no deben desempeñar otras funciones, por ejemplo de fijación mecánica.

Cuadro II (EN 60439-1)

Corriente nominal de uso (A)	Sección mínima del conductor de equipotencialidad (mm <sup>2</sup> )
$I_e \leq 25$	2,5
$25 < I_e \leq 32$	4
$32 < I_e \leq 63$	6
$63 < I_e \leq 80$	10
$80 < I_e \leq 160$	16
$160 < I_e \leq 200$	25
$200 < I_e \leq 250$	35

#### 4 Comprobación de la continuidad de las masas

La resistencia del circuito de protección se verifica entre el borne principal de conexión del conductor de protección y cualquier masa del aparato o del equipo. La medición se lleva a cabo utilizando el método voltamperimétrico o un micro-ohmiómetro, haciendo pasar una corriente alterna de 50 Hz durante al menos 10 s.

La resistencia debe medirse (o calcularse) para un valor de corriente de 25 A y no debe ser superior a 0,05 Ω. NOTA: estos valores no tienen en cuenta eventuales exigencias de equipotencialidad ligadas a la compatibilidad electromagnética (véase la sección).

#### 5 Comprobación del comportamiento ante cortocircuitos

##### 5.1 - Conductores de protección y masas utilizadas como tales

Estos se someten a una corriente de cortocircuito definida en función de las siguientes modalidades:

- o bien basándose en la sollicitación térmica  $I^2t$  limitada por el dispositivo de protección, aplicando un valor  $I_{cw}$  durante un segundo igual a  $\sqrt{I^2t}$  (punto 3.2.1)
- o bien aplicando un valor igual al de la sollicitación térmica máxima admisible por el conductor de protección necesario para el equipo, o la parte

afectada, cuando no se conoce el dispositivo de protección (punto 3.2.2). La corriente de ensayo  $I_{cw}$  durante 1 s es entonces igual a  $\sqrt{K^2S^2}$ .

##### 5.2 - Masas accidentalmente bajo tensión como consecuencia de la separación de u conductor

Aunque la probabilidad de que esto suceda es baja, debe tenerse en cuenta en aquellos equipos alimentados con una red en régimen de neutro TN o IT que no posean protección diferencial complementaria. En caso de fallo entre fase(s) y la parte metálica conectada al conductor de protección, se puede generar la circulación de una corriente de cortocircuito limitada únicamente por los dispositivos de protección contra sobreintensidades. (Bajo el régimen IT, este riesgo sólo se presenta en el 2º fallo sobre otra fase y la corriente de cortocircuito es inferior a la del régimen TN).

En tales aplicaciones, deberá comprobarse que las masas en cuestión, así como las conexiones equipotenciales y su conexión al conductor de protección, son capaces de dejar pasar la corriente de fallo limitada por el aparato de protección para el caso de una corriente igual al 60% de la  $I_{cc}$  trifásica que se supone.

El valor de la sollicitación térmica  $I^2t$  limitada permitirá determinar la corriente de prueba  $I$  igual a  $\sqrt{I^2t}$  durante 1 s.

A título indicativo, se pueden tomar los valores de ensayo  $I_{cw}$  del cuadro III según la corriente de fallo fase/PE.

Cuadro III

Corriente de fallo fase/PE (kA)	Corriente de ensayo $I_{cw}$ (A)	Aparato de cabeza
3	200	modular $I_n \leq 63$ A
6	250	modular $63 < I_n \leq 125$ A
10	700	caja moldeada $I_n \leq 125$ A
15	1 000	caja moldeada $125 < I_n \leq 400$ A
20	2 000	caja moldeada $I_n > 400$ A
35	3 800	caja moldeada $I_n \leq 1 000$ A

## 6 Compatibilidad electrónica de los metales

Un límite máximo de 300 mV se considera aceptable para limitar el fenómeno electroquímico entre dos metales (zona verde de la siguiente tabla). Este valor puede incrementarse hasta 400 mV en condiciones secas permanentes (zona azul).

Ámbito de compatibilidad electroquímica de los metales (en el agua al 2% de NaCl)

	Oro	Inoxidable 18/8	Plata	Níquel	Cobre	Latón	Estaño	Plomo	Acero 25 % Ni	Duraluminio	Fundición	Cuproaluminio	Aluminio	Acero	Alumag	Cadmio	Hierro	Cromo	Aluzinc	Zinc	Magnesio
Oro		100	220	300	440	470	670	710	800	810	820	870	960	965	970	970	975	1070	1095	1270	1820
Inoxidable 18/8	100		100	180	320	350	550	590	680	690	700	750	840	845	850	850	855	950	975	1150	1700
Plata	220	100		80	220	250	450	490	580	590	600	650	740	745	750	750	755	850	875	1050	1600
Níquel	300	180	80		140	170	370	410	500	510	520	570	660	665	670	670	675	770	795	970	1520
Cobre	440	320	220	140		30	230	270	360	370	380	430	520	525	530	530	535	630	655	830	1380
Latón	470	350	250	170	30		200	240	330	340	350	400	490	495	500	500	505	600	625	800	1350
Estaño	670	550	450	370	230	200		40	130	140	150	200	290	295	300	300	305	400	425	600	1150
Plomo	710	590	490	410	270	240	40		90	100	110	160	250	255	260	260	265	360	385	560	1110
Acero 25% Ni	800	680	580	500	360	330	130	90		10	20	70	160	165	170	170	175	270	295	470	1020
Duraluminio	810	690	590	510	370	340	140	100	10		10	60	150	155	160	160	165	260	285	460	1010
Fundición	820	700	600	520	380	350	150	110	20	10		50	140	145	150	150	155	250	275	450	1000
Cuproaluminio	870	750	650	570	430	400	200	160	70	60	50		90	95	100	100	105	200	225	400	950
Aluminio	960	840	740	660	520	490	290	250	160	150	140	90		5	10	10	15	110	135	310	860
Acero	965	845	745	665	525	495	295	255	165	155	145	95	5		5	5	10	105	130	305	855
Alumag	970	850	750	670	530	500	300	260	170	160	150	100	10	5		0	5	100	125	300	850
Cadmio	970	850	750	670	530	500	300	260	170	160	150	100	10	5	0		5	100	125	300	850
Hierro	975	855	755	675	535	505	305	265	175	165	155	105	15	10	5	5		95	120	295	845
Cromo	1070	950	850	770	630	600	400	360	270	260	250	200	110	105	100	100	95		25	200	750
Aluzinc	1095	975	875	795	655	625	425	385	295	285	275	225	135	130	125	125	120	25		175	725
Zinc	1270	1150	1050	970	800	735	600	560	470	460	450	400	310	305	300	300	295	200	175		550
Magnesio	1820	1700	1600	1520	1380	1350	1150	1110	1020	1010	1000	950	860	855	850	850	845	750	725	550	

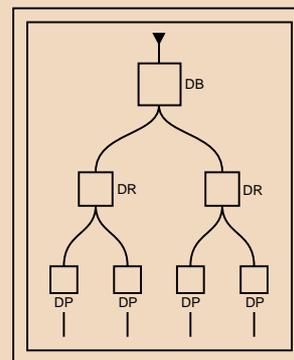
## 7 CONSTRUCCIÓN DE CONJUNTOS DE CLASE II

Únicamente las envolventes realizadas con material aislante pueden acogerse a la denominación «protección por aislamiento total»: se las designa con la clase II A.

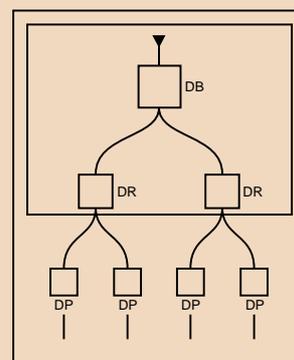
Esto no excluye que carcasas metálicas puedan igualmente pretender aportar un nivel de seguridad equivalente al de la clase II. A estas carcasas se las designa con la clase II B.

Por el contrario, una carcasa aislante no pertenece obligatoriamente a la clase II. Por ejemplo, puede estar realizada en clase I si las partes metálicas, o los aparatos que contiene, están conectados a un conductor de protección.

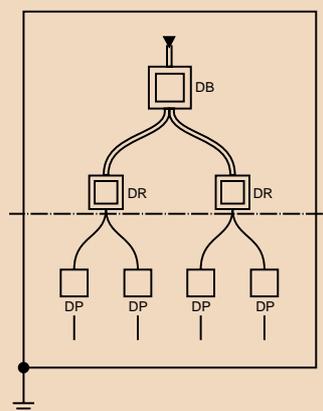
**Clase II A de carcasa aislante**  
No se toma ninguna disposición en particular



**Clase II B de carcasa metálica**  
Los materiales que no son de clase II se separan mediante un aislamiento complementario



**Clase I con una parte en clase II**  
La parte situada antes de los dispositivos DR está fabricada con materiales de clase II y/o un aislamiento complementario



DB: automático de conexión no diferencial  
DR: dispositivo de corriente diferencial residual  
DP: dispositivo de protección contra sobrecorrientes (fusibles, automáticos)

## 1 Carcasas de clase II A

### 1.1 - Continuidad de la protección aislante

La carcasa debe estar diseñada de tal manera que ninguna tensión de fallo pueda transmitirse al exterior. Debe aportar un grado de protección igual al menos a IP 3XD en situación de instalación.

Esta continuidad de protección debe igualmente estar garantizada en las caras inaccesibles (por ejemplo, caja empotrada) si existe riesgo de contacto, incluso fortuito (conductor suelto), con un elemento exterior conductor tal como una estructura metálica o construcción de obra. En este caso particular, la protección se comprobará desde el interior del producto hacia el exterior con un grado igual a IP 3x (ó 2xC) como mínimo.

Este nivel de protección podrá limitarse a IP 2x (riesgo de penetración de animales) si se aplican medidas que eviten cualquier tipo de desplazamiento de los conductores (punto 2.2).

Si la carcasa va a ser atravesada por partes conductoras, cualesquiera que sean sus dimensiones (mandos de aparatos, cerrojos, bisagras, remaches, fijaciones murales...), estas últimas deberán estar preferentemente aisladas en el interior de la carcasa a fin de que no puedan quedar bajo tensión como consecuencia de un fallo. Los tornillos aislantes no deben poder ser sustituidos por tornillos metálicos si esto perjudica al aislamiento.

### 1.2 - Chasis y partes metálicas internas

No deben estar conectados al conductor de protección ni en contacto eléctrico con partes que atraviesen la carcasa. Debe colocarse la marca  de manera visible en el interior y el exterior de la carcasa. Si por razones funcionales fuese necesaria una conexión a tierra (CEM), dicha conexión no se marcará con la doble coloración ver-

de/amarillo (generalmente se utiliza el negro), sino que el borne o los bornes se marcarán con TE o con el símbolo . Deberán añadirse las explicaciones complementarias correspondientes (modo de empleo, documentación técnica). Para aquellos conjuntos en los que exista riesgo de conexión inesperada al conductor de protección (chasis, barra, colector...), o una conexión posterior (mantenimiento, evolución de la instalación...), se colocará una advertencia del tipo: «Atención, conjunto de doble aislamiento. Masas no conectadas al conductor de protección». Los chasis y las partes metálicas del interior de la carcasa deben considerarse potencialmente peligrosos, incluso para un operario cualificado, en caso de fallo del aislamiento principal de los aparatos que soportan o en caso de que se suelte un conductor. En la práctica, dicho riesgo puede limitarse incorporando únicamente aparatos de clase II (incluyendo placas de bornes, repartidores...), o presentando un aislamiento equivalente con relación a dichos chasis y partes metálicas (asimilables en tal caso a masas accesibles), y tratando la circulación de los conductores como se describe en el punto 2.2.

## 2 Carcasas de clase II B

La clase II B puede obtenerse mediante dispositivos constructivos (punto 2.1) o mediante aislamiento complementario de la instalación (punto 2.2).

### 2.1 - Disposiciones constructiva

La cara interna de la carcasa está recubierta con un revestimiento aislante continuo hasta la penetración de los conductores. Barreras aislantes rodean todas las partes metálicas en la que pudiese producirse un contacto fortuito. Los aparatos, conexiones y todos los materiales instalados, garantizan distancias de aislamiento y líneas de

fuga entre la carcasa y las partes peligrosas (partes activas, conductores y borne PE, partes metálicas separadas solamente por un aislamiento funcional) en cualquier circunstancia, accidentes incluidos (desprendimiento de un conductor, aflojamiento de los bornes, desplazamiento bajo el efecto de un cortocircuito).

### 2.2 - Aislamiento complementario de la instalación

Esta disposición puede utilizarse para cajas y armarios metálicos instalados en origen (CGBT) y, más especialmente, para la parte comprendida entre el origen de la instalación y las bornas de salida de los dispositivos diferenciales que garantizan la protección de las salidas. La normalización prevé la posibilidad de conseguir una seguridad equivalente a la de la clase II dotando a los aparatos de un aislamiento complementario al de la instalación: separadores aislantes, aislamientos de las guías de soporte... Esos dispositivos teóricos son difíciles de instalar y, frecuentemente, poco industriales. Por lo tanto, es también preferible en este caso incorporar exclusivamente materiales de clase II, limitándose el tratamiento del aislamiento a los cables y conductores. A menos que estos últimos sean de clase II (U1000 R2V, H07 RN-F...), deberán disponerse en conductos o canales aislantes. Pueden ser suficientes sistemas tales como guías de cables, abrazaderas o incluso trenzado mediante bridas, siempre que la fijación que aseguran pueda evitar cualquier contacto fortuito con la carcasa. El mantenimiento de las zonas próximas a las conexiones puede efectuarse mediante protectores de bornes apropiados. Los sistemas con varios puntos de conexión simultáneos (peines) se consideran como inmóviles.

### 3 Conductores de protección (PE)

Si uno o varios conductores de protección, así como sus bornes, están protegidos por la carcasa, deberán estar completamente aislados de las partes activas, partes metálicas y chasis. Incluso en el caso de que los aparatos situados en la carcasa tengan bornes para conductor PE, estos últimos no deberán estar conectados.

Esta medida no se opone a que conductores de equipotencialidad conecten las masas de los aparatos entre sí por razones funcionales, siempre que dichos enlaces no estén conectados al conductor de protección. Si hubiese que instalar un borne de masa exterior, deberá identificarse inequívocamente mediante el símbolo  $\overline{m}$ , completado con el símbolo  $\otimes$ .

Los conductores de protección y sus bornes estarán protegidos como las partes activas y, por lo tanto, deberán presentar un grado de protección IP xxB (ó xxA con protector de bornes si  $> 16 \text{ mm}^2$ ) cuanto la tapa de la carcasa esté abierta. Podrá ser necesaria la instalación de tapas para limitar los riesgos de contacto mutuo con conductores provistos de un aislamiento principal (conductores de cableado) y/o los riesgos de contacto fortuito con un conductor desprendido.

### 4 Comprobación de las propiedades dieléctricas

Por construcción, las características de aislamiento de las carcasas no deberían verse afectadas por las solicitudes de servicio capaces de disminuirlas (choques e impactos mecánicos, lluvia, chorreo de agua, contaminación y depósitos ocasionalmente conductores, corrosión...).

Los ensayos de aislamiento consisten en aplicar las siguientes tensiones.

- Tensión de ensayo de frecuencia industrial (umbral de detección 10 mA):  
1 mn a 3.750 V para las carcasas con tensión de aislamiento  $\leq 690 \text{ V}$ ,  
1 mn a 5.250 V para las carcasas con tensión de aislamiento  $\leq 1.000 \text{ V}$ .

- Tensión de ensayo de choque (onda 1,2/50 (s), 3 veces por cada polaridad):  
6 kV para las carcasas con tensión de aislamiento  $\leq 690 \text{ V}$

- 8 kV para las carcasas con tensión de aislamiento  $\leq 1.000 \text{ V}$ .

Las tensiones de ensayo se aplican:

- entre una lámina metálica que materializa la superficie de acceso exterior y todas las partes interiores de la carcasa conectadas entre sí (partes activas, chasis y partes metálicas, tornillos, inserciones, dispositivos de cierre y conductores de protección). Aplicada sobre toda la superficie exterior, incluyendo la cara trasera, la lámina metálica se empuja eventualmente con una palanca de ensayo normalizada,

debiendo estar igualmente conectada a los tornillos o elementos de fijación de la carcasa.

- entre todas las partes interiores de la carcasa conectadas entre sí (partes activas, chasis y partes metálicas, tornillos, inserciones, dispositivos de cierre...) y los conductores de protección y sus bornes.

NOTA: cuando las partes interiores o su ubicación no están claramente identificadas (armarios y cajas suministrados «vacíos», cajas, canales, conductos...), pueden materializarse mediante una lámina metálica aplicada a la cara interna, llenando con bolas conductoras el volumen interior, aplicando una pintura conductora, o mediante cualquier otro sistema representativo.

Los ensayos no deben provocar con torneos, saltos de arco ni perforaciones.

## 8 PRECAUCIONES CONSTRUCTIVAS DE LOS CONJUNTOS CONTRA PERTURBACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

En materia de compatibilidad electromagnética, las precauciones que se tomen para la instalación de los aparatos son tan importantes como las propias características de dichos aparatos. Las normas que se describen a continuación deben aplicarse en la realización de los conjuntos de aparatos y no cabe pensar en solucionar correctamente un problema de CEM si dichas normas no se respetan.

### 1 Equipotencialidad

La equipotencialidad consiste en la creación de una referencia de potencial común a varios elementos. No debe confundirse con la conexión a tierra, necesaria para la seguridad de las personas.

El propio concepto de masas distingue entre seguridad y CEM.

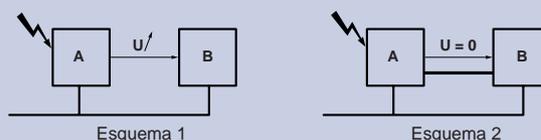
- Bajo el punto de vista de la normativa, designa los elementos metálicos accesibles de los materiales que pudiesen ser peligrosos como consecuencia de un fallo. Lo que resulta peligroso es la diferencia de potencial entre dos masas, una de las cuáles puede ser la tierra.
- En el marco de la CEM, este concepto es mucho más amplio y todos los elementos metálicos, incluyendo los inaccesibles, formen parte o no de los materiales (estructuras, chasis, armaduras...), que deban estar referenciados con el potencial común, se asimilan a masas.

Los técnicos en electrónica conocen bien este concepto y vienen aplicándolo desde hace mucho tiempo al diseñar sus tarjetas y en la conexión de chasis, utilizando pantallas y cables blindados.



Actualmente, la mayoría de las normas de productos incluyen los requisitos de la CEM (directiva CEE / 89 /336) y la conformidad con los mismos se autentifica con la marca CE. Si las características de un aparato aislado son justificables mediante ensayos, las de un conjunto de aparatos lo son mucho menos y las de una instalación completa menos aún. Dicho de otro modo, los ensayos no pueden simular la diversidad de todas las instalaciones y de las características específicas de su entorno.

Por lo tanto, la presunción de conformidad se basará en gran parte en las precauciones tomadas durante la instalación: las aplicables a la instalación en su totalidad se describen en el capítulo I.B.3 (redes de masas, separación eléctrica, separación geométrica) y estos mismos principios aplicados a los conjuntos son los que se describen en el presente capítulo I.C.2.



### Equipotencialidad... o distribución de las perturbaciones

Si no existe ningún conductor de masa que conecte los equipos (esquema 1), una perturbación que afecte al equipo A (por ejemplo, una sobretensión) no afectará al equipo B o, en todo caso, lo hará de forma muy atenuada, lo que podría ser considerado positivo en sí mismo. Sin embargo, esta situación habrá inducido una diferencia de potencial entre los equipos, la cual podrá decodificarse como una señal de mando o una variación de valor, o como de cualquier otro tipo no deseable.

Por el contrario, si los dos equipos son perfectamente equipotenciales gracias a la instalación de un conductor de masa (esquema 2), esta perturbación se equilibrará, disminuyendo frecuentemente su nivel. El incremento de potencial será el mismo en los dos equipos y no habrá fallo.

Ejemplo de la prueba diaria de este concepto de equipotencialidad: el automóvil. Integra funciones que utilizan una gran diversidad de señales (alta tensión para el encendido, alta frecuencia de bajo nivel para la radio, señales digitales de la gestión de la alimentación, sensores analógicos de caudal, de temperatura, corrientes muy elevadas para el arranque, corriente continua de la batería, corriente alterna del generador...) con una «profusión» de perturbaciones (sobretensiones, interrupciones de corriente, parásitos de los colectores del motor, descargas electrostáticas...) y todo ello sin que su buen funcionamiento se vea afectado. Pero todos estos elementos tienen un punto común, una referencia: la masa del vehículo (y eso sin toma de tierra). Y todo el mundo conoce las molestas consecuencias de una mala masa, aunque sólo sea de un intermitente.

La mayor dificultad reside en el hecho de que las diferentes conexiones galvánicas (alimentación, conductor de protección...) proporcionan una buena equipotencialidad en baja frecuencia (lo que puede comprobarse con los ensayos de continuidad para la seguridad de las personas), pero su eficacia se vuelve ilusoria cuando aumenta la frecuencia.

El cálculo de la impedancia de los conductores de masa es delicado, ya que el concepto de equipotencialidad es

únicamente un valor relativo en cuanto a la impedancia de los circuitos que deben hacerse equipotenciales y al ámbito de la frecuencia en cuestión.

En un circuito de impedancia media 100 una conexión de 1 garantiza, en efecto, un cierto concepto de equipotencialidad. Esta misma conexión, en un circuito de baja impedancia de 0,1 no sería de ninguna utilidad.

Orden de magnitud de los valores de impedancia de algunos conductores		
Conductores	a 1 MHz	a 100 MHz
Enrejado cuadrado de 20 cm en lámina de cobre 20 x 1	0,001 Ω	0,1 Ω
20 cm de lámina de cobre 20 x 1	0,1 Ω	10 Ω
20 cm de trenzado plano	0,5 Ω	50 Ω
1 m de hilo conductor	5 Ω	500 Ω

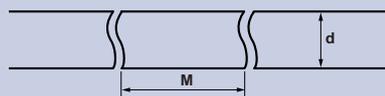


### Cálculo de la impedancia de un conductor de alta frecuencia (AF)

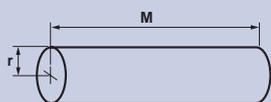
$$Z = 2 \pi f L$$

La impedancia aumenta proporcionalmente con la frecuencia  $f$  (en hertzios) y la inductancia  $L$  (en henrios) del conductor, directamente ligada a la longitud  $M$  de este último.

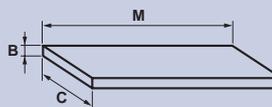
La inductancia lineal (efecto de self) de un elemento de conductor rectilíneo es aproximadamente de 1  $\mu\text{H}/\text{m}$ . Puede descender hasta valores de 0,1 a 0,5  $\mu\text{H}/\text{m}$  para conductores anchos y muy cortos (láminas, trenzas), en donde la relación  $M/d$  es  $\leq 5$ .



Hay que señalar igualmente que si los conductores se enrollan (bucles o espiras), la inductancia lineal puede aumentar hasta 10  $\mu\text{H}/\text{m}$ , lo que implica una impedancia aún mayor. Por el contrario, si el conductor de retorno está muy cerca del de ida (horquilla), la inductancia lineal se divide por 3. De ahí el interés que existe en agrupar en un mismo recorrido los conductores de alimentación, los de protección y, eventualmente, de hacer que los conductores de masa vayan lo más cerca posible de las masas a las que están conectados.



$$L = K \times M (\log 2 \times M / r)$$



$$L = K \times M (\log 2 \times M / B + C)$$

Influencia de la forma de los conductores en el valor relativo de la inductancia



La CEM implica nuevos requisitos prácticos de instalación que van más allá de las prácticas habituales. Es muy recomendable utilizar todos los elementos metálicos disponibles, armaduras, estructuras, chasis, armarios de equipos, multiplicando las conexiones mediante conductores cortos o, mejor aún, mediante ensamblaje directo, para que el valor de la conexión equipotencial descienda, principalmente en AF.

Se utilizarán preferentemente conductores anchos y lo más cortos posible (láminas o trenzas) y se situarán lo más cerca posible de las masas.

En la práctica, su longitud no debería ser mayor de 1 m en aplicaciones industriales corrientes ( $f < 1 \text{ MHz}$ ) ni de 0,5 m en aplicaciones de transmisión de datos ( $f < 100 \text{ MHz}$ ). Deberá limitarse la utilización de conductores redondos con frecuencias inferiores a 10 MHz.

Las corrientes de AF circulan fundamentalmente por la superficie de los conductores, recibiendo el nombre de efecto pelicular. Su espesor en milímetros es:

$$\delta = \frac{0,066}{\sqrt{F \times \mu_r \times \rho_r}} \quad (\text{con } F \text{ en MHz})$$

A título de ejemplo:  $\delta = 0,0066 \text{ mm}$  a 100 MHz.

El propio diseño de las carcasas Legrand evita recurrir a soluciones complejas y caras.

En cuanto a los cuadros y conjuntos de mecanismos para la obtención de equipotencialidad:

- La utilización de la estructura metálica permite crear una referencia de potencial fiable.
- Todos los sistemas de montaje de los equipos proporcionan una excelente continuidad con esta referencia.
- La utilización de placas de montaje y de chasis galvanizados permite garantizar un contacto directo con los equipos que poseen un chasis metálico conductor.
- La utilización de tornillos especiales para AF, con arandela de contacto ref. 367 75/76, así como las tuercas-clip de picos ref. 347 48/49, permite garantizar un excelente contacto sobre las superficies pintadas y tratadas mediante agujereado del revestimiento.

Valores típicos de resistencias de contacto	
Tornillo con rosca sobre placa maciza	0,2 a 0,3 mΩ
Tornillo autorroscante sobre placa maciza	0,3 a 0,4 mΩ
Contacto metal / metal sobre placa galvanizada	0,2 a 0,25 mΩ
Tornillo con arandela de contacto sobre pintura	0,3 a 0,5 mΩ
Tuerca-clip sobre montantes Altis pintados	0,4 a 0,6 mΩ
Tornillo y arandela plana sobre tratamiento zincado bicromatado	0,6 a 0,8 mΩ

**Valores de equipotencialidad de un armario Altis/XL-A<sup>(1)</sup>**

Puntos	R (mΩ)
R/A	0,97
R/B	0,61
R/C	0,65
R/D	0,79
R/E	0,61
R/F	0,71

(1) Los puntos de medición están situados en el centro de los montantes y de los travesaños.



Los valores de equipotencialidad comúnmente admitidos son del orden de: < 5 mΩ por contacto de conexión, y < 20 mΩ entre cualquier punto de una estructura de dimensiones ≤ 2 m. Las mediciones realizadas sobre todos los elementos constructivos, estructura y chasis, de las carcasas XL y XL-A, ponen de manifiesto niveles muy superiores.

## 2 Separación de las barras de potencia

Contrariamente a lo que cabría esperar, las fuentes principales de campo magnético en los conjuntos no están constituidas por productos de «función magnética» (transformadores, contactores...), sino por las líneas de alimentación de energía constituidas por capas de cables o juegos de barras. La circulación de corrientes permanentes de valor elevado crea campos magnéticos a la frecuencia de red (50 Hz), cuya intensidad es proporcional a la corriente e inversamente proporcional a la distancia (disminuyendo en  $1/r$ ).

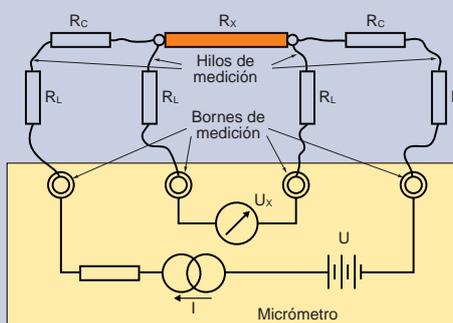
Por lo tanto, pueden crearse f.e.m. inducidas en cualquier bucle conductor que intercepte dichos campos.



En la práctica, la medida de la impedancia en AF no puede realizarse sobre elementos conductores instalados.

Por lo tanto, debe realizarse una simulación efectuando la medición en baja frecuencia, pero debido a los pequeños valores que deben medirse es necesario utilizar un micro-ohmiómetro «de cuatro cables». Este método permite independizarse de las resistencias de los hilos y de las pinzas de medición, así como de su contacto. Los valores de estos elementos pueden llegar a ser considerables en relación con el elemento a medir. Una medición con ohmiómetro de dos cables sobrevaloraría completamente el valor real.

### Medición de resistencia con cuatro cables



Partiendo de una fuente de tensión  $U$ , un generador suministra una corriente de valor  $I$  y de forma determinada ( $z$  o  $\rightarrow$ ). Un voltímetro mide la caída de tensión  $U_x$  en los bornes  $R_x$  de la resistencia que va a medirse e indica el resultado  $R_x \times U_x/I$ .

El resultado es independiente de las otras resistencias del bucle de corriente ( $R_L$  resistencias de los hilos de medición,  $R_c$  resistencias de los contactos de medición), al tiempo que la caída de tensión que provocan con  $R_x$  sigue siendo inferior a la tensión que puede suministrar la fuente  $U$ .



Los campos permanentes detectados alcanzan valores muy superiores a los niveles prescritos por las normas genéricas de inmunidad (EN 50082-1/2), que indican respectivamente 3 A/m en entorno residencial y 30 A/m en entorno industrial. De hecho, estos valores se aplican al entorno exterior, mientras que los valores en el interior de los cuadros son mucho más elevados.

Intensidad (A)	H a 10 cm del centro del juego de barras (A/m)	H a 30 cm del centro del juego de barras (A/m)	H a 60 cm del centro del juego de barras (A/m)
90	165	35	10
160	300	65	15
400	750	160	45
630	1200	260	65
1600	3000	650	170

Cabe señalar que, en régimen de cortocircuito, estos valores pueden aumentar considerablemente durante el tiempo necesario de interrupción.

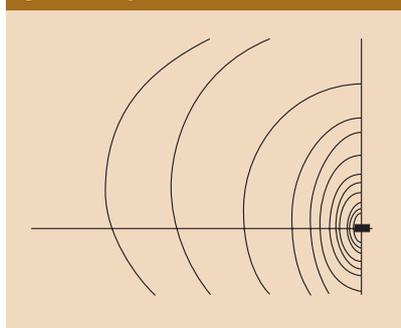
A igual distancia, el valor del campo es superior en el sentido de la cara ancha de las barras.

Los grupos de barras (varias barras en paralelo por polo) no modifican sensiblemente esta distribución.

A igual corriente, la radiación de un juego de barras en trifásico es aproximadamente la mitad de la de un juego de barras en monofásico, lo que confirma la importancia de un agrupamiento regular y simétrico de los conductores.

La presencia de una barra neutra reduce considerablemente la radiación global. El lado de la barra neutra está claramente menos expuesto.

#### Aspecto indicativo de las líneas de igual campo entorno a las barras



### 3 Blindaje de las carcadas

En entornos especialmente perturbados y cerca de fuentes de radiación electromagnética de alta potencia (emisores, hornos de arco, alimentaciones, variadores...), el buen funcionamiento de algunos aparatos puede verse afectado. En algunos casos, la utilización de carcadas blindadas puede aportar una solución que mejore la inmunidad de dichos aparatos, pero hay que ser plenamente conscientes de que esta opción sólo será verdaderamente eficaz si se han aplicado las medidas de base de la CEM.



**El conocimiento de los valores reales de exposición en los cuadros constituye un elemento importante en el diseño de los productos. Las gamas de productos Lexic integran este requisito con características que van mucho más allá de los mínimos exigidos en las normas.**

**Por regla general, y más aún al aumentar la potencia, se recomienda respetar algunas reglas de distanciamiento entre aparatos y barras:**

- ninguna distancia preconizada (fusibles, interruptores sin diferencial, conexiones...)
- 30 cm como mínimo (magnetotérmicos, incluidos diferenciales, relés, aparatos de medición, transformadores...)
- 60 cm como mínimo (electrónica digital, sistemas de buses, telemandos, interruptores electrónicos...).

**Igualmente, deberá respetarse en lo posible la orientación preferente (lado del canto de las barras y proximidad de la barra de neutro).**



**La utilización de carcadas blindadas solo deberá contemplarse una vez aplicados los siguientes principios básicos de instalación:**

- en cuanto a la instalación (véase el capítulo I.C.1), mediante la realización de una red de masas apropiada, la separación de las alimentaciones y el alejamiento geométrico de los elementos perturbadores y perturbados
- en cuanto a los conjuntos y cuadros (véase el capítulo I.C.2, mediante conexiones equipotenciales de calidad y el alejamiento de las fuentes de potencia.

**Si los problemas persisten, deberá contemplarse primero la utilización de una carcada metálica (armario Altis, XL-A, caja Atlantic, Atlantic Inox), cuyas prestaciones estándar son ya elevadas (de unos 20 dB en una amplia banda de frecuencias), antes de pasar, en una última etapa, a las versiones blindadas.**



**La instalación puede hacer que el nivel de blindaje descienda notablemente. La eficacia del blindaje desciende con la primera fuga (abertura, paso de cables). Las fugas son especialmente sensibles en alta frecuencia y a menudo difíciles de detectar.**

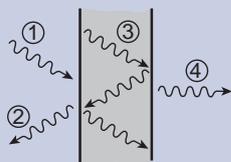
**La continuidad del blindaje requiere un contacto continuo de las superficies sin interposición de pintura, por ello las juntas metálicas de blindaje son costosas, delicadas de instalar y frágiles con el uso.**

**Las grapas u otros dispositivos que sólo garantizan contactos puntuales entre paneles, puertas y estructuras, carecen de eficacia.**



### Eficacia del blindaje del material

El efecto de blindaje de una pared es un fenómeno complejo ligado a la interacción de las ondas electromagnéticas con el material. Las fórmulas de cálculo se derivan de las ecuaciones de Maxwell. Las características de blindaje diferirán en función de los materiales y de la frecuencia.



- ① Onda incidente aplicada a la pared
- ② Parte de la onda detenida por reflexión
- ③ Parte de la onda absorbida por la materia y disipada en forma de calor
- ④ Parte de la onda transmitida

Las bajas frecuencias, predominantemente campos magnéticos, serán fundamente detenidas por absorción y requerirán materiales férricos de elevado espesor.

Las altas frecuencias, campo eléctrico, serán reflejadas por los materiales buenos conductores (cobre, aluminio, zinc...).

Eficacia del blindaje (E) = (A) + (R)

Suma de pérdidas por absorción (A) y pérdidas por reflexión (R)

e: espesor del material en mm

F: frecuencia en Hz

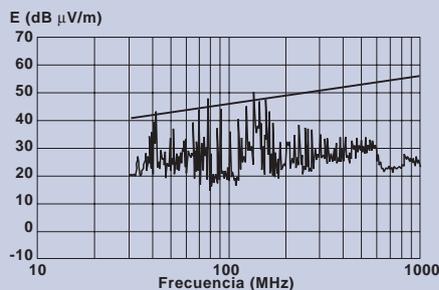
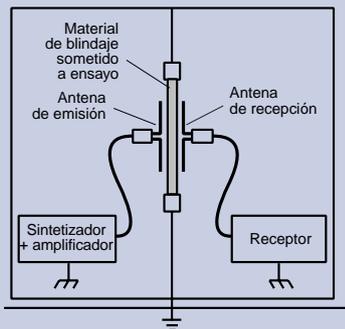
$\mu_r$ : permeabilidad magnética relativa

$$A = K_1 e^{\sqrt{F \mu_r \rho_r}}$$

$$R = 10 \times \log \left( \frac{\rho_r}{F \mu_r} \right)$$

$\rho_r$ : conductividad relativa con relación al cobre

#### Determinación experimental de la eficacia del blindaje de un material



La eficacia de blindaje de una carcasa completa es mucho más compleja de determinar a causa de la influencia de aberturas, juntas, piezas que la atraviesan, forma y dimensiones.

En la práctica, primero se determina el nivel de emisión o de recepción del equipo (o de una antena de referencia) sin carcasa  $N_1$ , y después con carcasa  $N_2$ . La diferencia entre las dos medidas expresa el nivel de atenuación.

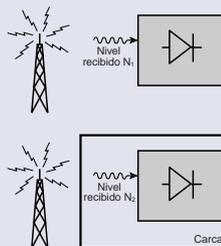
La atenuación es la diferencia en forma de relación entre  $N_1$  y  $N_2$ :

$$A = \frac{N_1}{N_2} \text{ en amplitud.}$$

La utilización del logaritmo permite expresar esta magnitud en decibelios:

$$A(\text{dB}) = 20 \log \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \text{ en potencia.}$$

#### Niveles de atenuación



Relación de los niveles de atenuación $N_1/N_2$	Valor expresado en dB
2	6
3	10
10	20
30	30
1 000	60
10 000	80
100 000	100

# ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA

**Las condiciones de conexión a tierra se han definido de manera reglamentaria con el objetivo primordial de proteger a las personas de las consecuencias de fallos de aislamiento en las instalaciones. Si los diferentes esquemas de conexión a tierra proporcionan un nivel equivalente de protección contra los contactos indirectos, no ocurre forzosamente lo mismo con la seguridad de los bienes, la continuidad de funcionamiento o la compatibilidad electromagnética.**

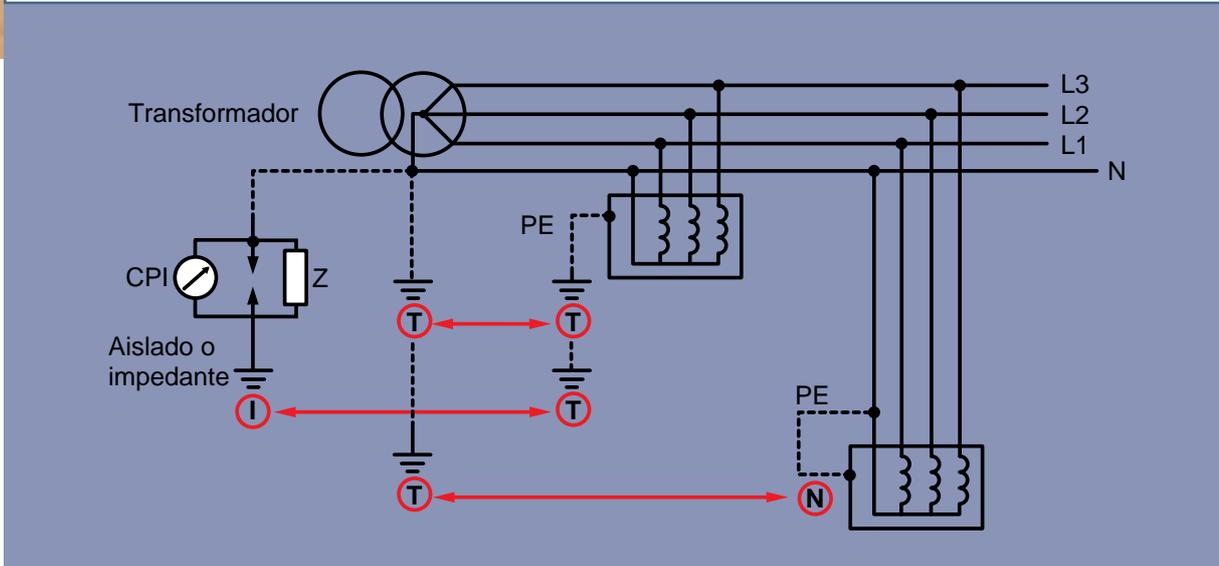
La elección del «régimen de neutro» no influye en el nivel de seguridad obtenido para garantizar la protección de las personas. Por el contrario, puede tener consecuencias en la continuidad del funcionamiento, la compatibilidad electromagnética, la protección de los bienes, los costes de instalación, el mantenimiento y la capacidad evolutiva. Las normas CEI 60364 y definen tres esquemas de con-

xiones a tierra, que reciben los nombres de TT, IT y TN.

La 1ª letra designa la situación de la alimentación (generalmente, el neutro del secundario del transformador) con relación a la tierra.

La 2ª letra designa la situación de las masas metálicas de los aparatos en la instalación.

> **DIFERENTES RÉGIMENES DE NEUTRO**



En una misma instalación pueden coexistir varios tipos de conexiones a tierra.



Los «esquemas de conexión a tierra» traducen las diferentes organizaciones posibles de la instalación eléctrica de baja tensión con relación al potencial de tierra. La definición de las normas CEI 60364 y se basa en esta denominación. En la práctica, e incluso aunque no sea perfectamente correcta, la expresión que se utiliza y que conservaremos en lo que sigue es «régimen de neutro».



# Diferentes regímenes de neutro

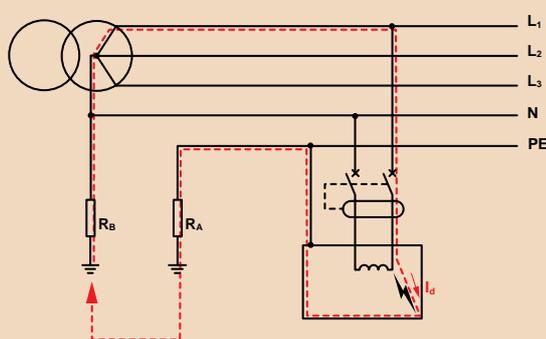
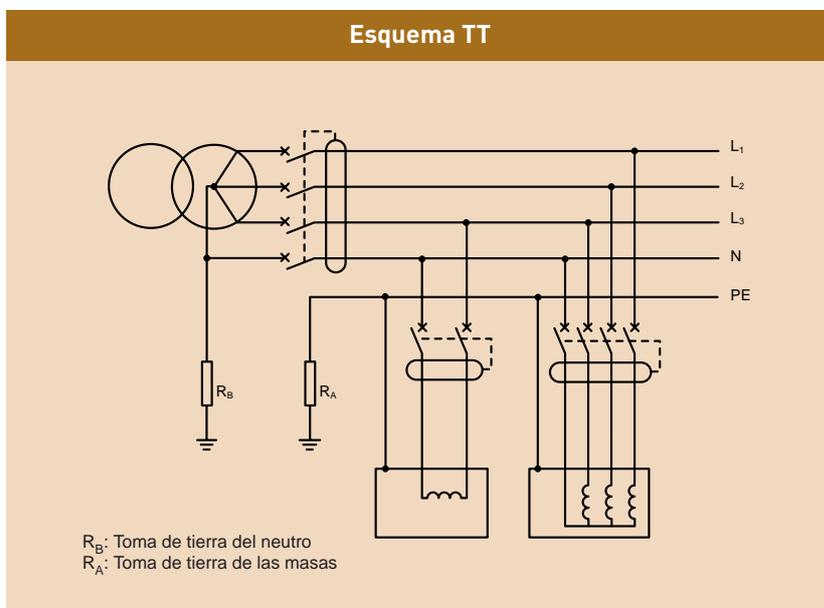
## 1 ESQUEMA TT (NEUTRO A TIERRA)

T : neutro a tierra

T : masas a tierra

En el esquema TT, el punto neutro del secundario del transformador de alimentación de la instalación está directamente conectado a tierra y las masas de dicha instalación lo están a una toma de tierra eléctricamente diferente (en la red pública).

La corriente de fallo está fuertemente limitada por la impedancia de las tomas de tierra, pero puede generar una tensión de contacto peligrosa. La corriente de fallo es generalmente demasiado débil como para requerir protecciones contra sobrecorrientes, por lo que se eliminará preferentemente mediante un dispositivo de corriente diferencial residual.



En caso de fallo del aislamiento de un receptor, la corriente de fallo circula por el circuito llamado bucle de fallo, constituido por la impedancia del fallo en la masa del receptor, la conexión de dicha masa al conductor de protección, el propio conductor de protección y su puesta a tierra ( $R_A$ ); el bucle se cierra con las bobinas del transformador y el circuito de alimentación. Lógicamente, la impedancia del bucle debiera calcularse por tanto a partir del conjunto de elementos en serie que constituyen dicho bucle.

En la práctica y tal como las normas admiten, sólo se considera la resistencia de la toma de tierra de las masas  $R_A$ . La corriente de fallo se sobrevalora ligeramente, pero el margen de seguridad aumenta.

Debe cumplirse la condición  $R_A \times I_d \leq 50 \text{ V}$ . El umbral de sensibilidad  $I_{\Delta n}$  del dispositivo diferencial de protección se determina mediante  $I_{\Delta n} < \frac{50}{R_A}$ .

El conductor neutro no debe estar nunca conectado a tierra antes del dispositivo diferencial. Las masas deben estar conectadas a una sola toma de tierra y basta con un solo dispositivo diferencial previo. Si hay circuitos conectados a tomas de tierra diferentes, cada conjunto de circuitos deberá protegerse mediante un dispositivo diferencial propio.

**Sensibilidad I $\Delta$ n en función de la resistencia de tierra**

I $\Delta$ n diferencial	R Tierra ( $\Omega$ ) U <sub>L</sub> : 50 V	R Tierra ( $\Omega$ ) U <sub>L</sub> : 25 V
30 mA	> 500	> 250
100 mA	500	250
300 mA	167	83
1 A	50	25
3 A	17	8

En la práctica, se utilizan diferenciales de 100, 300, e incluso 500 mA asociados a tierras inferiores a 100  $\Omega$  en locales secos. Cuando la tierra es mala, se necesita una sensibilidad de 30 mA.



El REBT define como valor de tensión de contacto U<sub>L</sub>, 24 V en locales o emplazamientos secos y 50 V en los demás casos.



Los dispositivos diferenciales de alta sensibilidad (I $\Delta$ n: 30 mA) permiten garantizar la protección contra contactos indirectos cuando las condiciones de establecimiento de la toma de tierra son desfavorables (> 500  $\Omega$ ) o, lo que es igual, irrealizables. Obligatorios

en la alimentación de tomas de corriente de hasta 32 A y en condiciones de utilización de alto riesgo (aparatos portátiles, instalaciones de obra, presencia de humedad...), estos dispositivos garantizan una protección añadida contra contactos directos e indirectos.

El esquema TT con protección mediante dispositivo diferencial es fácil de instalar, naturalmente ofrece seguridad y no exige cálculos.

Como tal, es obligatorio en los ramales de la red pública.

Por el contrario, puede plantear problemas de selectividad vertical o de sensibilidad a las corrientes de fuga, si bien existen soluciones apropiadas:

- varios niveles de diferenciales (con desfase de sensibilidad y de tiempo de corte) permiten conservar una buena selectividad (véase el capítulo II.D)
- los diferenciales Hpi presentan buena inmunidad en las utilidades con elevada corriente de fuga (informática)
- como último recurso, siempre es posible utilizar un transformador de separación de circuito (véase el capítulo I.D.2).

### Establecimiento de la toma de tierra

La resistencia de la toma de tierra depende de la geometría y de las dimensiones de la misma (pica, placa, fondo de excavación), así como de la naturaleza del suelo (limo, grava, piedra).

Orden de magnitud de la resistividad  $\rho$  en  $\Omega\text{m}$

Terrenos arables grasos, compactos húmedos (arcilla, limo)	10 a 100 $\Omega\text{m}$
Terrenos arables secos, gravas, relleno	100 a 500 $\Omega\text{m}$
Terrenos pedregosos, arena seca, rocas impermeables	500 a 3 000 $\Omega\text{m}$ y más

Fórmulas prácticas de cálculo de una toma de tierra R (en  $\Omega$ )

- conductor horizontal:  $R = 2\rho/L$  (L : longitud en m)
- placa:  $R = 0,8\rho/L$  (L: perímetro de la placa en m)
- pica vertical:  $R = \rho/L$  (L: longitud de la pica en m)



**La normalización admite, y es costumbre en ciertos países, que la protección esté garantizada mediante dispositivos contra sobreintensidades. Esto genera exigencias en cuanto a los valores de toma de tierra muy difíciles de cumplir (< 0,5  $\Omega$  para un calibre de 32 A por ejemplo), lo que conduce a corrientes de fallo elevadas.**

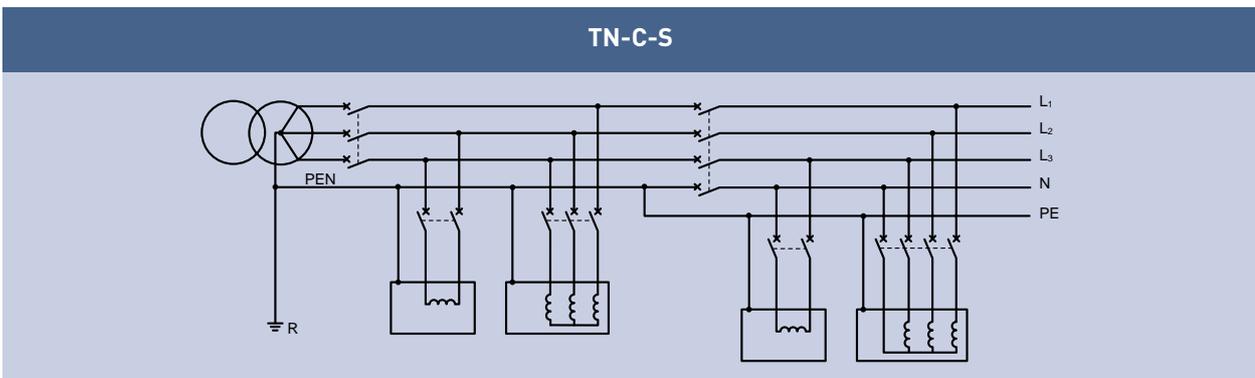
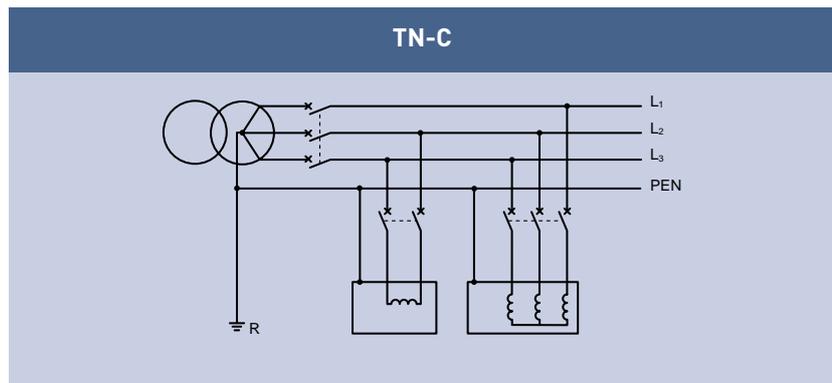
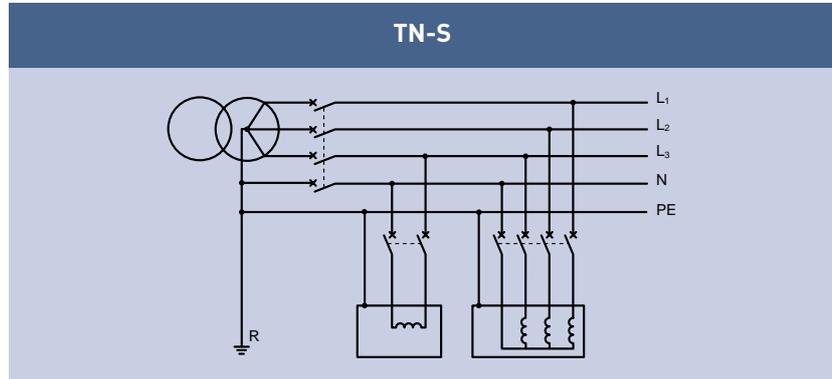
## 2 ESQUEMA TN (PUESTA A NEUTRO)

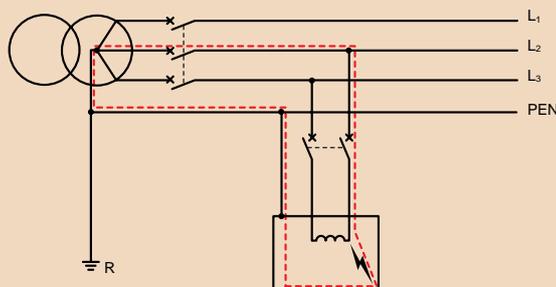
**T : neutro a tierra**  
**N : masas a neutro**

En el esquema TN, un punto de la alimentación, generalmente el neutro del transformador, se conecta a tierra. Las masas de la instalación se conectan a este mismo punto mediante un conductor de protección. El esquema recibe el nombre de TN-C cuando la función del neutro es la misma que la del conductor de protección, que recibe entonces el nombre de PEN. Si dichos conductores están separados, el esquema se denomina TN-S.

Cuando las dos variantes coexisten en una misma instalación, se puede utilizar el término TN-C-S, sabiendo que el esquema TN-C debe estar siempre situado antes del TN-S.

La impedancia del bucle de fallo es baja (no pasa por tierra). Si se produce un fallo de aislamiento, éste se transforma en cortocircuito y deberá ser eliminado por los dispositivos de protección contra sobrecorrientes.





Tiempos máximo de corte

Tiempos de corte (s)	Tensión nominal $U_0$ (V)
0,8	127
0,4	230
0,2	400
0,1	>400

En las partes fijas de la instalación de distribución, se admiten tiempos más largos, aunque inferiores a 5 s, siempre y cuando  $R_{PE} \leq \frac{50}{U_0} Z_S$ .

$R_{PE}$  : resistencia del conductor de protección (el valor mayor entre un punto de dicho conductor y la conexión equipotencial). Esta fórmula hace que la relación entre la impedancia del conductor de protección y la impedancia total del bucle de fallo sea tal que el potencial de la masa en fallo no sobrepase los 50 V, pero no hace que el corte se lleve a cabo en el tiempo requerido.

En caso de fallo en cualquier lugar de la instalación, que afecte a un conductor de fase, al conductor de protección o a una masa, el corte automático de la alimentación deberá producirse en el tiempo prescrito de corte  $t$ , respetando la condición  $Z_S \times I_a \leq U_0$ .

$Z_S$ : impedancia del bucle de fallo incluyendo la línea de alimentación, el conductor de protección y la fuente (bobina del transformador).

$I_a$  : corriente de funcionamiento del dispositivo de protección en el tiempo prescrito.

$U_0$  : tensión nominal fase/tierra.

Los tiempos máximos son de aplicación en aquellos circuitos que pueden alimentar aparatos móviles de clase I (generalmente todas las tomas de corriente). En la práctica, dichos tiempos se respetan mediante la utilización de automáticos sin retardo.

La validación de la protección contra contactos directos en el esquema TN se basa en la comprobación de las condiciones de funcionamiento de las protecciones (véase el capítulo II.D.1).

Cuanto mayor sea el valor del fallo, más fácilmente se obtendrán las condiciones de activación. A medida que aumenta la longitud de los canales

que deben protegerse, disminuye el valor de la corriente de fallo.

Si no puede alcanzarse la condición de protección, es posible:

- aumentar la sección de los conductores (disminución de la impedancia del bucle de fallo)
- efectuar una conexión equipotencial local (disminución del valor de la tensión de contacto que se presume)

- utilizar dispositivos de protección diferencial de mediana sensibilidad. Con esta última solución se pueden evitar las comprobaciones. Permite proteger los circuitos terminales de tomas de corriente en las que a veces se desconocen los receptores y las longitudes de cables.



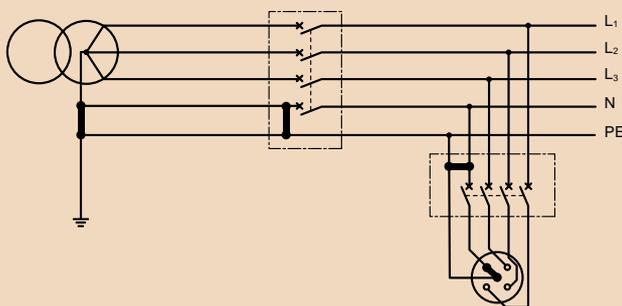
La determinación de las longitudes máximas de línea protegidas de los contactos indirectos, es una condición imperativa de la utilización del régimen TN.

! Si las cargas son exclusivamente trifásicas, el esquema TN-S puede ser a neutro no distribuido. En tal caso, los aparatos son tripolares y los toros diferenciales de detección deben excluir al conductor PE.

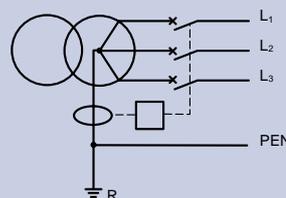
Por principio, un esquema TN, en el que el neutro no esté distribuido, se considera como un esquema TN-S. Se recomienda una atención permanente para evitar confundirlo con un esquema TN-C.



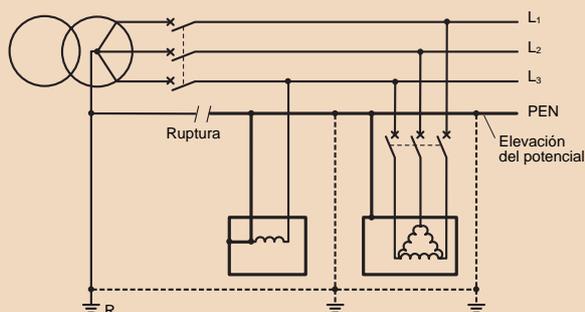
Se recomienda instalar interconexiones regulares (desmontables en las mediciones) entre el conductor PE y el conductor N: al nivel de la fuente (punto neutro del transformador), antes del dispositivo general de protección (en el TGBT), antes de los dispositivos de protección de los circuitos de utilización (cuadros divisionarios) y en el punto de utilización (base de toma de corriente).



En el esquema TN-C, está prohibida la detección de corrientes de fallo a tierra mediante toro diferencial. Dicha detección sólo puede realizarse con un toro homopolar situado en la conexión entre el neutro del transformador y el borne principal de tierra.



En caso de rotura o corte del conductor PEN, las masas de la instalación podrían alcanzar el potencial de la tensión  $U_0$ . Por esta razón, el conductor PEN no debe poder ser interrumpido por ningún dispositivo (seccionamiento, protección, paro de emergencia). De acuerdo con esta misma preocupación por la continuidad, la sección mínima no podrá ser inferior a 10 mm<sup>2</sup> en cobre y a 16 mm<sup>2</sup> en aluminio.



La seguridad ligada a la limitación del aumento del potencial de las masas se basa en el esquema TN sobre la conexión al conductor de protección, por lo que es importante asegurarse de que el potencial se mantiene lo más cerca posible del de tierra.

Por lo tanto, se recomienda conectar el conductor PE o PEN a tierra en tantos puntos como sea posible; como mínimo, al nivel de los transformadores de alimentación del cuadro general (conexión equipotencial principal) y al nivel de cada edificio, incluso de cada grupo de circuitos de utilización.

### 3 ESQUEMA IT (NEUTRO AISLADO O IMPEDANTE)

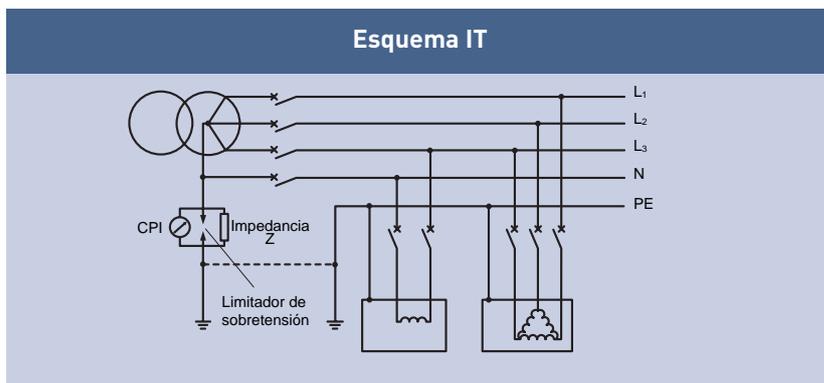
**I** : neutro "aislado" o "impedante"

**T** : masas a tierra

En el esquema IT, la alimentación de la instalación está aislada de tierra, o conectada a ella con una impedancia  $Z$  elevada. Esta conexión se lleva a cabo generalmente en el punto neutro o en un punto neutro artificial. Las masas de la instalación están interconectadas y conectadas a tierra. En caso de fallo del aislamiento, la impedancia del bucle de fallo es elevada (viene determinada por la capacidad de la instalación con respecto a tierra o por la impedancia  $Z$ ).

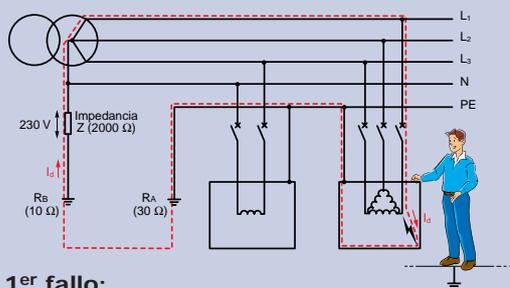
En el 1er fallo, el incremento de potencial de las masas permanece limitado y sin peligro. La interrupción no es necesaria y la continuidad está asegurada, pero debe buscarse y eliminarse el fallo para lograr un servicio competente.

Con ese objeto, un controlador permanente de aislamiento (CPA) vigila el estado de aislamiento de la instalación. Si al 1er fallo no eliminado se añade un segundo, se transforma en cortocircuito, el cual deberá ser eliminado por los dispositivos de protección contra sobretensiones.



#### Controlador permanente de aislamiento (CPI)

**El CPA inyecta permanentemente una corriente continua (unos pocos voltios) entre un punto de la red y tierra. Por lo tanto, la parte capacitiva de la impedancia no se mide. La corriente suministrada corresponde a la suma de las corrientes de fuga de las tres fases y determina el aislamiento de la instalación. Un umbral de señalización (ajustado a la mitad del valor normal), o un indicador permanente del valor de aislamiento, permite controlar y mantener la instalación. En una instalación no debe haber más de un CPA.**



**1er fallo:**  
no hay peligro para las personas

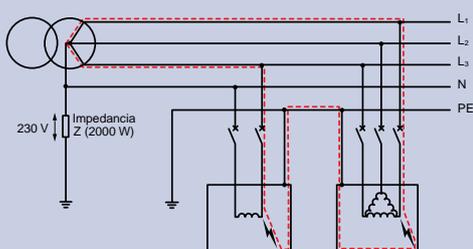
La corriente de 1er fallo está limitada por la suma de las resistencias de las tomas de tierra de la alimentación ( $R_B$ ), de las masas ( $R_A$ ) y de la impedancia ( $Z$ ). En el ejemplo adjunto:

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B + Z} = \frac{230}{30 + 10 + 2000} = 0,112 \text{ A}$$

La condición de no interrupción se cumple garantizando que la corriente no incrementará las masas hasta un potencial superior a la tensión límite  $U_L$ . Por lo tanto, tendremos:  $R_A \times I_d \leq 50 \text{ V}$ .

En el ejemplo:  $30 \times 0,112 = 3,36 \text{ V}$ .

Las masas no alcanzarán una tensión peligrosa y se permite la no interrupción.



**2º fallo: cortocircuito**

Al sobrevenir el 2º fallo, afectando a otra fase, a la misma masa, o a una masa diferente, se constituye un bucle con las masas de los receptores en fallo, los conductores de protección y los conductores de alimentación. Dicho bucle genera la circulación de una elevada corriente de cortocircuito, cuyas condiciones de eliminación son las del esquema TN o TT.

Cabe señalar que esta situación de doble fallo es totalmente independiente de la

situación de neutro con respecto a tierra, aislado o impedante.

El valor de la corriente de doble fallo IT suele ser inferior al que podría tener en TN. Las longitudes de línea protegidas se reducen en la misma proporción.

En caso de fallo, el potencial del neutro podrá incrementarse hasta alcanzar el potencial de la fase en fallo (tensión simple). El potencial de las otras fases tenderá a incrementarse hacia el valor de la tensión compuesta. Por ello, se aconseja no alimentar aparatos entre fase y neutro bajo el esquema IT y, por lo tanto, no distribuir el neutro.

En el esquema IT, las masas pueden estar conectadas a tierra individualmente, por grupos, o todas interconectadas conjuntamente.

En cualquier caso, es necesario comprobar que se cumple la condición  $R_A \times I_a \leq 50 \text{ V}$  para la resistencia de

la tierra  $R_A$  de las masas consideradas (siendo  $I_a$  la corriente de activación del dispositivo de protección). Es preferible la interconexión y la conexión a una sola toma de tierra.

Si aparece un doble fallo, las condiciones de protección a aplicar y a

comprobar serán las del esquema TT si las masas están separadas, y las del esquema TN si todas ellas están interconectadas. Véase la determinación de las condiciones de protección en el capítulo II.D.

# Regímenes de neutro: Islotes

Aparte de la protección de las personas, cada régimen de neutro presenta ventajas e inconvenientes en cuanto a la seguridad de los bienes, la compatibilidad electromagnética o la continuidad del servicio. Evidentemente, son criterios que deben tenerse en cuenta a la hora de escoger el régimen principal de una misma instalación, pero las características de la red y de los receptores, así como las exigencias de su utilización, pueden no ser compatibles con este único régimen de neutro.

La realización de un esquema específico o en islotes, en una parte de la instalación, puede ser la solución apropiada.

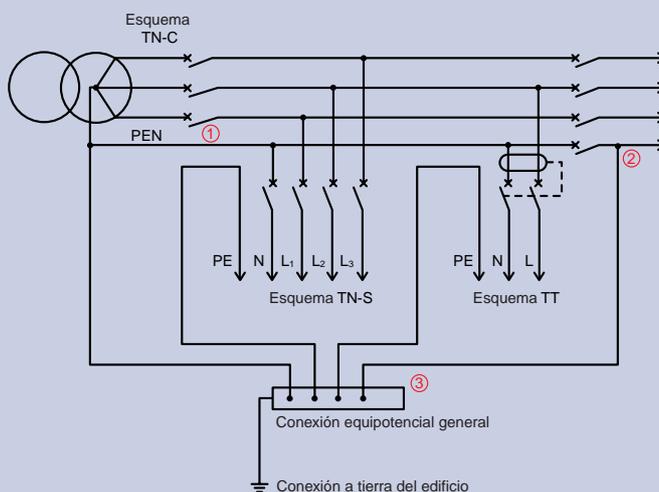
## 1 ALIMENTACIÓN MEDIANTE UN TRANSFORMADOR

La posibilidad de efectuar diferentes regímenes de neutro en una misma instalación (islotes) depende en primer lugar de que exista la posibilidad de alimentar el islote con un transformador de separación.

En la práctica, solamente los esquemas TN y TT pueden coexistir, siempre y cuando se respeten las siguientes condiciones:

- el neutro debe estar directamente conectado a tierra
- cada parte de la instalación debe calcularse y protegerse según las normas propias de cada esquema
- debe establecerse una conexión equipotencial principal en cada edificio, a la que se conectarán los conductores de protección
- cada parte de la instalación (islote) debe tener su propio conductor de protección, al que se conectarán las masas
- si existen masas de instalación diferentes en el mismo edificio, han de conectarse a una conexión equipotencial suplementaria
- deben respetarse las normas relativas a la instalación del conductor PEN (esquema TN-C), especialmente la ausencia de interrupción del PEN o su conexión al enlace equipotencial general después del dispositivo de corte.

### Esquema de principio de alimentación en un mismo edificio

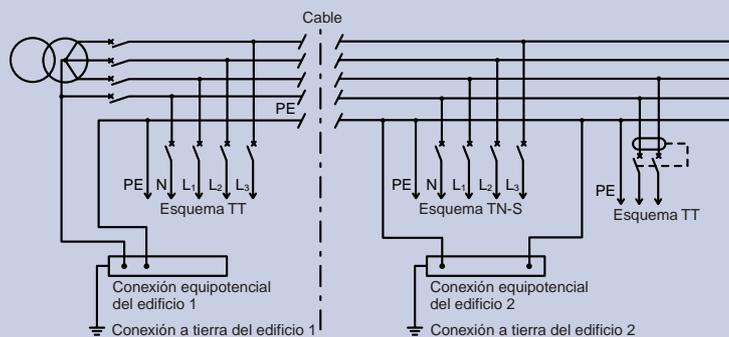


Ausencia de interrupción del PEN (1) o conexión al enlace equipotencial general tras el dispositivo de corte (2).  
Conexión de todos los conductores de protección a una misma conexión equipotencial (3).



**El paso del esquema TN-C al esquema TN-S no se considera como un cambio de régimen de neutro, pero la regla del TN-S, siempre después del TN-C, sigue siendo aplicable en todos los casos.**

Esquema de principio de la alimentación de varios edificios



- Si sólo se utiliza el esquema TN-C en el 1er edificio, el cable de alimentación del segundo edificio puede utilizar el conductor neutro como conductor de protección (PEN) (cables de 4 conductores).
- En caso contrario (ejemplo del esquema), el cable de alimentación será de cinco conductores (PE y N separados), o de cuatro conductores con un conductor PE situado junto al cable, a fin de garantizar la conexión entre los circuitos de protección de los dos edificios.

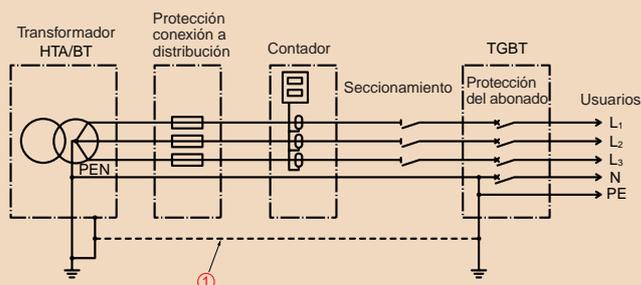
Si en un mismo edificio se instalan varios regímenes de neutro (idénticos o diferentes), los circuitos de protección (conductores PE) se conectarán entre sí y se interconectarán a la misma conexión equipotencial del edificio en cuestión.

**!** Conexión de una instalación con esquema TN-S a la red de distribución pública

La distribución pública se realiza normalmente con el esquema TT. La posibilidad de conexión según el esquema TN requiere la autorización del servicio local de distribución:

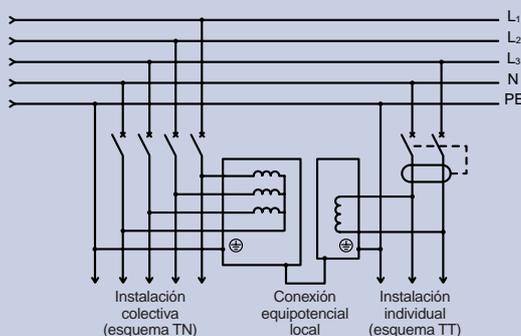
- la conexión sólo puede realizarse mediante red subterránea
- el neutro de baja tensión debe conectarse a la tierra de las masas A.T. del centro de transformación.
- no debe existir dispositivo de corte hasta el punto de suministro (PEN)
- es necesario conocer las características de la red (distancias, potencias, evoluciones) para calcular el eventual bucle de fallo.

Principio de conexión con esquema TN



① Si el puesto de suministro y el TGBT están situados en el mismo edificio, las masas del puesto pueden estar conectadas a la misma toma de tierra que las instalaciones BT.

Ejemplo de coexistencia de esquemas: instalación individual en TT (abonados), instalación colectiva en TN (por ejemplo en calefacción)



## 2 ALIMENTACIÓN MEDIANTE UN TRANSFORMADOR ESPECÍFICO

En esta aplicación, cabe distinguir tres casos.

- La utilización de un «transformador de separación de circuitos», para separar localmente el circuito de utilización del de alimentación a fin de evitar los riesgos de contacto indirecto con el circuito separado. Esta medida se aplica para alimentar un aparato, o un conjunto de aparatos agrupados (véase la instalación en el capítulo I.C.1).
- La utilización de un transformador de aislamiento con bobinas separadas, para alimentar de manera distin-

ta un aparato sensible a las perturbaciones electromagnéticas. En este caso, el transformador se utiliza por sus cualidades de filtrado.

- La utilización de un transformador de aislamiento con bobinas separadas, destinado a recrear una fuente de alimentación, a cuya salida podrá aplicarse el régimen de neutro adecuado a las necesidades específicas del islote, generalmente TN-S o IT.

### 1 Alimentación en régimen TN-S (conexión a tierra local)

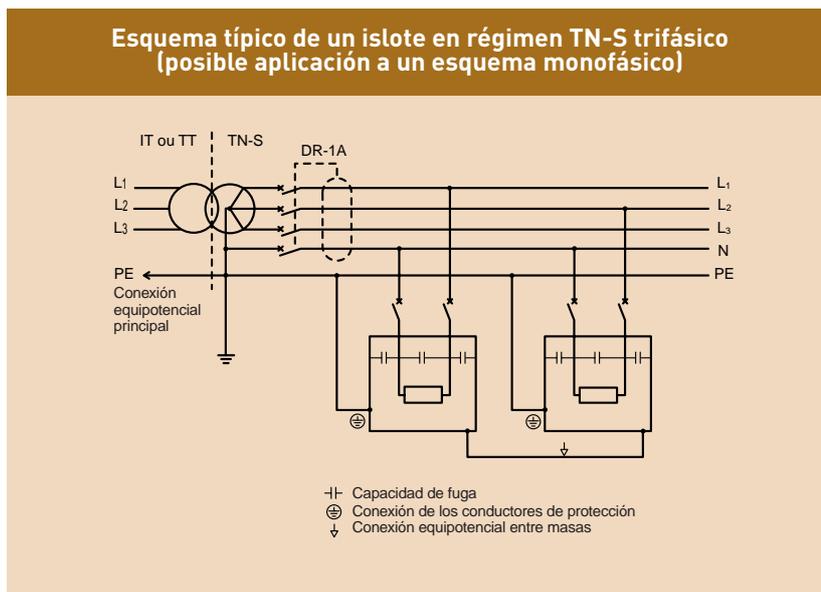
Para las instalaciones:

- con corrientes de fuga importantes (tratamiento de la información)
- con aislamiento débil (hornos, soldadoras) fuertemente perturbadas (emisores hertzianos). Las aplicaciones donde el antiparasitado es importante (condensadores) pueden igualmente necesitar este tipo de esquema (materiales de control industrial o de telecomunicaciones). La protección contra los fallos de aislamiento (contactos indirectos) está garantizada por dispositivos contra sobretensiones, asegurándose de que la corriente de fallo sea superior (+20%) a la de activación. Si la potencia de cortocircuito del transformador es insuficiente, se utilizará un dispositivo diferencial de baja sensibilidad (por ejemplo, 1 A). Deberá comprobarse cuidadosamente la equipotencialidad de los receptores. A tal efecto, se realizarán conexiones complementarias. Se establecerán interconexiones neutro/conductor de protección, así como conexiones a tierra complementarias si ello fuese necesario.

Transformador de aislamiento



Ref. 425 04



### Regla práctica para determinar el calibre de la protección en el secundario:

Para comprobar que el dispositivo elegido es apropiado, puede obtenerse un valor aproximado de cortocircuito mínimo en el punto más alejado de la instalación, utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{cc \text{ mini}} = \frac{U_s}{\left(\frac{U_s^2}{P} \times \frac{U_{cc} \%}{100}\right) + \frac{2\rho l}{S}}$$

**U<sub>s</sub>**: tensión secundaria del transformador en V

**P**: potencia del transformador en VA

**U<sub>cc</sub> %**: tensión de cortocircuito del transformador

**l**: longitud de la línea en m

**S**: Sección de la línea en mm<sup>2</sup>

**ρ** cobre: 0,023 Ω mm<sup>2</sup>/m

Se elegirá el calibre de la protección de modo que exista un tiempo máximo de interrupción de 5 s para la corriente I<sub>cc</sub> definida anteriormente:

**Fusible gG:**  $I_n \leq \frac{I_{cc \text{ mini}}}{4}$

**Automático tipo C:**  $I_n \leq \frac{I_{cc \text{ mini}}}{8}$

## 2 Alimentación en régimen IT

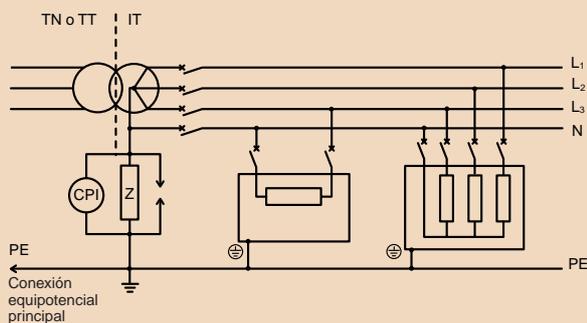
Para las instalaciones:

- que requieran continuidad de servicio por motivos de seguridad (medicina, agroalimentario)
- que requieran continuidad de funcionamiento (ventilación, bombas, balizas)
- con riesgo de incendio (silos, hidrocarburos)
- con baja potencia de cortocircuito (generadores autónomos).

Si la primera cualidad del régimen IT es la de limitar la corriente de 1<sup>er</sup> fallo y de no «cortar», no es menos cierto que dicha elección puede hacerse en detrimento de otras exigencias que será necesario sopesar:

- la ausencia de distribución del conductor neutro, recomendable debido al riesgo de incremento de potencial o de rotura en caso de doble fallo, no es muy compatible con el uso de receptores monofásicos
- el riesgo de incremento del potencial de la tierra a la que están conectadas las masas de aparatos electrónicos a través de su conductor de protección
- la dificultad de utilizar diferenciales de alta sensibilidad (30 mA) para las tomas de corriente que cortarían al 1<sup>er</sup> fallo.

### Esquema tipo de un islote en régimen IT para continuidad de funcionamiento, conductor neutro distribuido



**Se recomienda que el islote no tenga mucha extensión.**

**Si el conductor neutro es necesario, por una parte deberá estar sistemáticamente protegido (no únicamente interrumpido) y, por otra, no deberá reducirse su sección (podría fundirse en caso de doble fallo). La presencia de armónicos ligados a los aparatos utilizados en el campo médico debería incluso conducir a incrementar su sección.**

**Para limitar los riesgos de incremento de potencial de las masas, éstas deberán estar interconectadas y unidas a la toma de tierra local, la cual, a su vez, deberá estar conectada a todas las tomas de tierra del edificio a través de la conexión equipotencial principal.**



La aplicación del esquema médico IT es obligatoria en las salas de anestesia, de operaciones y de cateterismo cardiaco. Está recomendado en varias otras salas: hidroterapia, sueño, cuidados intensivos, hemodiálisis...

El transformador y los mecanismos deben estar situados en un local distinto a las salas en cuestión, si bien debe ser visible un testigo luminoso del dispositivo de control de aislamiento. La impedancia  $Z$  del CPA debe ser al menos de 100 k $\Omega$  con un umbral de alarma regulado a 50 k, correspondiente a una corriente de fallo de 5 mA aproximadamente

$$(I_d = \frac{U_0}{Z} = \frac{230}{50000} = 4,6 \text{ mA})$$

lo que permitirá la detección de un eventual fallo antes de la interrupción de los diferenciales de alta sensibilidad.

Todos los circuitos deberán estar protegidos con diferenciales de alta sensibilidad del tipo A (véase el capítulo II.D.1).

Los aparatos cuya potencia sea > 5 kVA deberán estar alimentados directamente, sin enchufe. Los aparatos y los enchufes de fuerza < 5 kVA deberán estar alimentados por un transformador de separación para los tres tipos de sala con IT médico obligatorio.



Compatibilidad entre dispositivos diferenciales de alta sensibilidad y ausencia de activación tras 1<sup>er</sup> fallo en islote IT. La protección de las tomas de corriente mediante diferenciales de alta sensibilidad sigue siendo obligatoria, pero puede anticiparse la interrupción inopinada, como consecuencia de una activación, regulando la corriente de detección del CPA a un valor inferior al del diferencial (véase el IT médico).

En caso de necesidad imperativa de continuidad del funcionamiento, los diferenciales de alta sensibilidad no son necesarios si los aparatos están directamente conectados a la instalación (sin toma de corriente).

La medida derogatoria de utilización específica puede utilizarse para alimentar tomas de corriente sin protección, si no se prevé la conexión de ningún otro aparato diferente a los previstos (véanse los detalles en el capítulo II.D.1).

# Regímenes de neutro de grupos electrógenos

Los grupos electrógenos presentan características que deben tenerse en cuenta en la protección contra los choques eléctricos.

Los grupos móviles no pueden estar conectados a tierra y su conexión mediante un cable flexible constituye un elemento frágil.

En general, los grupos tienen niveles de cortocircuito mucho menores que los transformadores (del orden de  $3 I_n$  en lugar de  $20 I_n$ , como dato orientativo).

Debido a ello, las condiciones de activación necesarias para la protección contra contactos indirectos pueden no estar garantizadas por los dispositivos dimensionados para el funcionamiento con una fuente normal.

## 1 Grupos portátiles para instalaciones temporales

Limitados a pocos kVA, alimentan directamente un pequeño número de receptores (puesto en un mercado, quiosco, alimentación de herramientas portátiles...).

Las masas del grupo deben estar conectadas a las de la instalación mediante un conductor de protección. Cada circuito de salida debe estar protegido mediante un dispositivo diferencial  $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ .

Si el grupo posee una o varias tomas de corriente sin diferencial de protección, deberá instalarse uno por circuito a una distancia inferior a 1 m.

Si el grupo electrógeno es de clase II, no se efectúa la conexión de las masas, sino que es obligatorio instalar uno o varios diferenciales para la protección complementaria contra contactos directos, especialmente en el cable flexible de conexión.

## 2 Grupos móviles para instalaciones temporales

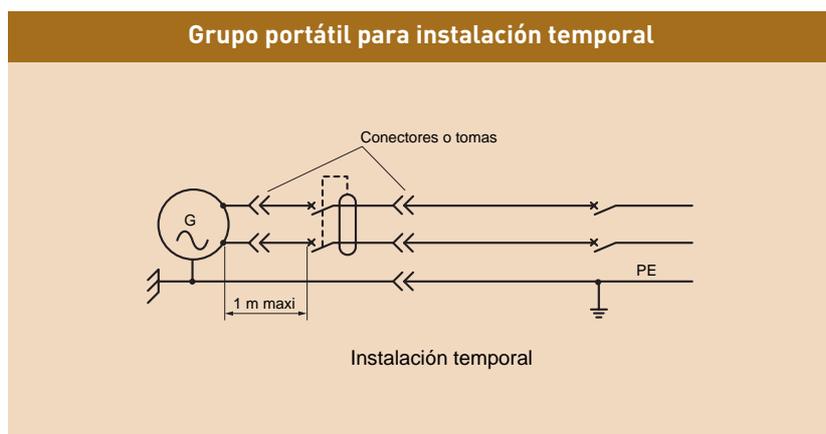
Estos grupos, de potencia superior a 10 kVA, alimentan instalaciones más extensas (obras, picaderos, carpas...).

Las masas del grupo están conectadas a las de los aparatos de uso mediante un conductor de protección. La protección contra choques eléctricos está garantizada mediante un dispositivo diferencial  $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ .

Si existen requisitos de selectividad diferencial entre los circuitos alimentados, pueden aplicarse las reglas descritas en el capítulo II.D.

La imposibilidad de establecer una toma de tierra fiable obliga a adoptar un esquema TN-.S.

La corriente de fallo se cierra con la conexión de las masas. El neutro puede ser o no distribuido.



### 3 Grupos móviles para instalaciones fijas

La realimentación temporal de una instalación fija en lugar de la red o de la alimentación habitual solo debe realizarse tras un corte. Pueden utilizarse un automático en cabeza, un interruptor o un inversor, salvo si están condenados en la posición de abiertos. Sea cual sea el régimen de neutro de la instalación fija, es necesario inter-

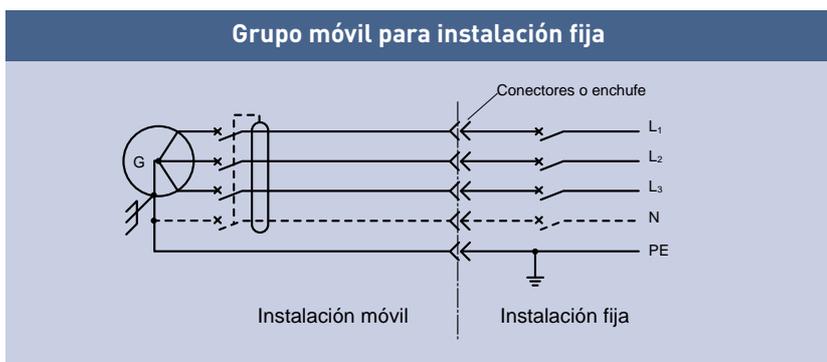
conectar las masas (TT, IT), el punto neutro del grupo y las masas del grupo (TN) a las masas de la instalación existente.

Si no se cumplen las condiciones de protección ( $I_{cc}$  mín.), se utilizarán dispositivos diferenciales. El toro se situará en todos los conductores activos (fase + neutro), o en el conductor de conexión del punto neutro del alternador a la tierra de la instalación (TT o TN-S). Esta solución no es aplicable en TN-C.

### 4 Grupos fijos para instalaciones fijas

Si el grupo constituye una fuente de sustitución, deberá utilizar el mismo régimen de neutro que la fuente normal.

Se comprobarán las condiciones de protección contra contactos indirectos y de activación para los cortocircuitos mínimos (véanse los capítulos II.A.3, II.A.4, II.A.5), así como para los presuntos cortocircuitos en régimen TN o IT.



Si el grupo constituye una fuente de alimentación de seguridad, el esquema utilizado deberá ser el IT.



**¡Atención!** En los regímenes TN o IT, la protección contra contactos indirectos puede no estar garantizada (valor de  $I_{cc}$  demasiado bajo).

En las instalaciones destinadas a ser realimentadas por un grupo móvil, se colocará una indicación cerca del punto de conexión, con la leyenda: «Potencia mínima del grupo a instalar: x kVA».



La instalación y aplicación de los grupos están regidas por una precisa reglamentación relativa a los locales, evacuación e índices de contaminación de los gases de escape, así como al ruido admisible. Conviene consultarla con ayuda de los constructores y organismos competentes.

# Elección del régimen de neutro

La elección de un régimen de neutro implica obligaciones y objetivos a menudo contradictorios, hasta el punto de que a veces hay que crear varios esquemas (islotes) para cumplir requisitos de seguridad, mantenimiento o explotación muy diferentes en el marco de una misma instalación

## 1 CUADRO PRÁCTICO RECAPITULATIVO

Régimen TT			
Principio general	Ventajas	Inconvenientes	Comentarios
Detección de una corriente de fallo con paso por tierra y corte de la alimentación mediante dispositivo de corriente diferencial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sencillez (pocos cálculos para la instalación)</li> <li>- Ampliación sin cálculo de longitudes</li> <li>- Corrientes de fallo débiles (seguridad contra incendio)</li> <li>- Escaso mantenimiento (salvo pruebas periódicas de los diferenciales)</li> <li>- Seguridad de las personas en caso de alimentación de aparatos portátiles o de conexión a tierra deficiente (con diferenciales de 30 mA)</li> <li>- Funcionamiento con fuente de Icc presuntamente reducida (grupo electrógeno)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe selectividad en caso de automático único en cabeza de la instalación</li> <li>- Necesidad de diferenciales en cada salida para poder obtener la selectividad horizontal (coste)</li> <li>- Riesgo de activaciones repentinas (sobretensiones)</li> <li>- Interconexiones de las masas a una sola toma de tierra (instalaciones extensas), o necesidad de diferencial por grupo de masas</li> <li>- Nivel de seguridad dependiente del valor de las tomas de tierra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe preverse un pararrayos si la distribución va a ser aérea</li> <li>- Posibilidad de conectar la toma de tierra de la alimentación y la de las masas si hay un transformador AT / BT privado (comprobar poder de corte de los diferenciales)</li> <li>- Necesidad de gestionar equipos con corrientes de fuga elevadas (separación, islotes)</li> <li>- Importancia de la instalación y de la duración de las tomas de tierra (seguridad de las personas)</li> <li>- Prever comprobaciones periódicas de los valores de las tierras y de los umbrales de activación de los diferenciales.</li> </ul>

Régimen TN			
Principio general	Ventajas	Inconvenientes	Comentarios
<p>La corriente de fallo se transforma en corriente de cortocircuito interrumpida por los dispositivos de protección contra sobretensiones. Las masas se mantienen al potencial de tierra.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coste reducido (las protecciones se utilizan para las corrientes de fallo y las sobretensiones)</li> <li>- La toma de tierra no influye en la seguridad de las personas</li> <li>- Baja susceptibilidad a las perturbaciones (buena equipotencialidad, neutro conectado a tierra)</li> <li>- Poco sensible a corrientes de fuga elevadas (aparatos de calefacción, de vapor, informáticos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrientes de fallo elevadas (generación de perturbaciones y riesgos de incendio, especialmente en TN-C)</li> <li>- Necesidad de cálculos de línea precisos</li> <li>- Riesgos en caso de ampliaciones, renovaciones o utilizaciones no controladas (personal competente).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La comprobación de las condiciones de protección debe efectuarse:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- en el diseño (cálculo)</li> <li>- a la puesta en marcha</li> <li>- periódicamente</li> <li>- en caso de modificación de la instalación</li> </ul> </li> <li>- La comprobación práctica requiere un material de ensayo específico (medición de la Icc en extremo de línea)</li> <li>- El uso de diferenciales permite limitar las corrientes de fallo (comprobar el poder de corte) y disminuir los riesgos no previstos por los cálculos (rotura de conductores de protección, longitudes de línea con cargas móviles...).</li> </ul>

Régimen IT			
Principio general	Ventajas	Inconvenientes	Comentarios
<p>La limitación de la corriente de 1<sup>er</sup> fallo a un valor muy bajo, disminuye el incremento de potencial de las masas. Por lo tanto, no hay necesidad de corte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Continuidad del servicio (sin cortes en el 1<sup>er</sup> fallo)</li> <li>- Corrientes de 1<sup>er</sup> fallo muy bajas (protección contra incendio)</li> <li>- Corriente de fallo poco perturbadora</li> <li>- Funcionamiento con fuentes de Icc presuntamente reducida (grupo electrógeno)</li> <li>- Alimentación de receptores sensibles a corrientes de fallo (motores).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coste de la instalación (neutro protegido, CPA, protección sobretensiones)</li> <li>- Coste de explotación (personal competente, localización de fallos)</li> <li>- Sensibilidad a las perturbaciones (mala equipotencialidad con tierra)</li> <li>- Riesgos en el 2<sup>o</sup> fallo:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobretensiones de cortocircuito</li> <li>- perturbaciones (incremento del potencial de tierra)</li> <li>- aparición de una tensión compuesta (si el neutro está distribuido)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La señalización del 1<sup>er</sup> fallo es obligatoria y debe buscarse inmediatamente</li> <li>- Teniendo en cuenta sus riesgos, debe evitarse la situación de 2<sup>o</sup> fallo</li> <li>- Protección con pararrayos indispensable (riesgo de incremento del potencial de tierra)</li> <li>- Es aconsejable limitar la extensión de las instalaciones IT a lo estrictamente necesario (islotos).</li> </ul>

Los siguientes cuadros de elección proporcionan reglas generales, que pueden no ser aplicables en ciertos casos.



**Debe escogerse el régimen de neutro adecuado para la mayoría de las aplicaciones de la instalación. Si una de ellas es poco compatible con dicha elección, será preferible aislarla y tratarla aparte (islotes, filtrado, separación). Escoger el régimen global para dicha aplicación es arriesgarse a realizar una mala elección para todo el resto de la instalación.**

Naturaleza y características de la instalación	Régimen de neutro aconsejado
<b>Naturaleza y características de la instalación</b>	<b>Régimen de neutro aconsejado</b>
- Red de distribución pública	TT (TN bajo pedido)
- Red extensa con tomas de tierra mediocres - Alimentación con transformadores de baja Icc - Grupo electrógeno (instalación temporal) - Red por líneas aéreas	TT
- Red perturbada (zona con rayos) - Red con corrientes de fuga importantes	TN
- Grupo electrógeno (alimentación temporal)	TN-S
- Grupo electrógeno (alimentación de seguridad)	IT

Naturaleza de los receptores y condiciones de utilización	Régimen de neutro aconsejado
<b>Naturaleza de los receptores y condiciones de utilización</b>	<b>Régimen de neutro aconsejado</b>
- Numerosos aparatos móviles o portátiles - Instalaciones con frecuentes modificaciones - Instalaciones de obra - Instalaciones antiguas - Locales con riesgo de incendio	TT
- Equipos electrónicos informáticos - Equipos con auxiliares (máquinas-herramienta) - Equipos de mantenimiento (polipastos, puentes-grúa, grúas...) - Aparatos con débil aislamiento (aparatos de cocción, de vapor...)	TN-S
- Locales con riesgo de incendio - Instalaciones de control de mando con numerosos sensores - Instalaciones con requisitos de continuidad (médicas, bombas, ventilación...) - Aparatos sensibles a las corrientes de fuga (riesgo de destrucción de bobinados)	IT

2 RÉGIMEN DE NEUTRO Y CEM



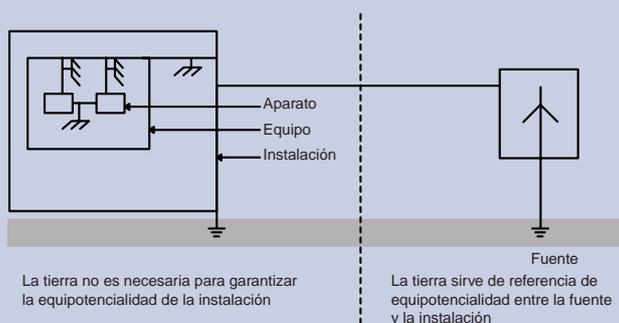
La elección del «régimen de neutro» influye directamente en la «compatibilidad electromagnética» de la instalación:

- las consecuencias de una descarga de rayo dependen en parte de la situación de la alimentación con respecto a tierra, definida por la 1ª letra (I o T).
- la transmisión de las perturbaciones conducidas o emitidas de alta frecuencia depende de la conexión de las masas de la instalación y de su equipotencialidad, lo que se define con la segunda letra (T o N).

Descarga de rayo <-----> Potencial de referencia - conexión a tierra  
 Perturbaciones conducidas <-----> Red de masas

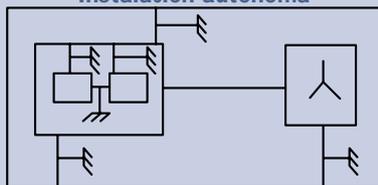
Las distancias de transporte de la energía requieren una referencia de potencial común, que pueda ser accesible desde la fuente hasta la utilización y dar salida a perturbaciones tales como el rayo. ¡Únicamente la tierra está disponible!

Instalación y alimentación separadas (red de distribución pública)



Localmente, no se necesita la tierra para la equipotencialidad de una instalación. Es la red de masa la que garantiza dicha equipotencialidad. Así pues, cuando la fuente de energía está cerca o es autónoma (baterías, paneles solares, grupo electrógeno,...), la conexión alimentación/instalación por tierra no es necesaria. La protección solo puede realizarse mediante «conexiones equipotenciales locales» no conectadas a tierra. En caso de caída del rayo, principal riesgo, toda el potencial de la instalación aumenta por igual y, por lo tanto, sin daños. Las estaciones meteorológicas en altitud, los emisores aislados, utilizan este principio.

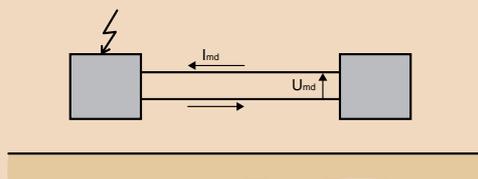
Instalación autónoma





### Modo diferencial, modo común

En modo diferencial, la perturbación que va a acoplarse a la línea generará una corriente  $I_{md}$  y, por lo tanto, una tensión  $U_{md}$  entre los conductores de ida y vuelta de la línea. Esta tensión puede ser suficiente para modificar el nivel de la señal transmitida normalmente y provocar un error de control (línea de transmisión), o una destrucción del equipo en el caso de una perturbación energética como el rayo (línea de energía).

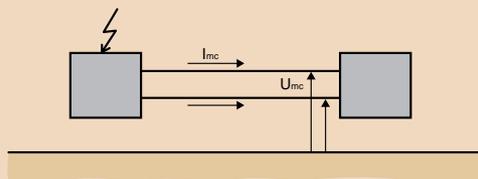


En modo común, el aumento de potencial  $U_{mc}$  es el mismo en los dos conductores de la línea y se hace con relación a una referencia externa, generalmente la tierra. La corriente de modo común  $I_{mc}$  tiene el mismo sentido en los dos conductores.

Por regla general, las perturbaciones de modo diferencial son las más molestas ya que exigen características funcionales propias de los productos (niveles de medida, umbrales de activación, alimentación de energía...).

Por su parte, y aunque puedan ser de un nivel superior, las perturbaciones de modo común exigen fundamentalmente los aislamientos de los productos que, por motivos de seguridad, están ampliamente dimensionados.

Para limitar los efectos y facilitar el filtrado, siempre interesa transformar las perturbaciones de modo diferencial en perturbaciones de modo común. El trenzado, por ejemplo, es un medio muy sencillo y universalmente utilizado para los cables de datos.





### Ventajas e inconvenientes de los regímenes de neutro en relación con la CEM

#### • Esquema TT

- ⊕ - El potencial del neutro es fijo
  - Las corrientes de fallo son débiles
- ⊖ - Las tomas de tierra «fuente» y «utilización» están separadas y no son perfectamente equipotenciales, en tanto en cuanto la impedancia de la toma de tierra «utilización» puede ser elevada.
  - El conductor PE no es una referencia de potencial fiable, lo que implica la necesidad de conexiones equipotenciales complementarias.
  - Disimetría en caso de caída de rayo que provoque sobretensiones de modo diferencial.

#### • Esquema IT

- ⊕ - Las corrientes de fallo son débiles.
  - Buena protección contra el rayo conducido (sobretensiones de modo común), pero riesgo de arco sobre la impedancia de neutro, lo que hace necesario un protector de sobretensiones.
- ⊖ - Potencial de tierra de la «utilización» no fijado con relación a la fuente y, consecuentemente, tampoco el de las masas.
  - Incremento del potencial de tierra (impacto directo del rayo) o tras el 1<sup>er</sup> fallo: pérdida de referencia para los aparatos electrónicos.
  - Circulación de corrientes permanentes por acoplamiento capacitivo entre conductores activos y tierra.

#### • Esquema TN-S

- ⊕ - Una sola referencia de potencial «fuente» y «utilización». La tierra no se utiliza como conductor. Buena equipotencialidad de masas.
  - Baja impedancia del circuito de protección debido a la necesidad de conducir corrientes de fallo importantes.
- ⊖ - Normas de instalación y materiales específicos (5 cables).
  - Posible envío de perturbaciones al neutro si la equipotencialidad no está bien asegurada entre el neutro y el conductor PE, o si sus recorridos son diferentes (de ahí la necesidad de conexiones regulares).
  - Corrientes de fallo elevadas.
  - Disimetría en caso de caída de rayo que provoque sobretensiones de modo diferencial.

NOTA: el esquema TN-C no es recomendable a causa de la circulación de fuertes corrientes de fallo por el conductor PEN.

Comúnmente se admite que el régimen TN-S representa el mejor compromiso en materia de CEM. Las limitaciones de este esquema pueden paliarse fácilmente utilizando como complemento pararrayos que combinen modos común y diferencial.

La utilización en cada circuito de salida de automáticos diferenciales compatibles con las corrientes de fuga, limita las corrientes en caso de fallo.

A background image showing a close-up of hands holding a red pen, with the pen tip pointing towards the bottom right. The image is overlaid with a semi-transparent red filter.

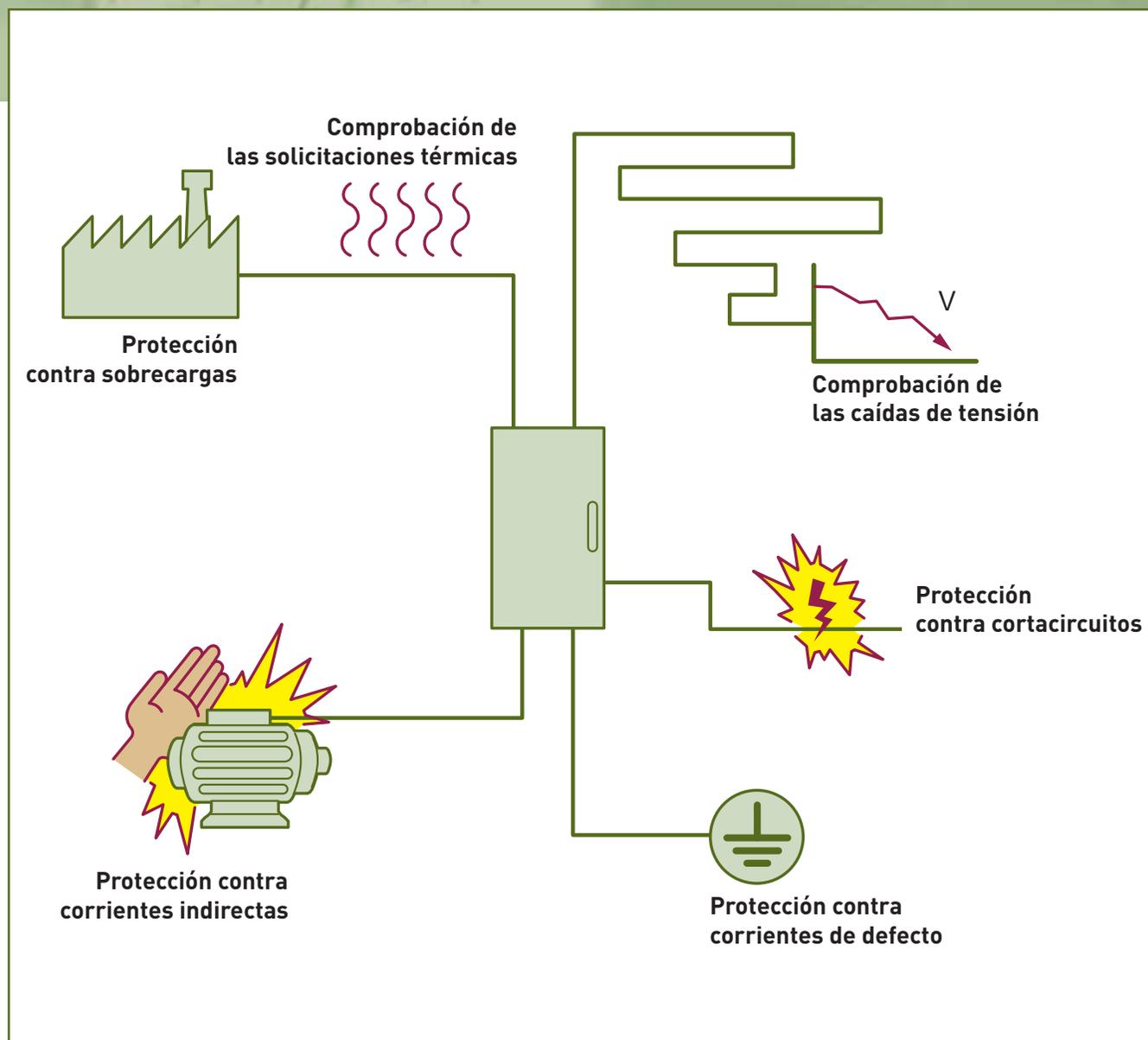
# CRITERIOS DE SELECCIÓN

■ <b>II.A – DIMENSIONADO DE CANALIZACIONES Y PROTECCIONES</b>	<b>124</b>
■ II.A.1 – Protección contra sobrecargas	126
■ II.A.2 – Comprobación de caídas de tensión	140
■ II.A.3 – Protección contra cortocircuitos	144
■ II.A.4 – Protección contra contactos indirectos	152
■ II.A.5 – Estimación de cortocircuitos y ejemplo de cálculo	162
■ <b>II.B – ELECCIÓN DE LOS APARATOS DE PROTECCIÓN</b>	<b>172</b>
■ II.B.1 – Automáticos Legrand : DPX, DX	174
■ II.B.2 – Coordinación de dispositivos de protección	192
■ II.B.3 – Selectividad de los dispositivos de protección	196
■ II.B.4 – Automáticos Legrand : DMX	204
■ II.B.5 – Seguridad de obras y equipos	214
■ II.B.6 – Motorización e inversores de redes	224
■ II.B.7 – Corte, parada de urgencia y seccionamiento	248
■ <b>II.C – REPARTO</b>	<b>252</b>
■ II.C.1 – Dimensionado de los embarrados	253
■ II.C.2 – Elección de repartidores	254
■ <b>II.D – PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS</b>	<b>278</b>
■ II.D.1 – Diferenciales	278
■ II.D.2 – Realización de conjuntos de clase II	286
■ II.D.3 – Realización de conjuntos de clase I	290
■ II.D.4 – Tratamiento de los conductores de protección	291

# DIMENSIONADO DE CANALIZACIONES Y PROTECCIONES

**Mediante la elección juiciosa de las dimensiones de las canalizaciones y de las características de los aparatos de protección se podrán garantizar las protecciones básicas de la instalación:**

- protección contra sobrecargas
- limitación de las caídas de tensión
- protección contra cortocircuitos
- comprobación de las sollicitaciones térmicas
- protección contra contactos indirectos



# Protección contra sobrecargas

## 1 REGLA BÁSICA

La corriente real de utilización  $I_B$  no debe sobrepasar la corriente asignada (calibre  $I_n$  o ajuste  $I_r$ ) del aparato de protección cuyo valor, a su vez, no debe rebasar el de la corriente admisible para el conductor  $I_z$ .

En caso de protección con fusible, debe aplicarse un coeficiente reductor  $R$  al valor  $I_z$ . Por lo tanto, conviene respetar lo siguiente:

$$I_B \leq I_n \leq R \cdot I_z$$

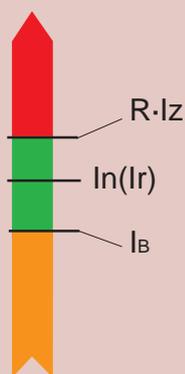
Siendo:

$R = 1$  para los automáticos

$R = 0,75$  para los fusibles  $< 16$  A

$R = 0,9$  para los fusibles  $\geq 16$  A.

### Zonas de cargas de un conductor



El valor  $I_n$  ( $I_r$ ) debe encontrarse en la zona verde

En la zona roja, el conductor se encuentra sobrecargado

En la zona naranja, la protección se halla subcalibrada, con riesgo de desconexión no deseada

El valor  $I_z$  representa la intensidad máxima que puede soportar permanentemente el conductor sin merma de su duración de vida



En lo que se refiere a los automáticos regulables, se aconseja elegir un valor de  $I_z$  superior al calibre  $I_n$  nominal del aparato. Las consecuencias de un ajuste térmico  $I_r$  inapropiado o de una evolución de la corriente de utilización  $I_B$  no tendrán consecuencias.

## 2 DETERMINACIÓN DE LA CORRIENTE REAL DE USO $I_b$

El análisis exacto de todas las utilidades y, sobre todo, el conocimiento real de las potencias de cada receptor no son siempre evidentes, por lo que, en la práctica, suele ser necesario considerar coeficientes de seguridad globales por exceso para evitar subdimensionar la instalación.

- No sobrepasar una carga teórica de los circuitos del 80% (x0,8) (las consecuencias de una sobrecarga ocasional, de una ampliación no prevista, o de una temperatura ambiente anormal, serán limitadas).
- Evitar considerar un factor minoritario sobre el tiempo de utilización; las condiciones de funcionamiento y la organización pueden cambiar.
- Pensar en posibles ampliaciones futuras (se aconseja una reserva del 20%, aunque, en la práctica, suele faltar más el espacio que la energía).

- Incrementar en un 80% (x 1,8) la potencia considerada para las luminarias fluorescentes compensadas, y en un 150% (x 2,5) la de las luminarias no compensadas.
- Tomar un coeficiente genérico de 1,5 para todas las lámparas de vapor o de yoduros metálicos.

- Aplicar un incremento del 100% para los motores de hasta 4 kW (potencia considerada x 2). Para los motores de 4 a 50 kW, este factor será de 1,5.
- Tomar las potencias nominales para la iluminación por incandescencia, incluidas las lámparas halógenas, y la calefacción.

### Ejemplo de cálculo

**La potencia de una regleta fluorescente 2 x 36 W compensada debe considerarse igual a  $2 \times 36 \times 1,8 = 130 \text{ W}$**

**En teoría, un automático DX 20 A permitiría proteger:**

$$\frac{20 \text{ (A)} \times 230 \text{ (V)}}{130 \text{ (W)}} \approx 35 \text{ regletas}$$

**Número que conviene limitar a 28 para respetar un coeficiente de utilización del 80%.**



Existen varios factores a la hora de la determinación de la corriente máxima de uso que se apoya en el conocimiento de la potencia de cada circuito de utilización para el que se atribuyen diferentes coeficientes.

**Coefficientes de minoración:**

- factor de simultaneidad ligado al aumento de volumen de los circuitos (tomas de corriente, por ejemplo)
- factor de utilización (o de carga), que generalmente se escoge entre 0,7 y 0,8

**Coefficientes de incremento:**

- factor ligado al rendimiento o al  $\cos \varphi$  degradado (lámparas fluorescentes), así como a sobreintensidades (arranque de motores)
- factor de previsión de ampliación de la instalación.

### 3 DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

La sección de los conductores se determina a partir del conocimiento de la corriente máxima admisible  $I_z$  de la canalización, basada ésta a su vez en los conductores y en sus condiciones de uso. La norma CEI 60364-5-52 permite determinar los valores de las corrientes según los principios fundamentales de utilización de las instalaciones y de la seguridad de las personas. A continuación se mencionan los principales elementos.

El cuadro de corrientes admisibles (pág. 150) permite determinar directamente la sección de los conductores en función:

- del tipo de conductor
- del método de referencia (modo de instalación)

- de la corriente admisible  $I_z$  teórica ( $I_{zth}$ ), calculada mediante la aplicación del conjunto de factores de corrección  $f$  al valor  $I_B$  de la corriente de utilización. Los factores  $f$  se determinan según el método de instalación, la agrupación, la temperatura, etc.

$$I_B = I_{zth} \times f \text{ de donde } I_{zth} = \frac{I_B}{f}$$

#### 1 Características de los conductores

Deben tenerse en cuenta los siguientes elementos:

- La naturaleza del elemento conductor, es decir, de cobre o de aluminio.
- La naturaleza del aislante que define la temperatura máxima admisible en funcionamiento, denominada PR en los aislantes que soportan 90 °C (EPR, PRC...) y PVC para los que soportan 70 °C (véanse las características de los conductores en el capítulo III.E.1).
- El número de conductores cargados: 3 para el trifásico; 3 para el trifásico con neutro distribuido; 2 para el bifásico; 2 para el monofásico (fase + neutro)

#### Extracto del cuadro de corrientes admisibles

Método de referencia	Aislante y número de conductores cargados							
	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2	PR 3	PR 2	PR 3	PR 2
B								
C		PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2	
D								
E			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2
F				PVC 3		PVC 2	PR 3	PR 2
S (mm <sup>2</sup> )								
Cobre								
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36
4	28	32	34	36	40	42	45	49
6	36	41	43	48	51	54	58	63
10	50	57	60	63	70	75	80	86
16	68	76	80	85	94	100	107	115
25	89	96	101	112	119	127	138	149
35	110	119	126	138	147	158	169	185
50	134	144	153	168	179	192	207	225
70	171	184	196	213	229	246	266	289
95	207	223	238	258	278	298	328	352
120	239	259	276	299	322	346	382	410
150		299	319	344	371	395	441	473
185		341	364	392	424	450	506	542
240			430	461	500	538	599	637

La corriente admisible  $I_z$  para una sección normalizada de conductor, debe escogerse para un valor inmediatamente superior al valor teórico determinado  $I_{zth}$ .



**En trifásica, cuando el neutro está cargado (> 30%  $I_{fase}$ ), se aplica un coeficiente reductor de 0,85 a la corriente admisible  $I_z$  del cable.**



**La norma EN 60439 define las corrientes (fijadas en los ensayos de calentamiento) para conductores de cobre aislados PVC.**

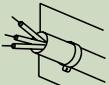
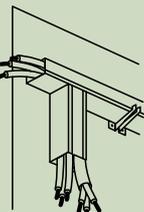
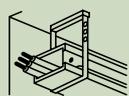
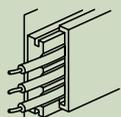
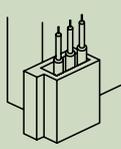
Ejemplo: un cable trifásico aislado con PVC y constituido por 3, 4 ó 5 conductores se llamará PVC 3.

### 2 Modos de instalación y métodos de referencia

La norma define varios modos de instalación representativos de las diversas condiciones de instalación. En los siguientes cuadros, dichos modos se agrupan en cuatro apartados:

- instalación al aire libre
  - instalación bajo conducto o canal al aire libre
  - instalación empotrada en los elementos de construcción
  - instalación enterrada
- En función del modo de instalación considerado, los cuadros indican el método de referencia (B, C, D, E, F) necesario para la interpretación del cuadro de corrientes admisibles en los conductores, así como un eventual factor de corrección ligado al modo de instalación en cuestión.

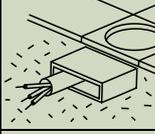
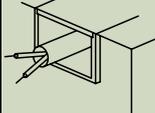
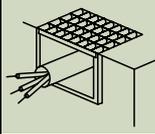
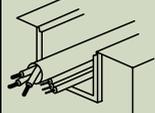
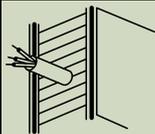
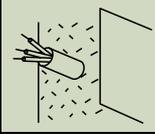
Cables y conductores montados al aire libre							
Nº modo de instalación	Ejemplo	Descripción	Método de referencia	Factor de corrección	Referencia de los cuadros específicos de factores ligados a grupos		
					Circuitos	Capas	Conductos
11		Cables mono o multiconductores, con o sin armadura, fijados a la pared.	C	1	T1, D2	-	-
11A		Cables mono o multiconductores, con o sin armadura, fijados al techo.	C	1	T1, D3	-	-
12		Sobre bandejas de cables o placas no perforadas.	C	1	T1, D2	T2	-
13		Cables multiconductores sobre bandejas o placas perforadas, en recorridos horizontal o vertical.	E	1	T1, D4	T2	-
13A		Cables monoconductor sobre bandejas o placas perforadas, en recorridos horizontal o vertical.	F	1	T1, D4	T2	-
14		Cables multiconductores sobre soportes de bandeja de enrejado soldado.	E	1	T1, D5	T2	-
14A		Cables monoconductores sobre soportes de bandeja de enrejado soldado.	F	1	T1, D5	T2	-
15		Cables multiconductores fijados con bridas y separados de la pared.	E	1	T1, D5	T2	-
15A		Cables monoconductores fijados con bridas y separados de la pared.	F	1	T1, D5	T2	-
16		Cables multiconductores sobre escaleras de cables.	E	1	T1, D5	T2	-
16A		Cables monoconductores sobre escaleras de cables.	F	1	T1, D5	T2	-
17		Cables multiconductores colgados de un cable portante o autoportantes.	E	1	T1, D5	T2	-
17A		Cables monoconductores colgados de un cable portante o autoportantes.	F	1	T1, D5	T2	-

Cables bajo conducto o en canal montados al aire							
Nº modo de instalación	Ejemplo	Descripción	Método de referencia	Factor de corrección	Referencia de los cuadros específicos de factores ligados a grupos		
					Circuitos	Capas	Conductos
3		Conductores aislados en conductos en instalación vista.	B	1	T1, D1	-	T5
3A		Conductores mono o multiconductores en conductos en instalación vista.	B	0,9	T1, D1	-	T5
4		Conductores aislados en conductos de perfiles en instalación vista.	B	1	T1, D1	-	T5
4A		Cables mono o multiconductores en conductos de perfiles en instalación vista.	B	0,9	T1, D1	-	T5
31		Conductores aislados en canales fijadas a las paredes en recorrido horizontal.	B	1	T1, D1	T2	-
31A		Cables mono o multiconductores en canales fijadas a las paredes en recorrido horizontal.	B	0,9	T1, D1	T2	-
32		Conductores aislados en canales fijadas a las paredes en recorrido vertical.	B	1	T1, D1	T2	-
32A		Cables mono o multiconductores en canales fijadas a las paredes en recorrido vertical.	B	0,9	T1, D1	T2	-
34		Conductores aislados en canales colgantes.	B	1	T1, D1	T2	-
34A		Cables mono o multiconductores en canales colgantes.	B	0,9	T1, D1	T2	-
71		Conductores aislados en molduras.	B	1	-	-	-
72		Conductores aislados en canales con guías.	B	1	-	-	-
72A		Cables mono o multiconductores en canales con guías.	B	0,9	-	-	-
73		Conductores aislados en montantes.	B	1	-	-	-
73A		Cables mono o multiconductores en montantes.	B	0,9	-	-	-

## II.A.1 / PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS

DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

Cables tendidos empotrados (bajo conducto o no)							
Nº modo de instalación	Ejemplo	Descripción	Método de referencia	Factor de corrección	Referencia de los cuadros específicos de factores ligados a grupos		
					Circuitos	Capas	Conductos
1		Conductores aislados en conductos empotrados en paredes termoaislantes.	B	0,77	T1, D1	-	T5
2		Cables multiconductores en conductos empotrados en paredes termoaislantes.	B	0,7	T1, D1	-	T5
5		Conductores aislados en conductos empotrados en la pared.	B	1	T1, D1	-	T6
5A		Cables mono o multiconductores en conductos empotrados en la pared.	B	0,9	T1, D1	-	T6
21		Cables mono o multiconductores en huecos de la construcción.	B	0,95	T1, D1	T2	-
22		Conductores aislados en conductos en huecos de la construcción.	B	0,95	T1, D1	-	T5
22A		Cables mono o multiconductores en conductos en huecos de la construcción.	B	0,865	T1, D1	-	T5
23		Conductores aislados en conductos de perfiles en huecos de la construcción.	B	0,95	T1, D1	-	T5
23A		Cables mono o multiconductores en conductos de perfiles en huecos de la construcción.	B	0,865	T1, D1	-	T5
24		Conductores aislados en conductos de perfiles empotrados en la construcción.	B	0,95	T1, D1	-	T6
24A		Cables mono o multiconductores en conductos de perfiles empotrados en la construcción.	B	0,9	T1, D1	-	T6
25		Cables mono o multiconductores: - en falsos techos - en techos colgantes	B	0,95	T1, D1	T2	-

Cables tendidos empotrados (bajo conducto o no) (continuación)							
33		Conductores aislados en canales empotrados en el suelo.	B	1	T1, D1	T2	-
33A		Cables mono o multiconductores en canales empotrados en el suelo.	B	0,9	T1, D1	T2	-
41		Conductores aislados en conductos o cables multiconductores en zanjas cerradas, en recorridos horizontal o vertical.	B	0,95	T1, D1	T2	T5
42		Conductores aislados en conductos en zanjas ventiladas.	B	1	T1, D1	-	T5
43		Cables mono o multiconductores en zanjas abiertas o ventiladas.	B	1	T1, D1	T2	-
51		Cables multiconductores empotrados directamente en paredes termoaislantes.	B	0,77	T1, D2	T1	-
52		Cables mono o multiconductores empotrados directamente en la pared, sin protección mecánica complementaria.	C	1	T1, D1	T2	-
53		Cables mono o multiconductores empotrados directamente en la pared, con protección mecánica complementaria.	C	1	T1, D1	T2	-

Cables enterrados							
Nº modo de instalación	Ejemplo	Descripción	Método de referencia	Factor de corrección	Referencia de los cuadros específicos de factores ligados a grupos		
					Circuitos	Capas	Conductos
61		Cables mono o multiconductores en conductos o en conductos de perfiles enterrados.	D	1	T2	T2	T6 + T7
62		Cables mono o multiconductores enterrados sin protección mecánica complementaria.	D	1	T4	-	-
63		Cables mono o multiconductores enterrados con protección mecánica complementaria.	D	1	T4	-	-

### 3 Grupos de circuitos

Los cuadros de modos de instalación remiten también a otros cuadros específicos para determinar los factores de corrección ligados a los grupos de circuitos y conductos.

- Cuadro T1: factores de corrección para grupos de varios circuitos o varios cables multiconductores.
- Cuadro T2: factores de corrección para instalación en varias capas.
- Cuadro T3: factores de corrección

para el caso de varios circuitos o cables en un mismo conducto enterrado.

- Cuadro T4: factores de corrección para grupos de varios cables enterrados.
- Cuadro T5: factores de corrección en función del número de conductos al aire libre y de su disposición.
- Cuadro T6: factores de corrección en función del número de conductos enterrados o empotrados en el hormigón y de su disposición.
- Cuadro T7: factores de corrección para conductos enterrados no contiguos.



**En los grupos de circuitos, los coeficientes de corrección sólo se aplicarán a los circuitos normalmente cargados como sigue:**  
**> 30% de la corriente admisible para los métodos de referencia B y D**  
**> 70% para los métodos C, E y F.**  
**Del mismo modo, no se tendrán en cuenta los conductores utilizados para control y señalización.**

T1 – Factores de corrección para grupos de varios circuitos o varios cables multiconductores												
Disposición de circuitos o de cables contiguos	Factores de corrección											
	Número de circuitos o de cables multiconductores											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
D1: Encerrados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
D2: Capa sencilla en la pared, suelo, o placas perforadas	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	No hay factor de corrección complementario para más de 9 cables		
D3: Capa sencilla en el techo	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
D4: Capa sencilla en placas horizontales perforadas o placas verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
D5: Capa sencilla en escaleras de cables, soportes, enrejados soldados, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

T2 - Factores de corrección para instalación en varias capas					
Número de capas	2	3	4 ó 5	6 a 8	más de 8
Coefficiente	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

T3 - Factores de corrección para el caso de varios circuitos o cables en un mismo conducto enterrado												
Disposición de circuitos o de cables contiguos	Factores de corrección											
	Número de circuitos o de cables multiconductores											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
Montados en conducto enterrado	1	0,71	0,58	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25	0,22

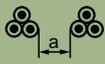
**T4 – Factores de corrección para grupos de varios cables tendidos directamente en el suelo. Cables monoconductores o multiconductores dispuestos horizontal o verticalmente**

Distancia entre cables o grupos de 3 cables monoconductores (a)*					
Número de cables o de circuitos	Ninguna (cables juntos)	Un diámetro de cable	0,25 m	0,5 m	1,0 m
			2	0,76	0,79
3	0,64	0,67	0,74	0,79	0,85
4	0,57	0,61	0,69	0,75	0,82
5	0,52	0,56	0,65	0,71	0,80
6	0,49	0,53	0,60	0,69	0,78

\* Cables multiconductores




\* Cables monoconductores



**T5 - Factores de corrección en función del número de conductos al aire libre y de su disposición**

Número de conductos dispuestos verticalmente	Número de circuitos dispuestos horizontalmente					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0,94	0,91	0,88	0,87	0,86
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68

**T6 - Factores de corrección en función del número de conductos enterrados o empotrados en el hormigón y de su disposición**

Número de conductos dispuestos verticalmente	Número de circuitos dispuestos horizontalmente					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32

**T7 – Factores de corrección para conductos enterrados no contiguos dispuestos horizontal o verticalmente a razón de un cable multiconductores, o de un grupo de 3 cables monoconductores, por conducto**

Distancia entre conductos (a)*			
Número de conductos	0,25 m	0,5 m	1,0 m
	2	0,93	0,95
3	0,87	0,91	0,95
4	0,84	0,89	0,94
5	0,81	0,87	0,93
6	0,79	0,86	0,93

\* Cables multiconductores



\* Cables monoconductores





Si el modo de instalación varía a lo largo del recorrido de un cable o de un conductor, la corriente admisible deberá determinarse para la parte más desfavorable. Sin embargo, para un instalación al aire libre no se tendrá en cuenta un paso bajo conducto de menos de 1 m, o un paso empotrado de menos de 0,20 m.

#### 4 Temperatura ambiente

La temperatura ambiente influye directamente en el dimensionado de los conductores.

La temperatura que debe tenerse en cuenta es la del aire alrededor de los cables (instalación al aire libre), y la del suelo en el caso de cables enterrados.

El cuadro T8 para cables tendidos al aire libre, y el cuadro T9 para cables

enterrados, indican los coeficientes de reducción que deben tenerse en cuenta en función de la temperatura ambiente y del tipo de conductor.

Las temperaturas de referencia, para las cuales no se considera ningún coeficiente, son respectivamente de 40 °C para los cables al aire libre y de 25 °C para los cables enterrados.

En el caso de cables enterrados, cabe tener en cuenta la resistividad térmica del suelo. Los valores de los factores de corrección figuran en el cuadro T10.



La temperatura ambiente en torno a los cables no debe confundirse con la que se tiene en cuenta para los dispositivos de protección, que es la temperatura interior del cuadro en el que se instalan dichas protecciones.

**T8 – Factores de corrección para temperaturas ambientes al aire libre distintas de 40 °C**

Temperatura ambiente (°C)	Factor
10	1,26
15	1,22
20	1,18
25	1,14
30	1,10
35	1,05
40	1,00
45	0,95
50	0,90
55	0,84
60	0,73

**T9 – Factores de corrección para temperaturas del suelo distintas de 25 °C**

Temperatura del suelo (°C)	Factor
10	1,11
15	1,07
20	1,04
25	1,00
30	0,96
35	0,92
40	0,88
45	0,83
50	0,78

**T10 – Factores de corrección para cables enterrados en función de la resistividad térmica del suelo**

Resistividad térmica del terreno (km/W)	Factor de corrección	Observaciones		
		Humedad	Naturaleza del terreno	
0,40	1,25	Instalación sumergida	Terreno pantanoso	
0,50	1,21	Terrenos muy húmedos		
0,70	1,13	Terrenos húmedos	Arena	Arcilla y calcáreo
0,85	1,05	Terreno tipo normal		
1,00	1	Terreno seco		
1,20	0,94	Terreno muy seco		Cenizas y cagafierro
1,50	0,86			
2,00	0,76			
2,50	0,70			
3,00	0,65			

### 5 Riesgos de explosión

En las instalaciones con riesgos de explosión (presencia, tratamiento o almacenaje de materias explosivas o con bajo punto de inflamación, incluyendo la presencia de polvo explosivo), las canalizaciones deberán ir provistas de protección mecánica apropiada y la corriente admisible se reducirá en un 15%.

### 6 Conductores en paralelo

En el caso de conductores en paralelo, la corriente admisible de la canalización puede considerarse igual al producto de las intensidades admisibles de cada conductor al que se apliquen los coeficientes de corrección ligados al grupo de conductores (Cuadros T1 a T7). Eventualmente puede aplicarse un coeficiente complementario  $f_s$  en caso de instalación disimétrica de los conductores.

### 7 Coeficiente global de corrección

Una vez conocidos todos los factores de corrección específicos, se puede determinar el coeficiente global  $f$  de corrección, igual al producto de todos los factores específicos. En tal caso, el procedimiento consiste en calcular la corriente teórica  $I_{Z_{th}}$  admisible para la canalización:

$$I_{Z_{th}} = \frac{I_B}{f}$$

El conocimiento de  $I_{Z_{th}}$  permite entonces consultar los cuadros de determinación de corrientes admisibles (cuadro adjunto), que permite a su vez determinar la sección necesaria (en  $\text{mm}^2$ ). La lectura se realiza sobre la columna correspondiente al tipo de conductor y al método de referencia.

Para encontrar la sección, bastará entonces con escoger en el cuadro el valor de corriente admisible inmediatamente superior al valor  $I_{Z_{th}}$ .



En el caso de protección con fusibles, el valor admisible  $I_{Z_{th}}$  deberá reducirse aplicando el coeficiente  $R$ . ( $R = 0,75$  para fusibles  $< 16$  A;  $R = 0,9$  para fusibles  $\geq 16$  A; véase la página 140).



Se admite una tolerancia del 5% en el valor de  $I_z$ . Así pues, para una corriente de utilización  $I_B$  de 140 A, se indica una sección de  $35 \text{ mm}^2$  con una corriente admisible de 169 A. La aplicación de esta tolerancia nos permite escoger una sección de  $25 \text{ mm}^2$  con una corriente admisible de 138 A, que puede así soportar una corriente de 145 A.

## II.A.1 / PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS

DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

### Corrientes admisibles en canalizaciones (en A)

Método de referencia	Aislante y número de conductores cargados												
	B	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2						
C		PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2						
D										PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2
E			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2					
F				PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2				
S (mm <sup>2</sup> )													
Cobre													
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26		26	32	31	37
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36		34	42	41	48
4	28	32	34	36	40	42	45	49		44	54	53	63
6	36	41	43	48	51	54	58	63		56	67	66	80
10	50	57	60	63	70	75	80	86		74	90	87	104
16	68	76	80	85	94	100	107	115		96	116	113	136
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161	123	148	144	173
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200	147	178	174	208
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242	174	211	206	247
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310	216	261	254	304
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377	256	308	301	360
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437	290	351	343	410
150		299	319	344	371	395	441	473	504	328	397	387	463
185		341	364	392	424	450	506	542	575	367	445	434	518
240		403	430	461	500	538	599	641	679	424	514	501	598
300		464	497	530	576	621	693	741	783	480	581	565	677
400					656	754	825		940				
500					749	868	946		1083				
630					855	1005	1088		1254				
Aluminio													
2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28					
4	22	25	26	28	31	32	35	38					
6	28	32	33	36	39	42	45	49					
10	39	44	46	49	54	58	62	67		57	68	67	80
16	53	59	61	66	73	77	84	91		74	88	87	104
25	70	73	78	83	90	97	101	108	121	94	114	111	133
35	86	90	96	103	112	120	126	135	150	114	137	134	160
50	104	110	117	125	136	146	154	164	184	134	161	160	188
70	133	140	150	160	174	187	198	211	237	167	200	197	233
95	161	170	183	195	211	227	241	257	289	197	237	234	275
120	186	197	212	226	245	263	280	300	337	224	270	266	314
150		227	245	261	283	304	324	346	389	254	304	300	359
185		259	280	298	323	347	371	397	447	285	343	337	398
240		305	330	352	382	409	439	470	530	328	396	388	458
300		351	381	406	440	471	508	543	613	371	447	440	520
400					526	600	663		740				
500					610	694	770		856				
630					711	808	899		996				

Ejemplo de determinación

Hipótesis

- conexión trifásica entre un cuadro principal y un cuadro secundario
- la estimación de cargas ha permitido evaluar la corriente IB a transportar en 600 A
- la canalización está constituida por cables monoconductores de cobre aislados PR
- los conductores son contiguos sobre bandeja de cables perforada
- se da preferencia a la instalación de cables en paralelo para limitar la sección unitaria a 150 mm<sup>2</sup>.

Resolución

El tendido sobre bandeja de cables corresponde al modo de instalación n° 13A, sin factor de reducción como consecuencia de la instalación. El cuadro nos indica el método de referencia que debe tenerse en cuenta, F, y el cuadro de factores ligados a grupos de circuitos, T1 línea D4.

13		Cables monoconductores sobre bandejas o placas perforadas, en recorridos horizontal o vertical.	E	1	T1, D4	T2
13A		Cables monoconductores sobre bandejas o placas perforadas, en recorridos horizontal o vertical.	F	1	T1, D4	T2
14		Cables multiconductores sobre soportes	F	1	T1, D4	T2

En el presente caso, sólo hay un circuito:

- si basta con un solo conductor por fase, no hay que aplicar ninguna corrección
- si se utilizan dos conductores por fase (instalación preferente en paralelo), se aplica un coeficiente de reducción de 0,88.

Número de circuitos o de cables contiguos	Número de circuitos o de cables multicond								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D1: Encerrados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,5
D2: Capa sencilla en la pared, suelo, o placas perforadas	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7
D3: Capa sencilla en el techo	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,6
D4: Capa sencilla en placas horizontales perforadas o placas verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,7

- el valor Iz teórico se determina mediante:  $I_{zth} = \frac{I_B}{f} = \frac{600}{0,88} = 682 \text{ A}$

- es decir, para dos conductores en paralelo:  $\frac{682}{2} = 341 \text{ A por conductor.}$

La lectura del cuadro de corrientes admisibles indica un valor admisible de 382 A (valor inmediatamente superior a 341 A) para un conductor PR 3 con el método de referencia F.

D	PVC 3		PVC 2		PR 3		PR 2		PVC 3		PVC 2		PR 3		PR 2	
	PVC 3	PVC 2	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2	PR 3	PR 2	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2
F																
S (mm <sup>2</sup> )																
Cobre																
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26					26	32	31	37
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36					34	42	41	48
4	28	32	34	36	40	42	45	49					44	54	53	63
6	36	41	43	48	51	54	58	63					56	67	66	80
10	50	57	60	63	70	75	80	86					74	90	87	104
16	68	76	80	85	94	100	107	115					96	116	113	136
25	89	96	101	112	119	127	133	149	161				123	148	144	173
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200	147	178	174	208	247	247	298
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242	174	211	206	247	298	298	360
70	171	184	196	213	229	246	263	289	310	216	261	254	304	360	360	438
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377	256	308	301	360	438	438	528
120	230	250	276	300	330	346	382	410	437	290	351	343	410	498	498	600
150	299	319	344	371	395	411	473	504	542	328	397	387	463	564	564	684
185	341	364	392	424	450	466	542	575	617	445	534	518	624	756	756	900

## 4 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS

### 1 Ubicación de las protecciones

En principio, un dispositivo de protección debe estar situado al inicio de cada canalización (línea principal o derivación), ya que la corriente  $I_z$  admisible en la canalización se hace inferior a la corriente  $I_n$  del dispositivo de protección situado antes.

Existen reglas derogatorias que permiten desplazar el aparato de protección (véase el capítulo II.C.2)

### 2 Exención de protección contra sobrecargas

Cuando una canalización dedicada alimenta un receptor situado en una posición estable, no susceptible de sobrecargas (luminarias con potencias de lámpara limitadas, radiadores, calefacciones, calentadores de agua, hornos...), y cuya corriente de utilización  $I_B$  es inferior a la corriente admisible de la canalización, se permite no dotar a dicha canalización de protección contra sobrecargas.

### 3 Recomendaciones de no protección contra sobrecargas

Cuando la continuidad del servicio, o la seguridad, lo requieran (motores de eliminación de humos, circuitos de máquinas giratorias, aparatos de elevación...), se recomienda no instalar dispositivos con protección contra sobrecargas.

En este caso, deberá dimensionarse la canalización para la eventual corriente de fallo en sobrecarga: por ejemplo, rotor bloqueado en el caso de un motor.



**¡Atención!** Esta exención no afecta a la protección contra cortocircuitos, que debe estar garantizada en todos los casos. La línea en cuestión no debe tener derivaciones. Por principio, una línea de tomas de corriente puede sufrir sobrecargas y debe estar siempre protegida.



Los automáticos Lexic solamente magnéticos DX-MA permiten cumplir las recomendaciones de no protección contra sobrecargas.

# Comprobación de caídas de tensión

Es importante que la caída de tensión acumulada desde la fuente hasta cualquier punto de la instalación no sea superior a los valores exigidos

## Valores límites admisibles de caídas de tensión

Conexión	Iluminación	Otros usos
Conexión a baja tensión a partir de la red de distribución pública	3 %	5 %
Conexión por puesto de suministro o puesto de transformación a partir de una red de alta tensión	4,5 %	6,5 %

Estos valores de caídas de tensión se aplican en condiciones de funcionamiento normal, sin tener en cuenta aparatos que puedan generar corrientes de entrada importantes y caídas de tensión en el arranque (p. ej.: motor).

Si la caída de tensión supera los valores límite admisibles, se puede aumentar la sección de los conductores hasta que la caída sea inferior a los valores prescritos. Cuando la longitud de las canalizaciones principales de la instalación sea superior a 100 m, los valores límites admisibles de las caídas de tensión podrán aumentarse en un 0,005% por metro a partir de los 100 m, sin que este suplemento sea, no obstante, superior al 0,5%.



Las caídas de tensión se calculan por medio de la siguiente fórmula:

$$u = b(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda \times L \times \sin \varphi) I_b$$

- u: caída de tensión en V
- b: coeficiente de valor 1 para los circuitos trifásicos y 2 para los monofásicos
- $\rho_1$ : resistividad de los conductores en  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (0,023 para el cobre y 0,037 para el aluminio)
- L: longitud de la canalización en m
- S: sección de la canalización en  $\text{mm}^2$
- $\lambda$ : reactancia lineal de los conductores en  $\text{m}\Omega/\text{m}$  (0,08 para los cables multi o monoconductores trenzados, 0,09 para los cables monoconductores contiguos en capa y 0,13 para los monoconductores separados)
- $\cos \varphi$ : factor de potencia (0,8 en ausencia de información)
- $I_b$ : corriente de utilización de la canalización en A

La caída de tensión relativa (en %) se calcula como sigue:

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0}$$

- u: caída de tensión en V
- $U_0$ : tensión entre fase y neutro en V



Si la instalación alimenta motores, se recomienda comprobar la caída de tensión en condiciones de arranque. Para ello, basta con sustituir, en la fórmula adjunta, la corriente  $I_b$  por la corriente de arranque del motor y utilizar el factor de potencia en el arranque. En ausencia de datos más precisos, puede considerarse el valor de la corriente de arranque como de  $6 \times I_n$ . La caída de tensión, teniendo en cuenta todos los motores que pueden arrancar al mismo tiempo, no debe sobrepasar el 15%. Aparte del hecho de que una caída de tensión demasiado elevada puede perjudicar al resto de usuarios de la instalación, puede hacer también que el motor no arranque.

La caída de tensión unitaria  $v$  (en voltios), por amperio y por 100 m, puede determinarse directamente a partir de los siguientes cuadros, en función:

- de la sección (en mm<sup>2</sup>) y de la naturaleza de las almas, cobre o aluminio
- de la reactancia lineal de los conductores,  $\lambda$  (en mΩ/m), ligada a su disposición relativa
- del  $\cos \varphi$  (1 para la calefacción y alumbrado, 0,85 para las aplicaciones mixtas y 0,35 para el arranque de motores).

El valor de la caída de tensión de la canalización trifásica de longitud  $L$  (en m), recorrida por la corriente de utilización  $I_B$  (en A), es entonces de:

$$u = \frac{v}{100} \times I_B \times L$$

- expresada en voltios:

$$\Delta u = \frac{v \times I_B \times L}{U_0}$$

$U_0 = 230$  V en red trifásica de 400 V.

En las canalizaciones monofásicas, los valores de  $u$  y  $\Delta u$  deben multiplicarse por 2 (caída en el «conductor de ida» y en el «conductor de vuelta», ambos recorridos por la misma corriente).

### Ejemplo

En el ejemplo considerado en el capítulo II.A.5, el cálculo exacto de la caída de tensión en el cable «Salida 1» da un resultado de 4,04 V, es decir una caída de tensión relativa del 1,75%. La utilización de los cuadros proporciona un resultado idéntico. En efecto, la lectura del cuadro adjunto, para una sección de fase de 70 mm<sup>2</sup> de cobre y un  $\cos \varphi$  de 0,85 nos da un valor de 0,032.

Este valor viene dado para 100 m de cable y para una corriente de 1 A. Por lo tanto, hay que multiplicarlo por 250 ( $I_B = 250$  A) y por 0,5 (50 m de cable), lo que da una caída de tensión absoluta de 4 V y una caída de tensión relativa de 1,73%.

**Caídas de tensión unitaria (en V) para 1 A y para 100 m de conductor con  $\lambda = 0,08$  mW/m (cables multi o monoconductores trenzados)**

Sección	Trifásico Cu 100 m			Trifásico Aluminio 100 m		
	Cos $\varphi$			Cos $\varphi$		
	1	0,85	0,35	1	0,85	0,35
1,5	1,533	1,308	0,544	2,467	2,101	0,871
2,5	0,920	0,786	0,329	1,480	1,262	0,525
4	0,575	0,493	0,209	0,925	0,790	0,331
6	0,383	0,330	0,142	0,617	0,528	0,223
10	0,230	0,200	0,088	0,370	0,319	0,137
16	0,144	0,126	0,058	0,231	0,201	0,088
25	0,092	0,082	0,040	0,148	0,130	0,059
35	0,066	0,060	0,030	0,106	0,094	0,044
50	0,046	0,043	0,024	0,074	0,067	0,033
70	0,033	0,032	0,019	0,053	0,049	0,026
95	0,024	0,025	0,016	0,039	0,037	0,021
120	0,019	0,021	0,014	0,031	0,030	0,018
150	0,015	0,017	0,013	0,025	0,025	0,016
185	0,012	0,015	0,012	0,020	0,021	0,014
240	0,010	0,012	0,011	0,015	0,017	0,013
300	0,008	0,011	0,010	0,012	0,015	0,012
400	0,006	0,009	0,010	0,009	0,012	0,011
500	0,005	0,008	0,009	0,007	0,011	0,010
630	0,004	0,007	0,009	0,006	0,009	0,010
2 x 120	0,010	0,010	0,007	0,015	0,015	0,009
2 x 150	0,008	0,009	0,006	0,012	0,013	0,008
2 x 185	0,006	0,007	0,006	0,010	0,011	0,007
2 x 240	0,005	0,006	0,005	0,008	0,009	0,006
3 x 120	0,006	0,007	0,005	0,010	0,010	0,006
3 x 150	0,005	0,006	0,004	0,008	0,008	0,005
3 x 185	0,004	0,005	0,004	0,007	0,007	0,005
3 x 240	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,004
4 x 185	0,003	0,004	0,003	0,005	0,005	0,004
4 x 240	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003

Caídas de tensión unitaria (en V) para 1 A y para 100 m de conductor con  $l = 0,09$  mW/m (cables monoconductores contiguos en capa)

Sección	Trifásico Cu 100 m			Trifásico Aluminio 100 m		
	Cos $\varphi$			Cos $\varphi$		
	1	0,85	0,35	1	0,85	0,35
1,5	1,533	1,308	0,544	2,467	2,101	0,872
2,5	0,920	0,787	0,330	1,480	1,263	0,526
4	0,575	0,493	0,210	0,925	0,791	0,332
6	0,383	0,331	0,143	0,617	0,529	0,224
10	0,230	0,200	0,089	0,370	0,319	0,138
16	0,144	0,127	0,059	0,231	0,201	0,089
25	0,092	0,083	0,041	0,148	0,131	0,060
35	0,066	0,061	0,031	0,106	0,095	0,045
50	0,046	0,044	0,025	0,074	0,068	0,034
70	0,033	0,033	0,020	0,053	0,050	0,027
95	0,024	0,025	0,017	0,039	0,038	0,022
120	0,019	0,021	0,015	0,031	0,031	0,019
150	0,015	0,018	0,014	0,025	0,026	0,017
185	0,012	0,015	0,013	0,020	0,022	0,015
240	0,010	0,013	0,012	0,015	0,018	0,014
300	0,008	0,011	0,011	0,012	0,015	0,013
400	0,006	0,010	0,010	0,009	0,013	0,012
500	0,005	0,009	0,010	0,007	0,011	0,011
630	0,004	0,008	0,010	0,006	0,010	0,010
2 x 120	0,010	0,011	0,008	0,015	0,015	0,010
2 x 150	0,008	0,009	0,007	0,012	0,013	0,009
2 x 185	0,006	0,008	0,006	0,010	0,011	0,008
2 x 240	0,005	0,006	0,006	0,008	0,009	0,007
3 x 120	0,006	0,007	0,005	0,010	0,010	0,006
3 x 150	0,005	0,006	0,005	0,008	0,009	0,006
3 x 185	0,004	0,005	0,004	0,007	0,007	0,005
3 x 240	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,005
4 x 185	0,003	0,004	0,003	0,005	0,005	0,004
4 x 240	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003

**Caídas de tensión unitaria (en V) para 1 A y para 100 m de conductor  
con  $l = 0,13 \text{ mW/m}$  (cables monoconductores separados)**

Sección	Trifásico Cu 100 m			Trifásico Aluminio 100 m		
	Cos $\varphi$			Cos $\varphi$		
	1	0,85	0,35	1	0,85	0,35
1,5	1,533	1,310	0,549	2,467	2,104	0,876
2,5	0,920	0,789	0,334	1,480	1,265	0,530
4	0,575	0,496	0,213	0,925	0,793	0,336
6	0,383	0,333	0,146	0,617	0,531	0,228
10	0,230	0,202	0,093	0,370	0,321	0,142
16	0,144	0,129	0,062	0,231	0,203	0,093
25	0,092	0,085	0,044	0,148	0,133	0,064
35	0,066	0,063	0,035	0,106	0,097	0,049
50	0,046	0,046	0,028	0,074	0,070	0,038
70	0,033	0,035	0,024	0,053	0,052	0,031
95	0,024	0,027	0,021	0,039	0,0340	0,026
120	0,019	0,023	0,019	0,031	0,033	0,023
150	0,015	0,020	0,018	0,025	0,028	0,021
185	0,012	0,017	0,017	0,020	0,024	0,019
240	0,010	0,015	0,016	0,015	0,020	0,018
300	0,008	0,013	0,015	0,012	0,017	0,016
400	0,006	0,012	0,014	0,009	0,015	0,015
500	0,005	0,011	0,014	0,007	0,013	0,015
630	0,004	0,010	0,013	0,006	0,012	0,014
2 x 120	0,010	0,012	0,009	0,015	0,017	0,011
2 x 150	0,008	0,010	0,009	0,012	0,014	0,010
2 x 185	0,006	0,009	0,008	0,010	0,012	0,010
2 x 240	0,005	0,007	0,008	0,008	0,010	0,009
3 x 120	0,006	0,008	0,006	0,010	0,011	0,008
3 x 150	0,005	0,007	0,006	0,008	0,009	0,007
3 x 185	0,004	0,006	0,006	0,007	0,008	0,006
3 x 240	0,003	0,005	0,005	0,005	0,007	0,006
4 x 185	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,005
4 x 240	0,002	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004

# Protección contra cortocircuitos

Para prevenir los riesgos de las corrientes de cortocircuito, todo dispositivo de protección contra dichos cortocircuitos debe respetar las dos reglas siguientes:

- 1 – El poder de corte del aparato debe ser al menos igual a la corriente máxima de cortocircuito que se supone en el punto de instalación.
- 2 – El tiempo de corte, para un cortocircuito que se produzca en cualquier punto de la instalación, no debe ser superior al tiempo que hace aumentar la temperatura de los conductores hasta su valor máximo admisible.

Conforme a estas reglas, es necesario determinar, para cada circuito, la corriente máxima de cortocircuito en su origen, así como la corriente mínima de cortocircuito en su extremo.

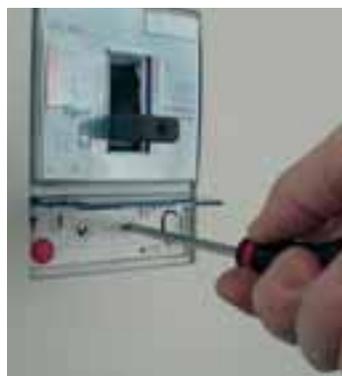
La corriente máxima de cortocircuito en el origen del circuito se utiliza:

- para determinar el poder de corte necesario de los aparatos de protección
- para garantizar la protección de los conductores contra las limitaciones térmicas.

La corriente mínima de cortocircuito en el extremo del circuito se utiliza:

- para comprobar las condiciones de corte para la regulación magnética de los automáticos

- para garantizar la protección de los conductores contra las limitaciones térmicas en caso de protección con fusibles.



**Reglaje magnético de un DPX**

## 1 CAPACIDAD DE CORTE

El poder o capacidad de corte de un automático de protección debe ser al menos igual a la corriente máxima de cortocircuito que se presume puede producirse en el punto en que se halla instalado el aparato:

$$PdC \geq I_{cc \text{ maxi}}$$

La corriente máxima de cortocircuito que se supone debe tenerse en cuenta es:

- la corriente de cortocircuito trifásica simétrica  $I_{cc3}$  para los circuitos trifásicos (3 fases o 3 fases + neutro)
- la corriente de cortocircuito bifásica  $I_{cc2}$  para los circuitos bifásicos (fase / fase)
- la corriente de cortocircuito monofásica  $I_{cc1}$  para los circuitos monofásicos (fase / neutro):

Véase el capítulo II.A.5 para la evaluación de los valores de  $I_{cc}$ .

**! Asociación (coordinación) de protecciones**

Se admite por derogación que el poder de corte del dispositivo de protección sea inferior al cortocircuito máximo que se supone, a condición de que:

- esté asociado antes a un aparato que posea el poder de corte necesario
  - la energía limitada por asociación de los aparatos pueda ser soportada por el aparato situado a continuación, así como por las canalizaciones protegidas.
- Véanse en el capítulo II.B.2 las características de los aparatos DX y DPX en asociación.

**2 COMPROBACIÓN DE LAS SOLICITACIONES TÉRMICAS ADMISIBLES PARA LOS CONDUCTORES**

El tiempo de corte de un automático como consecuencia de un cortocircuito que tenga lugar en cualquier punto de un circuito, no debe ser superior al tiempo que tarda la temperatura de los conductores en alcanzar el límite admisible. En la práctica, conviene garantizar que la energía que deja pasar el automático no es superior a la que el cable puede efectivamente soportar.

La limitación térmica máxima (para tiempos inferiores a 5 s) soportada por una canalización se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$I^2t = K^2 \times S^2$$

**Valor de K según la CEI 60364-5-54 para conductores activos y de protección**

Aislante	PVC			PR / EPR			Goma			Desnudo, sin aislante		
	θ° max (°C)	160			250			220			200/150 <sup>(1)</sup>	
Naturaleza del alma	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier
Conductor de protección no incorporado a un cable	143	95	52	176	116	64	166	110	60	159	105	58
Conductor activo o de protección constituido por un cable multiconductores	115	76		143	94		134	89		138	91	50

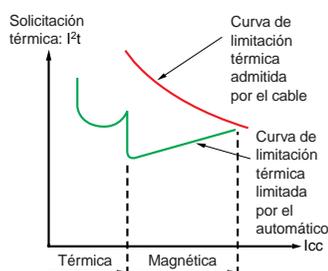
(1) Si existe riesgo particular de incendio.

## 1 Conductores activos

• En el caso de protección mediante automático, conviene comprobar que la energía que deja pasar el aparato es inferior a la sollicitación máxima admisible de las canalizaciones. La corriente que debe tomarse en cuenta es la corriente máxima de cortocircuito en el origen del circuito en cuestión.

- Icc3 para los circuitos trifásicos (3 fases ó 3 fases + neutro)
- Icc2 para los circuitos bifásicos
- Icc1 para los circuitos monofásicos (fase + neutro).

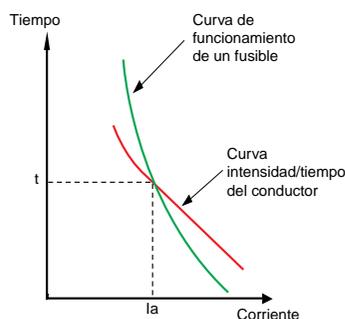
La lectura directa de las curvas de sollicitaciones térmicas de los automáticos permite comprobar que el valor limitado es efectivamente inferior al soportado por los conductores en las condiciones de fallo presumibles.



• En el caso de protección por fusible, hay que asegurarse de que el valor más pequeño de cortocircuito en el extremo de la instalación hará que el fusible se «funda» en un tiempo compatible con la sollicitación térmica del cable.

¡Atención! Las corrientes de cortocircuito que deben tenerse en cuenta son las del extremo de la canalización:

- Icc1 para los circuitos con neutro distribuido
- Icc2 para los circuitos sin neutro distribuido.



El valor de la corriente mínima de cortocircuito debe ser mayor que el valor Ia.

### Valores de las sollicitaciones térmicas máximas (en A<sup>2</sup>s) en los cables, en función de su tipo y su sección

S (mm <sup>2</sup> )	Cu/PVC	Cu/PR	Al/PVC	Al/PR
1,5	2,98·10 <sup>4</sup>	4,6·10 <sup>4</sup>		
2,5	8,27·10 <sup>4</sup>	1,28·10 <sup>5</sup>		
4	2,12·10 <sup>5</sup>	3,27·10 <sup>5</sup>		
6	4,76·10 <sup>5</sup>	7,36·10 <sup>5</sup>		
10	1,32·10 <sup>6</sup>	2,04·10 <sup>6</sup>	5,78·10 <sup>5</sup>	8,84·10 <sup>5</sup>
16	3,39·10 <sup>6</sup>	5,23·10 <sup>6</sup>	1,48·10 <sup>6</sup>	2,26·10 <sup>6</sup>
25	8,27·10 <sup>6</sup>	1,28·10 <sup>7</sup>	3,61·10 <sup>6</sup>	5,52·10 <sup>6</sup>
35	1,62·10 <sup>7</sup>	2,51·10 <sup>7</sup>	7,08·10 <sup>6</sup>	1,08·10 <sup>7</sup>
50	3,31·10 <sup>7</sup>	5,11·10 <sup>7</sup>	1,44·10 <sup>7</sup>	2,21·10 <sup>7</sup>
95	1,19·10 <sup>8</sup>	1,85·10 <sup>8</sup>	5,21·10 <sup>7</sup>	7,97·10 <sup>7</sup>
120	1,9·10 <sup>8</sup>	2,94·10 <sup>8</sup>	8,32·10 <sup>7</sup>	1,27·10 <sup>8</sup>
150	2,98·10 <sup>8</sup>	4,6·10 <sup>8</sup>	1,3·10 <sup>8</sup>	1,99·10 <sup>8</sup>
185	4,53·10 <sup>8</sup>	7·10 <sup>8</sup>	1,98·10 <sup>8</sup>	3,02·10 <sup>8</sup>
240	7,62·10 <sup>8</sup>	1,18·10 <sup>9</sup>	3,33·10 <sup>8</sup>	5,09·10 <sup>8</sup>
300	1,19·10 <sup>9</sup>	1,84·10 <sup>9</sup>	5,2·10 <sup>8</sup>	7,95·10 <sup>8</sup>
400	2,12·10 <sup>9</sup>	3,27·10 <sup>9</sup>	9,24·10 <sup>8</sup>	1,41·10 <sup>9</sup>
500	3,31·10 <sup>9</sup>	5,11·10 <sup>9</sup>	1,44·10 <sup>9</sup>	2,21·10 <sup>9</sup>



En el caso de automáticos cuya activación magnética es retardada, es necesario comprobar sistemáticamente las sollicitaciones térmicas.

Generalmente, no es necesario hacer esto con los conductores activos (fase y neutro) si:

- el dispositivo de protección, en el origen de la canalización, incorpora una función de protección contra sobrecargas
- la sección del conductor de neutro no es inferior a la sección de los conductores de fases.

### 2 Conductores de protección

La comprobación de las solicitaciones térmicas no es necesaria si la sección del conductor de protección se ha escogido conforme al cuadro adjunto.

Bajo el esquema TN-C, la sección del conductor PEN no debe ser inferior a 10 mm<sup>2</sup> para el cobre, y a 16 mm<sup>2</sup> para el aluminio.

Si se ha calculado la sección de los conductores, la corriente de cortocircuito que debe considerarse para la comprobación de la solicitación térmica es la corriente mínima de fallo (I<sub>d</sub>) entre un conductor activo y el conductor de protección, y ello en el extremo del circuito considerado, sea cual sea el tipo de protección.

La sección se calcula para tiempos de corte inferiores a 5 s mediante la siguiente fórmula:

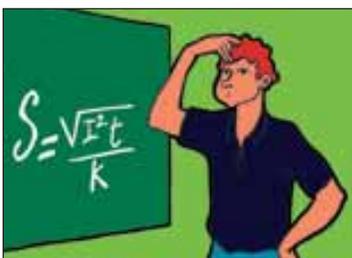
$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K}$$

S: sección del conductor de protección en mm<sup>2</sup>

I: valor eficaz de la corriente de fallo en A

t: tiempo de funcionamiento del dispositivo de corte

K: coeficiente que depende de las temperaturas admisibles, del metal que lo compone y del aislamiento



### Sección del conductor de protección (S<sub>PE</sub>) en función de la sección de los conductores de fase (S<sub>FASE</sub>)

Sección de los conductores de fase S <sub>FASE</sub>	Sección del conductor de protección S <sub>PE</sub>
S <sub>ph</sub> < 16 mm <sup>2</sup>	S <sub>ph</sub>
16 mm <sup>2</sup> < S <sub>ph</sub> ≤ 35 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
S <sub>ph</sub> > 35 mm <sup>2</sup>	S <sub>ph</sub> / 2

### Cálculo de I<sub>d</sub>

Puede aplicarse el método considerado tradicional, teniendo en cuenta la lejanía de la fuente de alimentación.

La corriente de fallo fase/masa I<sub>d</sub> (despreciando las reactancias) puede tomarse igual a:

$$I_d = 0,8 \times \frac{U_0}{R_{FASE} + R_{PE}}$$

U<sub>0</sub>: tensión simple fase/neutro

R<sub>FASE</sub>: resistencia del conductor de fase

R<sub>PE</sub>: resistencia del conductor de protección

El valor 0,8 considera por hipótesis que la tensión en el origen del circuito es igual al 80% de la tensión nominal, o bien que la impedancia de la parte del bucle de fallo situada antes de las protecciones, representa el 20% de la impedancia total del bucle.

### Cálculo del coeficiente K

K, expresado en As<sup>0,5</sup>/mm<sup>2</sup>, se calcula mediante la fórmula:

$$K = \frac{\sqrt{C_v(B_0 + 20)}}{\rho_{20}} \times 10^{-12} \times \ln \left( 1 + \frac{\theta_f - \theta_1}{B_0 + \theta_1} \right)$$

C<sub>v</sub>: capacidad térmica volumétrica en J/°C.m<sup>3</sup>

C<sub>v</sub> = C<sub>M</sub> × M<sub>v</sub> C<sub>M</sub>: calor másico del conductor en J/°C.m<sup>3</sup>

M<sub>v</sub>: masa volumétrica en kg/m<sup>3</sup>

B<sub>0</sub>: inverso del coeficiente de resistividad a 0 °C

ρ<sub>20</sub>: resistividad del material a 20 °C en Ωm

θ<sub>1</sub>: temperatura inicial del conductor en °C

θ<sub>f</sub>: temperatura final del conductor en °C

### 3 COMPROBACIÓN DE LAS LONGITUDES MÁXIMAS PROTEGIDAS (CORTOCIRCUITOS MÍNIMOS)

Es preciso asegurarse de que la corriente de cortocircuito más pequeña hará funcionar efectivamente el aparato de protección. Para ello, basta con comprobar que dicha corriente, en el extremo de la canalización a proteger, es superior al umbral de activación magnética del automático. Deberá tenerse en cuenta el valor de activación más desfavorable:

- límite superior de las curvas de activación B ( $5 \times I_n$ ), C ( $10 \times I_n$ ) o D ( $20 \times I_n$ ) para los dispositivos DX
- valor de la regulación magnética aumentada en la tolerancia de funcionamiento del 20% para los automáticos DPX.

**Longitudes máximas de cable protegidas (en m) en función del aparato de protección y de la sección del cable ( $S_{\text{neutro}} = S_{\text{fase}}$ ) para un circuito trifásico con neutro de 400 V o monofásico de 230 V.**

#### Automático modular DX curva C

S (mm <sup>2</sup> )	Calibre (In) del automático (en A)													
	2	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	300	150	100	60	38	30	24	19						
2,5	500	250	167	100	63	50	40	31	25					
4	800	400	267	160	100	80	64	50	40	32				
6		600	400	240	150	120	96	75	60	48	38			
10			667	400	250	200	160	125	100	80	63	50		
16			1067	640	400	320	256	200	160	128	102	80	64	
25				1000	625	500	400	313	250	200	159	125	100	80
35					875	700	560	438	350	280	222	175	140	112
50							800	625	500	400	317	250	200	160

## II.A.3 / LA PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITOS

COMPROBACIÓN DE LA LONGITUDES MÁXIMAS PROTEGIDAS (CORTOCIRCUITOS MÍNIMOS)

### Automático modular DX curva B

S (mm <sup>2</sup> )	Calibre (In) del automático (en A)													
	2	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	600	300	200	120	75	60	48	38						
2,5	1000	500	333	200	125	100	80	63	50					
4	1600	800	533	320	200	160	128	100	80	64				
6		1200	800	480	300	240	192	150	120	96	76			
10			1333	800	500	400	320	250	200	160	127	100		
16			2133	1280	800	640	512	400	320	256	203	160	128	
25				2000	1250	1000	800	625	500	400	317	250	200	160
35					1750	1400	1120	875	700	560	444	350	280	224
50							1600	1250	1000	800	635	500	400	320

### Automático modular DX curva D

S (mm <sup>2</sup> )	Calibre (In) del automático (en A)													
	2	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	150	75	50	30	19	15	12	9						
2,5	250	125	83	50	31	25	20	16	13					
4	400	200	133	80	50	40	32	25	20	16				
6		300	200	120	75	60	48	38	30	24	19			
10			333	200	125	100	80	63	50	40	32	25		
16			233	320	200	160	128	100	80	64	51	40	32	
25				500	313	250	200	156	125	100	79	63	50	40
35					438	350	280	219	175	140	111	88	70	56
50							400	313	250	200	159	125	100	80

## Longitudes máximas de cable protegidas (continuación)

## Automáticos DPX

S (mm <sup>2</sup> )	Valor de regulación magnética del automático (en A)																		
	90	100	125	160	200	250	320	400	500	700	800	875	1000	1120	1250	1600	2000	2500	3200
1,5	56	50	40	31	25	20	16	13	10	7	6	6	5	4	4	5			
2,5	93	83	67	52	42	33	26	21	17	12	10	10	8	7	7	5	4	3	3
4	148	133	107	83	67	53	42	33	27	19	17	15	13	12	11	8	7	5	4
6	222	200	160	125	100	80	63	50	40	29	25	23	20	18	16	13	10	8	6
10	370	333	267	208	167	133	104	83	67	48	42	38	33	30	27	21	17	13	10
16	593	533	427	333	267	213	167	133	107	76	67	61	53	48	43	33	27	21	17
25			667	521	417	333	260	208	167	119	104	95	83	74	67	52	42	33	26
35					583	467	365	292	233	167	146	133	117	104	93	73	58	47	36
50						667	521	417	333	238	208	190	167	149	133	104	83	67	52
70							729	583	467	333	292	267	233	208	187	146	117	93	73
95										452	396	362	317	283	253	198	158	127	99
120											500	457	400	357	320	250	200	160	125
150												497	435	388	348	272	217	174	136
185													514	459	411	321	257	206	161
240														571	512	400	320	256	200
300																500	400	320	250

NOTA: para secciones mayores de 300 mm<sup>2</sup>, debe considerarse el valor de la resistencia de los cables.

## Cortacircuitos de fusibles aM

S (mm <sup>2</sup> )	Corriente asignada de los cortacircuitos de fusibles aM (en A) PVC/PR																			
	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	28/33	19/23	13/15	8/10	6/7															
2,5	67	47/54	32/38	20/24	14/16	9/11	6/7													
4	108	86	69	47/54	32/38	22/25	14/17	9/11	6/7											
6	161	129	104	81	65/66	45/52	29/34	19/23	13/15	9/10	6/7									
10				135	108	88	68	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11	6/7							
16						140	109	86	69	49/55	32/38	21/25	14/17	9/11	6/7					
25								135	108	86	67	47/64	32/38	21/25	14/16	9/11				
35									151	121	94	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13	7/9		
50											128	102	82	65	43/51	29/36	19/24	13/15	8/10	
70												151	121	96	75	56/60	38/45	26/30	17/20	11/13
95												205	164	130	102	82	65	43/51	29/34	19/23
120														164	129	104	82	65	44/52	29/35
150															138	110	88	69	55	37/44
185																128	102	80	64	61
240																	123	97	78	62

## II.A.3 / LA PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITOS

COMPROBACIÓN DE LA LONGITUDES MÁXIMAS PROTEGIDAS (CORTOCIRCUITOS MÍNIMOS)

	4 000	5 000	6 300	8 000	12 500	16 000
	3	3				
	5	4	3			
	8	7	5	4		
	13	11	8	7	4	3
	21	17	13	10	7	5
	29	23	19	15	9	7
	42	33	26	21	13	10
	58	47	37	29	19	15
	79	63	50	40	25	20
	100	80	63	50	<b>32</b>	25
	109	87	69	54	35	27
	128	103	82	64	41	32
	160	128	102	80	51	40
	200	160	127	100	64	50

### Cortacircuitos de fusibles gG

S (mm <sup>2</sup> )	Corriente asignada de los cortacircuitos de fusibles gG (en A) PVC/PR																					
	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250		
1,5	82	59/61	38/47	18/22	13/16	6/7																
2,5		102	82	49/56	35/43	16/20	12/15	5/7														
4			131	89	76	42/52	31/39	14/17	8/10	4/5												
6				134	113	78	67/74	31/39	18/23	10/12	7/9											
10					189	129	112	74	51/57	27/34	19/24	19/12	7/9	3/4								
16							179	119	91	67	49/56	24/30	18/23	9/11	5/7	3/4						
25								186	143	104	88	59/61	45/53	22/27	13/16	7/9	4/5					
35									200	146	123	86	75	43/52	25/36	14/18	8/11	4/5				
50										198	167	117	101	71	45/54	26/33	16/22	8/11	5/7			
70											246	172	150	104	80	57/60	34/42	17/22	11/14			
95												233	203	141	109	82	62	32/40	20/25	9/11		
120														256	179	137	103	80	51/57	32/40	14/18	
150															272	190	145	110	85	61	42/48	20/24
185																220	169	127	98	70	56	27/34
240																	205	155	119	85	68	43/46