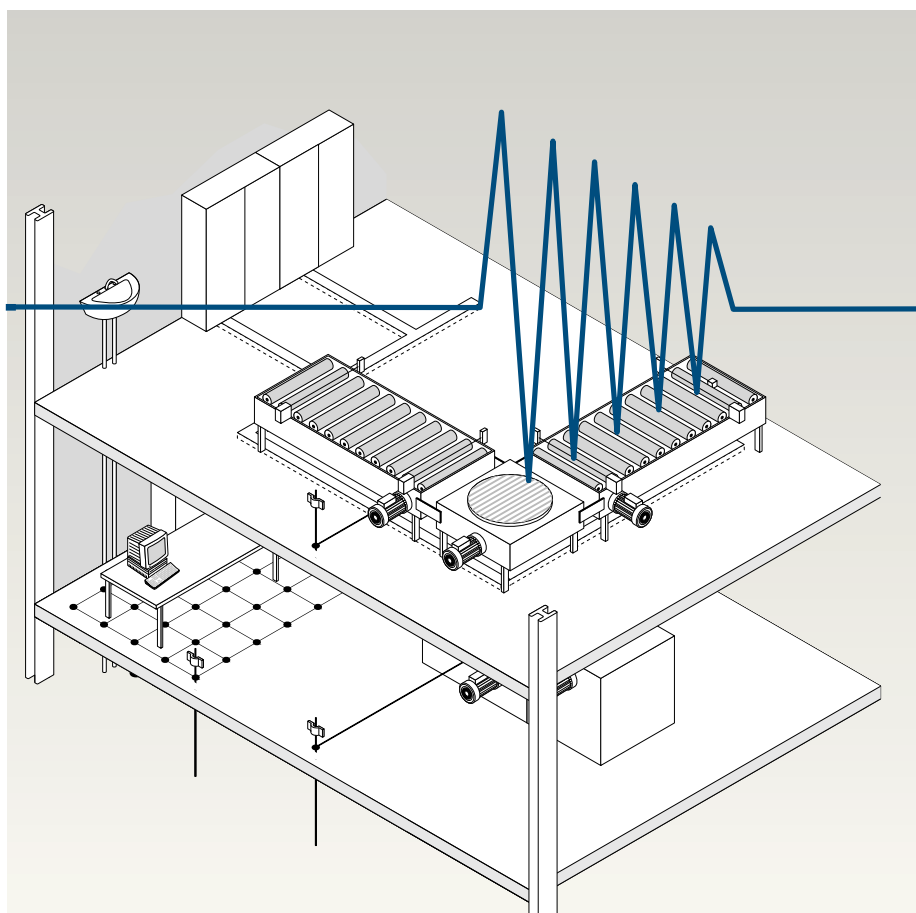


Compatibilidad electromagnética «CEM»

Manual didáctico

2000

Telemecanique



Merlin Gerin
Modicon
Square D
Telemecanique



Compatibilidad electromagnética

«CEM»

Telemecanique

Manual didáctico 1996

Reimpresión: abril 2000



Compatibilidad electromagnética «CEM»

Telemecanique

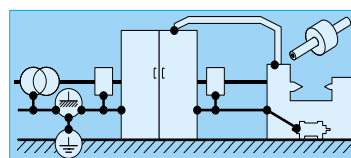
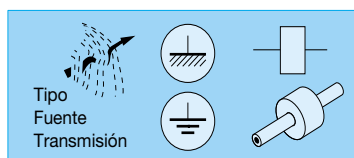
**Manual didáctico 1996
Reimpresión: Abril 2000**

Estos iconos le permitirán saber en qué apartado del manual se encuentra

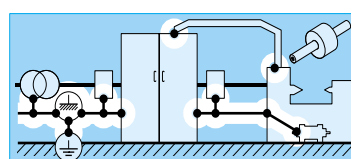
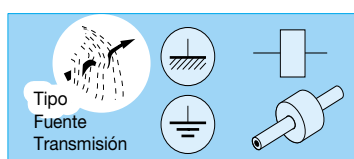
CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 2

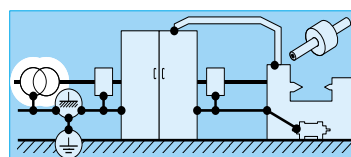
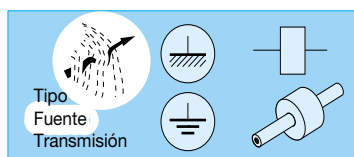
Tipo de perturbaciones



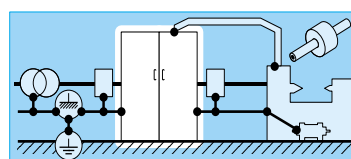
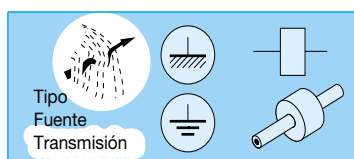
Fuente de las perturbaciones



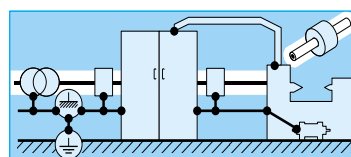
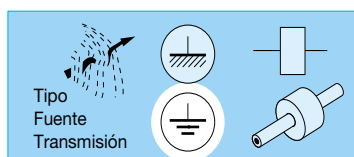
Modo de transmisión de las perturbaciones



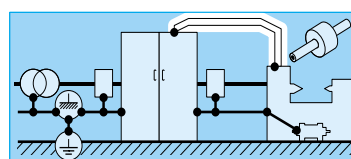
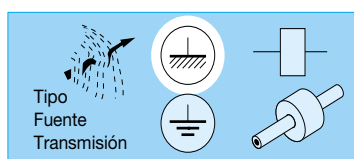
Tierra



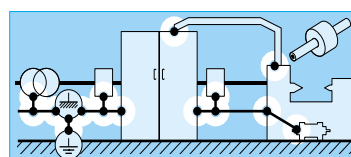
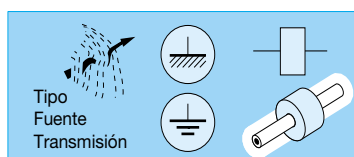
Masas



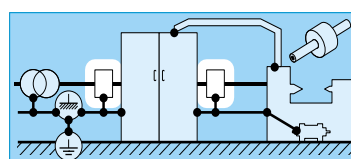
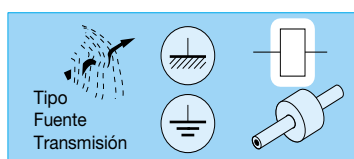
Cables



Filtros



Ferritas



Red de masa

Alimentación

Armario

Cables
Reglas de cableado

Canalización de los cables

Conexiones

Filtros
Limitadores de sobretensión

Ferritas



Índice temático

CAPÍTULO 1

Comprender los fenómenos de compatibilidad electromagnética

Introducción	1- 2
Respuesta en frecuencia de conductores eléctricos	1- 3
Respuesta en frecuencia de inductancias y capacidades	1- 4
Compatibilidad electromagnética de un sistema	1- 5
Compatibilidad electromagnética: «CEM»	1- 5
Campo de aplicación	1- 6
Tipos de perturbaciones electromagnéticas	1- 7
Definición de una perturbación electromagnética	1- 7
Origen de las emisiones electromagnéticas	1- 8
Perturbaciones de baja frecuencia «BF»	1- 9
Perturbaciones de alta frecuencia «AF»	1- 9
Armónicos	1- 10
Transitorios	1- 14
Descargas electrostáticas «DES»	1- 16
Perturbaciones de la red pública de alimentación «BT»	1- 18
Fuentes de perturbaciones electromagnéticas	1- 20
Conmutación de cargas inductivas por contactos secos	1- 20
Conmutación de cargas inductivas por semiconductores	1- 23
Motores eléctricos	1- 25
Alumbrado fluorescente	1- 27
Soldadura por puntos	1- 28
Distribución espectral de las perturbaciones	1- 29
Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas ..	1- 30
Acoplamientos: generalidades	1- 30
Acoplamientos por conducción	1- 32
Acoplamientos por radiación	1- 34
Desacoplamiento de las perturbaciones	1- 38

Índice temático

Tierra	1- 40
Definición general	1- 40
Funciones de la tierra en las instalaciones eléctricas	1- 40
Conexiones eléctricas a tierra	1- 40
Esquema tipo de conexión a tierra de una instalación	1- 41
Tierra y compatibilidad electromagnética	1- 41
Masas	1- 42
Definición general	1- 42
Definición específica para instalaciones eléctricas	1- 42
Masas y seguridad de personas y bienes	1- 42
Masas y compatibilidad electromagnética	1- 43
Bucles entre masas	1- 46
Bucles de masa	1- 47
Evitar la conexión en estrella de las masas a la tierra	1- 48
Cables	1- 49
Respuesta en frecuencia de un conductor	1- 49
Longitud y sección de un conductor	1- 51
Efecto de antena de un conductor	1- 52
Hilo amarillo-verde PE-PEN	1- 53
Interconexión de las masas	1- 53
Filtros	1- 54
Función de un filtro	1- 54
Los diferentes filtros	1- 55
Ferritas	1- 57
Índice alfabético al final del manual	



Índice temático

CAPÍTULO 2

Cómo obtener la compatibilidad electromagnética en la instalación

Introducción	2-2
Planteamiento «CEM»	2-3
Diseño de una instalación nueva o de una ampliación	2-4
Mantenimiento de una instalación o Modificación - actualización del parque	2-5
Mejora de una instalación existente	2-6
Reglas del arte industrial	2-7
Temas relacionados	2-7
Red de masa	2-8
Presentación	2-8
Edificio	2-9
Equipo/máquina	2-11
Armario	2-12
Conexiones eléctricas	2-13
Interconexiones «mallado» de las masas	2-14
Alimentación	2-18
Análisis	2-19
Pliego de condiciones	2-19
Desacoplamiento por transformador	2-19
Regímenes de neutro	2-20
Regímenes de neutro: comportamiento en «CEM»	2-21
Distribución en la instalación	2-24
Conexión a masa de las pantallas de transformadores	2-25
Armario	2-26
Análisis	2-26
Plano de masa de referencia	2-28
Entradas de cables	2-28

Índice temático

Canalización de los cables	2-28
Alumbrado	2-29
Implantación de los componentes	2-29
Cables	2-33
Clases* de señales conducidas	2-32
Elección de los cables	2-32
Rendimiento de los cables en relación con la «CEM»	2-34
Reglas de cableado	2-36
Los 10 preceptos	2-36
Bandejas de cables	2-44
Canaletas	2-44
Conexión a los armarios	2-45
Colocación de los cables	2-46
Conexión de los extremos	2-48
Modo de colocación incorrecto	2-50
Modo de colocación correcto	2-51
Conexiones	2-52
Tipo y longitud de las conexiones	2-52
Realización de una conexión	2-53
Acciones que deben evitarse	2-54
Conexión de los blindajes	2-55
Filtros	2-56
Instalación en el armario	2-56
Montaje de los filtros	2-58
Conexión de los filtros	2-59
Limitadores de sobretensión	2-60
Limitadores de sobretensión o módulos antiparasitarios de bobinas: Elección	2-60
Ferritas	2-62
Índice alfabético al final del manual	



Índice temático

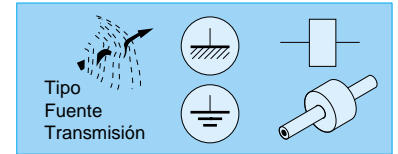
CAPÍTULO 3

Normas, medios y pruebas de «CEM»

Normas	3-2
Introducción	3-2
Existen 3 tipos de normas «CEM»	3-2
Organismos de normalización	3-3
Publicaciones CISPR	3-3
Ejemplos de publicaciones CISPR de aplicación en nuestros productos	3-4
Publicaciones CEI	3-5
Publicaciones CENELEC	3-8
Medios y pruebas de «CEM»	3-9
Índice alfabético al final del manual	



CAPÍTULO 1

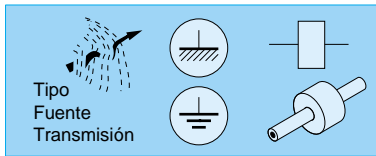


COMPRENDER LOS FENÓMENOS DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

1

2

3



Introducción

1



2



Llamamos la atención del lector experto en electrotecnia convencional sobre el hecho de que, en este capítulo, abordamos nociones relativas a los fenómenos relacionados con tensiones y corrientes de Alta Frecuencia «AF».

Estos fenómenos modifican las características y, por tanto, el comportamiento de nuestras instalaciones eléctricas.

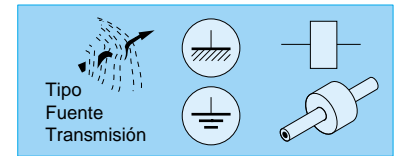
3



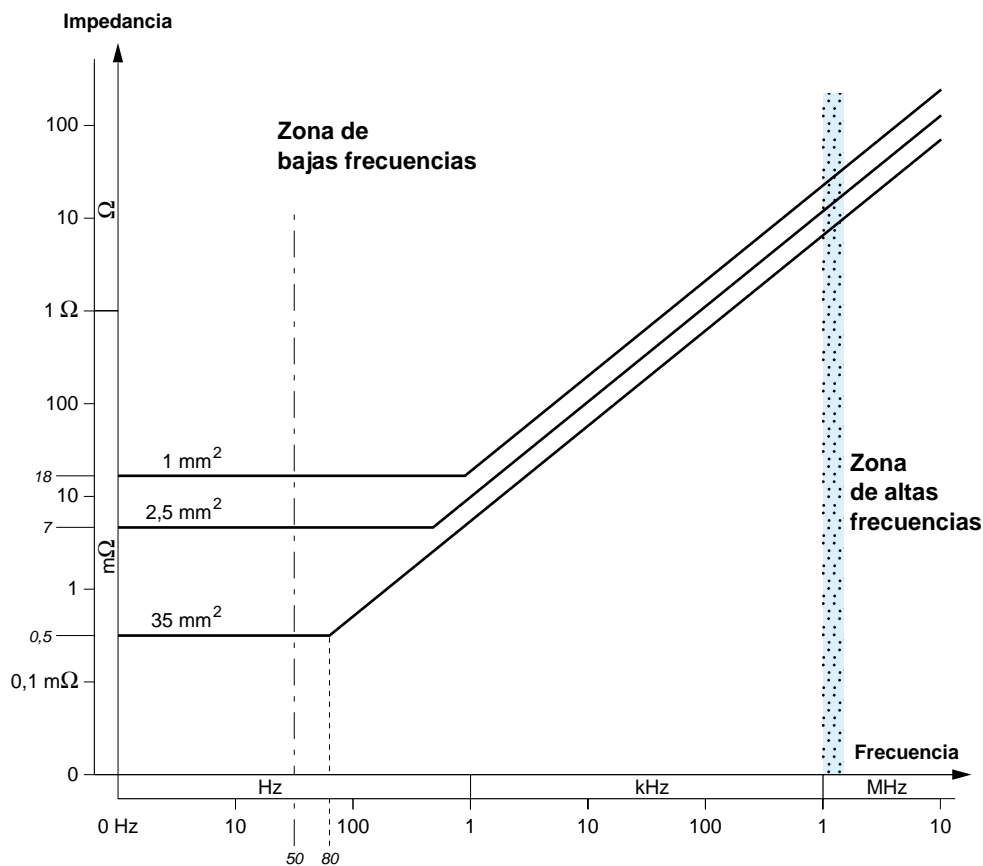
«Controlar» estos fenómenos es esencial si queremos comprender, pero sobre todo resolver, los problemas que encontramos sobre el terreno.

Los siguientes ejemplos ilustran estos objetivos.

Introducción



Respuesta en frecuencia de conductores eléctricos



Valores característicos de la impedancia de un conductor eléctrico de longitud $L = 1$ m

- Vemos que la impedancia del cable aumenta rápidamente con la frecuencia de la señal que circula por él.

$$(\text{impedancia } \Omega) Z = K (\text{cte}) \times f (\text{frecuencia Hz})$$

- En el caso de señales de baja frecuencia «BF» (ejemplo 50-60 Hz)

==> la impedancia del cable es poco significativa

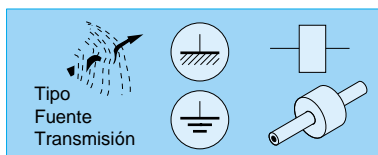
==> la sección del cable es determinante

- En el caso de señales de alta frecuencia «AF» ($F > 5$ MHz)

==> la impedancia del cable es determinante

==> la longitud del cable es determinante

==> la sección del cable es poco significativa



Introducción

Respuesta en frecuencia de inductancias y capacidades

1

- $Z = 2\pi Lf$ En alta frecuencia «AF», la **impedancia** de un cable es muy elevada.

==> La «longitud» de los conductores no es despreciable,
 ==> Deformación de la señal (amplitud, frecuencia...)

2

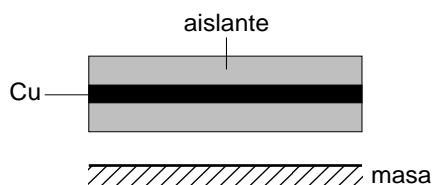
- $Z = \frac{1}{2\pi Cf}$ En alta frecuencia «AF», la **impedancia** de una capacidad parásita es muy baja.

==> Los acoplamientos capacitivos son eficaces
 ==> Aparecen corrientes de fuga en la instalación
 ==> La señal útil se parasita fácilmente

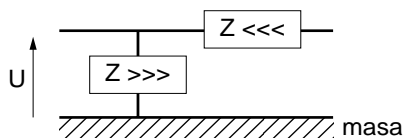
3

$Z = \text{Impedancia}$ $L = \text{Inductancia}$ $C = \text{Capacidad}$ $f = \text{frecuencia de la señal}$

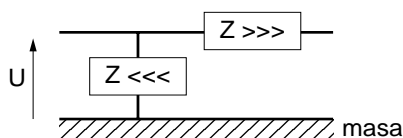
Ejemplo: cable



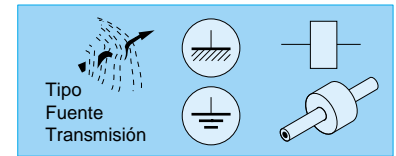
Esquema equivalente en baja frecuencia «BF»



Esquema equivalente en alta frecuencia «AF»

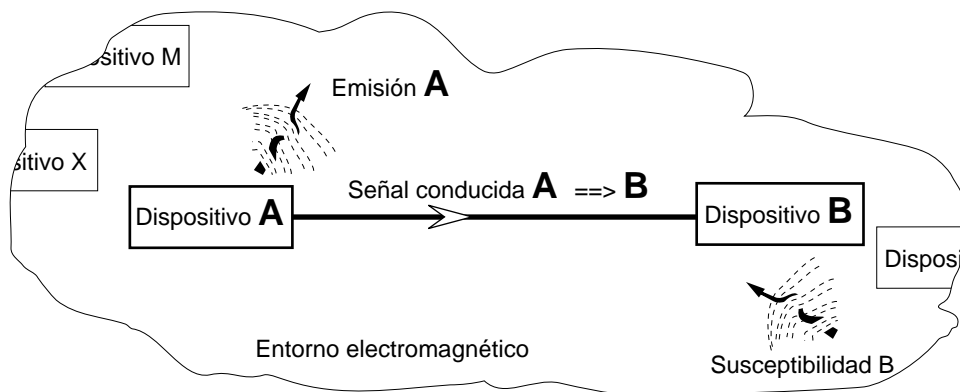


Compatibilidad electromagnética de un sistema



Compatibilidad electromagnética: «CEM»

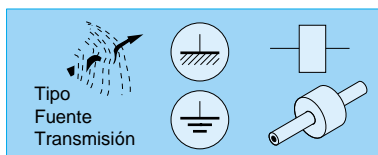
Las Normas definen la compatibilidad electromagnética «CEM» como «la aptitud de un dispositivo, aparato o sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin producir perturbaciones electromagnéticas intolerables para cualquier otro dispositivo situado en el mismo entorno».



1

2

3



Compatibilidad electromagnética de un sistema

Campo de aplicación

1

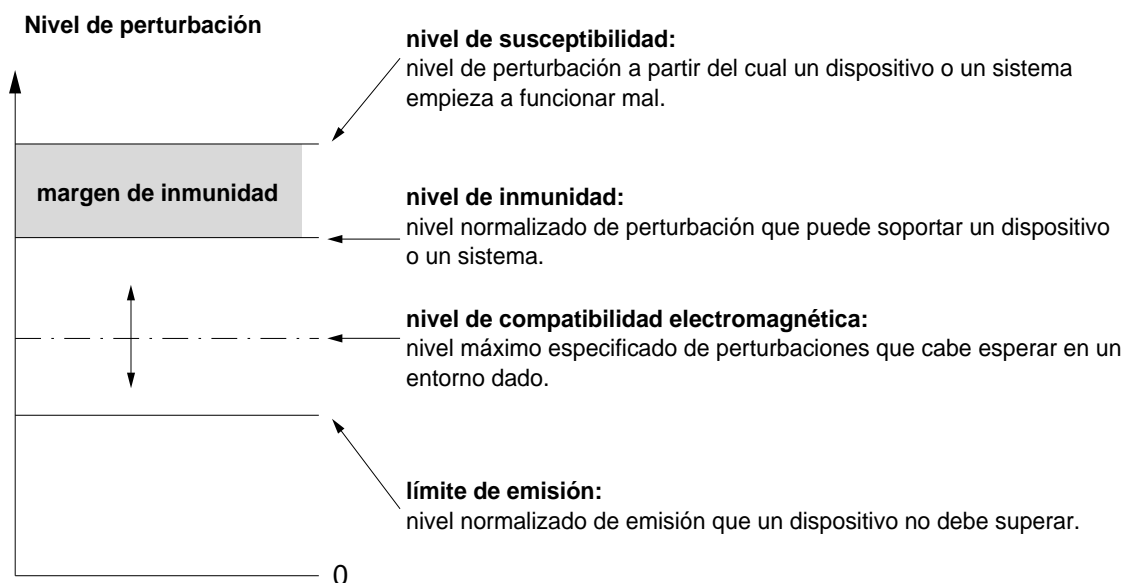
Llamamos sistema a un conjunto de equipos (accionadores, motores, captadores...) que contribuyen a la realización de una función determinada.

Es necesario indicar que, desde un punto de vista electromagnético, el sistema comprende todos los elementos que interactúan, incluidos los dispositivos de desacoplamiento de la red.

Las alimentaciones eléctricas, las conexiones entre los diferentes equipos, los dispositivos asociados y sus alimentaciones eléctricas, forman parte del sistema.

2

3



Esto significa que:

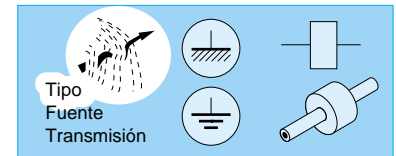


El nivel de inmunidad de cada aparato es tal que su entorno electromagnético no lo perturba.



Su nivel de emisión de perturbaciones debe ser lo suficientemente bajo como para no perturbar los aparatos situados en su entorno electromagnético.

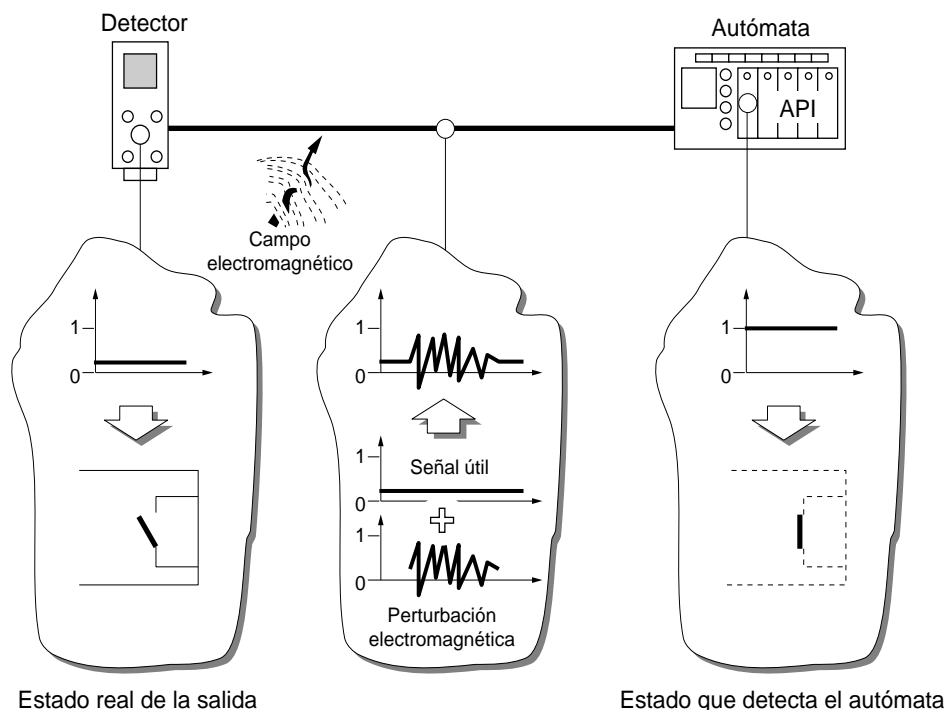
Tipos de perturbaciones electromagnéticas



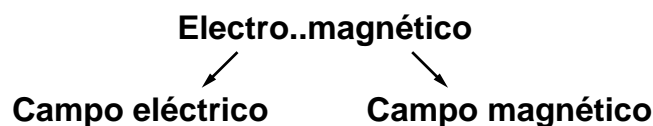
Definición de una perturbación electromagnética

Cualquier fenómeno electromagnético que puede degradar el funcionamiento de un dispositivo, equipo o sistema...

La perturbación electromagnética puede ser un ruido electromagnético, una señal no deseada o una modificación del propio medio de propagación.

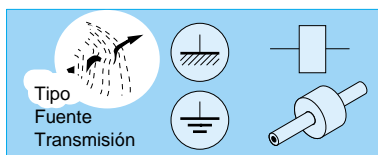


Como su nombre indica, la perturbación electromagnética se compone de un campo eléctrico \vec{E} , generado por una diferencia de potencial, y de un campo magnético \vec{H} , que tiene su origen en la circulación de una corriente I por un conductor.



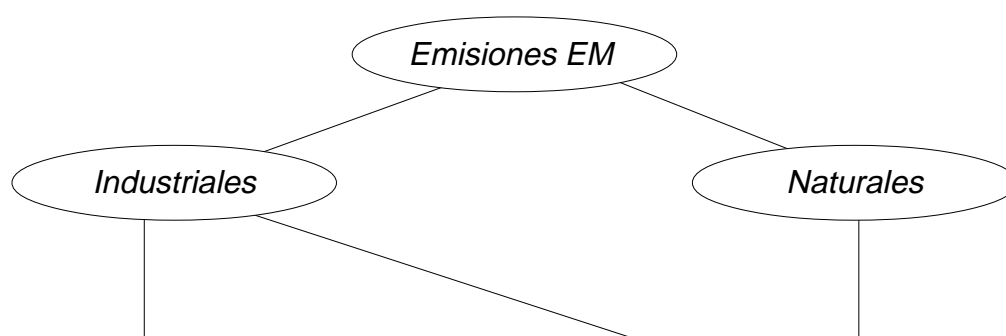
La perturbación electromagnética «parásita» no es más que una señal eléctrica no deseada que se suma a la señal útil.

Esta señal se propaga por conducción, a través de los conductores, y por radiación, a través del aire...



Tipos de perturbaciones electromagnéticas

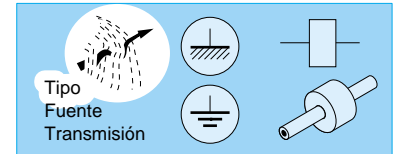
Origen de las emisiones electromagnéticas



Intencionadas	No intencionadas
<ul style="list-style-type: none"> • Emisores de radiodifusión • Emisores de televisión • Walkie Talkie • Teléfonos móviles • Radares • Etc. 	<p>Accidentales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cortocircuitos • Conexión a tierra imprevista <p>Permanentes Proceden del funcionamiento normal de los aparatos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Todos los sistemas de activación y desactivación de una señal eléctrica (contacto seco, transistor de «potencia»...) tales como: <p>Contacto, relé, onduladores, fuente conmutada, sistemas de encendido de motores de explosión, colectores de los motores, reguladores electrónicos...</p> • Lámparas de descarga y fluorescentes • Equipos que utilizan relojes (PC, PLC) • Etc.
<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos para el tratamiento de materiales <ul style="list-style-type: none"> -> Fusión, soldadura con y sin aporte de material... -> Hornos de inducción (secado de la madera...) -> Lámpara de plasma... -> Etc. 	



Tipos de perturbaciones electromagnéticas



Perturbaciones de baja frecuencia «BF»

Zona de frecuencia: $0 \leq \text{Frecuencia} \leq 1 \text{ a } 5 \text{ MHz}$.

Las perturbaciones de baja frecuencia «BF» se producen en la instalación principalmente por CONDUCCIÓN (cables...).

Duración: Generalmente prolongada (algunas decenas de ms).

En algunos casos, el fenómeno puede ser permanente (armónico).

Energía: La energía conducida puede ser elevada y, como resultado, los aparatos interconectados funcionan mal o se averían.

$$(\text{Energía}) W_{(J)} = U_{(V)} \cdot I_{(A)} \cdot t \text{ (seg)}$$

1

2

3

Perturbaciones de alta frecuencia «AF»

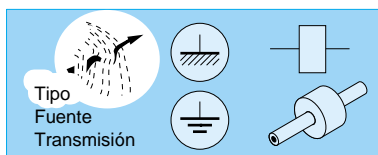
Zona de frecuencia: Frecuencia $\geq 30 \text{ MHz}$.

Las perturbaciones de alta frecuencia «AF» se producen en la instalación principalmente por RADIACIÓN (aire...).

Duración: Impulsos AF. Tiempo de subida del impulso $< 10 \text{ ns}$.

El fenómeno puede ser permanente (rectificadores, relojes...).

Energía: Generalmente, la energía radiada es baja y, como resultado, los dispositivos del entorno funcionan mal.



Tipos de perturbaciones electromagnéticas

Armónicos

1

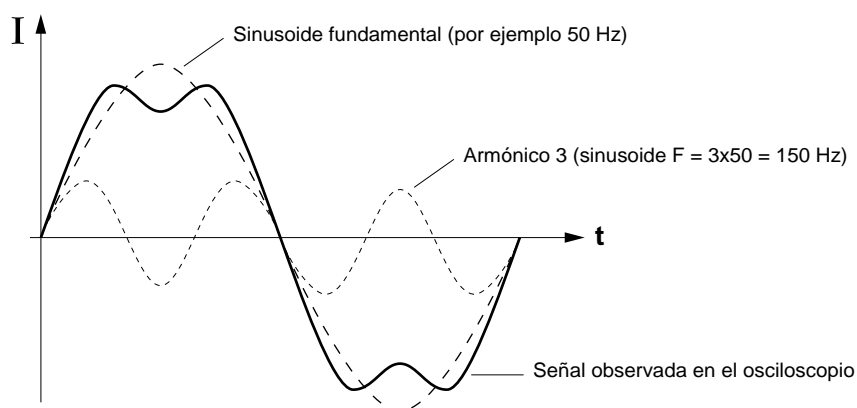
Con independencia de su forma, una señal periódica puede descomponerse matemáticamente en una suma de señales sinusoidales con amplitudes y fases diferentes, cuya frecuencia es un múltiplo entero de la fundamental.

Fundamental: frecuencia más baja y útil de la señal.

Procede de la descomposición de una señal en una serie de FOURIER.

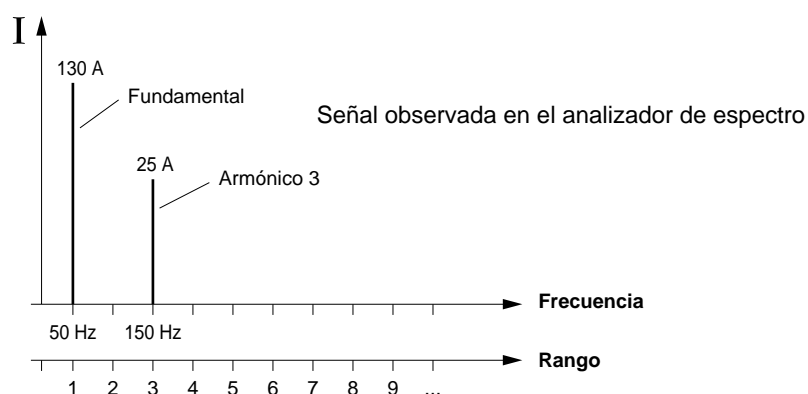
2

Representación temporal



3

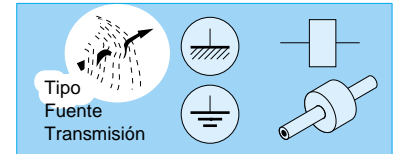
Representación espectral



Las perturbaciones armónicas son perturbaciones de tipo baja frecuencia «BF» y se transmiten principalmente por «conducción».



Tipos de perturbaciones electromagnéticas



Índice de distorsión armónica (IDA)

El índice de distorsión armónica total permite calcular la deformación de una señal cualquiera respecto de la señal sinusoidal fundamental (rango 1).

$$IDA \% = \sqrt{\sum_2^n \left(\frac{A_i}{A_1} \right)^2}$$

A_i = amplitud del armónico de rango

A_1 = amplitud de la fundamental (rango 1)

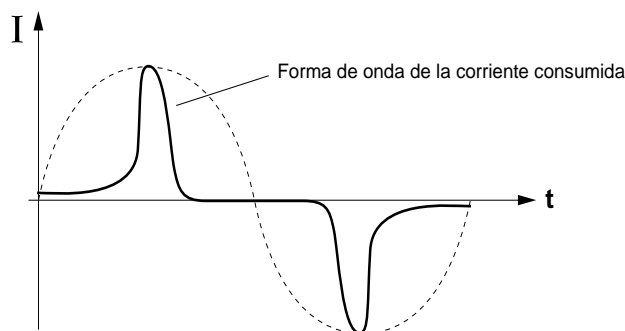
Que puede simplificarse como sigue:

$$IDA \approx \frac{\Sigma \text{Amplitudes de todos los armónicos de rango } > 2}{\text{Amplitud de la fundamental o armónico de rango 1}}$$

El efecto de los armónicos de rango superior a 40 sobre el índice de distorsión armónica es despreciable (pero su efecto sobre las instalaciones no lo es).

Origen

Todas las cargas (receptores) no lineales (alumbrado fluorescente, rectificador...) consumen una corriente no sinusoidal y, por tanto, generan corrientes armónicas.

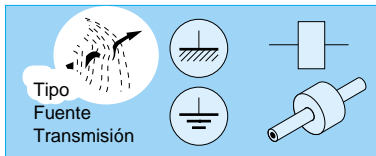


Corriente consumida por un tubo fluorescente

La fuente de alimentación transforma estas corrientes armónicas en tensiones armónicas por medio de su impedancia «Z» interna.

$$U = ZI$$

Esta tensión armónica conducida por la red es la que genera perturbaciones en otros receptores.



Tipos de perturbaciones electromagnéticas

Armónicos (continuación)

1

Principales generadores de armónicos

- onduladores, convertidores directos de corriente continua,
- puentes rectificadores: electrolisis, grupos de soldadura, etc,
- hornos de arco,
- hornos de inducción,
- arrancadores electrónicos,
- variadores de velocidad para motores de corriente continua,
- convertidores de frecuencia para motores asíncronos y síncronos,
- electrodomésticos tales como televisores, lámparas de descarga, tubos fluorescentes, etc,
- circuitos magnéticos saturados (transformadores...).

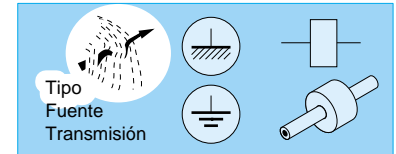
2

3

Este tipo de receptores se utilizan cada vez más y la «potencia» que controlan es cada vez más alta, de ahí la importancia creciente de las perturbaciones.



Tipos de perturbaciones electromagnéticas



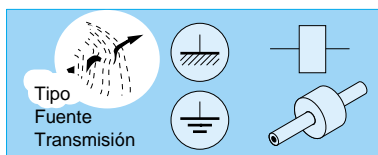
Principales receptores a los que perturban los armónicos

Receptores	Resultado de la perturbación
Motores síncronos:	Calentamientos suplementarios.
Transformadores:	Pérdidas y calentamientos suplementarios. Riesgos de saturación si se producen armónicos pares.
Motores asíncronos:	Calentamientos suplementarios, principalmente en motores de jaula y especialmente en los de aletas. Pares pulsatorios.
Cables:	Aumento de las pérdidas resistivas y dieléctricas.
Ordenadores:	Problemas de funcionamiento provocados, por ejemplo, por los pares pulsatorios de los motores.
Electrónica de «potencia»:	Problemas relacionados con la forma de la onda: conmutación, sincronización, etc.
Condensadores:	Calentamiento, envejecimiento, resonancia del circuito, etc.
Reguladores, relés, contadores: ...	Mediciones falseadas, funcionamiento intempestivo, pérdida de precisión, etc.

1

2

3



Tipos de perturbaciones electromagnéticas

Transitorios

1

Con el término «perturbaciones transitorias» nos referimos a las sobretensiones por impulsos acopladas en los circuitos eléctricos, que se encuentran en forma conducida en los cables de alimentación y en las entradas de control y señal de los equipos eléctricos o electrónicos.

2

Características de los transitorios normalizados (tipo IEC 1000-4-4)

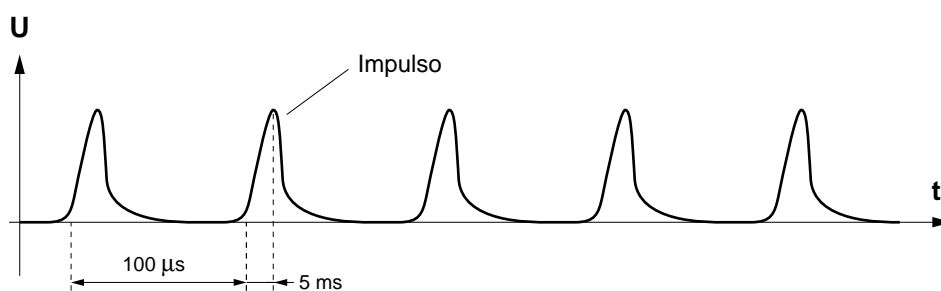
Los elementos significativos de estas perturbaciones son:

- El muy bajo tiempo de subida del impulso $\simeq 5 \text{ ns}$
- La duración del impulso $\simeq 50 \text{ ns}$
- La repetitividad del fenómeno: ráfagas de impulsos durante $\simeq 15 \text{ ms}$
- La frecuencia de repetición: sucesión de ráfagas cada $\simeq 300 \text{ ms}$
- La muy baja energía de los impulsos $\simeq 1 \cdot 10^{-3} \text{ Julios}$
- La muy alta amplitud de la sobretensión $\lesssim 4 \text{ kV}$

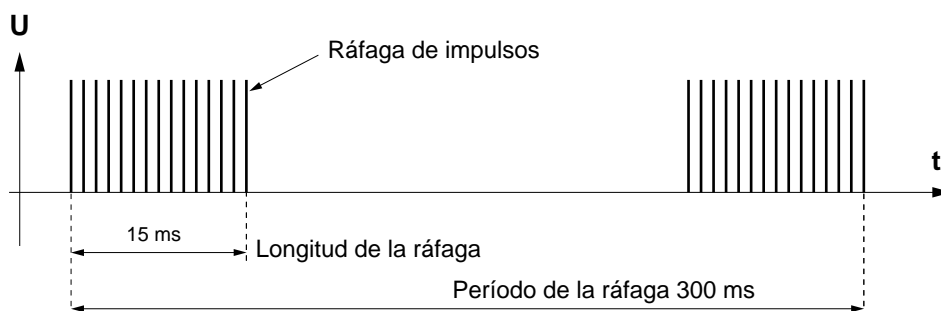
3

Ejemplo:

Representación temporal

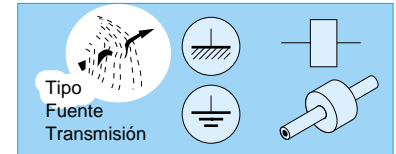


El período de repetición depende del nivel de la tensión de prueba

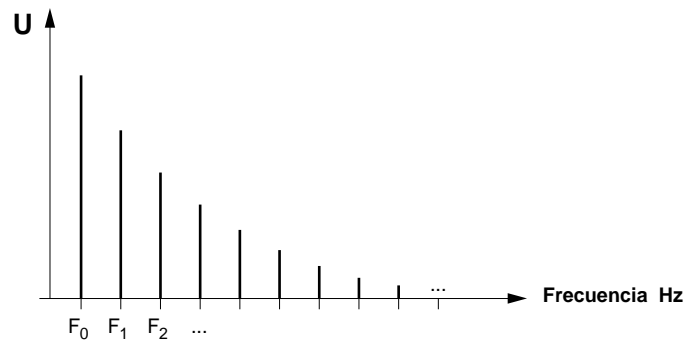




Tipos de perturbaciones electromagnéticas



Representación espectral



1

2

3

Según el tipo de la señal transitoria considerada, el espectro puede ser de banda ancha (0...100 MHz o más).

Origen

Proceden de la conmutación rápida de los «interruptores» mecánicos y, sobre todo, electrónicos...

Cuando se conmuta un «interruptor», la tensión en sus bornas pasa con mucha rapidez de su valor nominal a cero y viceversa, generando variaciones bruscas y elevadas de la tensión (dv/dt) conducida a través de los cables.

Fuentes principales

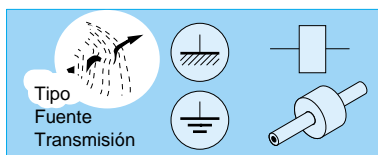


Rayos, fallos de la conexión a tierra, fallos en la conmutación de circuitos inductivos (bobinas de contactores, electroválvulas...).



Las perturbaciones transitorias son perturbaciones de tipo alta frecuencia «AF».

Se transmiten por conducción a través de los cables, pero se acoplan fácilmente a otros cables por radiación.



Tipos de perturbaciones electromagnéticas

Descargas electrostáticas «DES»

Con el término «descarga electrostática» nos referimos a los impulsos de corriente que recorren un objeto cualquiera cuando este objeto conectado a masa entra en contacto (directo o indirecto) con otro cuyo potencial con respecto a la masa del anterior es elevada.

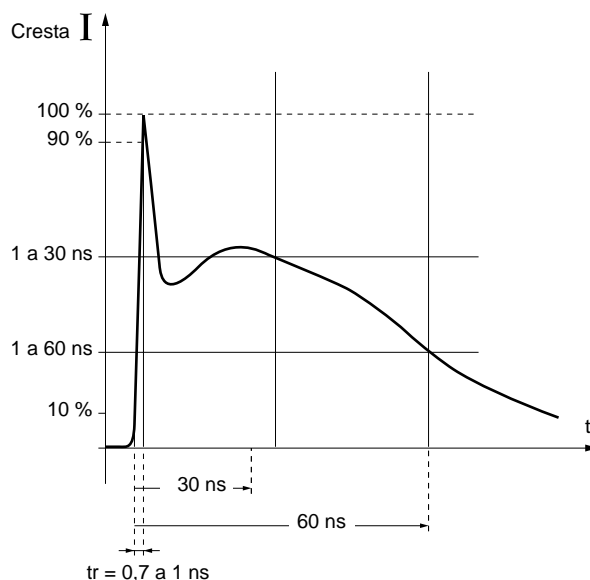
Características de las descargas electrostáticas normalizadas (tipo IEC 1000-4-2)

Los elementos significativos de estas perturbaciones son:

- el muy bajo tiempo de subida del impulso $\simeq 1$ ns
- la duración del impulso $\simeq 60$ ns
- el carácter aislado del fenómeno: 1 descarga
- la muy alta tensión que origina la descarga (2...15 kV...)

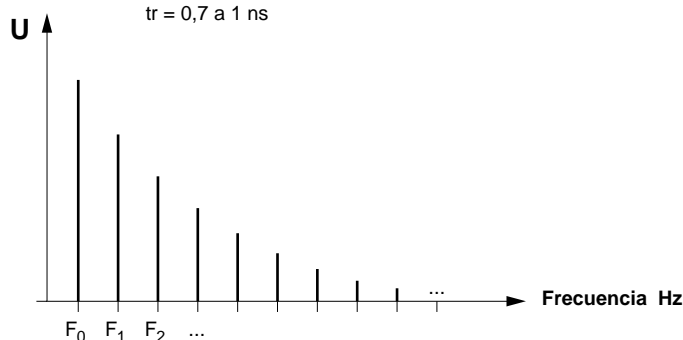
Ejemplo:

Representación temporal

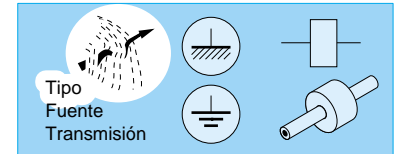


Representación espectral

Espectro de banda ancha (0...1000 MHz...)



Tipos de perturbaciones electromagnéticas



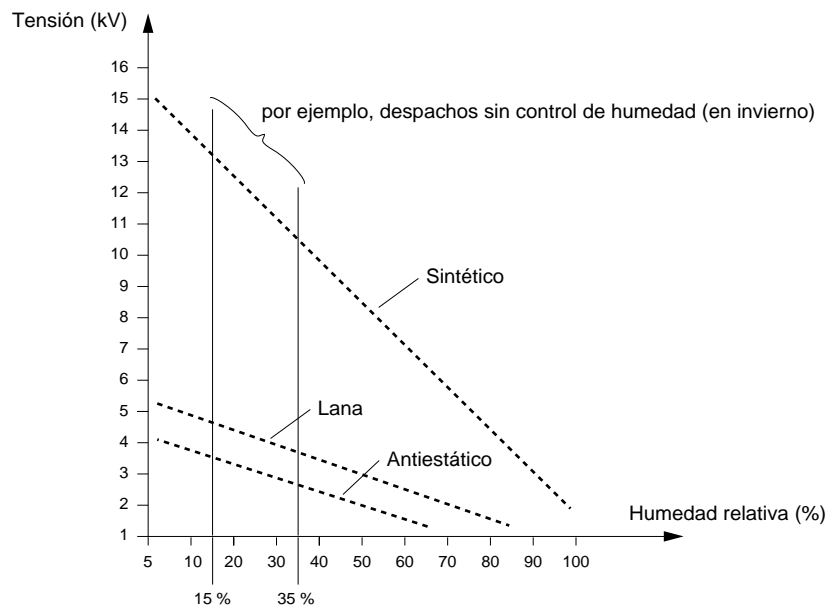
Origen

Las cargas electrostáticas proceden del intercambio de electrones entre los materiales o entre el cuerpo humano y los materiales. La combinación de materiales sintéticos (plásticos, tela...) y un ambiente seco favorece este fenómeno.

Fuentes principales

El fenómeno se produce, por ejemplo, cuando una persona camina sobre suelo de moqueta (intercambio de electrones entre el cuerpo y el tejido), debido al frotamiento de la ropa con la silla en la que está sentado el operario...

Las descargas pueden producirse entre una persona y un objeto o entre dos objetos cargados...



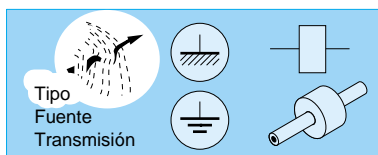
Valores máximos de tensión electrostática con que se pueden cargar los operarios

Efectos

Cuando la tensión electrostática acumulada en un operario se descarga en un dispositivo, éste puede funcionar mal o incluso estropearse.



Las perturbaciones que generan los distintos tipos de descargas electrostáticas son perturbaciones de tipo alta frecuencia «AF» que se producen por conducción, pero se acoplan fácilmente a otros dispositivos por radiación.



Tipos de perturbaciones electromagnéticas

Perturbaciones de la red pública de alimentación «BT»

Tensión: variaciones, cortes, caídas, sobretensiones

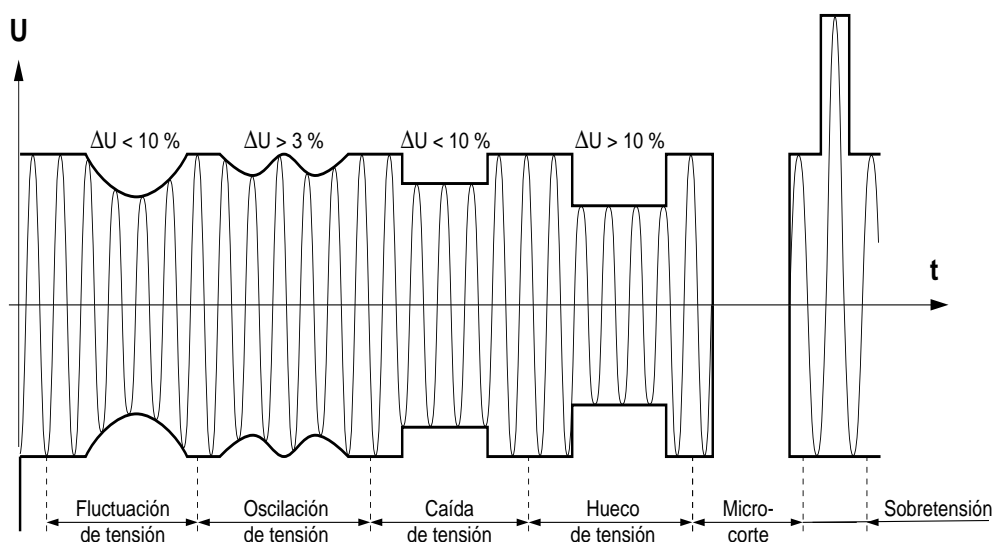
Frecuencia: variaciones

Forma de onda: armónicos, transitorios, corrientes portadoras

Fases: desequilibrio

Potencia: cortocircuitos, sobrecargas (efectos sobre la tensión)

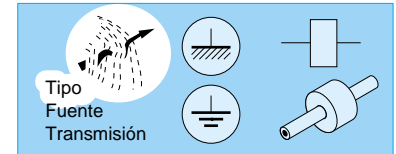
Principalmente son perturbaciones de tipo baja frecuencia «BF»



Ejemplos de perturbaciones en la red de baja tensión «BT»



Tipos de perturbaciones electromagnéticas

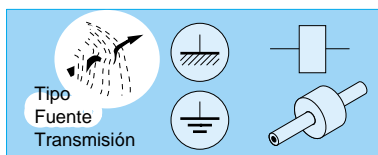


Designación normal	Amplitud de la variación	Duración del fallo	Origen	Consecuencias
Fluctuación de tensión	$\Delta U < 10\%$ (variación lenta) CEI 38 CEI 1000-3-3 CEI 1000-3-5		<ul style="list-style-type: none"> Hornos de arco Grupos de soldadura Cargas importantes con arranques frecuentes (compresores, ascensores...) 	<ul style="list-style-type: none"> No tiene consecuencias en los equipos
Oscilación de tensión	$\Delta U > 3\%$			<ul style="list-style-type: none"> Intermitencia del alumbrado
Caída de tensión	$\Delta U < 10\%$ (variación rápida)		<ul style="list-style-type: none"> Conmutación de cargas importantes (arranque de motores grandes, calderas eléctricas, hornos eléctricos...) 	
Hueco de tensión	$10\% \leq \Delta U \leq 100$ CEI 1000-2-2	10...500 ms el corte y el hueco son impulsionales: < 10 ms cortos: 10 ms a 300 ms	<p>Corriente llamada a la conexión de:</p> <ul style="list-style-type: none"> motores grandes y «arranque al vuelo» grandes transformadores grandes condensadores de cabecera <p>Cortocircuito en la red de distribución principal BT (viento, tormenta, fallo abonado vecino) (corte provocado por un dispositivo de protección con reenganche)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Caída de relés rápidos que puede provocar graves problemas en el proceso Fallo de la alimentación (si $\Delta U > 30\%$) Fallo en el frenado de los motores Garantizar una buena inmunidad, sobre todo en los autómatas, los captadores... Pérdida de par de motores asíncronos
Microcortes	$\Delta U = 100\%$	cortos: 10 ms a 1 min largos: 0,3 s a 1 min permanentes: > 1 min	<p>Corriente llamada a la conexión de:</p> <ul style="list-style-type: none"> motores grandes y «arranque al vuelo» grandes transformadores grandes condensadores de cabecera <p>si $t \leq 10$ ms \rightarrow fenómeno transitorio</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fallo de la alimentación
Sobre-tensiones	$\Delta U > 10\%$	Impulsionales	<ul style="list-style-type: none"> Accidental (errores de conexión) Maniobra en la red de MT 	<ul style="list-style-type: none"> Fallo de los componentes electrónicos Es imprescindible tenerlas en cuenta al diseñar e instalar aparatos electrónicos Generalmente no tiene consecuencias para los componentes eléctricos tradicionales

1

2

3



Fuentes de perturbaciones electromagnéticas

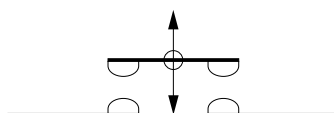
Conmutación de cargas inductivas por contactos secos

Aparatos de conmutación por contactos secos

1

Con este término nos referimos a todos los aparatos cuyo objetivo es cerrar o abrir uno o varios circuitos eléctricos por medio de contactos separables.

2



3

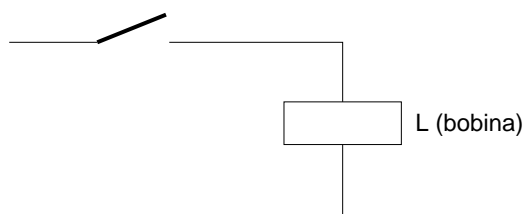
Origen de las perturbaciones

El comportamiento del contacto eléctrico y las perturbaciones generadas dependen del tipo de la carga.

Comportamiento con carga resistiva

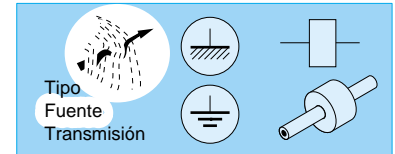
La conmutación de una carga resistiva por medio de un contacto seco no genera ninguna, o casi ninguna, perturbación.

Comportamiento con carga inductiva



Ejemplo de carga inductiva:
Electroimán de contactor, de electroválvula, de freno...

Fuentes de perturbaciones electromagnéticas



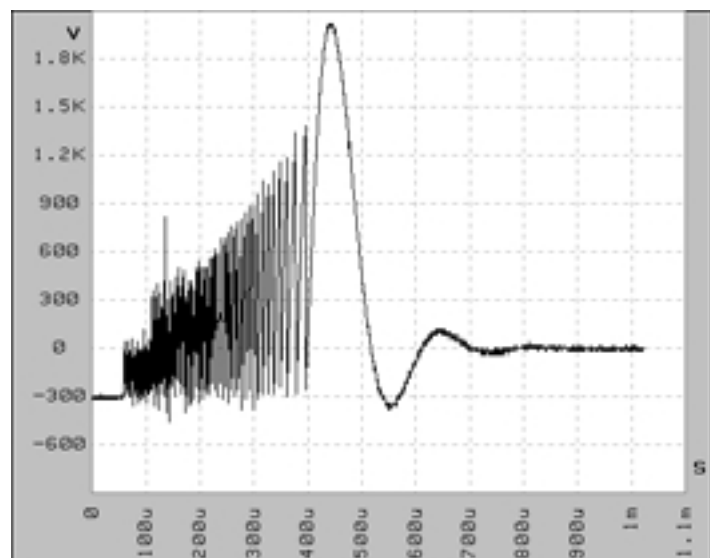
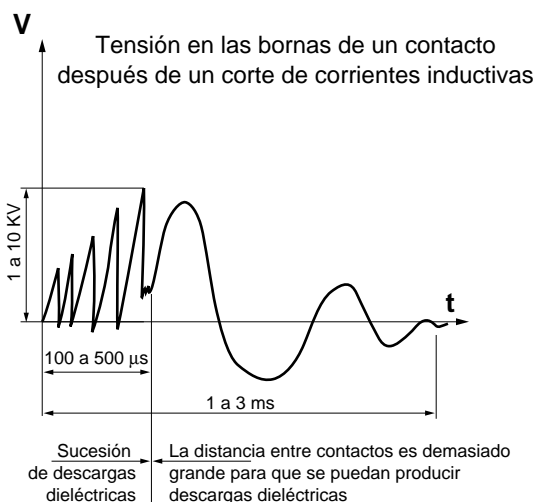
Régimen estable

En régimen estable, un contacto que «alimenta» una carga inductiva no genera perturbaciones.

Conmutación de un circuito inductivo

La apertura de un circuito inductivo genera, en las bornas del contacto:

- una sobretensión importante que produce una serie de descargas dieléctricas, seguidas ocasionalmente de un régimen de arco,
- una oscilación amortiguada de la tensión a la frecuencia propia del circuito constituido por la carga inductiva y su línea de control.



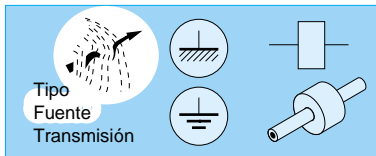
Apertura de contactor 9 A~ sin limitador de cresta

Aplicación en circuitos de potencia

Al accionar interruptores, contactores, disyuntores... en circuitos de potencia, se generan regímenes transitorios de perturbación.

Ejemplo: conmutación de condensadores (batería de compensación de $\cos \Phi$), activación de un disyuntor por cortocircuito...

A pesar de la amplitud de las corrientes conmutadas, los fenómenos que generan estas maniobras suelen ser poco contaminantes. Las energías implicadas son elevadas pero se caracterizan por tener frentes de pendiente baja (efecto de filtrado de los cables, constante de tiempo de la carga elevada...).



Fuentes de perturbaciones electromagnéticas

Perturbaciones emitidas

Las sobretensiones varían entre 1 y 10 kV y aumentan con la velocidad de apertura del contacto. Dependen de la energía almacenada en el circuito controlado (cables, componentes...).

Ejemplo: 50 mJ en el caso de un contactor pequeño en corriente alterna
0,2 J en el caso de un contactor pequeño en corriente continua
10 J en el caso de un contactor grande en corriente continua

El espectro de frecuencia de las perturbaciones emitidas (frentes de descarga) está comprendido entre algunos kHz y varios MHz.

1

Efectos sobre las instalaciones

Estas perturbaciones no tienen ningún efecto sobre los componentes electromecánicos tradicionales.

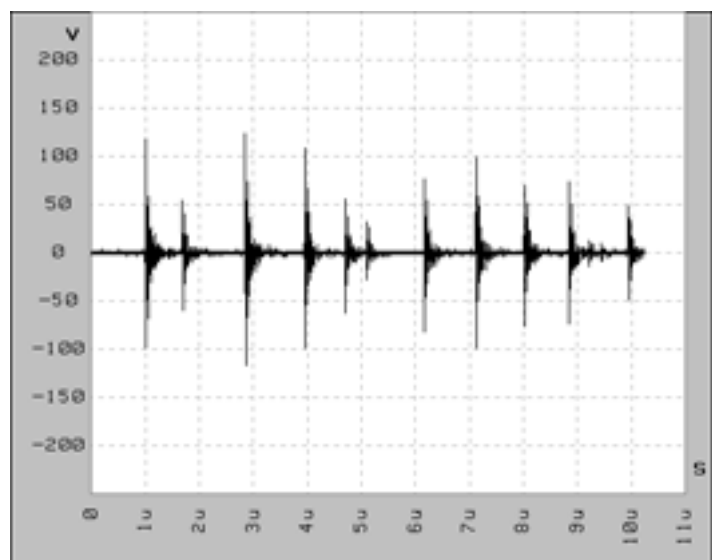
Pero pueden perturbar algunos circuitos electrónicos:

3

por conducción

Sucesión de transitorios superpuestos a la corriente de alimentación. Puede provocar el accionamiento imprevisto de tiristores, triacs... y la conmutación o la destrucción de entradas sensibles.

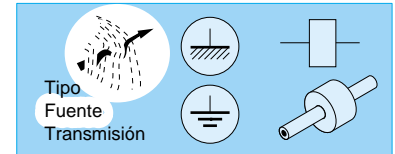
Apertura de contactor 9 A ~ desconexión red



por radiación

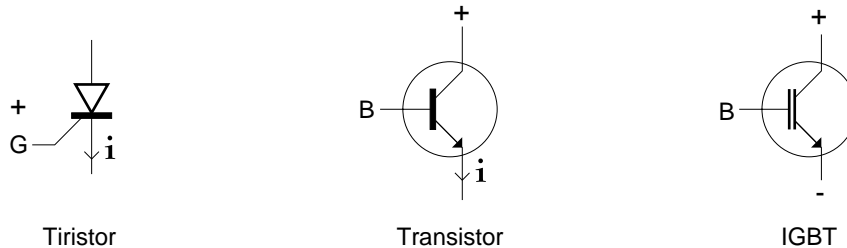
Estas perturbaciones de las altas frecuencias «AF» pueden perturbar los circuitos vecinos (cables colocados en la misma canaleta, pistas de tarjetas electrónicas...) por radiación. Además, pueden perturbar los aparatos de telecomunicación próximos (televisión, radio, circuito de medida...).

Fuentes de perturbaciones electromagnéticas



Conmutación de cargas inductivas por semiconductores

Con este término nos referimos a todos los componentes electrónicos que establecen y/o interrumpen la corriente en un circuito eléctrico.

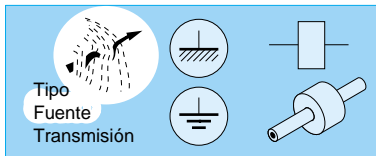


IGBT = Transistor Bipolar de Puerta Aislada

De alguna manera, se trata de «interruptores» muy rápidos que se «abrirán» o «cerrarán» en función de la orden enviada al accionador del interruptor, a saber, la Base «B» o la Puerta «G» según el dispositivo.

Rendimientos típicos de los dispositivos

Valores indicativos	Tiristor	Transistor	IGBT
Resistencia en tensión (máx)	1,6 kV	1,2 kV	1,2 kV
I máx en estado pasante	1,5 kA	500 A (conmutados)	400 A (conmutados)
Frecuencia de conmutación	3 kHz	5 kHz	10-20 kHz



Fuentes de perturbaciones electromagnéticas

Conmutación de cargas inductivas por semiconductores (continuación)

1

Caso práctico

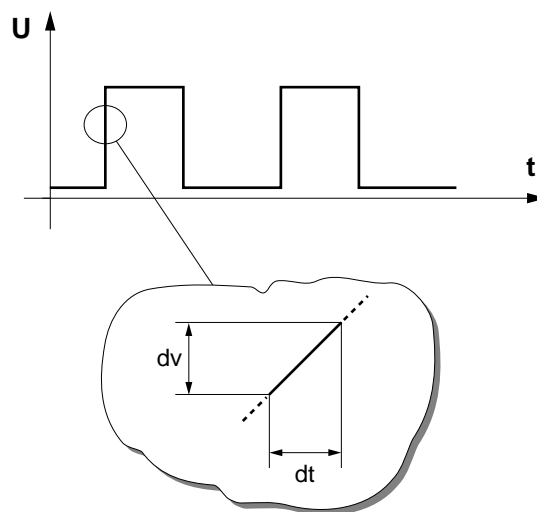
Fenómeno observado

El establecimiento y la apertura de un circuito eléctrico se traducen en una variación brusca de la corriente o de la tensión en las bornas del circuito controlado.

2

Como consecuencia se producen elevados gradientes de tensión (dv/dt) en las bornas del circuito, que serán la causa de las perturbaciones.

3



Señales emitidas:

Las perturbaciones generadas son de dos tipos:

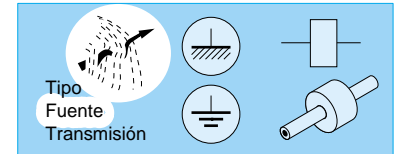
- Armónicos de baja frecuencia «BF»: 10 kHz...
- Transitorios de baja y de alta frecuencia «AF»: hasta 30 MHz...

Y se transmiten tanto por conducción como por radiación.

Efectos

Parasitado de aparatos sensibles tales como: sistemas de medida, receptores de radio, teléfonos, captadores, reguladores...

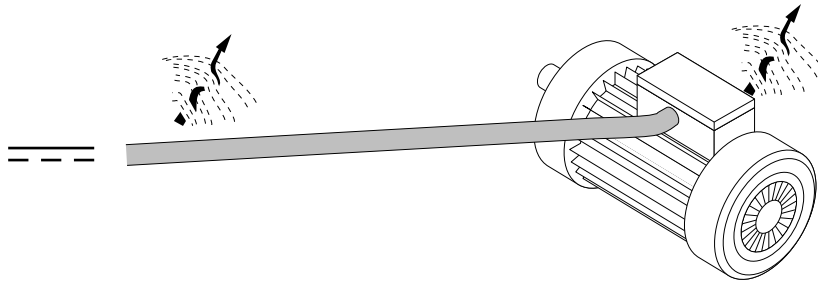
Fuentes de perturbaciones electromagnéticas



Motores eléctricos

Los motores eléctricos constituyen una fuente importante de perturbaciones conducidas y/o radiadas.

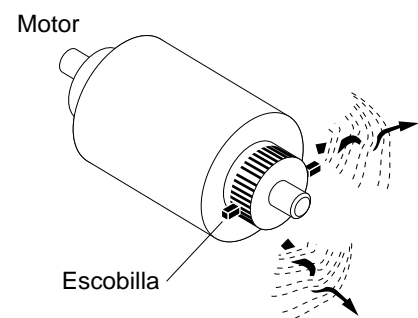
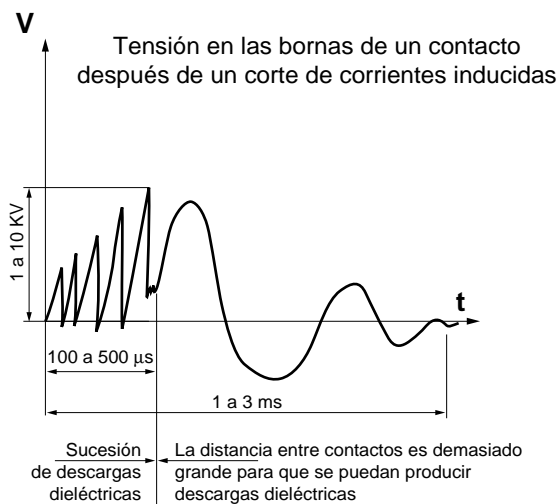
Ejemplo: motor de corriente continua con colector



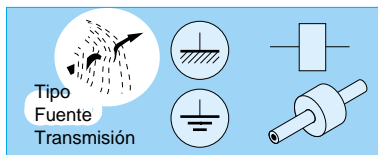
Fenómenos observados

En funcionamiento normal (marcha continua) las perturbaciones dependerán del tipo de motor que se utilice.

- Los motores de inducción (asíncronos...) son poco perturbadores.
- Los motores con escobillas y colector generan perturbaciones de tipo «transitorios» con frentes rápidos (dv/dt elevada) que se producen en la fase de conmutación de las escobillas.



conmutación corriente continua colector



Fuentes de perturbaciones electromagnéticas

Motores eléctricos (continuación)

1

No obstante, los motores asíncronos también pueden generar perturbaciones:

- Saturación magnética de los motores.

La carga deja de ser lineal y genera armónicos.

2

- Arranque directo del motor.

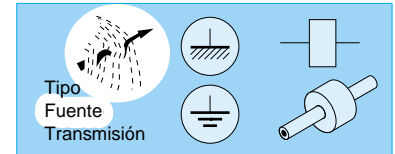
La elevada llamada de corriente resultante (6 a 10 I nominal) puede producir una caída de tensión en la red de alimentación.

3

Señales emitidas:

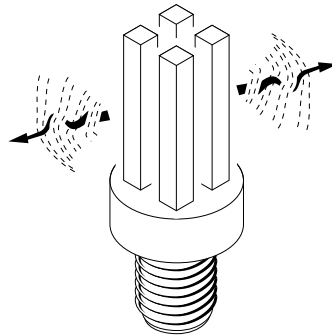
- armónicos de Baja Frecuencia
- perturbaciones en la red de alimentación (caída de tensión...)
- perturbaciones transitorias de baja y de alta frecuencia «AF», incluso de más de 100 MHz
- descargas electrostáticas provocadas por la acumulación de energía electrostática que resulta del frotamiento entre materiales de naturaleza diferente.

Fuentes de perturbaciones electromagnéticas



Alumbrado fluorescente

Con este término nos referimos a todas las fuentes de alumbrado que funcionan según el principio de un arco eléctrico que se enciende y se apaga alternativamente.



Origen

La corriente absorbida por los tubos fluorescentes no es sinusoidal, ni siquiera en montaje doble y compensado.

Perturbaciones generadas

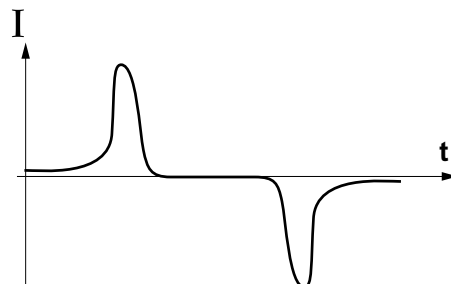
Este tipo de corriente lleva muchos armónicos, especialmente de rango 3 ($3 \times 50 \text{ Hz}$ o $3 \times 60 \text{ Hz}$...)

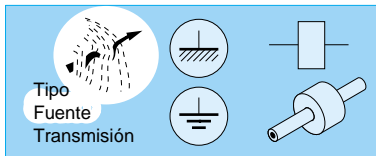
Por lo tanto, se generan perturbaciones en un espectro de frecuencias muy amplio (0 a 100 KHz, incluso 5 MHz).



Estas perturbaciones son principalmente de tipo baja frecuencia «BF» por lo que se acoplan a la instalación por conducción.

Forma de la corriente absorbida





Fuentes de perturbaciones electromagnéticas

Soldadura por puntos

1

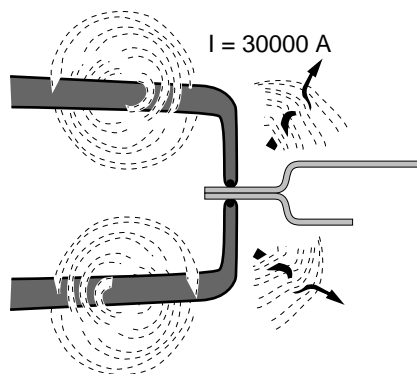
Grupos y pinzas eléctricos para soldar.

2

Principio

La soldadura se efectúa por puntos, haciendo pasar localmente una corriente elevada ($\simeq 30000$ A) a través de las piezas que se quieren soldar. El calentamiento que genera esta corriente es tan elevado que la soldadura se produce por fusión.

3

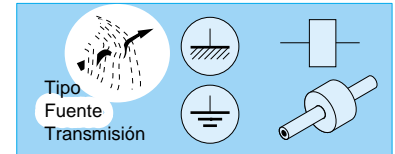


Perturbaciones generadas

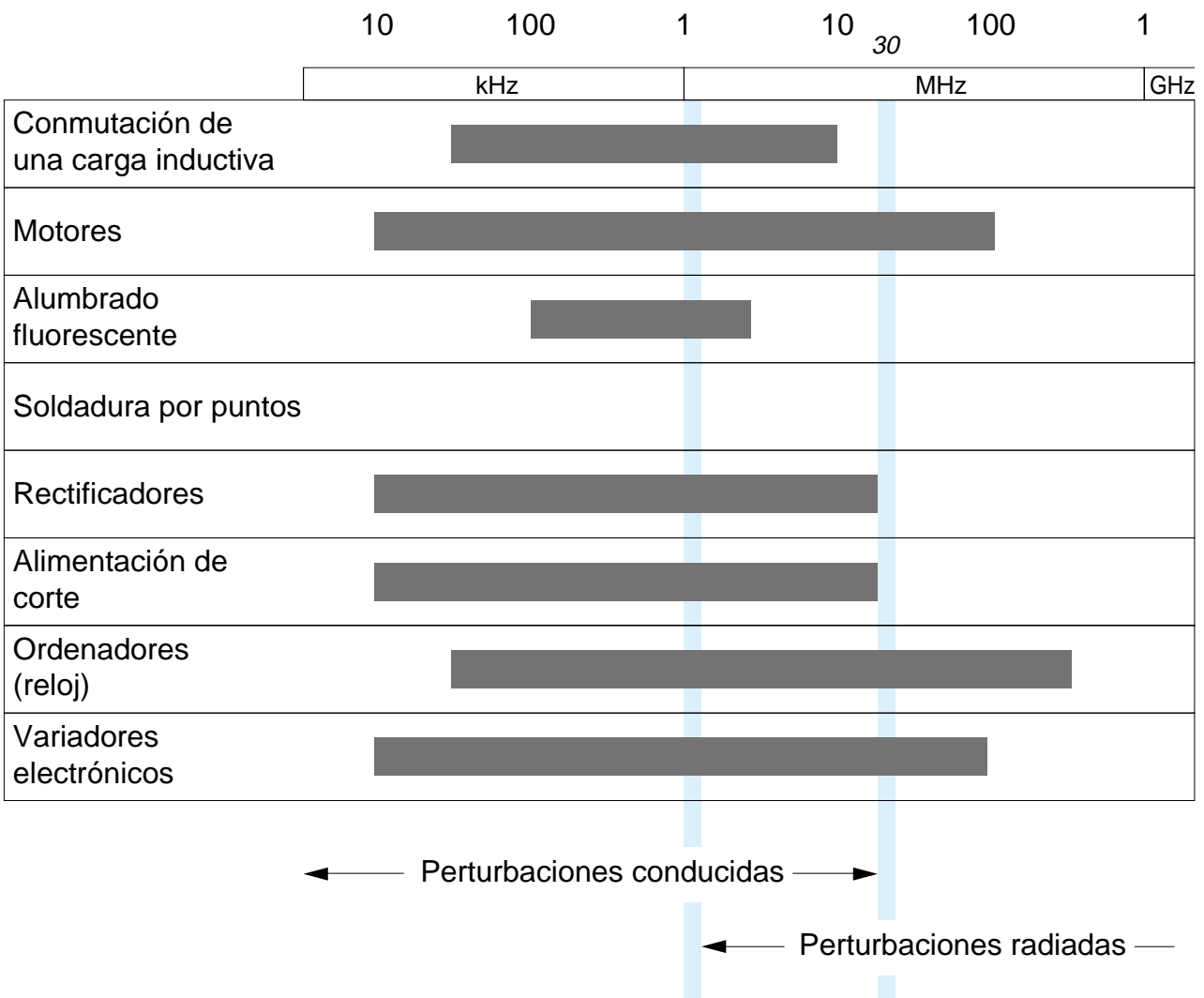
- tensiones armónicas 200...20 KHz
- radiación de un potente campo magnético que puede provocar un mal funcionamiento de los detectores de proximidad inductivos.



Fuentes de perturbaciones electromagnéticas



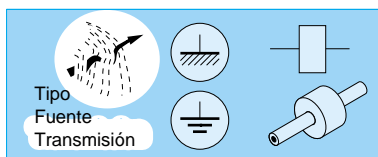
Distribución espectral de las perturbaciones



1

2

3



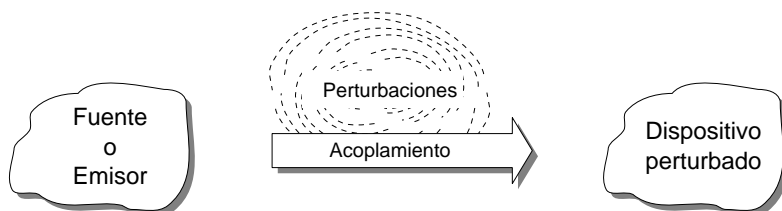
Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas

Para analizar correctamente los fenómenos de «CEM» es esencial identificar el modo de transmisión de las perturbaciones.

Acoplamientos: generalidades

1

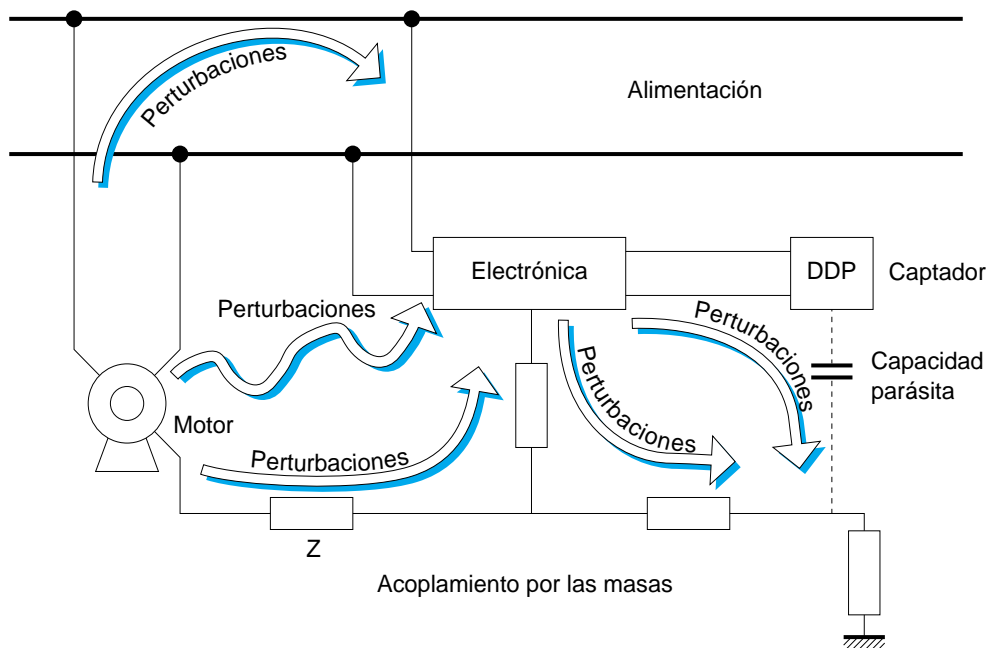
Los acoplamientos constituyen el mecanismo mediante el cual las perturbaciones «CEM» afectan a los dispositivos.



2

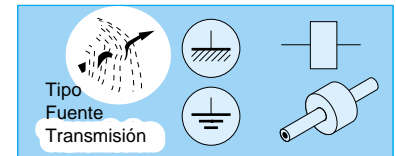
3

Ejemplo de instalación:





Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas



1

Cuando un equipo «sensible» está alimentado por una fuente de energía que alimenta varios equipos (red de distribución...), las perturbaciones generadas por los equipos de «potencia» (motores, hornos...) le son transmitidas por las líneas de alimentación comunes.

Existe otro tipo de acoplamiento por conducción en los circuitos de masa y de tierra.

En efecto, todos los conductores de masa electrónica (tarjeta...) están conectados a la masa y a la tierra de la instalación a través de «conductores» eléctricos de impedancia «Z» no nula.

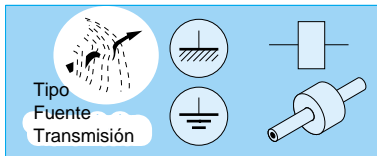
2

Como consecuencia, se produce una diferencia de potencial entre la tierra y las masas y entre las propias masas.

Estas diferencias de potencial provocan la circulación de corrientes perturbadoras por los diferentes circuitos...

También pueden producirse acoplamientos por radiación, cuyo resultado es el mal funcionamiento de los aparatos cercanos.

3



Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas

Acoplamientos por conducción

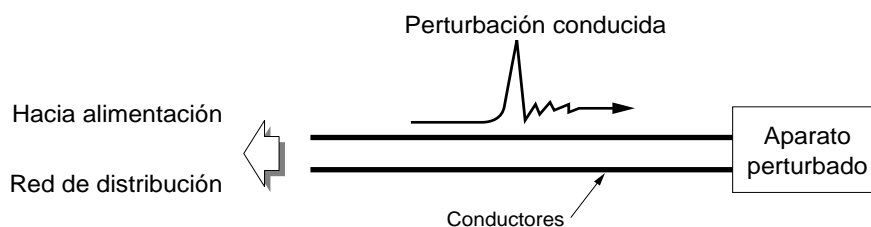
1

Las perturbaciones conducidas se transmiten a través de los «conductores» eléctricos. Por lo tanto, pueden transmitirse por:

- líneas de alimentación internas o red de distribución,
- cables de control,
- cables de transmisión de datos, bus...,
- cables de masas (PE - PEN...),
- tierra...,
- capacidades parásitas...

2

3

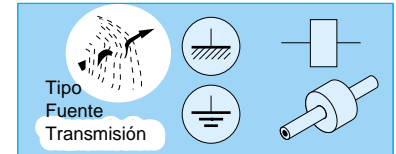


Principio

Por una conexión bifilar (2 hilos), una señal (útil o parásita) puede desplazarse de dos formas:

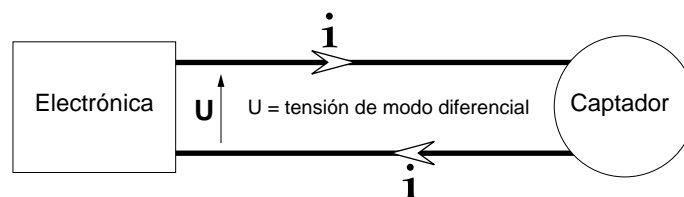
- modo diferencial
- modo común

Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas



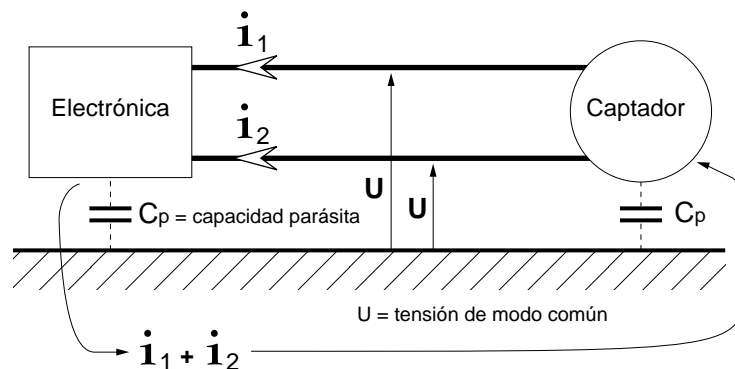
Modo diferencial

La corriente de modo diferencial (o modo serie) se propaga por uno de los conductores, pasa a través del aparato provocando, o no, un fallo en su funcionamiento y regresa por otro conductor.

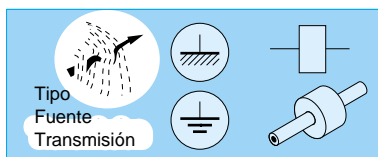


Modo común

La corriente de modo común se propaga por todos los conductores en el mismo sentido y regresa a través de las capacidades parásitas.



Las perturbaciones de modo común representan el principal problema de la «CEM» ya que su trayectoria de propagación es difícil de identificar.

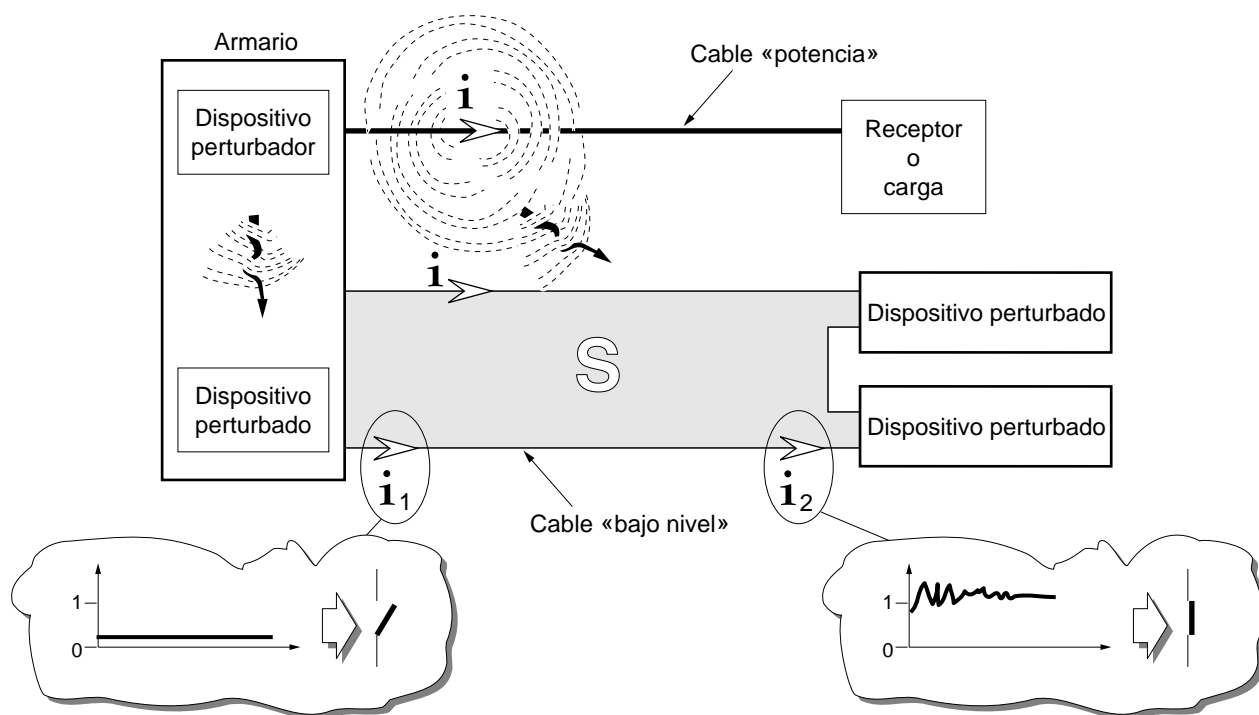


Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas

Acoplamientos por radiación

Las perturbaciones radiadas se transmiten por el medio ambiente (aire...)

Ejemplo de aplicación:

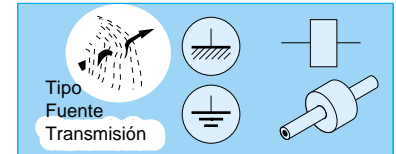


Principio

Según la naturaleza de la perturbación emitida, los acoplamientos pueden ser de dos tipos:

- acoplamiento inductivo
- acoplamiento capacitivo

Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas

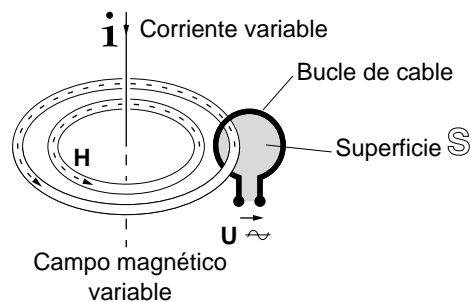


Acoplamiento inductivo

Una corriente **I** que circula por un conductor eléctrico genera un campo magnético que irradia alrededor del conductor. Es evidente que la corriente circulante debe ser alta... principalmente la generan los circuitos de «potencia» (que conducen corrientes elevadas) > 10 A.

Siempre que un conductor eléctrico forma un bucle de superficie **S** bañado en un campo magnético variable aparece una tensión **U** alternativa en sus bornas.

Esquema básico



Acoplamiento capacitivo

Siempre existe una capacidad no nula entre un circuito eléctrico (cable, componente) y otro circuito cercano (conductor, masa...).

Cualquier diferencia de potencial variable entre estos dos circuitos genera una corriente eléctrica que circula de uno hacia otro a través del aislante (el aire...) formando un condensador llamado capacidad parásita.

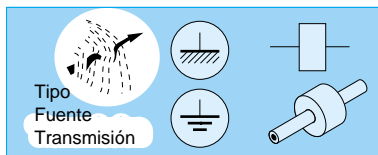
La corriente parásita aumenta con la frecuencia de la tensión en las bornas de la capacidad parásita.

$$I = \frac{U}{Z}$$

$$Z = \frac{1}{C\omega}$$

$$I = \underbrace{UC}_{k} 2\pi f$$

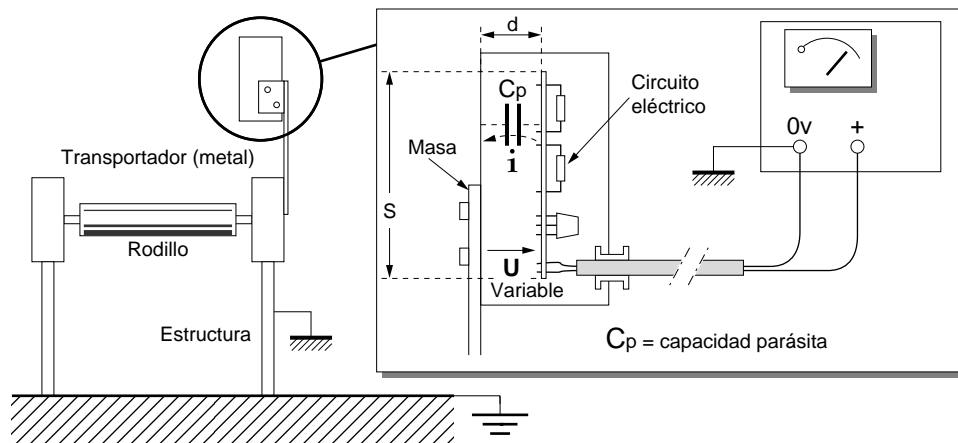
$$I = kf$$



Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas

Acoplamientos por radiación (continuación)

Este fenómeno también recibe el nombre de «efecto pelicular».



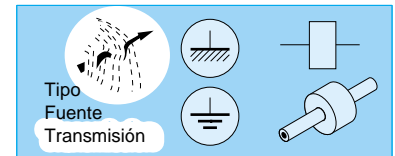
El valor de la capacidad parásita formada por las dos partes del circuito es:

- proporcional a la superficie «**S**» que forman los dos circuitos,
- inversamente proporcional a la distancia «**d**» entre los dos circuitos.

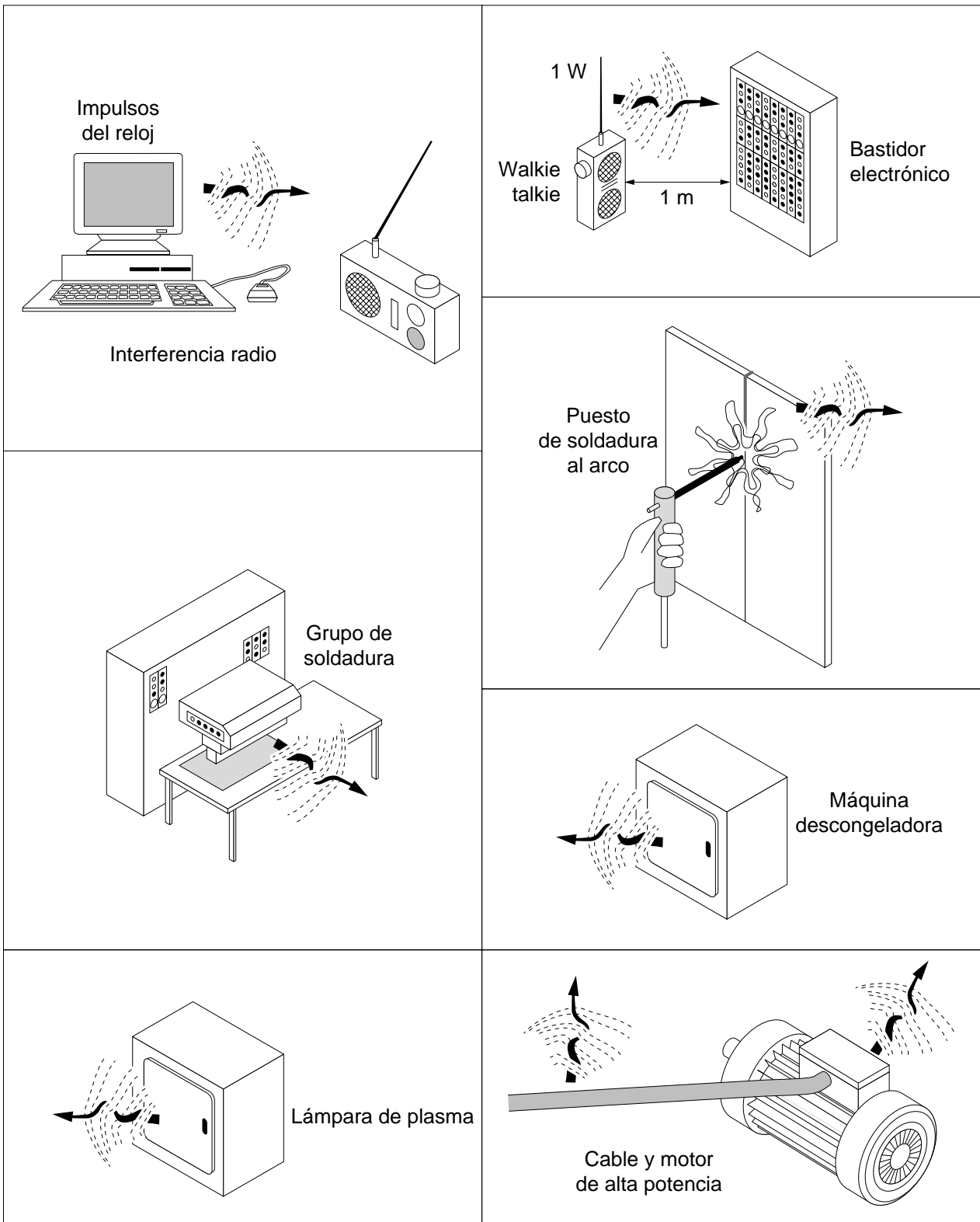


*Aunque estas capacidades parásitas son totalmente despreciables a 50 Hz, **tienen una importancia considerable en alta frecuencia «AF» y provocan fallos en el funcionamiento de las instalaciones.***

Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas



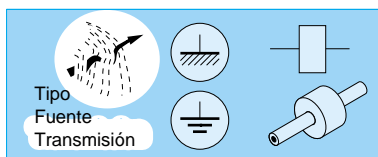
Algunos emisores de perturbaciones electromagnéticas:



1

2

3



Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas

Desacoplamiento de las perturbaciones

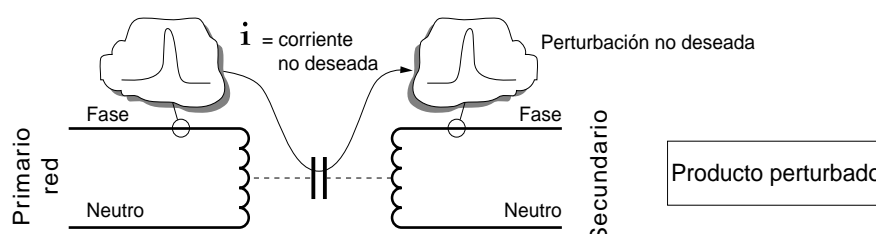
Transformadores de aislamiento

Transformador	Representación	Aislamiento	
		BF	AF
Normal		OK	Ineficaz
Pantalla simple		OK	Medio
Pantalla doble		OK	Bueno

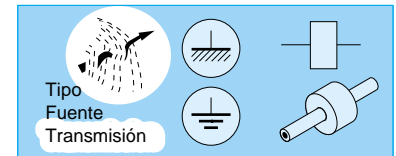
El transformador

- Permite cambiar de régimen de neutro en cualquier punto de la instalación.
- Garantiza un buen aislamiento galvánico, pero solamente en baja frecuencia «BF».
- Para garantizar un aislamiento galvánico adecuado en alta frecuencia «AF», será necesario utilizar un transformador de pantalla doble.
- Bloquea y conduce las corrientes de modo común hacia las masas.
- Permite abrir los bucles de masa.

Explicación de los fenómenos



Modos de transmisión de las perturbaciones electromagnéticas



En corriente continua o baja frecuencia «BF» (50 Hz...)

La resistencia de aislamiento primario/secundario es $\geq 10 \text{ MHz}\Omega$.

La capacidad parásita es despreciable.

En alta frecuencia «AF»

La resistencia de aislamiento primario/secundario queda puenteada por la capacidad parásita formada por los devanados primarios y secundarios.

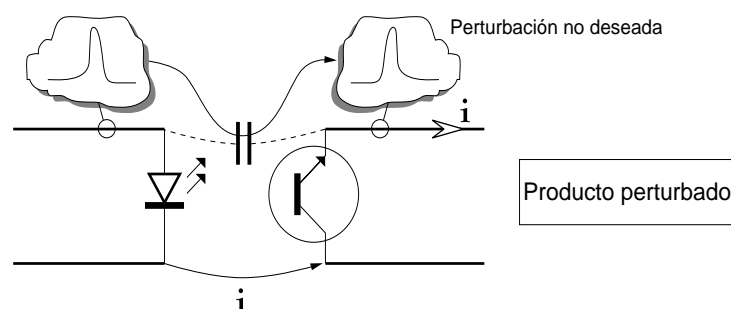
La capacidad parásita es $\leq 50 \text{ pF}$ en los transformadores pequeños y $> 1 \text{ nF}$ en los grandes $> 500 \text{ VA}$.

1 nF representa una impedancia de 100Ω a una frecuencia de 2 MHz.

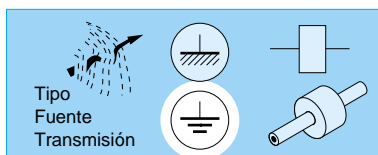
Consecuencias

Las perturbaciones de la red de alimentación, tales como los transitorios rápidos, procedentes por ejemplo de sobretensiones de maniobra, pueden transferirse al secundario del transformador y perturbar los productos conectados a éste.

Optoacoplador



Los fenómenos que se producen en el caso del transformador se repiten con el optoacoplador, aunque su impedancia en baja frecuencia «BF» y su comportamiento en alta frecuencia «AF» suelen ser mejores que los del transformador.



Tierra

Símbolo:

En este manual, llamaremos «tierra» a todas las partes o estructuras conductoras no accesibles o enterradas. Aunque esta definición no es oficial, nos permitirá identificar mejor la tierra y las masas de una instalación.

Definición general

Suelo de nuestro planeta que se utiliza como referencia convencional de potencial «0 V» en determinadas aplicaciones eléctricas y cuya conductividad eléctrica (muy variable) conduce naturalmente -o la utiliza el hombre para conducir- determinadas corrientes eléctricas.

Funciones de la tierra en las instalaciones eléctricas

Observación previa

Toda corriente que circula por la tierra ha entrado en ella y saldrá para volver a su fuente.

Aplicaciones:

- Repartir por el «electrodo» de suelo las corrientes de rayo directas (descarga electrostática disruptiva atmósfera - suelo).
- Conducir por el suelo corrientes inducidas por el rayo entre dos puntos de una línea de distribución aérea.
- En régimen de neutro T-T, la parte de tierra comprendida entre la toma de tierra de la red de distribución y la de la instalación hace circular las (bajas) corrientes de fuga o de fallo que produce la instalación.
- Las masas de las instalaciones también se conectan a tierra (equipotencialidad tierra/suelos respecto de las masas y estructuras metálicas) para garantizar la protección de las personas (y animales) contra los peligros eléctricos derivados de los contactos indirectos.

Conexiones eléctricas a tierra

Los dispositivos correspondientes a estas conexiones, en el marco de los sistemas de distribución eléctrica de los edificios que nos ocupan, se refieren a las aplicaciones anteriores (protección de personas y bienes) y figuran en las normas CEI 364 y CEI 1024.

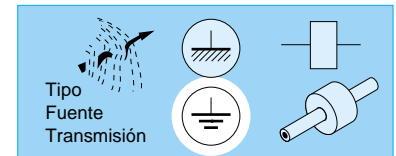
En una instalación eléctrica dada, es necesario y suficiente tener una buena y única toma de tierra.

Buena porque ocasionalmente las líneas de conexión a tierra de los pararrayos tienen que conducir corrientes del orden de 20 a 30 K.A. hasta un suelo de resistividad muy variable (≈ 5 a $10\,000\ \Omega\cdot\text{m}$) sin degradar demasiado el interface toma-suelo.

Única porque, en estas condiciones extremas, al ser la resistencia del suelo muy variable se producirían diferencias de potencial extremadamente elevadas y destructivas entre las diferentes tomas de tierra. Además, la propia instalación en su funcionamiento normal (corrientes de fuga, de fallos, etc.) produciría perturbaciones inaceptables.

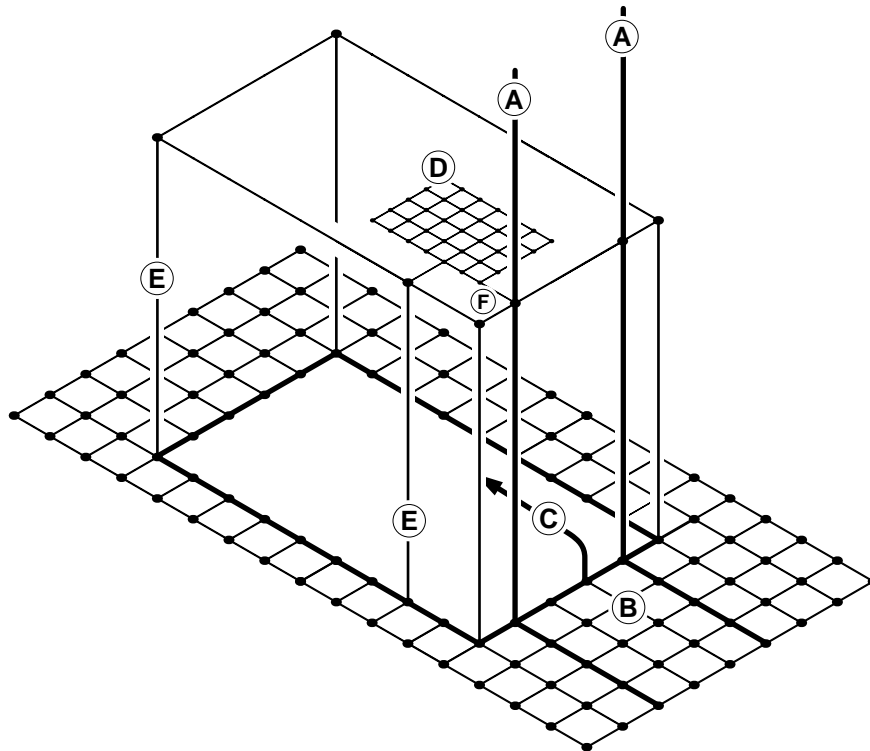


Tierra



Esquema tipo de conexión a tierra de una instalación

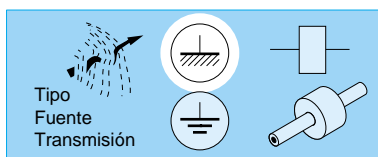
- (A) Conexión a tierra de los pararrayos.
- (B) Red de tierra mallada y enterrada con refuerzo especial en la parte inferior de las conexiones a tierra de los pararrayos.
- (C) Conexión de tierra de la instalación, conectada a la borna de salida de los PE (o PEN) de la instalación.
- (D) Mallado de las masas de una parte de la instalación, conectada a las estructuras metálicas o elementos complementarios de mallado (E).
- (E) Enlaces equipotenciales entre la conexión a tierra de los pararrayos y el mallado de masa, estructura metálica cercana para evitar posibles cebados (peligro de incendio).



Tierra y compatibilidad electromagnética

Como acabamos de ver, la tierra tiene una función muy específica (aunque parcial, ya que además es necesario eliminar los residuos conducidos por las líneas de alimentación de la red del edificio) en lo que se refiere a las descargas de rayos.

En cuanto a la mayor parte de los otros fenómenos de «CEM» (*transitorios, corrientes o campos radiados de alta frecuencia «AF»*), **los conductores de tierra** cuya longitud y topología de distribución (*conexión en estrella, en paralelo, a los conductores activos*) presentan impedancias muy elevadas en alta frecuencia «AF» **no tendrán utilidad alguna si no se dispone además de una red de mallado de las masas.**



Masas

Símbolo:

Definición general

Una masa es un punto o plano de conexión equipotencial, conectado o no a la tierra, que sirve de referencia para un circuito o sistema.

Nota: por razones de seguridad, una masa cuyo potencial sea intencionadamente específico o variable deberá incluir medidas especiales de aislamiento y, llegado el caso, de conexión.

Definición específica para instalaciones eléctricas

Una masa es cualquier parte conductora de un aparato, equipo o instalación accesible al contacto que en funcionamiento normal no tiene tensión, pero puede tenerla si se produce un fallo.

Ejemplos de masas:

- estructura metálica del edificio (vigas, tuberías...),
- bastidores de máquinas,
- armarios metálicos, fondos de armarios sin pintar,
- canaletas metálicas,
- carcasa de transformador, rack de autómatas...,
- hilos amarillo-verde (PE - PEN) de conexión a tierra.

Masas y seguridad de personas y bienes

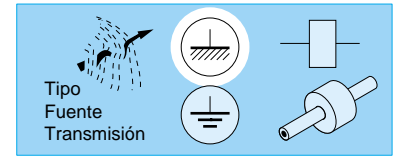
La norma fundamental CEI 364 y los textos nacionales y específicos para determinadas instalaciones describen las disposiciones constructivas necesarias para alcanzar los niveles de seguridad adecuados.

Sea cual sea el régimen de neutro de la instalación, deberán utilizarse conductores de color amarillo-verde, llamados «PE» o «tierras de protección», de impedancia definida, para conectar las masas a la tierra y a la entrada de la instalación de manera que:

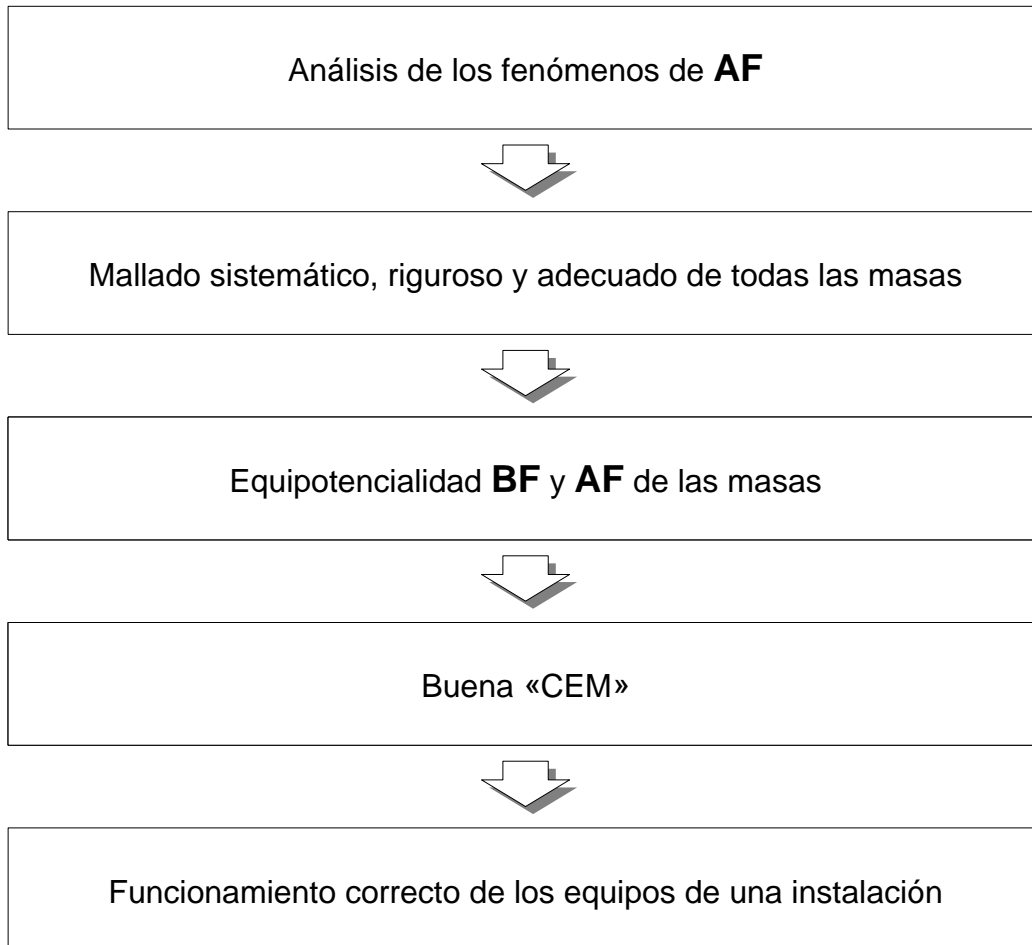
- En funcionamiento normal, o si se produce una derivación a masa:
 - las corrientes de derivación elevadas sean eliminadas (seguridad de los bienes),
 - no pueda aparecer una tensión peligrosa entre dos masas o entre la masa y el suelo o la estructura metálica (seguridad de las personas).
- La seguridad de las instalaciones prevalezca sobre cualquier otro aspecto, lo que significa que ninguna manipulación posterior de las conexiones de las masas deberá implicar:
 - la desconexión de un cable «PE» (amarillo-verde) de una masa,
 - un aumento de la impedancia de una conexión «PE».



Masas



Masas y compatibilidad electromagnética



1

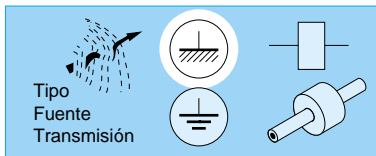
2

3

Comportamiento en baja frecuencia «BF»

Ejemplo: a la frecuencia de la red (50 o 60 Hz).

La equipotencialidad de las masas a la frecuencia de la red (50 Hz - 60 Hz) está garantizada por la conexión de los hilos amarillo-verde (PE - PEN).



Masas

Comportamiento en alta frecuencia «AF»

En el apartado relativo a la tierra hemos visto que ésta tiene una función relativamente limitada en relación con los fenómenos de «CEM».

Por el contrario las masas, situadas muy cerca de los aparatos electrónicos, cumplen la función de «plano» o red de referencia para los fenómenos de alta frecuencia «AF» (así como algunos aspectos de la frecuencia de 50/60 Hz) siempre y cuando se resuelva antes el problema de su equipotencialidad.

En efecto, la interconexión de las masas por medio de conductores de protección conectados en estrella presenta impedancias muy altas en «AF» entre dos puntos a veces cercanos. Por otra parte, las corrientes de fallo elevadas generan diferencias de potencial entre dos puntos y, además (régimen TN-C), por el conductor PEN circulan permanentemente corrientes elevadas.

Parece, pues, necesario (sin menospreciar la función de los PE), hacer el mayor número posible de interconexiones complementarias (cables de color distinto de amarillo-verde), con cables de sección en ningún caso inferior a la sección menor de los PE conectados a las masas consideradas. Estas conexiones deberán hacerse progresivamente entre las masas de los equipos, las canalizaciones de cables, las estructuras metálicas existentes o que se vayan añadiendo, etc.

Será necesario conectar directamente a ellas las pantallas, blindajes, salidas de modo común de los dispositivos de filtrado, etc.

*De esta forma, se constituirá **una red equipotencial de masa de mallas finas** de acuerdo con las exigencias de «CEM».*

En algunos casos excepcionales (corrientes inducidas a la frecuencia de la red, diferencias de potencial, etc.), será necesario efectuar la conexión a la red de masa de la forma adecuada (ejemplo: montando condensadores «AT»/«BF» en un extremo, etc.).

Corriente de fuga en la instalación

Por su proximidad con los circuitos eléctricos de la instalación, las masas forman con estos circuitos capacidades parásitas que generan la circulación de corrientes no deseadas a través de los equipos y las masas.

En algunos casos, el resultado es que las instalaciones funcionan mal (disparo de las protecciones diferenciales...).

Ver «Modos de transmisión» (perturbaciones radiadas, acoplamiento capacitivo).

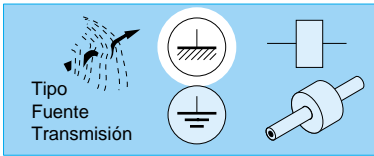
Diagram illustrating a point source transmission setup. It includes a ground symbol, a rectangular block, and a cylindrical component with a central rod.



Para conectar las masas deben utilizarse métodos adecuados para baja frecuencia «BF» (seguridad de las personas...) y alta frecuencia «AF» (buena «CEM»).

La conexión solamente será eficaz desde un punto de vista técnico y económico:

- si el problema se tiene en cuenta durante el DISEÑO,
- si se sabe cómo montar la parte «AF» de una instalación.

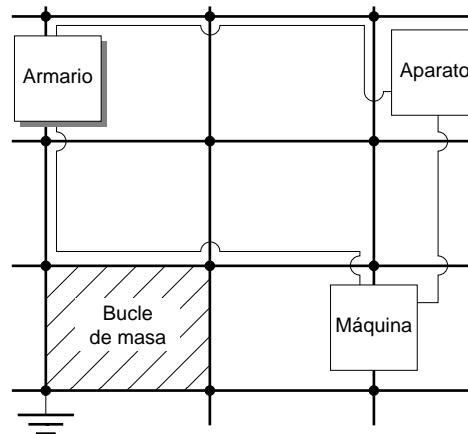


Masas

Bucles entre masas

1

Un bucle entre masas es la superficie comprendida entre dos cables de masas.



2

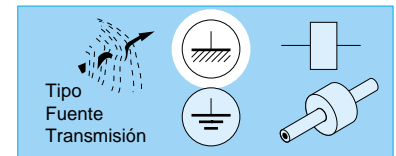
3

Los bucles entre masas son el resultado de un mallado sistemático y riguroso que permite garantizar la equipotencialidad de un centro.

Es necesario reducir la superficie de cada bucle multiplicando las conexiones entre todas las masas.

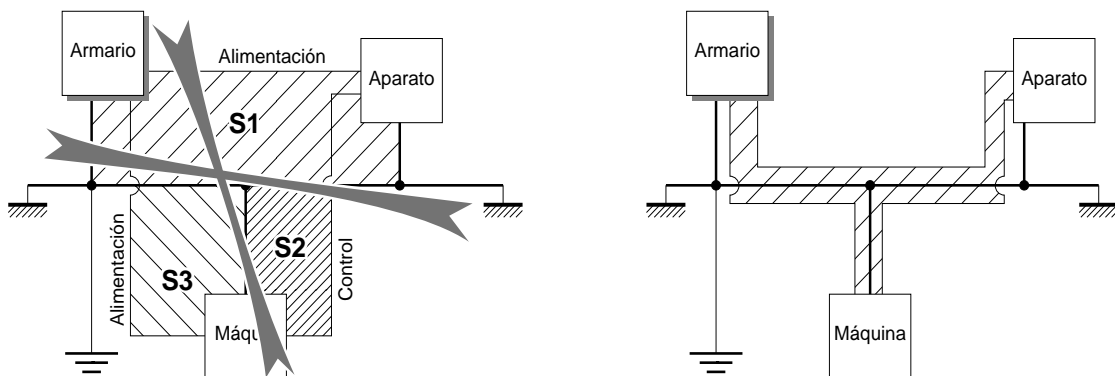


Masas



Bucles de masa

Un bucle de masa es la superficie comprendida entre un cable funcional (cables de alimentación, de control, red de comunicación...) y el conductor o la masa mecánica más cercana.

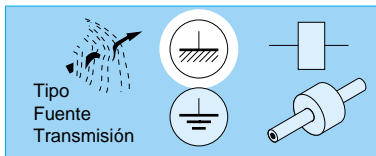


Hay tantos bucles de masa como cables funcionales.

Es imprescindible reducir la superficie de los bucles de masa
haciendo pasar los cables funcionales, en toda su longitud, lo más cerca posible de las masas.



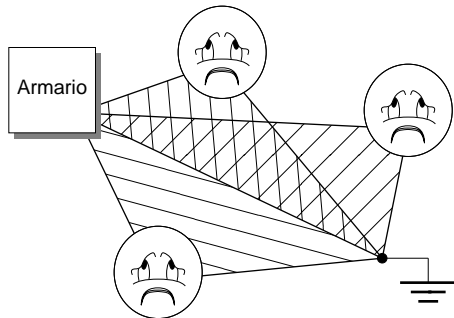
Los bucles de masa son la principal fuente de problemas de «CEM». Las perturbaciones radiadas se acoplan a través de ellos con mucha facilidad.



Masas

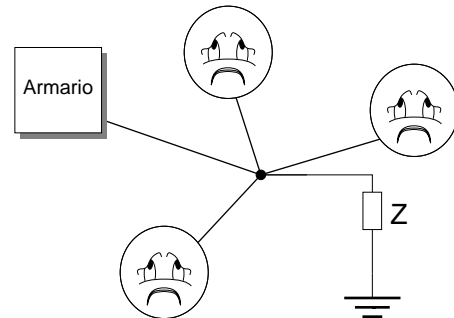
Evitar la conexión en estrella de las masas a la tierra

1

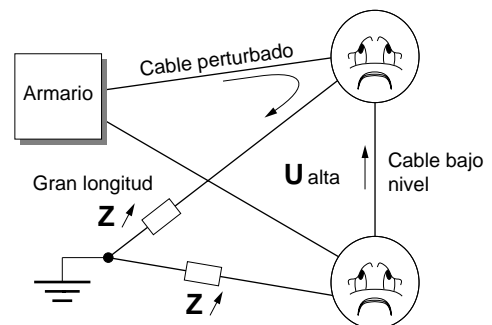
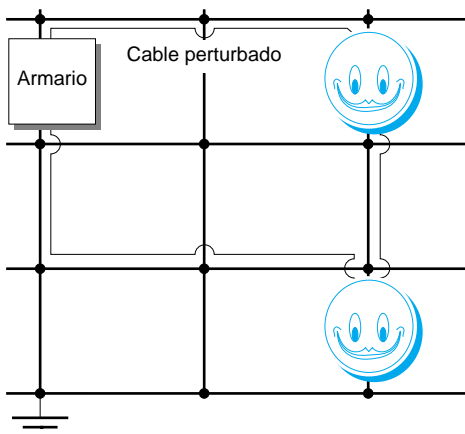


Bucles de masa de gran superficie

2



3



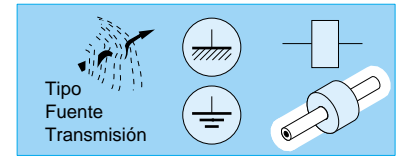
Elevada impedancia común
==> ddp entre los equipos



Es imprescindible no conectar en estrella las masas a la tierra.

Solamente haciendo un mallado sistemático y riguroso de las masas entre sí es posible conseguir una buena equipotencialidad de alta frecuencia «AF» en la instalación.

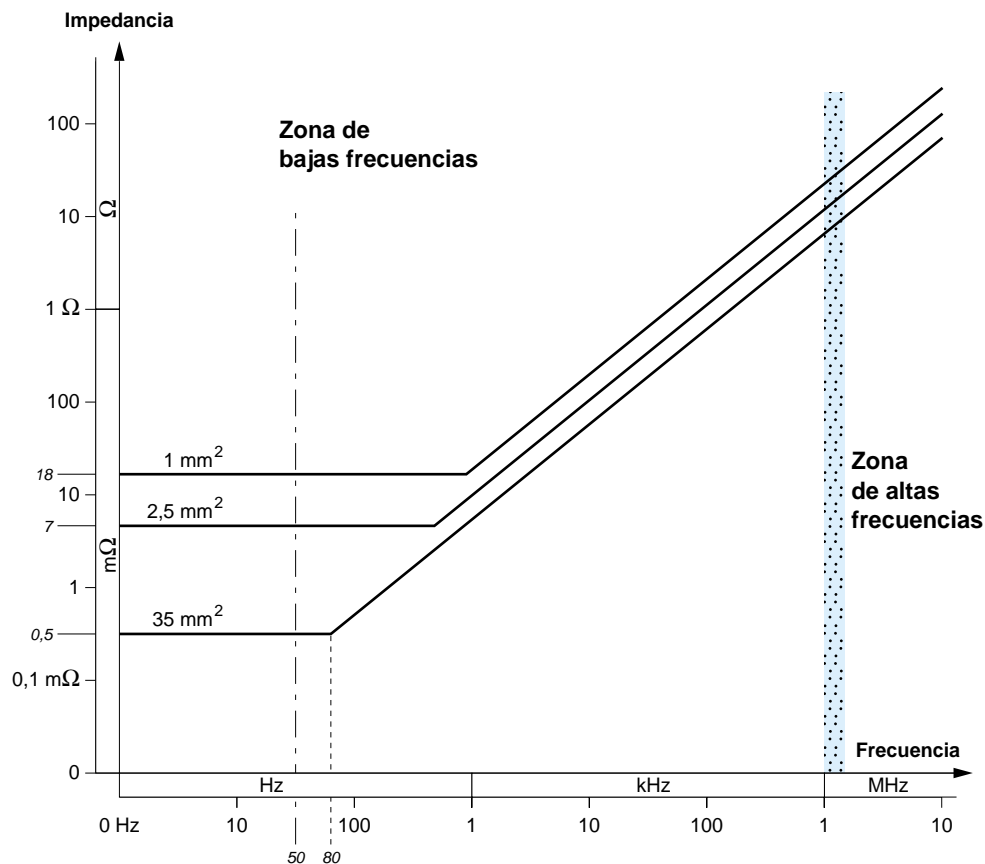
Cables



Respuesta en frecuencia de un conductor

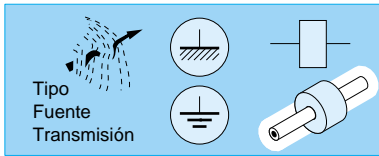
El nivel de compatibilidad electromagnética (CEM) está relacionado con los acoplamientos entre los circuitos, acoplamientos que, a su vez, dependen directamente de las impedancias entre dichos circuitos.

Los conductores utilizados, así como su instalación, son determinantes para el comportamiento electromagnético de la instalación.



Valores característicos de la impedancia de un conductor eléctrico de longitud L = 1 m

A 100 kHz, 2 cables de 1 mm² en paralelo son menos impedantes que un cable de 35 mm²
 ==> esta es la razón por la cual el mallado es importante.



Cables

Respuesta en baja frecuencia «BF»

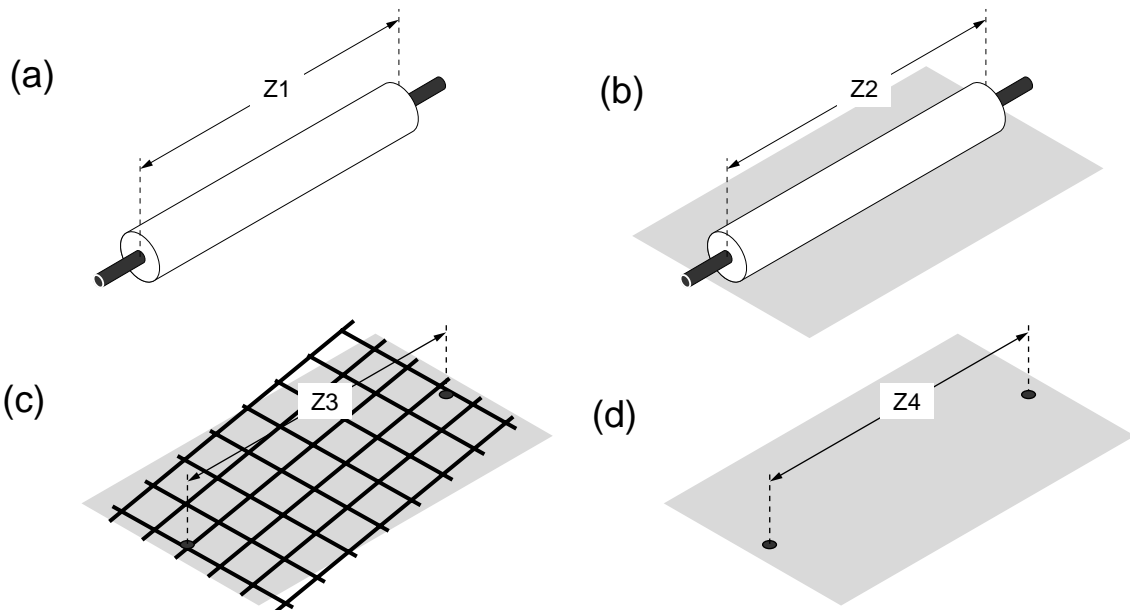
En baja frecuencia «BF», la corriente circula por el interior del conductor, mientras que en alta frecuencia «AF» predomina el efecto pelicular. La corriente circula por la superficie del conductor.

👉 En baja frecuencia «BF» (50 Hz - 60 Hz) la sección del hilo es fundamental.

Respuesta en «AF»

👉 En alta frecuencia «AF» ($F \simeq > 1...5 \text{ MHz}...$)

- el perímetro de la sección del conductor es fundamental (efecto pelicular)
- la sección del conductor es poco significativa
- la longitud del cable es determinante



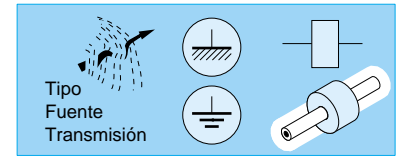
Según los diferentes casos:

- a: $Z1$, cable desnudo (inductancia por unidad de longitud: $L \simeq 1 \mu\text{H/m}$).
- b: $Z2$, cable sujeto a una superficie metálica.
- c: $Z3$, malla metálica con contacto en todos los cruces (por ejemplo hierro para hormigón soldado).
- d: $Z4$, plano metálico.

Y para una misma longitud, las impedancias por unidad de longitud siguen el orden $Z1 > Z2 > Z3 > Z4$.



Cables



Longitud y sección de un conductor

La impedancia de un conductor depende principalmente de la longitud de éste (impedancia por unidad de longitud).

En un cable normal, la inductancia pasa a ser fundamental a partir de 1 kHz.

Esto significa que, en el caso de un conductor de sólo unos pocos metros, el valor de la impedancia es de:

- algunos «miliohmios», en corriente continua o a 50/60 Hz
- algunos ohmios, en torno a 1 MHz
- varios centenares de ohmios, en alta frecuencia «AF» (≈ 100 MHz...)



Si la longitud de un conductor es superior a 1/30 de la longitud de onda de la señal conducida, la impedancia del cable es «infinita».

==> En este caso, la instalación se comporta como si no hubiera conductor.

$$L_{(m)} > \frac{\lambda}{30}$$


λ : longitud de onda de la señal conducida

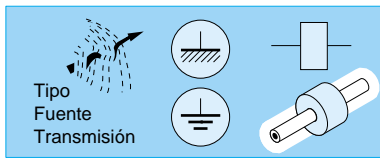
$$\lambda > \frac{300}{F_{(MHz)}} \implies$$

F : frecuencia de la señal conducida en MHz

$$L > \frac{10}{F_{(MHz)}}$$

L : longitud del conductor en metros

 *Un conductor no sirve para nada si $L > \frac{10}{F_{(MHz)}}$. Ejemplo: conductor enrollado.*



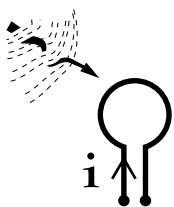
Cables

Efecto de antena de un conductor

Los conductores son antenas a las que se puede acoplar el campo radiado. Además, estos conductores también pueden emitir cuando los recorre una corriente de alta frecuencia «AF».

1

Campo magnético \vec{H}

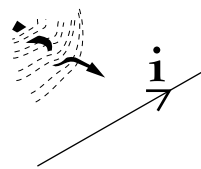


Bucle = antena
«Receptor»

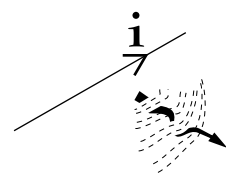


Bucle = antena
«Emisor»

Campo eléctrico \vec{E}



Conductor = antena
«Receptor»



Conductor = antena
«Emisor»

2

3

Longitud de las antenas

En conductores de determinada longitud, en relación con la longitud de onda de la señal radiada, el efecto de antena es muy significativo.

① $L = \frac{\lambda}{4}$ Antena llamada de «cuarto de onda»

$$L_{(m)} > \frac{75}{F_{(MHz)}} \Rightarrow \text{Antena adaptada}$$

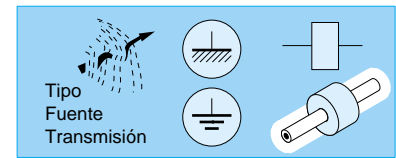
Ejemplo: $F = 100 \text{ MHz}$ $L > \frac{75}{100} = 0,75 \text{ m}$

A esta frecuencia de 100 MHz, un conductor de longitud $L > 0,75 \text{ m}$ se convierte en una eficaz antena.

② $L = \frac{\lambda}{2}$ Antena llamada de «media onda»



Cables



Hilo amarillo-verde PE-PEN

En las instalaciones antiguas, realizadas sin tener en cuenta los fenómenos de «AF», la longitud de los conductores amarillo-verde (PE-PEN) es tal ($L > 1$ a 2 m) que:

- ==> Contribuyen con eficacia a la equipotencialidad de «BF» (50 Hz - 60 Hz) de la instalación y, por tanto, a la seguridad de las personas y de los bienes (CEI 364, NF C 15 100...).
- ==> No influyen prácticamente en la equipotencialidad de «AF» de la instalación y, por tanto, en la «CEM».

1

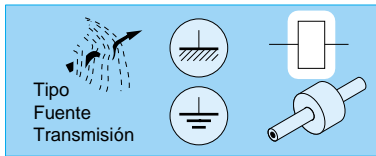
2

3

Interconexión de las masas

Para conseguir la equipotencialidad «AF», es imprescindible hacer un mallado sistemático y riguroso de todas las masas.

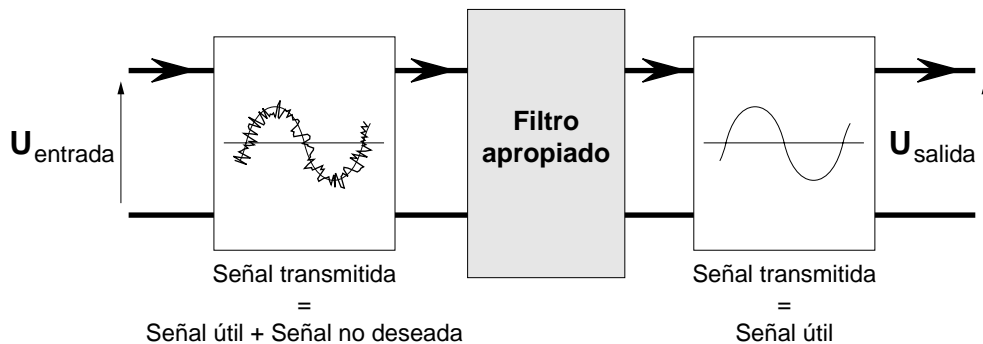
- ==> Si el cable de masa es demasiado largo ($L > 10 / F$ (MHz)) la instalación queda «flotante», aparecen diferencias de potencial entre los dispositivos y se produce la circulación de corrientes no deseadas.



Filtros

Función de un filtro

La función de los filtros es dejar pasar las señales útiles y eliminar la parte no deseada de las señales transmitidas.



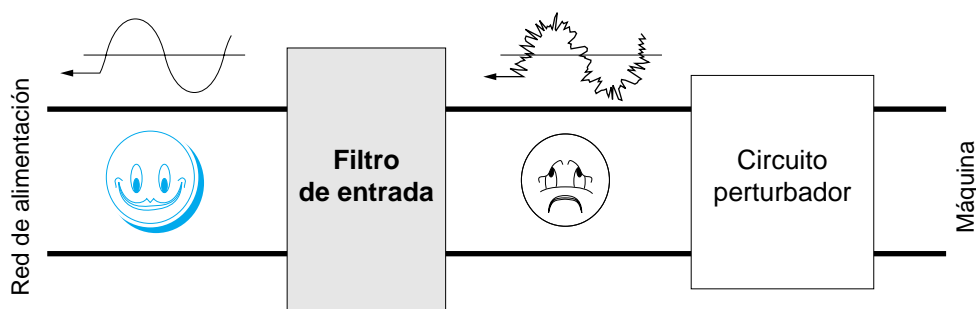
Campo de utilización:

- filtros antiarmónicos $F \leq 2,5 \text{ kHz}$
- filtros RFI (Radio - Perturbaciones conducidas) $F \leq 30 \text{ MHz}$

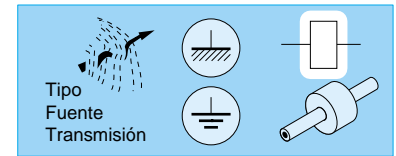
Sentido de actuación:

- filtros de entrada
ejemplo: filtros antiarmónicos, filtros RFI

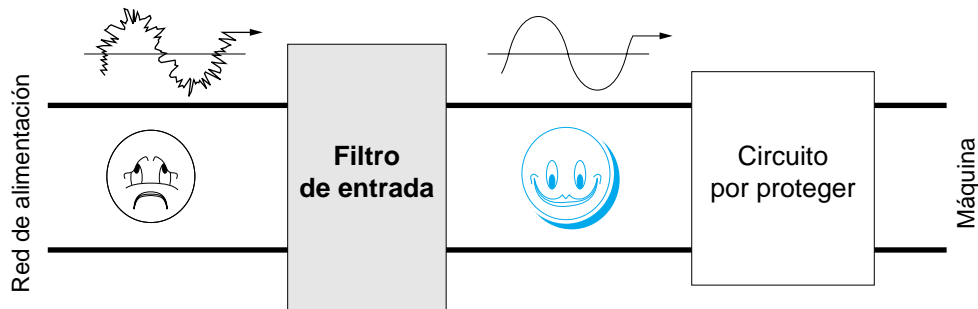
Protegen la red de alimentación de las perturbaciones generadas por el equipo alimentado.



Filtros

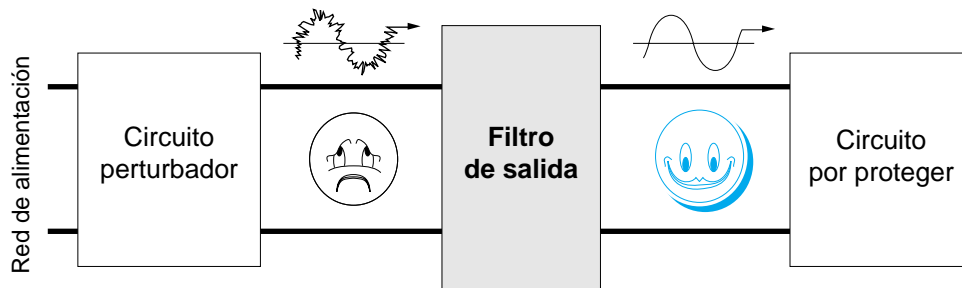


Protegen el equipo contra las perturbaciones procedentes de la red de alimentación.



- Filtros de salida
Ejemplo: filtros «seno»

Protegen la carga contra las perturbaciones procedentes del equipo.



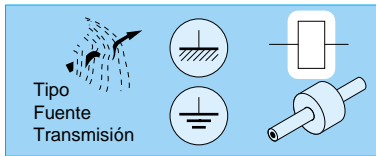
Los diferentes filtros

Tipos de filtrado:

- filtros de modo diferencial
- filtros de modo común
- filtros completos que garantizan el filtrado de modo común y diferencial.

Tecnología:

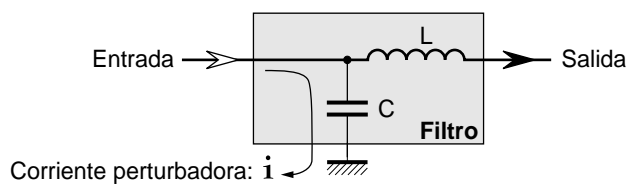
- filtros pasivos
- compensadores activos



Filtros

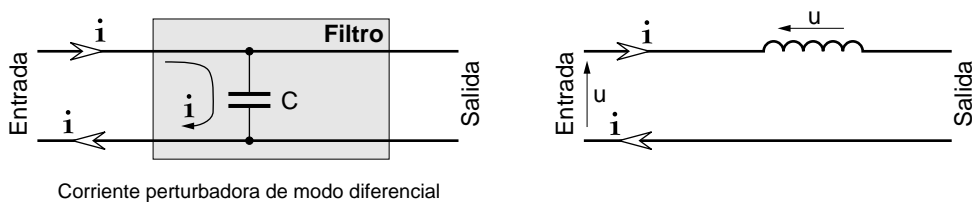
Principio del filtrado pasivo = desadaptación de impedancia

- servir de barrera contra las perturbaciones: inductancia en serie ($Z = L\omega$)
- canalizar las perturbaciones: capacidad en paralelo ($Z = \frac{1}{C\omega}$)
- combinar ambas



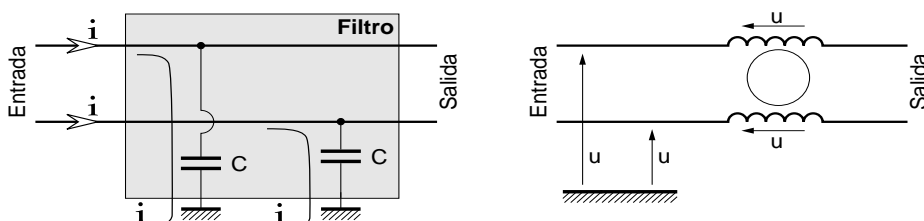
- disipar la energía de las perturbaciones: ferritas

Filtrado pasivo «en modo diferencial»



Corriente perturbadora de modo diferencial

Filtrado pasivo «en modo común»



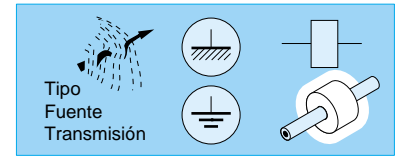
Corriente perturbadora de modo común

En modo diferencial, las 2 inductancias se anulan porque están bobinadas en sentido inverso sobre el mismo núcleo.

Principio del compensador activo

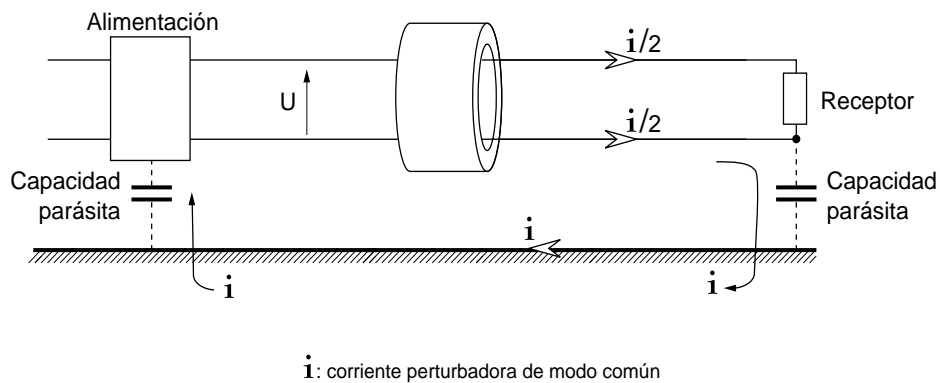
- solamente se utiliza para filtrar corrientes armónicas,
- genera una señal complementaria de la señal perturbadora para volver a construir una señal sinusoidal.

Ferritas



Son filtros de modo común para alta frecuencia «AF».

Las ferritas están formadas por materiales de permeabilidad magnética « μ_r » muy elevada.



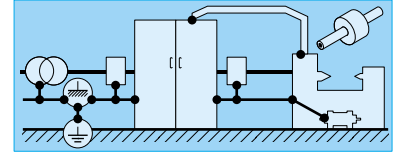
La ferrita utiliza dos principios:

- inductancia en modo común (ver el apartado relativo a filtros)
- absorción de las perturbaciones «AF» de modo común por calentamiento inducido.

Estos dos principios generan una impedancia de modo común cuya eficacia depende de su relación con la impedancia del circuito por proteger.



CAPÍTULO 2



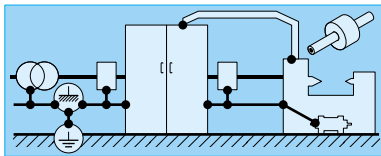
CÓMO OBTENER LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN LA INSTALACIÓN

1

2

3

-- *REGLAS DEL ARTE
INDUSTRIAL* --



Introducción

1

El diseño, fabricación, modificación o mantenimiento de un equipo parten siempre de un estudio cuyo objetivo es definir:

- las características de los dispositivos y componentes capaces de cumplir la función deseada,
- las normas de diseño, mecánicas y eléctricas, que permiten garantizar la función deseada.

2

Este estudio se realiza teniendo en cuenta los aspectos técnicos y económicos.

3

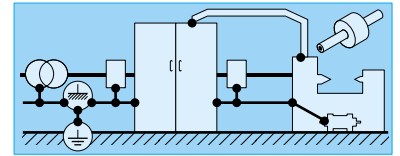
Desde este punto de vista, se recomienda **garantizar la compatibilidad electromagnética en la fase de diseño de la instalación.**

Es la mejor garantía para evitar un mal funcionamiento de los equipos y el encarecimiento de la instalación.

En efecto, no tener en cuenta la «CEM» durante el estudio del proyecto significa un ahorro inmediato de varios puntos porcentuales en el coste global de la instalación (los especialistas en «CEM» coinciden en que el coste adicional es de un 3 a un 5%).

Sin embargo, en este caso, suele ser necesario hacer modificaciones en la fase de puesta en servicio de la instalación. Dado el reducido margen de maniobra, el coste global de dichas modificaciones puede ser de varias decenas de puntos porcentuales. El resultado es la necesidad de contar con plazos suplementarios para la entrega, que siempre llevan aparejados problemas en las relaciones comerciales con el cliente.

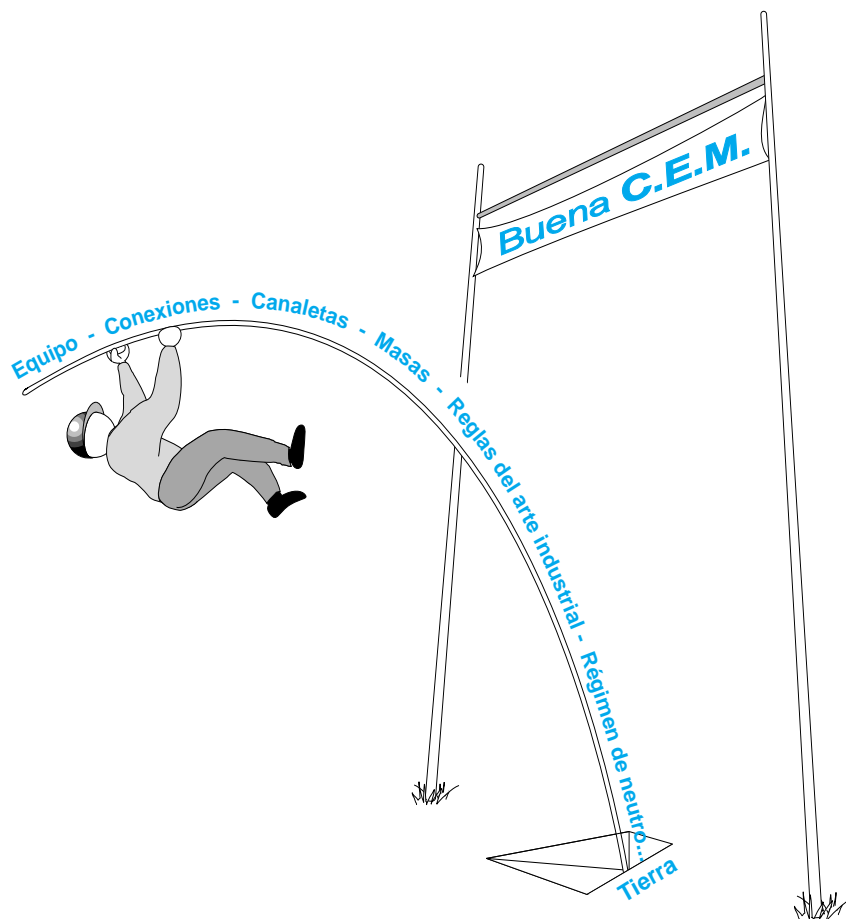
Planteamiento «CEM»



El planteamiento «CEM» debe ser global

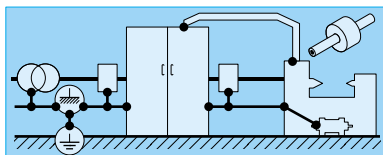
El buen funcionamiento de la instalación se basa en un diseño correcto, una buena elección y la correcta realización de todas las partes de la instalación.

Sea cual sea la fase en la que se encuentre la instalación, las REGLAS DEL ARTE INDUSTRIAL que se definen a continuación deben aplicarse con seriedad y método.



La «CEM», y más específicamente los fenómenos de «AF», son difíciles de interpretar. Es importante tener presente que en «CEM» no existen soluciones milagrosas ni verdades universales.

No obstante, aunque los problemas, y las acciones necesarias para solucionarlos, son propios de cada instalación, aplicar las reglas del arte industrial garantiza el máximo de posibilidades de que la instalación funcione correctamente.



Planteamiento «CEM»

Diseño de una instalación nueva o de una ampliación

1

*DEFINICIÓN DEL CAMPO
NORMATIVO «CEM»*

- Normas genéricas «CEM»
- Normas de producto

2

ANALIZAR

- El entorno
- Externo (red pública, privada, centro, vecindario...)
 - Interno (edificio, máquina, instalaciones cercanas...)

DEFINIR

Las características del centro y la instalación

DETERMINAR

Los productos y accesorios «CEM» compatibles con estas características (instalaciones, pliego de condiciones...)

ESTABLECER

Las reglas de instalación necesarias para obtener una «CEM» adecuada (reglas de cableado, precauciones...)

MONTAR

La instalación respetando rigurosamente las reglas definidas

VERIFICAR

Que la instalación se ha montado correctamente y que los equipos funcionan bien

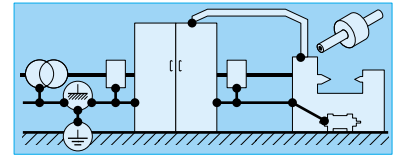
*MEDIR,
EN SU CASO*

Si la norma lo exige

CORREGIR

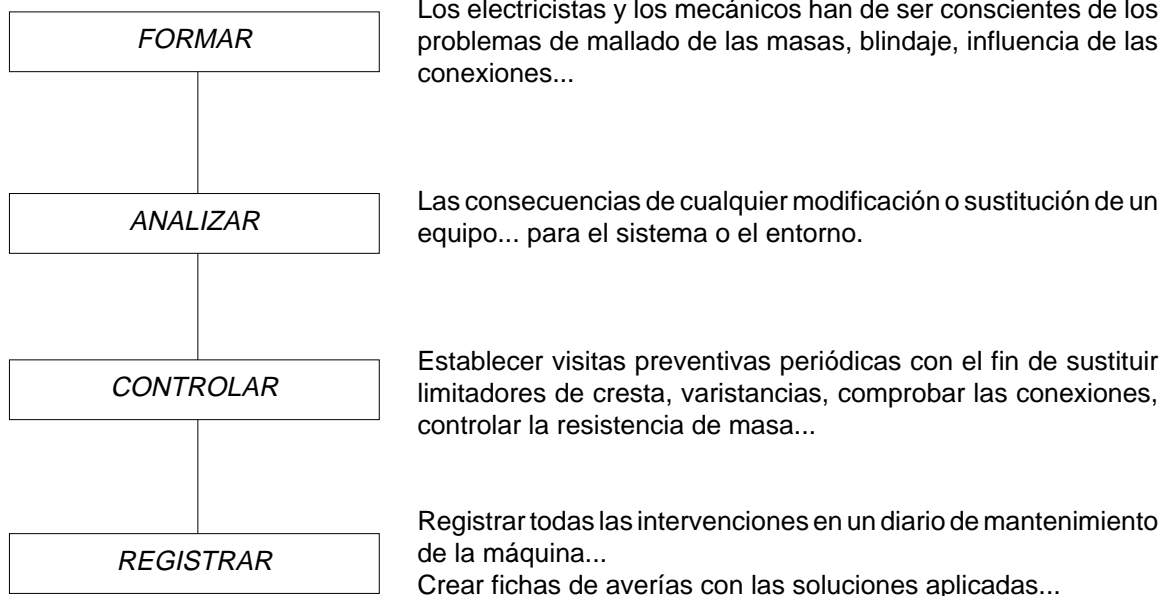
En caso necesario

Planteamiento «CEM»



Mantenimiento de una instalación o Modificación - actualización del parque

El mantenimiento «CEM» es muy sencillo pero debe estar bien organizado y planificado y dirigirse con rigor.



1

2

3

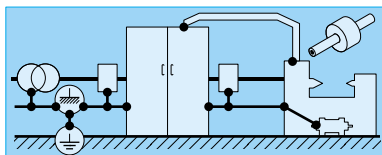
Respetar estas pocas reglas siempre es beneficioso para la empresa, con independencia de la «CEM».

Es necesario tener presente que basta un simple desperfecto en una conexión eléctrica (corrosión, olvidar reforzar un blindaje, canaleta suelta) para que el comportamiento «CEM» de una instalación se degrade considerablemente.

Modificación del parque, ampliación de máquina...

El procedimiento adoptado ha de ser el mismo que para el diseño. Es imprescindible abrir un expediente completo de las modificaciones realizadas para facilitar la puesta en servicio y las intervenciones futuras.

Sea cual sea la fase en la que se encuentre la instalación, las REGLAS DEL ARTE INDUSTRIAL que se definen a continuación deben aplicarse con seriedad y método.



Planteamiento «CEM»

Mejora de una instalación existente

Siempre que se produzca un fallo en el funcionamiento, será necesario buscar y analizar sus causas.

1

**INFORMARSE
ESCUCHAR**

Es necesario pedir información a los responsables y, sobre todo, a los operarios.

2

IDENTIFICAR

- 1- El o los equipos perturbados.
Hacerse una idea precisa del fallo.
- 2- La o las fuentes de perturbación.
Evaluar la importancia de las perturbaciones.
- 3- Los modos de acoplamiento o de transmisión de las perturbaciones.

3

CONSULTAR

Esta guía para comprender los fenómenos e identificar los problemas.
Leer con mucha atención «las reglas del arte industrial».

**DEFINIR
LAS PRIORIDADES**

Tratar de forma prioritaria las fuentes de perturbación más importantes.
Realizar en primer lugar las acciones que no requieran modificaciones o paradas prolongadas de la máquina.
Tratar los puntos de entrada de las perturbaciones uno por uno, hasta el último.

**DEFINIR
LAS ACCIONES**

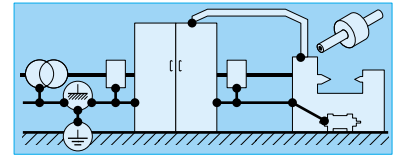
Una vez que se conozcan a fondo el problema y el capítulo de las reglas del arte industrial, inspeccionar toda la instalación, observar atentamente todos los puntos importantes y tomar nota de las acciones necesarias.

**APLICAR LAS
ACCIONES CORRECTIVAS**

Trabajar con método y determinación.
Tratar las acciones una por una. Al principio, los resultados no son visibles, a veces incluso son peores, pero es importante continuar sin desanimarse hasta solucionar el problema.
No deshacer una acción correctiva ya aplicada. Solamente al final, si se han conseguido resultados, será posible eliminar tal o cual acción, siempre que sea realmente perjudicial para la instalación.
A menudo es en ese momento cuando nos damos cuenta de que las acciones consideradas inútiles al principio participan activamente en el funcionamiento correcto de la instalación.

Si no es posible reproducir el fallo, o si el problema es grave, puede ser necesario el apoyo o la participación directa de un especialista en «CEM» que conozca perfectamente los equipos.

Reglas del arte industrial



La evolución de la tecnología y de la técnica permite diseñar y fabricar equipos, máquinas... cuyo nivel de prestaciones es cada vez más elevado.

Como consecuencia de esta evolución, los problemas cambian y las reglas del arte industrial relativas al diseño de las instalaciones deben hacerlo también.

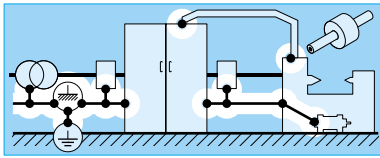
Las reglas del arte industrial se refieren al conjunto de nociones que es necesario tener en cuenta para fabricar correctamente los equipos y montar de forma adecuada las instalaciones eléctricas.

Respetando estas reglas es posible reducir de forma significativa los desajustes más corrientes y los costes derivados de los problemas de «CEM».

ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES	
Fenómenos de baja frecuencia «BF»	Fenómenos de alta frecuencia «AF»
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de protección • Filtrado • Longitud de los cables 	<ul style="list-style-type: none"> • EQUIPOTENCIALIDAD de las masas (mallado) • Canalización cuidadosa de los cables • Elección de los cables • Conexiones cuidadas y adaptadas a la «AF» • Apantallamiento de los cables • Canaletas y bandejas de cables • Longitud de los cables
Los sistemas de protección son fundamentales	La instalación es fundamental

Temas relacionados:

- Red de masa página 8
- Alimentación página 18
- Armario página 26
- Cables página 32
- Reglas de cableado página 36
- Bandejas de cables página 44
- Conexiones página 52
- Filtros página 56
- Limitadores de sobretensión página 60
- Ferritas página 62



Red de masa

Presentación

La EQUIPOTENCIALIDAD de las masas en baja y alta frecuencia es una regla de oro de la «CEM».

1

Equipotencialidad «BF» y «AF» del edificio

==> mediante un mallado específico adaptado, etc.

2

Equipotencialidad «BF» y «AF» local

==> mediante un mallado de todas las masas y, en caso necesario, un plano de masa específico adaptado, etc.

3

Hacer un mallado sistemático de todas las estructuras metálicas, bastidores, chasis, conductores de masa... entre sí.

Conexiones

(ver el apartado «Conexiones» de este mismo capítulo)

==> *Es necesario tener un cuidado especial al hacer las conexiones para garantizar su calidad y duración tanto en «BF» como en «AF».*

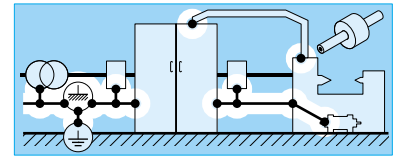
==> *Conexión directa (sin conductor) metal/metal con tornillos.*

==> *Conexión con trenza metálica o cualquier otro tipo de conector ancho y corto.*

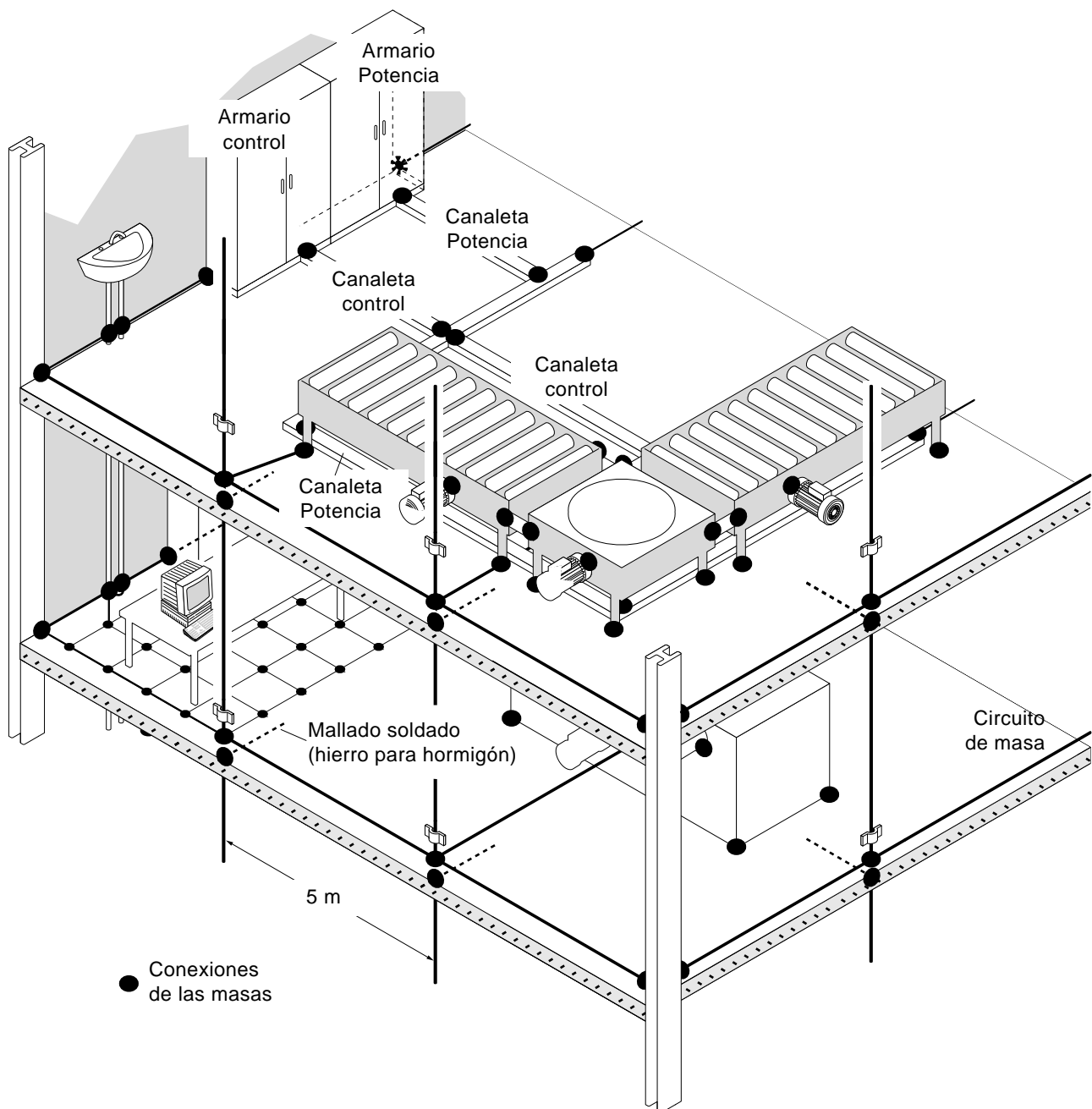


Cuidado con la pintura y los revestimientos aislantes...

Red de masa



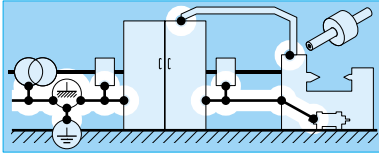
Edificio



1

2

3



Red de masa

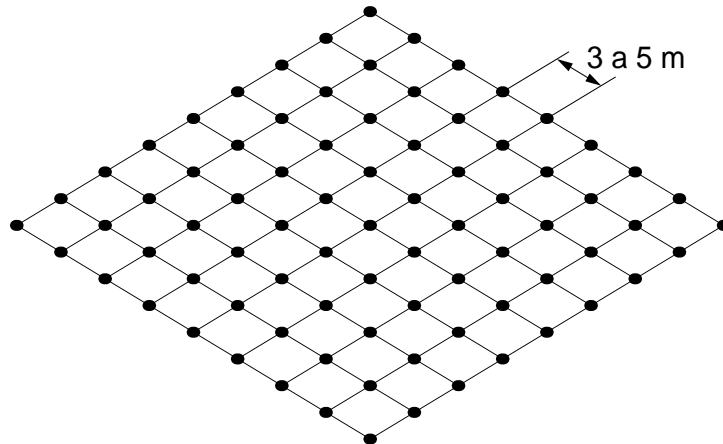
Edificio (continuación)

1

Equipotencialidad «BF» y «AF» del edificio

==> Montar un plano de masa y un circuito de masa por piso (mallado de hierros para hormigón soldados y empotrados en la losa de hormigón, doble suelo con rejilla de conductor de cobre...).

2



3

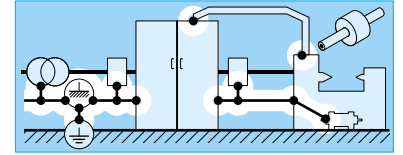
==> Interconectar todas las estructuras metálicas del edificio a la red de masa (vigas metálicas, hierros para hormigón soldados, tuberías y canalizaciones metálicas, canaletas, transportadores, bastidores metálicos, enrejado...).

==> Se recomienda hacer un estudio y un plano de masa de malla muy cerrada en las zonas en las que se vayan a instalar equipos sensibles (informática, medición...).


==> Etc.



Red de masa



Equipo/máquina

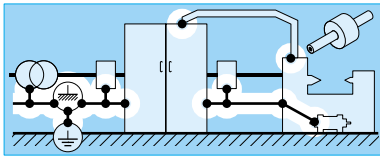
 Equipotencialidad local «BF» y «AF» del equipo o de la máquina.

- ==> *Interconectar todas las estructuras metálicas de un mismo equipo entre sí (armario, placa de plano de masa de fondo de armario, canaletas, tuberías y canalizaciones, estructuras y bastidores metálicos de la máquina, motores...).*
- ==> *En caso necesario, montar conductores de masa para completar el mallado de las masas (los dos extremos de un conductor que no se esté utilizando deben estar conectados a masa).*
- ==> *Conectar esta red de masa local a la red de masa del centro, distribuyendo y multiplicando todo lo posible las conexiones.*

1

2

3



Red de masa

Armario

(ver el apartado «Implantación de componentes» de este mismo capítulo).

Equipotencialidad «BF» y «AF» del armario y de sus componentes.

==> *Todos los armarios deben estar equipados con una placa de plano de masa de fondo de armario.*

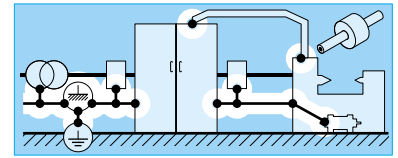


Cuidado con las placas de fondo de armario pintadas o con cualquier otro tipo de revestimiento aislante.

==> *Todas las masas metálicas de los componentes y dispositivos montados en el armario deben estar atornilladas directamente a la placa de plano de masa para garantizar un contacto metal/metal duradero y de calidad.*

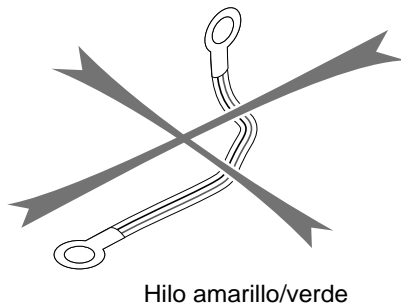
==> *Generalmente, el hilo de tierra amarillo-verde es demasiado largo para garantizar una conexión a masa de calidad en «AF».*

Red de masa

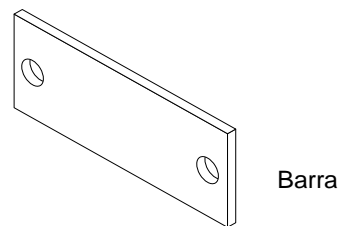


Conexiones eléctricas

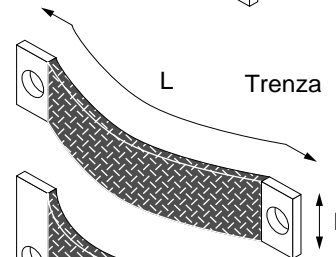
PE - PEN



Hilo amarillo/verde

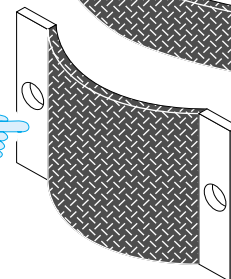


Barra



L Trenza

$$\frac{L}{I} < 3$$



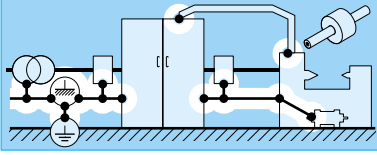
1

2

3



**Equipotencialidad - Mallado - Continuidad -
Seguridad CEI 364**



Red de masa

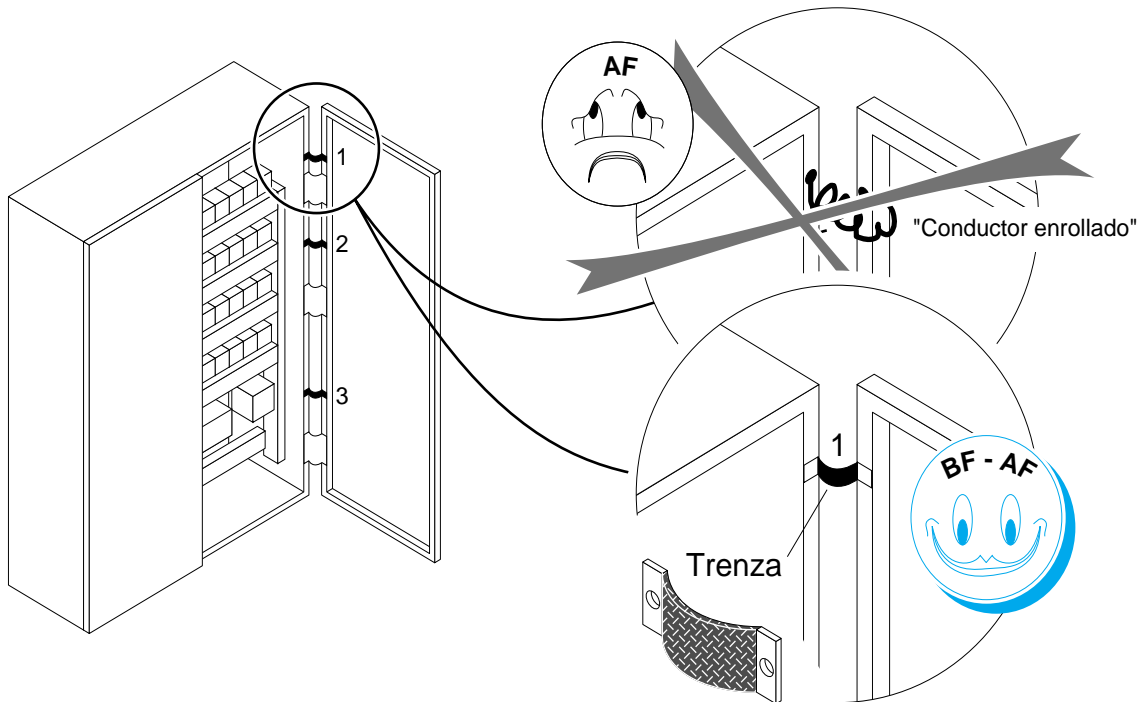
Interconexiones «mallado» de las masas

-- ARMARIO --

1

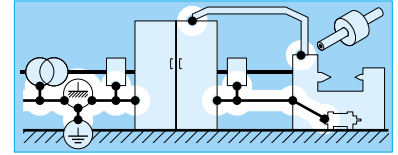
2

3



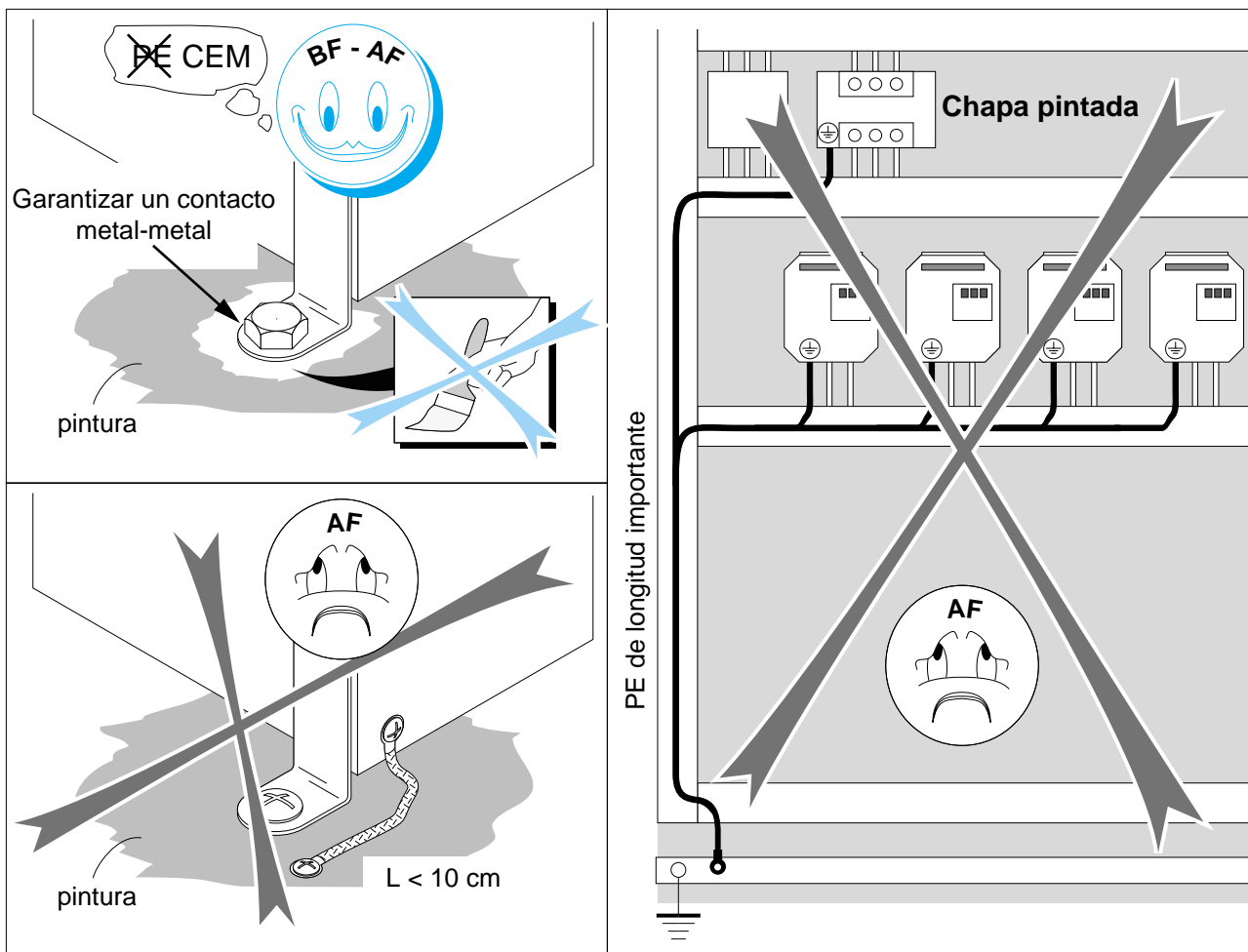
**Equipotencialidad - Mallado - Continuidad -
Seguridad CEI 364**

Red de masa

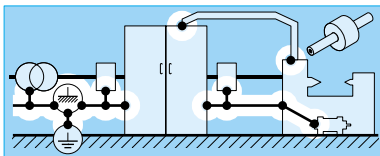


Interconexiones «mallado» de las masas

-- ARMARIO --



Equipotencialidad - Mallado - Continuidad - Seguridad CEI 364



Red de masa

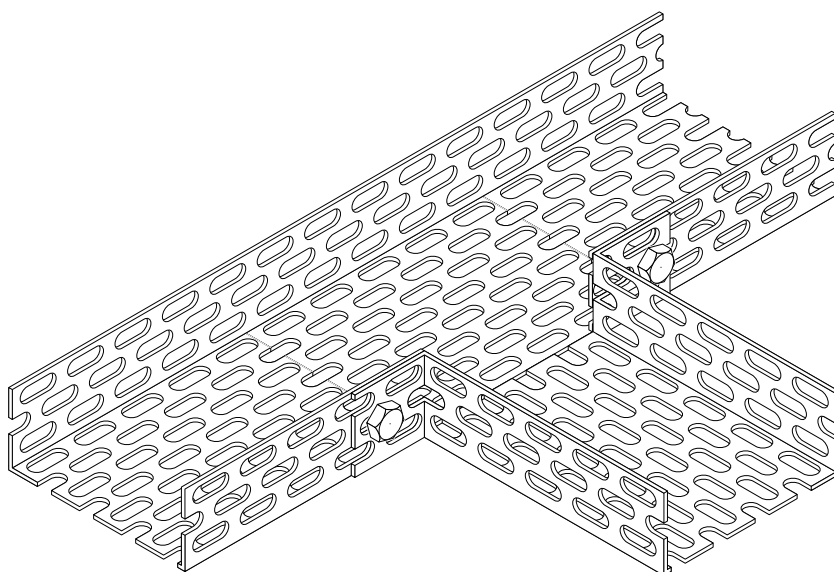
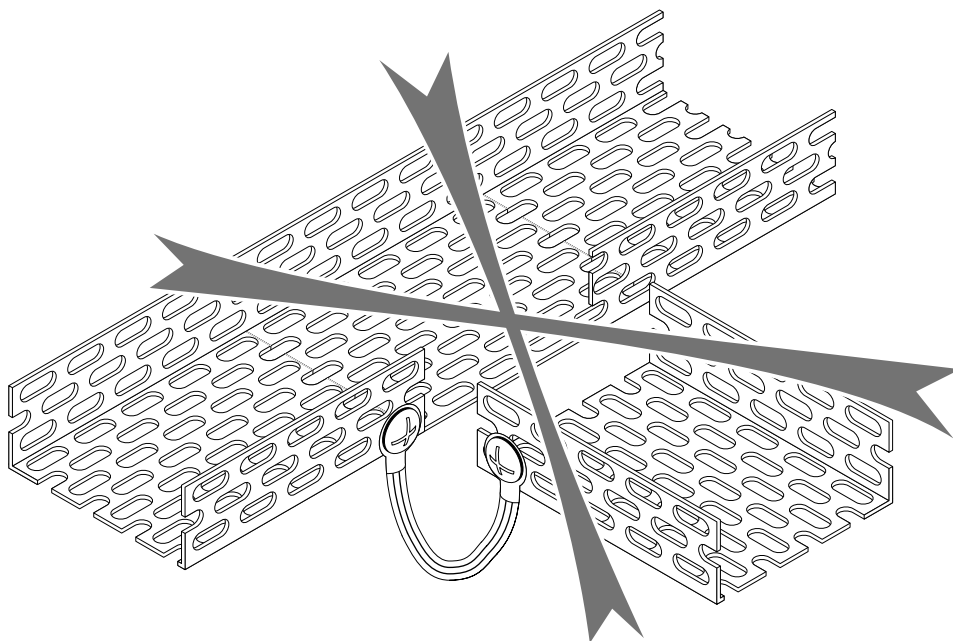
Interconexiones «mallado» de las masas

-- INSTALACIÓN --

1

2

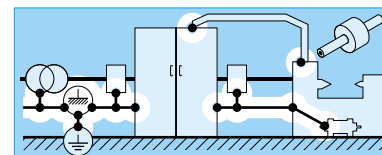
3



Equipotencialidad - Mallado - Continuidad -

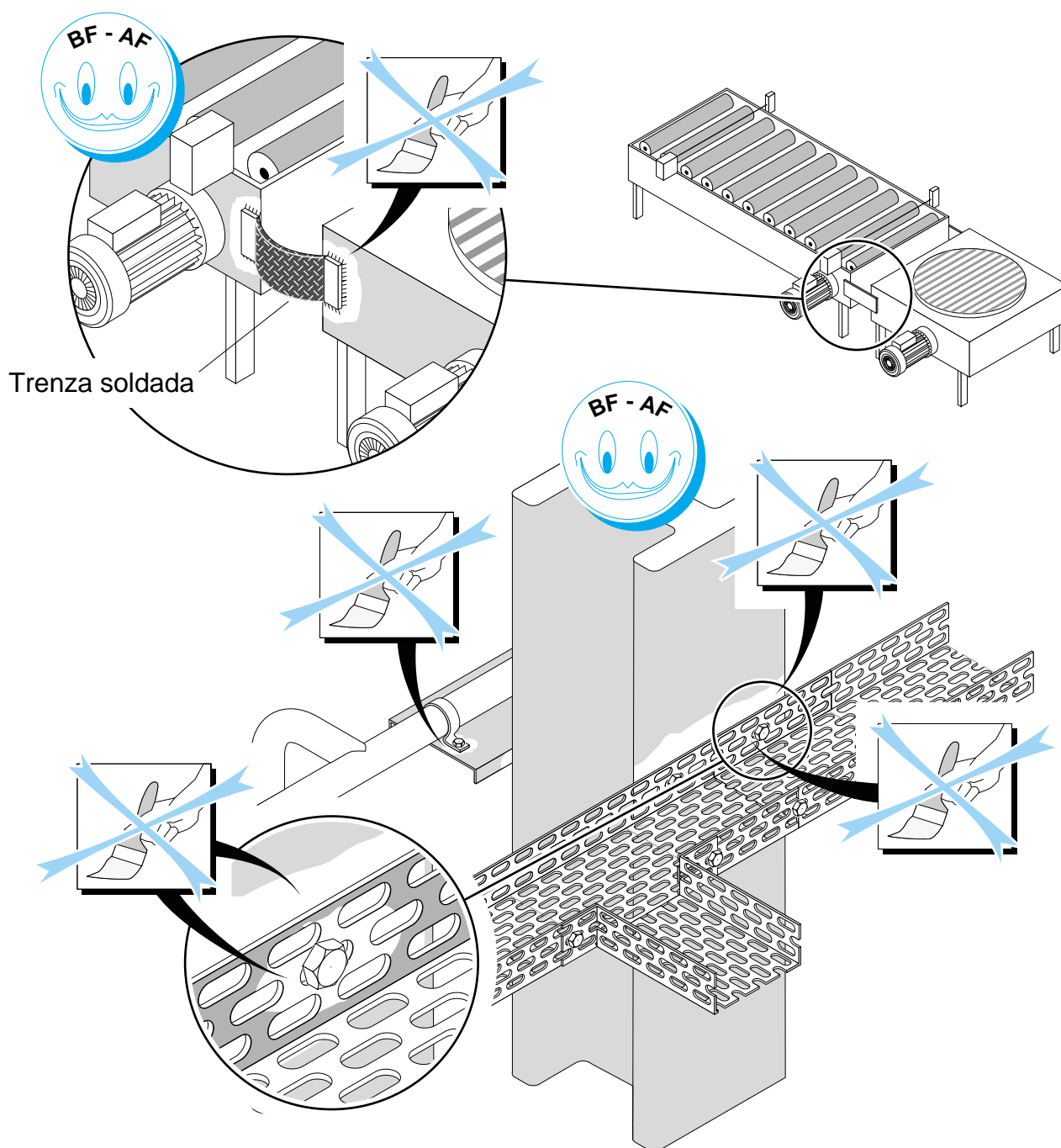
Seguridad CEI 364

Red de masa



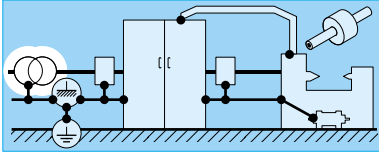
Interconexiones «mallado» de las masas

-- INSTALACIÓN --



Equipotencialidad - Mallado - Continuidad -

Seguridad CEI 364



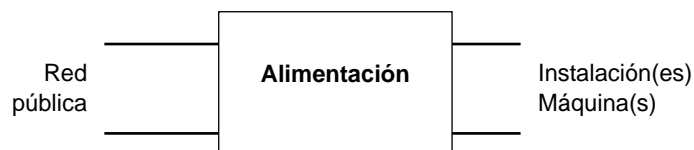
Alimentación

Finalidad

Suministrar energía de calidad y garantizar su disponibilidad de manera que la instalación funcione correctamente.

La alimentación es un interface entre diferentes redes:

- la red pública «BT» y los abonados,
- la red «MT» y las redes industriales,
- en la propia instalación, entre los circuitos generales y los secundarios.



Como regla general:

- Filtrar la alimentación

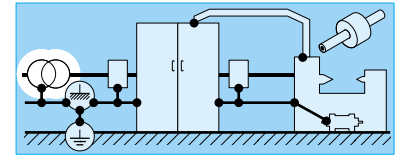
Es conveniente instalar un filtro de red industrial y conectarlo correctamente.

- Instalar limitadores de cresta y chispómetros en la fuente.

No montar estos componentes perturbadores cerca de equipos sensibles.



Alimentación



Análisis

Circuito corriente arriba

Localizar los perturbadores potenciales y el tipo de perturbaciones (naturaleza, intensidad, frecuencia...) que pueden afectar a la alimentación.

Circuito corriente abajo

Localizar los diferentes dispositivos alimentados y el tipo de perturbaciones que generan y que pueden afectar a la alimentación.

Calcular los efectos y consecuencias que pueden tener estas perturbaciones en la instalación alimentada.

- Consecuencias aceptables o no (permanentes, esporádicas...)
- Gravedad y coste de las consecuencias de las perturbaciones
- Coste de la instalación
- Disponibilidad y fiabilidad esperadas...

1

2

3

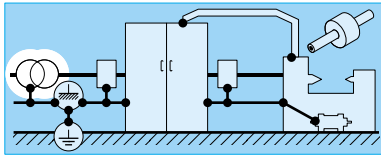
Pliego de condiciones

Una vez definido el pliego de condiciones de la alimentación, será necesario:

- 1- Tener en cuenta las características definidas por el proveedor en el caso de una alimentación de «catálogo». Características de Inmunidad, Emisión, Atenuación en modo común, filtrado...
- 2- Validar, en el caso de alimentaciones personalizadas, el rendimiento de la alimentación en el momento de su recepción (transformador, alimentación especial, alimentación de seguridad, sistema de alimentación ininterrumpida ASI...).
- 3- Definir las características del equipo de alimentación eléctrica que se va a fabricar y comprobar sus características antes de la puesta en servicio.

Desacoplamiento por transformador

(ver el punto «Transformadores de aislamiento» del capítulo 1, apartado «Modos de transmisión de las perturbaciones» «EM»).



Alimentación

Regímenes de neutro

El régimen de neutro define las conexiones eléctricas del neutro y de las masas respecto de la tierra.

En las instalaciones de baja tensión «BT», se caracteriza por:

Primera letra: situación del neutro respecto de la tierra

T = conexión directa del neutro a la tierra

I = conexión a la tierra mediante una impedancia elevada

Segunda letra: situación de las masas respecto de la tierra

T = conexión directa de las masas a una tierra diferenciada

N = conexión de las masas a la tierra del neutro

Esquema TN:

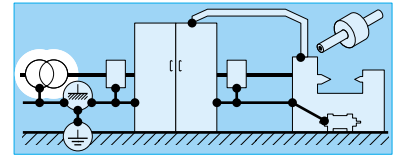
Se descompone en dos grupos TN-C - TN-S

TN-C: la tierra (PE) y el neutro (N) van por un mismo conductor llamado PEN.

TN-S: la tierra (PE) y el neutro (N) van por conductores diferentes conectados a la tierra.

*Al elegir el régimen de neutro, **prevalece siempre la seguridad de las personas** sobre los aspectos funcionales.*

Alimentación



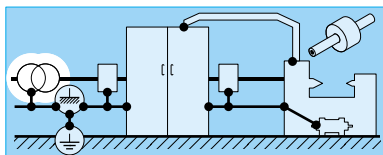
Regímenes de neutro: comportamiento en «CEM»

	TT	TN-C	TN-S	IT
Seguridad de las personas	Bueno Disyuntor diferencial obligatorio	Bueno Vigilar y garantizar la continuidad del conductor PE al ampliar la instalación		
	Bueno	Malo Corrientes muy altas en el conductor PEN, incluso > kA No se puede utilizar en locales con riesgo	Malo Protección diferencial 500 mA	Bueno Recomendado para seguridad intrínseca ya que no produce arco eléctrico
Seguridad de los bienes Riesgos de incendio Riesgos para los componentes				
Disponibilidad de la energía	Bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno
Comportamiento en «CEM»	Bueno El PE deja de ser una referencia de potencial única para la instalación - Instalar pararrayos (distribución aérea) - Es necesario controlar los equipos con corrientes de fuga elevadas situados después de las protecciones diferenciales	Malo Circulación de corrientes perturbadoras por las masas Radiación de perturbaciones «CEM» por el PE. No recomendada si la instalación incluye un generador de armónicos	Muy bueno - Es necesario controlar los equipos con corrientes de fuga elevadas situados después de las protecciones diferenciales - Corrientes de fallo elevadas en el PE (perturbaciones inducidas) - 1 única tierra	Malo Incompatibilidad con la utilización de filtro de modo común. - Puede ser necesario fragmentar la instalación para reducir la longitud de los cables y limitar las corrientes de fuga. - Esquema TN al 2º fallo

1

2

3

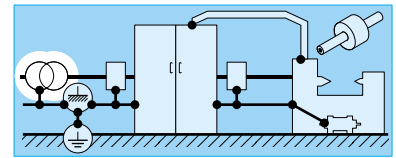




Alimentación

Regímenes de neutro (continuación)

			Primera letra (define la situación del neutro)		Alimentación	
			Conexión directa del neutro a la tierra	Conexión del neutro a la tierra a través de una impedancia, o sin conexión	Directa red BT	Con transformador MT/BT privado
			T	I		
Situación de las masas de la instalación	Masas interconectadas unidas a la tierra en un punto	T	TT		Sí	Sí
				IT	NO	Sí
	Conexión de las masas al neutro	N	TN-C	Advertencia NOTA 1: En esquema TN-C, el conductor PEN, neutro y PE, no debe estar cortado en ningún caso. En esquema TN-S, como en los demás esquemas, el conductor PE no debe estar cortado en ningún caso. NOTA 2: En esquema TN-C, la función "conductor de protección" prima sobre la función "neutro". En particular, un conductor PEN siempre debe estar conectado a la borne de "tierra" de un receptor y es necesario hacer un puente entre esta borne y la de neutro. NOTA 3: Los esquemas TN-C y TN-S se pueden utilizar en una misma instalación. El esquema TN-C debe estar situado necesariamente delante del esquema TN-S. El esquema TN-S es indispensable para secciones de cable < 10 mm² Cu o < 16 mm² Al y en el caso de cables flexibles.	con permiso del distribuidor	Sí
			TN-S		con permiso del distribuidor	Sí

Alimentación

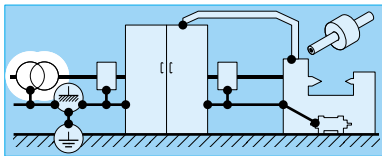


Corte	Dispositivo de protección	Necesidad de un servicio de mantenimiento	Observaciones
1. ^{er} fallo	Disyuntor diferencial • En la entrada de la instalación • Y/o en cada línea (selectividad horizontal)	NO Control periódico	<ul style="list-style-type: none"> Intensidad de la corriente de fallo de aislamiento limitada por las resistencias de toma de tierra (algunas decenas de amperios). Interconexión de las masas y conexión a tierra a través de un conductor PE diferente del conductor de neutro. Ninguna exigencia en cuanto a la continuidad del conductor de neutro. Ampliación sin calcular la longitud de los conductores. La solución más sencilla en la fase de estudio de la instalación.
2. ^o fallo	NO Necesidad de un CPA controlador permanente de aislamiento  Calentamiento de los cables en caso de 2. ^o fallo	SÍ Necesidad de intervenir para eliminar el 1. ^{er} fallo  tras 1. ^{er} fallo => configuración TN	<ul style="list-style-type: none"> La intensidad de la corriente de 1.^{er} fallo de aislamiento no puede provocar una situación peligrosa (decenas de miliamperios). La intensidad de la corriente de doble fallo de aislamiento es alta. Las masas de utilización se conectan a tierra a través de un conductor PE diferente del conductor de neutro. El primer fallo de aislamiento no es ni peligroso ni perturbador. Señalización obligatoria al producirse el 1.^{er} fallo de aislamiento seguida de su localización y eliminación mediante un Controlador Permanente de Aislamiento instalado entre el neutro y la tierra. Disparo imprescindible ante el segundo fallo de aislamiento eliminado por los dispositivos de protección contra las sobretensiones. Deben comprobarse los disparos posteriores al 2.^o fallo. Solución que garantiza la mejor continuidad de servicio durante el funcionamiento. Necesidad de instalar receptores de tensión de aislamiento fase/masa superior a la tensión compuesta (caso del 1.^{er} fallo). Limitadores de sobretensión indispensables.
1. ^{er} fallo	Prohibido	NO <ul style="list-style-type: none"> La comprobación de los disparos debe efectuarse: <ul style="list-style-type: none"> en la fase de estudio, mediante cálculos al poner la instalación en servicio (imprescindible) periódicamente (todos los años), mediante mediciones En caso de ampliación o de renovación, habrá que rehacer estas comprobaciones de disparo. 	<ul style="list-style-type: none"> Masas de utilización conectadas al conductor PEN y éste, a su vez, a la tierra. Intensidad de las corrientes de aislamiento elevada (más perturbaciones y mayor riesgo de incendio) (I cortocircuito KA). Conductor de neutro y conductor de protección unidos (PEN). La circulación de corrientes de neutro por los elementos conductores del edificio y las masas puede provocar incendios y, en el caso de dispositivos sensibles (de medicina, informática o telecomunicaciones), caídas de tensión perturbadoras. Disparo imprescindible ante el primer fallo de aislamiento eliminado por los dispositivos de protección contra las sobretensiones.
1. ^{er} fallo	NO pero en los circuitos de gran longitud es necesario montar un disyuntor diferencial	NO <ul style="list-style-type: none"> La comprobación de los disparos debe efectuarse: <ul style="list-style-type: none"> en la fase de estudio, mediante cálculos al poner la instalación en servicio (imprescindible) periódicamente (todos los años), mediante mediciones En caso de ampliación o de renovación, habrá que rehacer estas comprobaciones de disparo. 	<ul style="list-style-type: none"> Masas de utilización conectadas al conductor PE y éste, a su vez, a la tierra. Intensidad de las corrientes de aislamiento elevada (más perturbaciones y mayor riesgo de incendio) (I cortocircuito KA). Conductor de neutro y conductor de protección separados. Disparo imprescindible ante el primer fallo de aislamiento eliminado por los dispositivos de protección contra las sobretensiones. Se recomienda utilizar los DDR para proteger a las personas contra los contactos indirectos, especialmente en distribución terminal, en la que no es posible controlar la impedancia de bucle. Comprobar que las protecciones funcionan correctamente siempre es delicado. Los DDR facilitan estas pruebas.

1

2

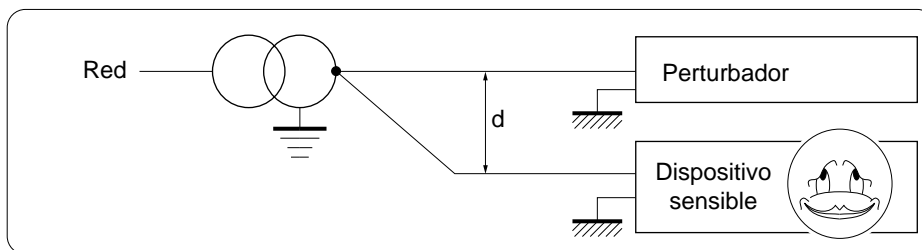
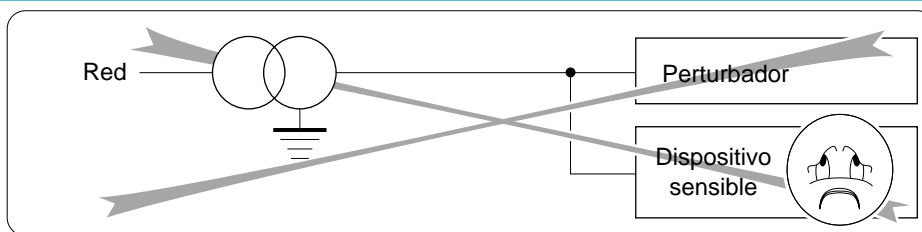
3



Alimentación

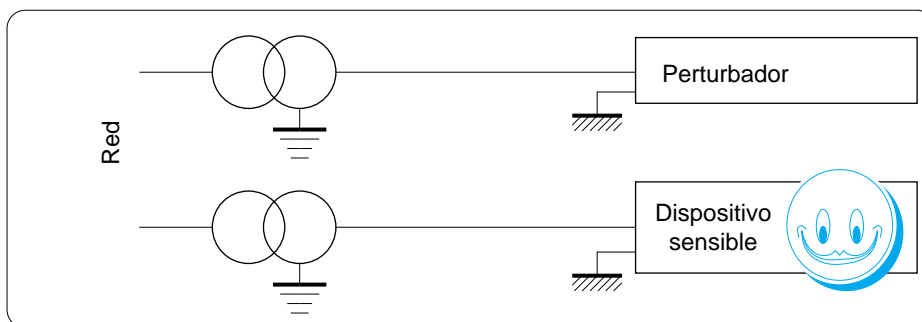
Distribución en la instalación

Cablear en ESTRELLA las alimentaciones de los aparatos a partir de la alimentación principal.

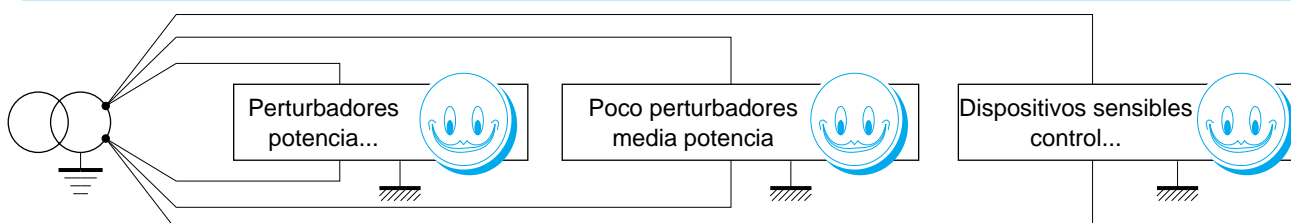


d = distancia entre cables: ver «Reglas de cableado» en este mismo capítulo

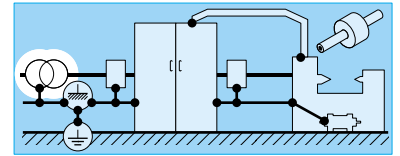
Si se utilizan dispositivos muy sensibles o muy perturbadores, es necesario separar las alimentaciones.



Cablear los circuitos de alimentación situando los dispositivos perturbadores lo más cerca posible de la fuente y los más sensibles, lo más lejos posible.

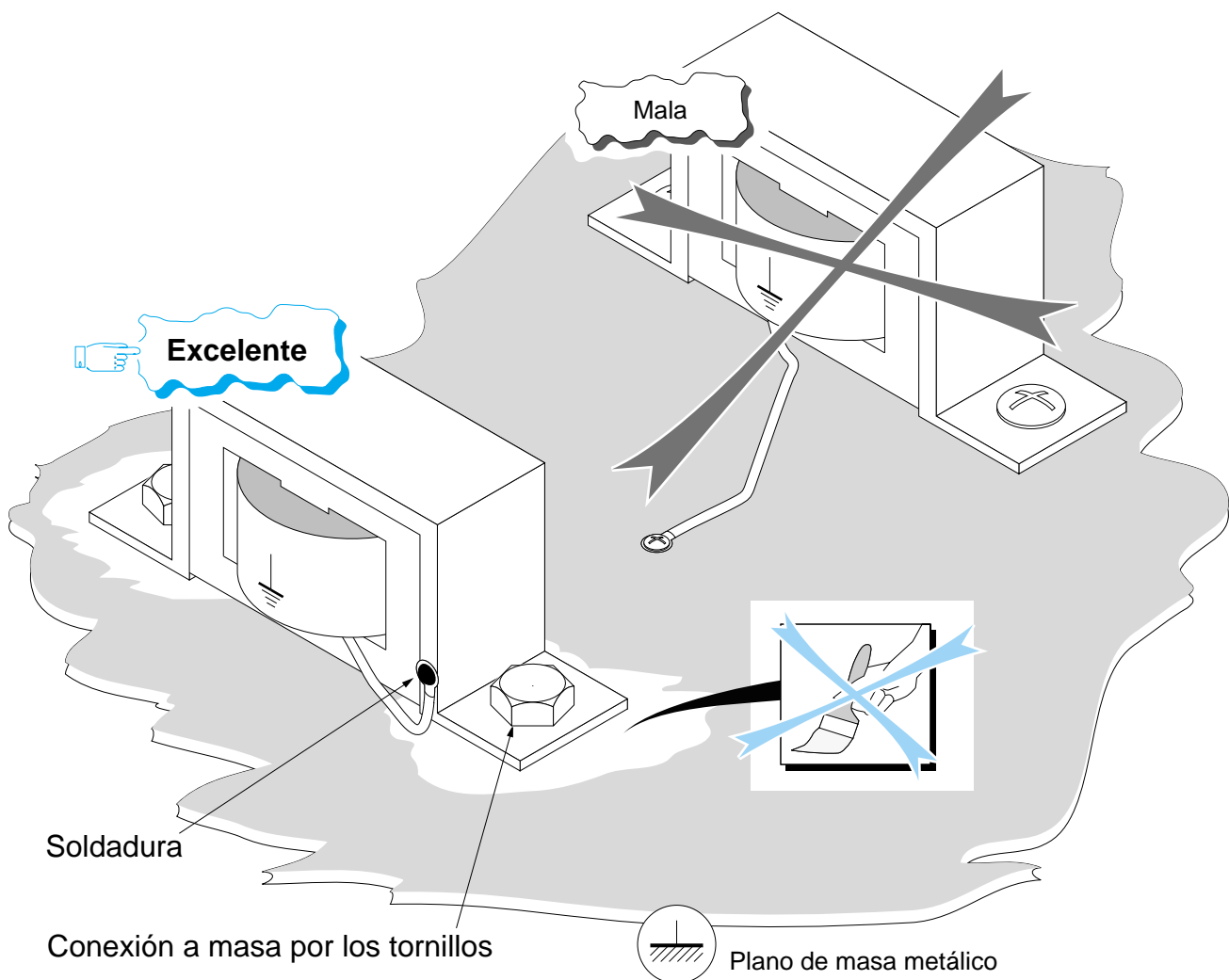


Alimentación



Conexión a masa de las pantallas de transformadores

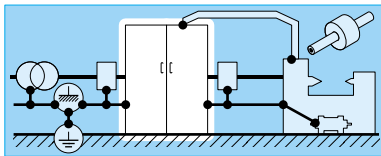
- La longitud de las conexiones de masa debe ser la menor posible.
- El chasis del transformador debe montarse metal con metal en un plano de masa conductor.



1

2

3



Armario

Análisis

1

Componentes

- Localizar los perturbadores potenciales y determinar el tipo de perturbaciones que emiten (naturaleza, intensidad, frecuencia...).
- Localizar los materiales sensibles y determinar su nivel de inmunidad.

Utilizar, por ejemplo, la documentación de los fabricantes para estudiar características del tipo:

- potencia, tensión de alimentación (380 V; 500 V...), tipo de señales (\sim ; =), frecuencia de las señales (50 Hz, 60 Hz, 10 kHz...),
- tipo de circuito (conmutación por contacto seco...)
- tipo de carga controlada (inductancia o bobina...).

3

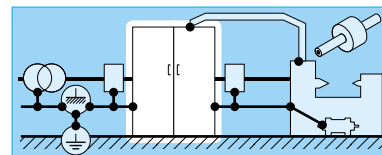
Señales conducidas por los cables

- Localizar los cables de «entrada» (señal procedente del exterior y que entra en el armario) y de «salida».
 - Determinar el tipo de señal conducida por dichos cables y distribuirlos por clase*, a saber: sensibles, poco sensibles, poco perturbadores, perturbadores.
- (ver el apartado «Cables» en este mismo capítulo).

--- * Término no normativo de uso específico para este documento. ---



Armario



Análisis (continuación)

Ejemplo clásico de distribución

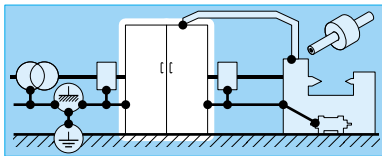
Sensibles	Perturbadores
<ul style="list-style-type: none"> • Autómatas programables (PLC) • Tarjetas electrónicas • Reguladores • Cables conectados a estos elementos, es decir entradas y salidas de detectores, captadores, sondas de medida... —> clase* 1 o 2 • Cables que conducen señales analógicas —> clase* 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Transformadores del armario • Contactores, disyuntores... • Fusibles • Fuentes conmutadas • Convertidores de frecuencia • Variadores de velocidad • Alimentaciones DC --- • Relojes de microprocesadores • Cables conectados a estos elementos • Líneas de alimentación • Cables de «potencia» en general —> clase* 3 o 4 <p>(ver el apartado «Cables» en este mismo capítulo).</p>

--- * Término no normativo de uso específico para este documento. ---

1

2

3



Armario

Plano de masa de referencia

Ante todo, es necesario definir y montar un plano de masa de referencia de fondo de armario, sin pintar.

1

➡ Conectar esta chapa o rejilla metálica al bastidor del armario metálico en varios puntos y éste, a su vez, a la red de masa del equipo.

2

➡ Atornillar directamente todos los componentes (filtros...) a este plano de masa.

➡ Sujetar todos los cables a este plano de masa.

➡ Utilizar collarines atornillados directamente al plano de masa para reforzar los blindajes a 360°.

3

Hacer todas estas conexiones con mucho cuidado (ver el apartado correspondiente en este mismo capítulo).

Entradas de cables

Filtrar los cables perturbadores en la entrada del armario.

Elegir con sumo cuidado las prensaestopas necesarias para garantizar la conexión del blindaje a la masa (al atravesar tabiques...).

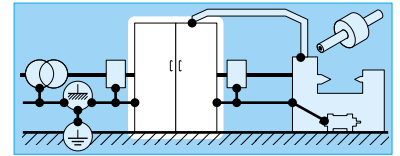
Canalización de los cables

(ver los apartados «Cables», «Cableado» y «Bandejas de cables - Canaletas» en este mismo capítulo).

Distribuir los cables por clases y canalizarlos utilizando canaletas metálicas diferentes y separadas una distancia adecuada.



Armario



Alumbrado

No utilizar lámparas fluorescentes, tubos de descargas... para iluminar los armarios de control (generadores de armónicos...).



Utilizar lámparas de incandescencia.

1

Implantación de los componentes

2

Separar y montar los componentes, cables... «perturbadores» y «sensibles» en armarios diferentes.

3

Armarios pequeños

Es posible reducir la influencia de las perturbaciones montando chapas de separación conectadas en varios puntos a la masa.

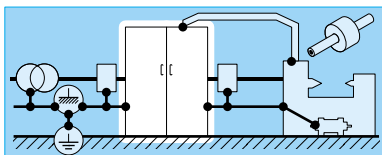
Armarios grandes

Asignar un armario a cada clase de componente...

Los armarios «perturbadores» y los «sensibles» deben ser diferentes y estar separados unos de otros.



No respetar estos puntos puede anular todo el esfuerzo dedicado al montaje y la instalación.

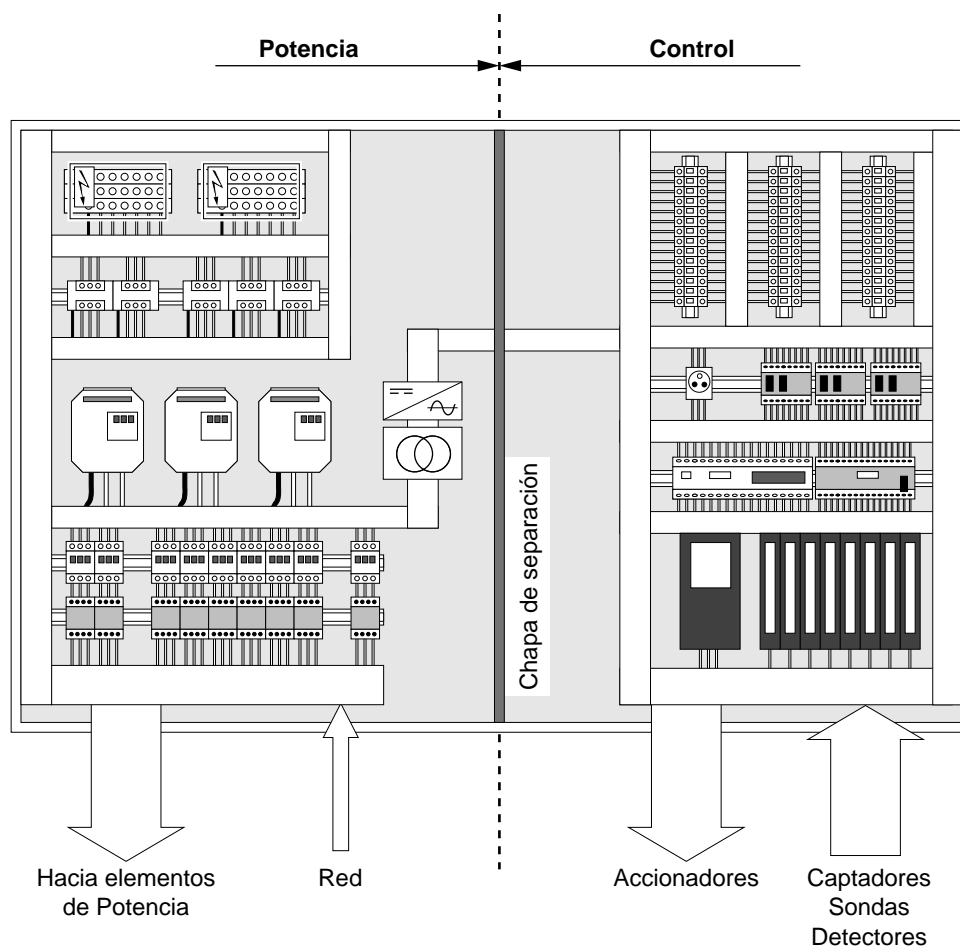


Armario

Ejemplo de la distribución en un armario pequeño

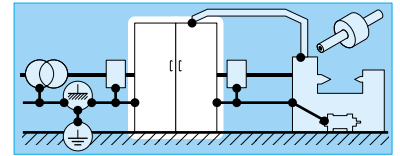


En los armarios pequeños, montar una chapa metálica de separación atornillada al chasis puede ser suficiente.



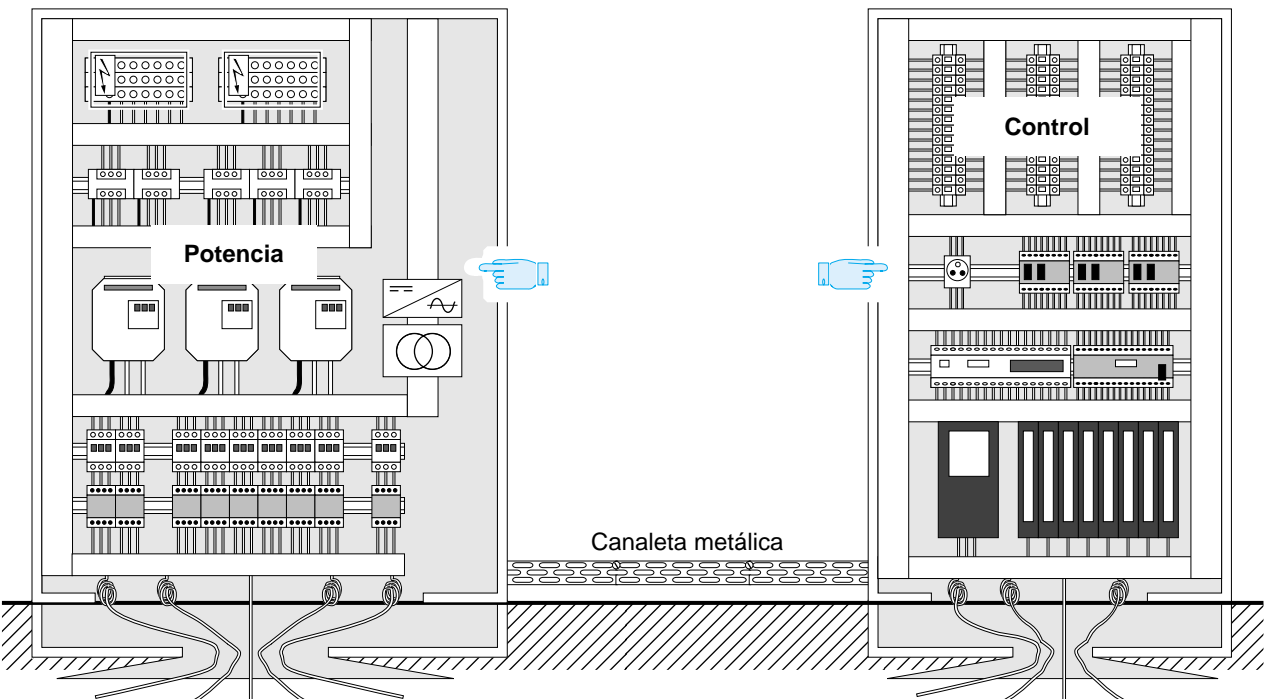
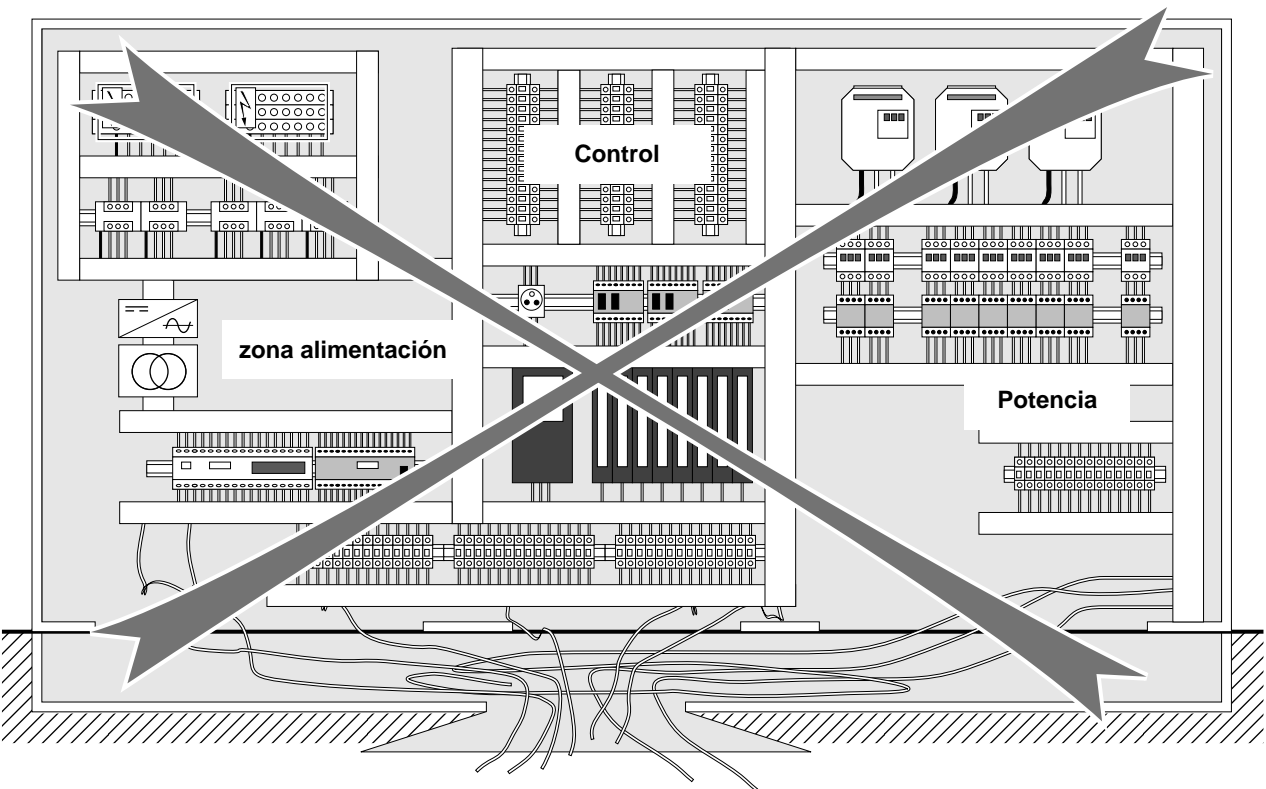


Armario



Ejemplo de la distribución en un armario grande

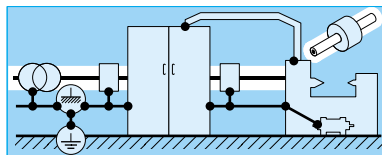
No mezclar los cables, enrollar el cable sobrante.



1

2

3



Cables

Clases* de señales conducidas

Clasificación de las señales por niveles de perturbación

Clase*	Perturbadora	Sensible	Ejemplo de señales conducidas o dispositivos conectados
1 Sensible		++	<ul style="list-style-type: none"> Señales analógicas de control, captadores... Circuitos de medida (sondas, captadores...)
2 Poco sensible		+	<ul style="list-style-type: none"> Circuitos de control y mando de carga resistiva Circuitos digitales (bus...) Circuitos de control con salida todo o nada (captadores...) Alimentaciones continuas de control
3 Poco perturbadora	+		<ul style="list-style-type: none"> Circuitos de control y mando de carga inductiva (relés, contactores, bobinas, onduladores...) con protección adaptada Alimentaciones alternas propias Alimentaciones principales conectadas a aparatos de potencia
4 Perturbadora	++		<ul style="list-style-type: none"> Grupos de soldadura Circuitos de potencia en general Variadores electrónicos, fuentes conmutadas...

Elección de los cables

Tipo de cables recomendados en función de la clase* de la señal conducida

Clase*	Naturaleza	Unifilar	Pares trenzados	Pares trenzados apantallados	Apantallados (trenzas)	Apantallados mixtos (pantalla+ trenza)
1	Sensible					
2	Poco sensible					
3	Poco perturbador					
4	Perturbador					

□ No recomendado

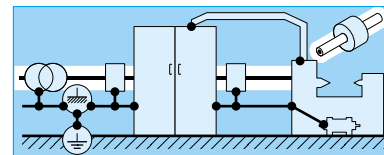
▨ Recomendado
Coste razonable

▩ Poco recomendable
Coste elevado para esta clase de señales

--- * Término no normativo de uso específico para este documento ---



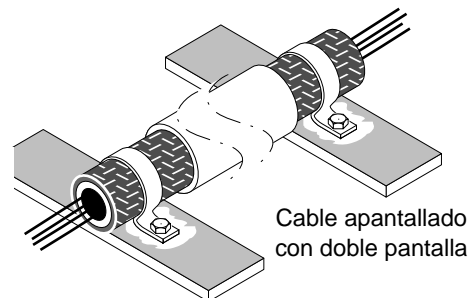
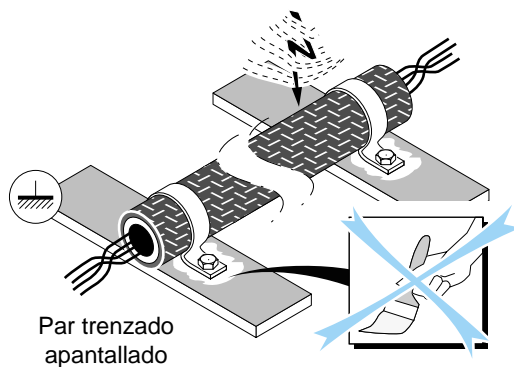
Cables



Ejemplo de cables utilizados para las diferentes clases* de señales

Clase* 1

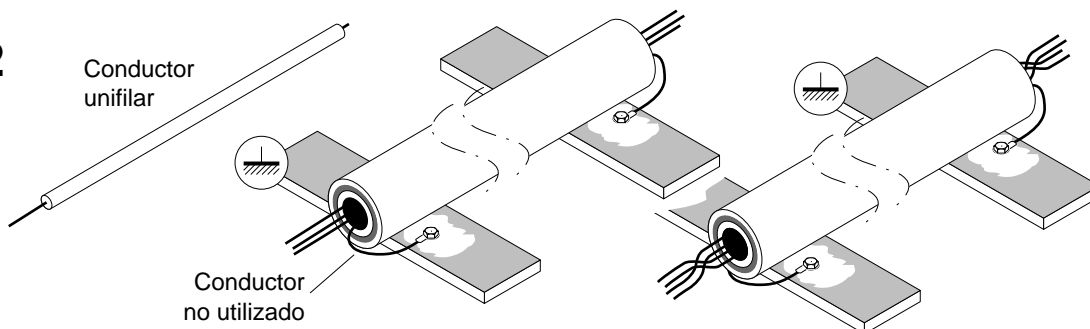
Señales sensibles



1

Clase* 2

Señales poco sensibles

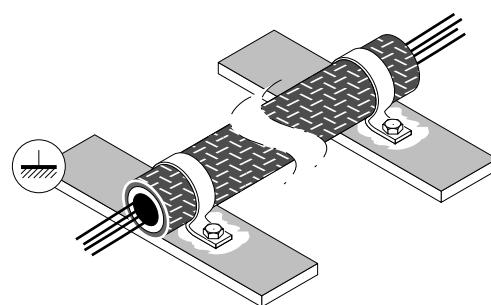
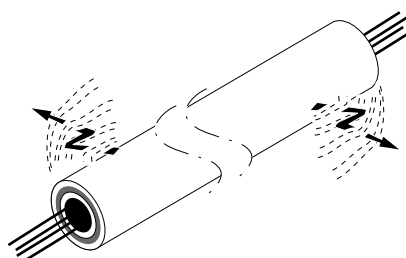


2

3

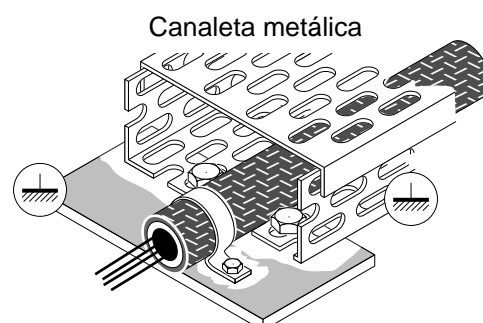
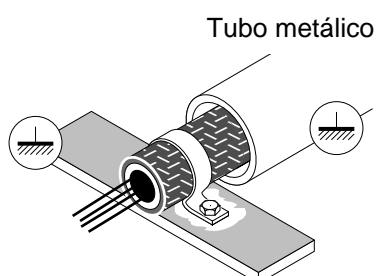
Clase* 3

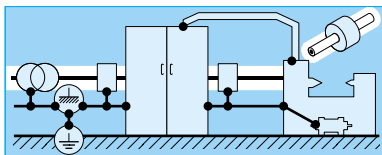
Señales poco perturbadoras



Clase* 4

Señales perturbadoras





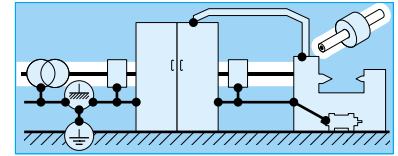
Cables

Rendimiento de los cables en relación con la «CEM»

Cable	Conducidas	Radiadas			
		BF: 0 - 50 Hz	BF < 5 MHz	BF > 5-30 MHz	Modo común
Cable unifilar	Sin efecto	Medio ¹	Pasable ¹	Insuficiente ¹	Malo
		1: Si ida y vuelta están muy cerca			
Bifilar paralelo		Medio	Pasable	Insuficiente	
Bifilar par trenzado		Bueno ²	Bueno hasta 100 kHz	Pasable	Malo
		2: Depende del número de trenzados/metro...			
Par trenzado apantallado		Bueno	Bueno	Medio	Bueno
Plano apantallado Al...		Medio	Pasable	Insuficiente	
Trenza		Excelente	Excelente	Bueno	
Pantalla + trenza		Excelente	Excelente	Excelente	



Cables

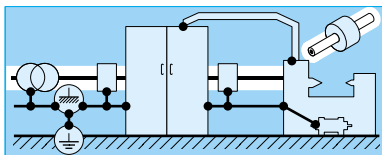


Acoplamiento		Nivel de perturbación	Sector de actividad
Modo diferencial	Diafonía acoplamiento capacitivo inductivo		
Malo	Malo		Exclusivamente dispositivos no sensibles Aplicación Baja Frecuencia «BF» 50 Hz-60 Hz
Bueno	Malo	Dispositivos poco perturbadores	Terciario Industriales poco contaminados
Excelente	Bueno	Perturbaciones industriales débiles	Terciario Industriales poco contaminados Conduce señales < 10 MHz
	Medio	Perturbaciones industriales débiles (emisores radio, alumbrado fluorescente)	Locales industriales poco contaminados Redes locales Equipos informáticos terciario
	Bueno	Perturbaciones industriales clásicas	Sector industrial clásico Informática, medida, regulación Redes locales Control de motor...
	Bueno	Perturbaciones industriales importantes (industria pesada)	Productos muy sensibles en un entorno muy contaminado

1

2

3



Reglas de cableado

Los 10 preceptos

REGLA DE ORO DE LA «CEM»

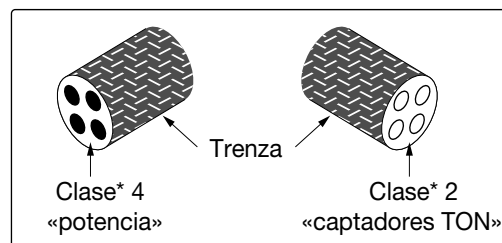
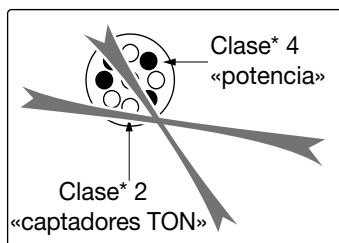
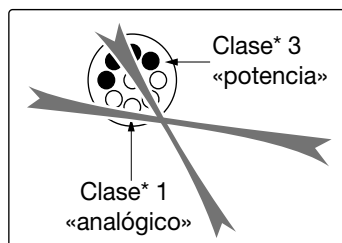
Garantizar la EQUIPOTENCIALIDAD de las masas en alta y baja frecuencia «AF» y «BF»

1

- a nivel local (instalación, máquina...)
- a nivel general

2

No llevar por un mismo cable o conductor trenzado señales de clase* sensible (1-2) y perturbadora (3-4).



Trenza: las hojas de aluminio, armaduras metálicas... no son pantallas «CEM»

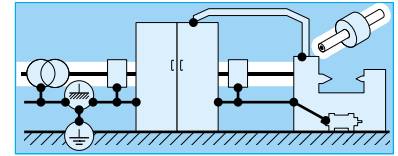
3

Evitar colocar en paralelo cables de transmisión de señales de clases* diferentes: sensibles (clase* 1 - 2) y perturbadoras (clase* 3 - 4).

Limitar lo más posible la longitud de los cables.

--- * Término no normativo de uso específico para este documento. ---

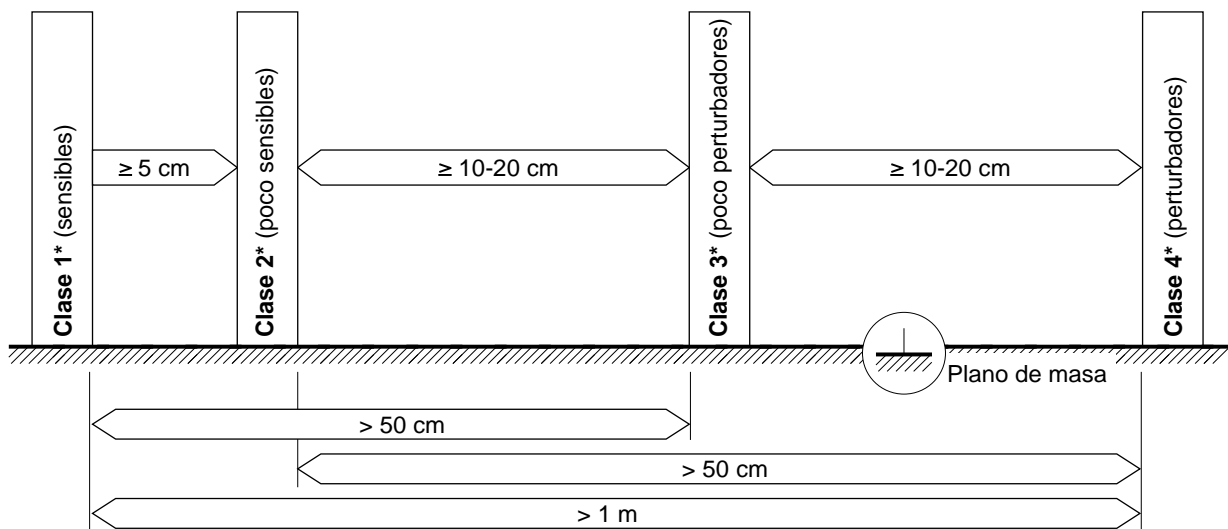
Reglas de cableado



4

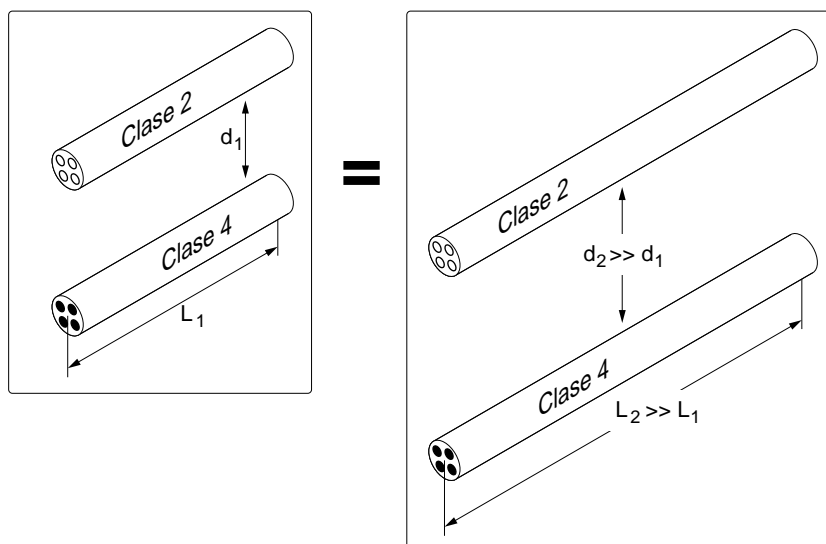
Separar lo más posible los cables que conducen señales de clases* diferentes, especialmente los sensibles (1-2) y los perturbadores (3-4) -es efectivo y barato-.

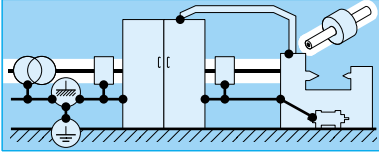
Estos valores se dan a título indicativo y se considera que los cables están sujetos a un plano de masa y que su longitud es $L < 30$ m.



--- * Término no normativo de uso específico para este documento. ---

Cuanto mayor sea la longitud de los cables, mayor deberá ser la distancia que separe unos de otros.





Reglas de cableado

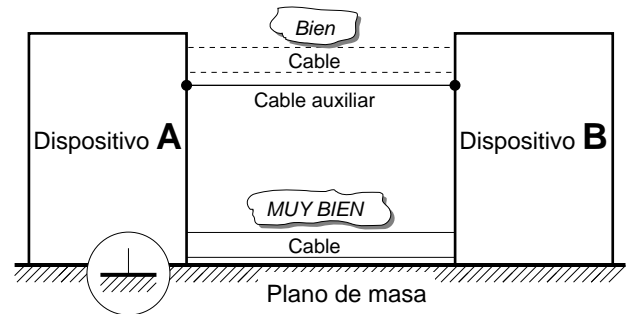
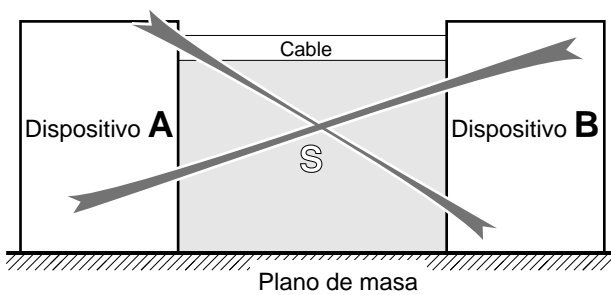
5

Reducir lo más posible la superficie de los bucles de masa.

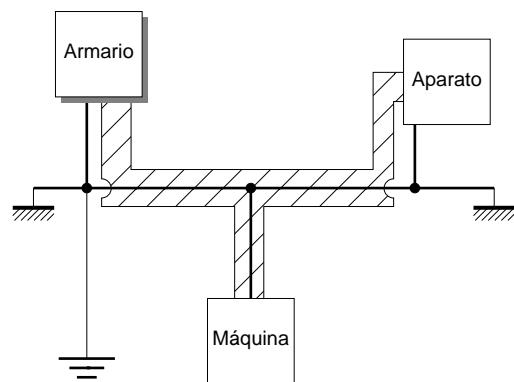
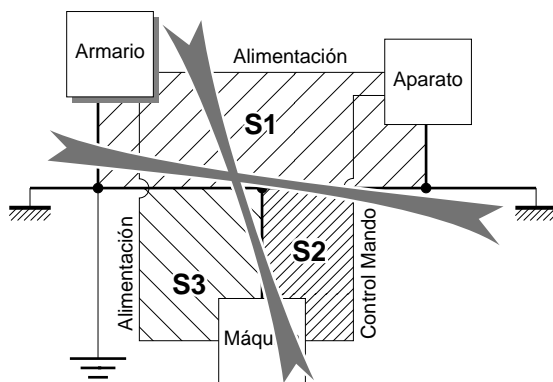
1

2

3



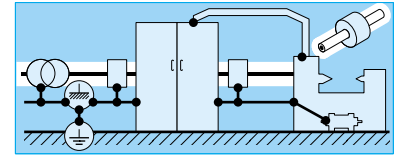
Es necesario garantizar la continuidad del plano de masa entre 2 armarios, máquinas, equipos...



Sujetar todos los conductores, de un extremo al otro, al plano de masa (chapas de fondo de armario, masas de envoltentes metálicos, estructuras equipotenciales de la máquina o del edificio, conductores auxiliares, canaletas...)

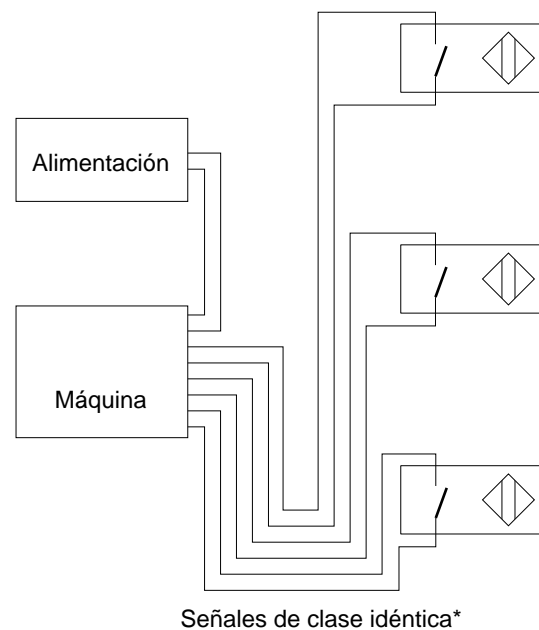
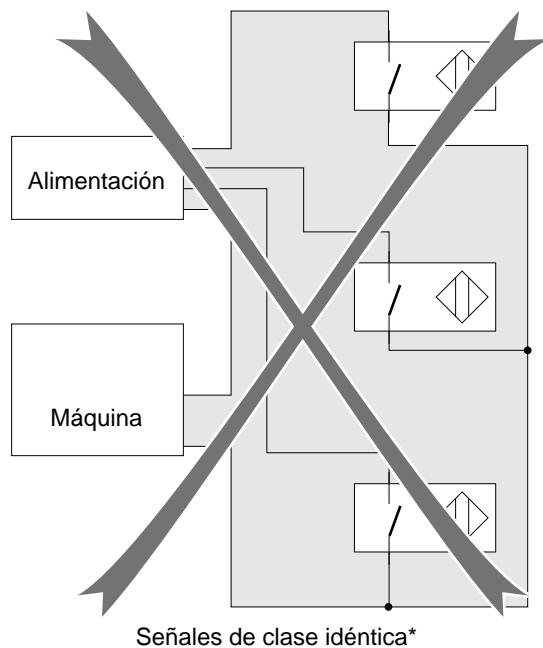


Reglas de cableado



6

El conductor de IDA debe estar siempre lo más cerca posible del conductor de VUELTA.



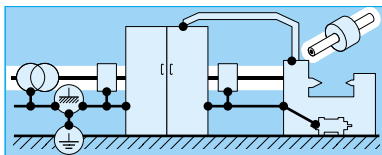
*: captadores ==> clase 2

1

2

3

Los cables bifilares (2 conductores) garantizan que el conductor de IDA irá canalizado en toda su longitud junto al conductor de VUELTA.



Reglas de cableado

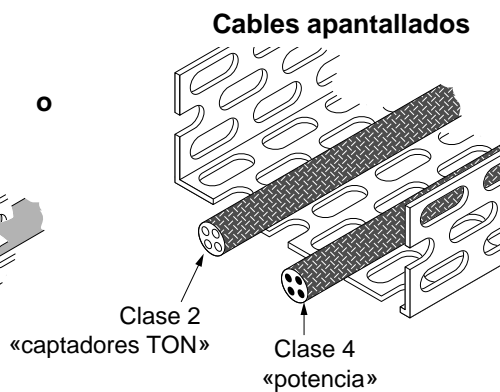
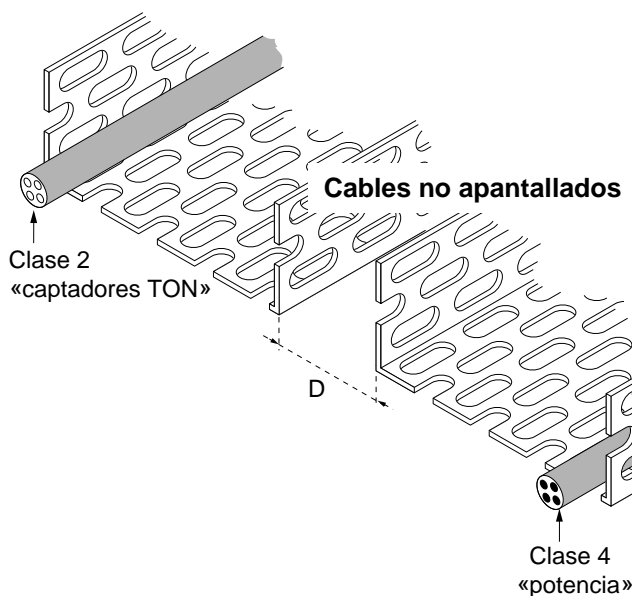
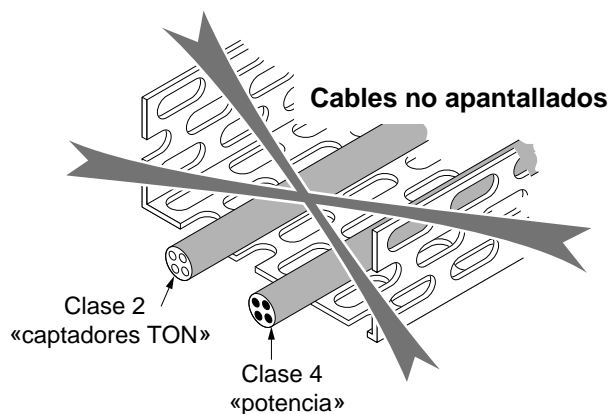
7

Utilizar cables blindados permite llevar cables para la transmisión de señales de clases diferentes por una misma canaleta.

1

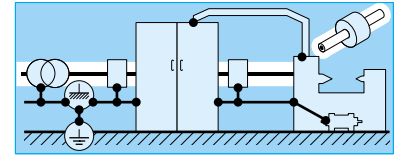
2

3



--- Clase: término no normativo de uso específico para este documento. ---

Reglas de cableado



8

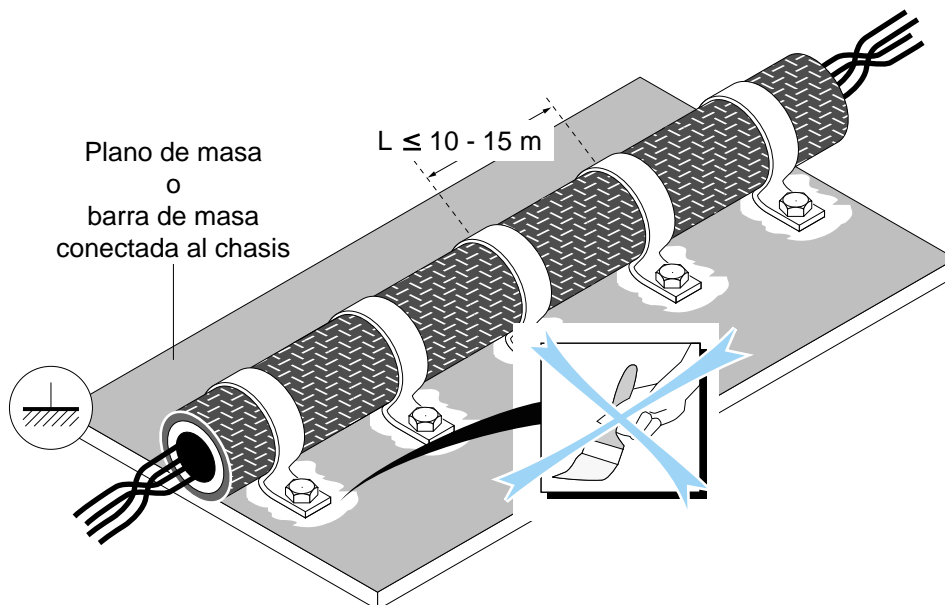
Conexión de las pantallas.

Pantalla conectada en los dos extremos

- Muy eficaz contra las perturbaciones exteriores (alta frecuencia «AF»...).
- Muy eficaz, incluso a la frecuencia de resonancia del cable.
- No se producen diferencias de potencial entre el cable y la masa.
- Permite llevar cables para la transmisión de señales de clases diferentes si la conexión es buena (360°) y la equipotencialidad de las masas también lo es (mallado...).
- Efecto reductor (alta frecuencia «AF») muy elevado - ≈ 300 ,
- En el caso de señales de alta frecuencia «AF» elevadas y cables muy largos > 50 - 100 m, puede inducir corrientes de fuga a tierra.

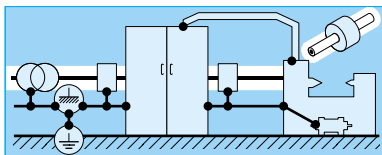
Muy eficaz

Teniendo en cuenta que la equipotencialidad «BF» y «AF» es una regla de oro de la «CEM», las pantallas son mejores si están conectadas a masa en los dos extremos.



La pantalla pierde eficacia si el cable es demasiado largo.

Se recomienda multiplicar las conexiones intermedias a masa.



Reglas de cableado

Pantalla conectada solamente en un extremo

- Ineficaz frente a las perturbaciones exteriores en un campo eléctrico de «AF».
 - Permite proteger una conexión aislada (captador...) contra un campo eléctrico de «BF».
 - La pantalla puede hacer de antena y resonar
- ==> ¡En este caso las perturbaciones son mayores que sin pantalla!
- Permite evitar el «zumbido» («BF»)

==> provocado por la circulación de una corriente de «BF» a través de la pantalla.

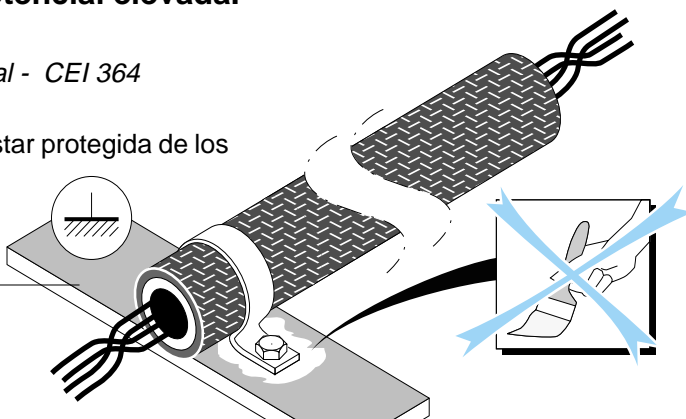


En el extremo de una pantalla no conectada a la masa puede aparecer una diferencia de potencial elevada.

==> es peligroso e ilegal - CEI 364

Por tanto, la pantalla debe estar protegida de los contactos directos.

Plano de masa
o
barra de masa
conectada al chasis



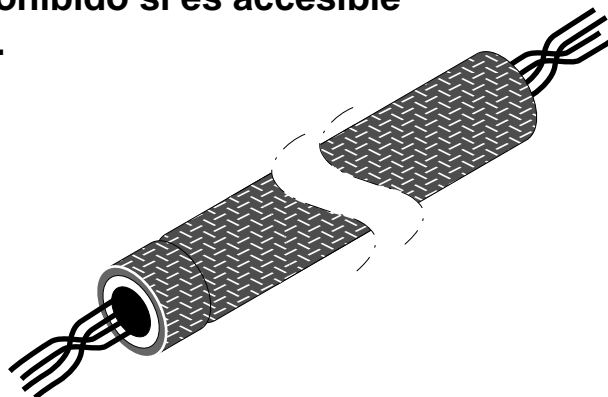
Eficacia media

Si no hay equipotencialidad («zumbido»), la conexión de la pantalla por uno solo de sus extremos es una manera de garantizar un funcionamiento aceptable.



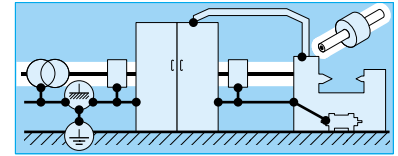
Pantalla no conectada a masa: prohibido si es accesible al contacto.

- Ineficaz frente a las perturbaciones externas («AF»...).
- Ineficaz contra el campo magnético.
- Limita la diafonía capacitiva entre conductores.
- Se puede producir una elevada diferencia de potencial entre la pantalla y la masa ==> es peligroso y está prohibido (CEI 364).



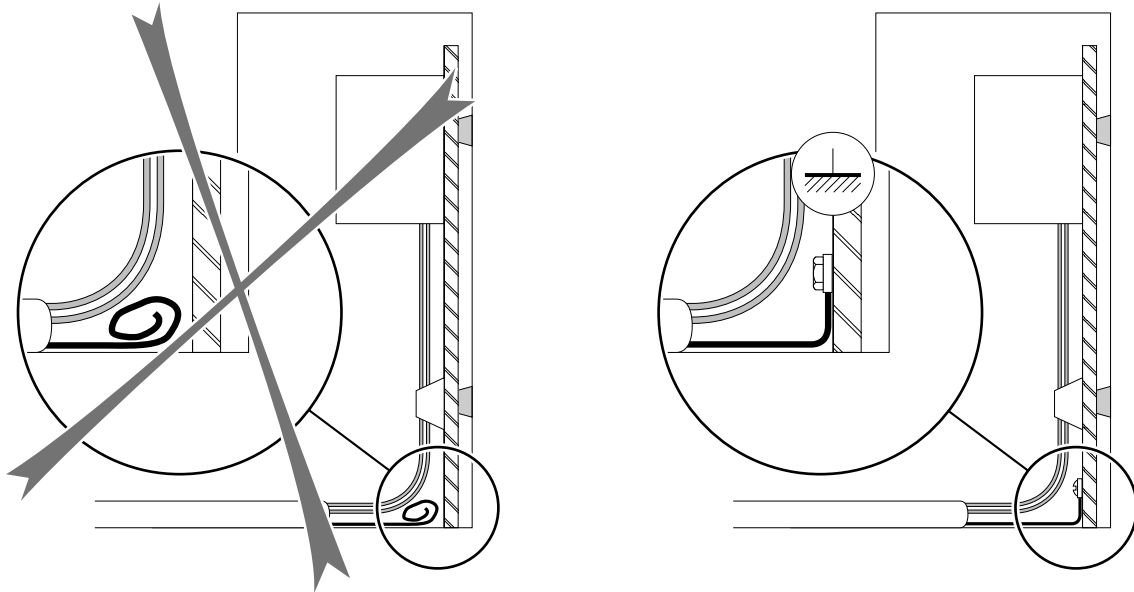
No tiene ninguna eficacia, sobre todo si se compara con las posibilidades que ofrece una pantalla instalada correctamente y con su coste.

Reglas de cableado



9

Los conductores libres o no utilizados de un cable deben estar sistemáticamente conectados a masa (chasis, canaleta, armario...) en los 2 extremos.



En el caso de señales de clase* 1, si la equipotencialidad de las masas de la instalación es mala, se pueden producir «zumbidos» de «BF», que se superponen a la señal útil.

--- * Término no normativo de uso específico para este documento. ---

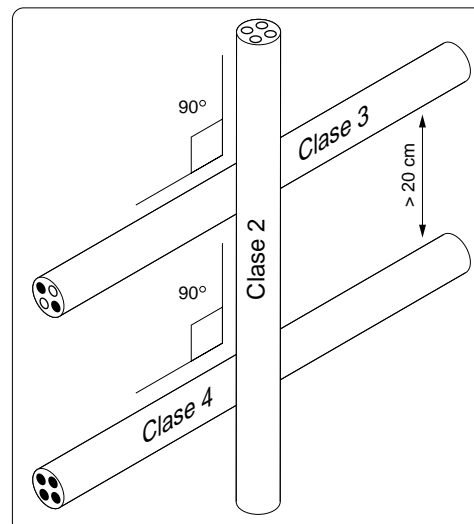
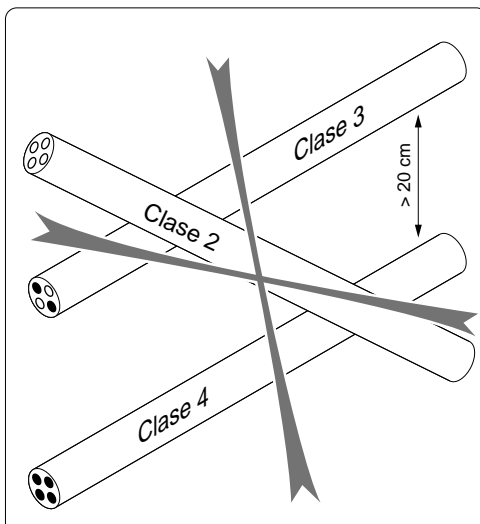
1

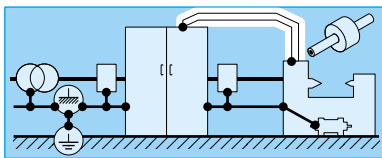
2

3

10

Montar de forma que se crucen en ángulo recto los conductores o cables que conduzcan señales de clases diferentes, especialmente en el caso de señales sensibles (1-2) y perturbadoras (3-4).





Bandejas de cables

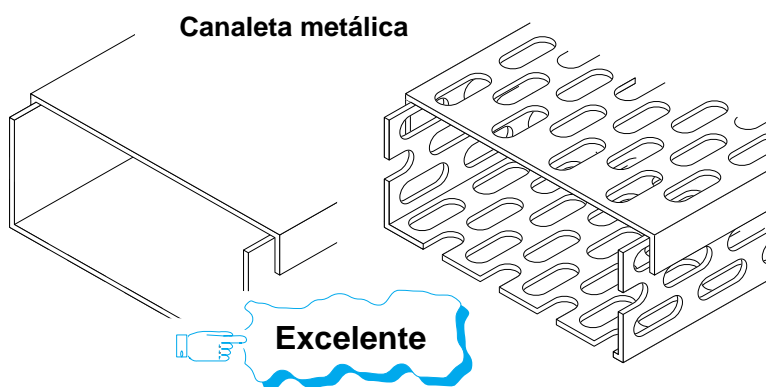
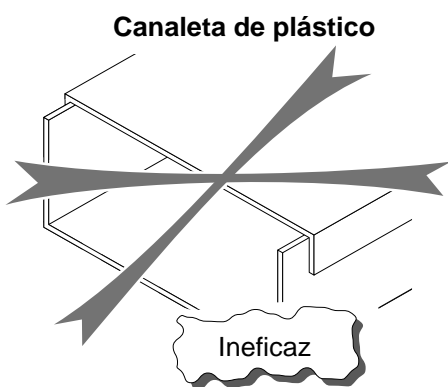
Canaletas

Las canaletas, tubos metálicos... conectados correctamente proporcionan una segunda pantalla muy eficaz de los cables.

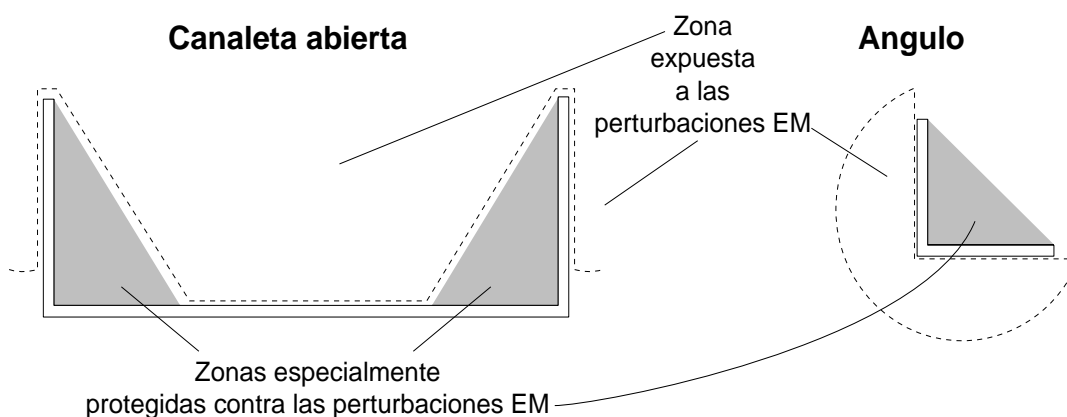
1

2

3



Comportamiento frente a las perturbaciones EM

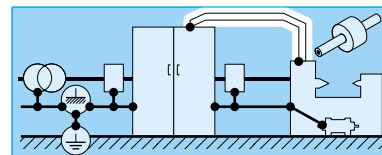


El efecto de pantalla de una canaleta metálica depende de la posición del cable.

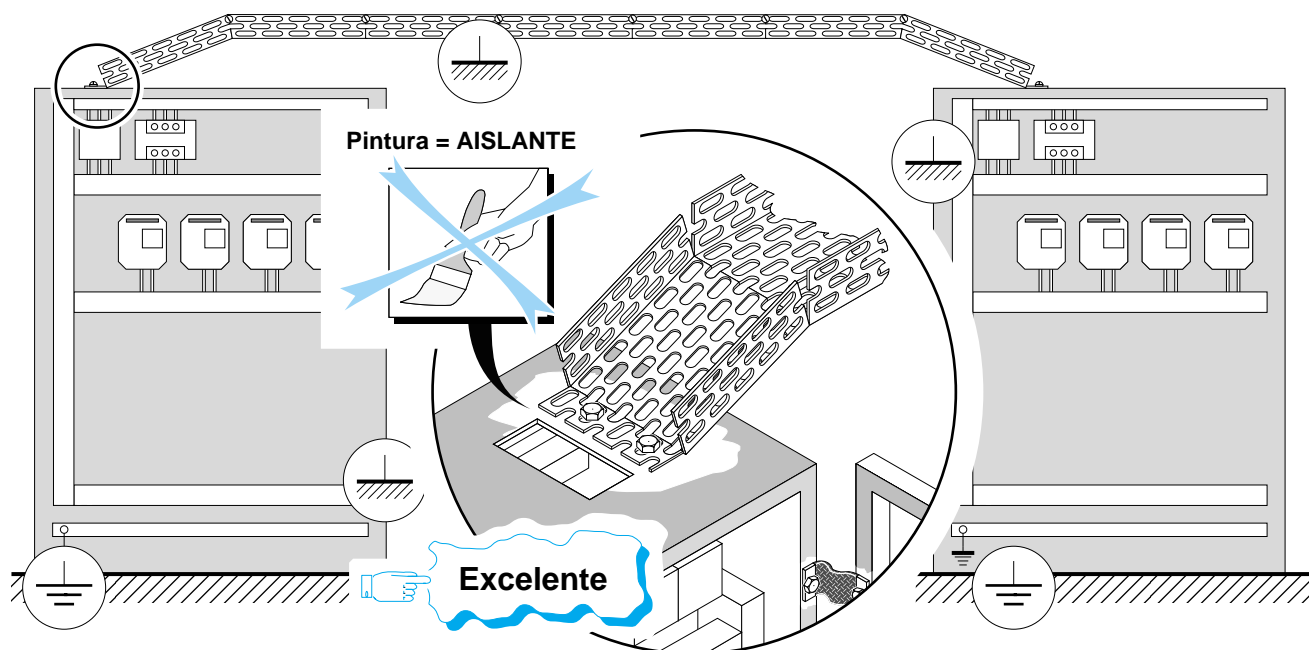
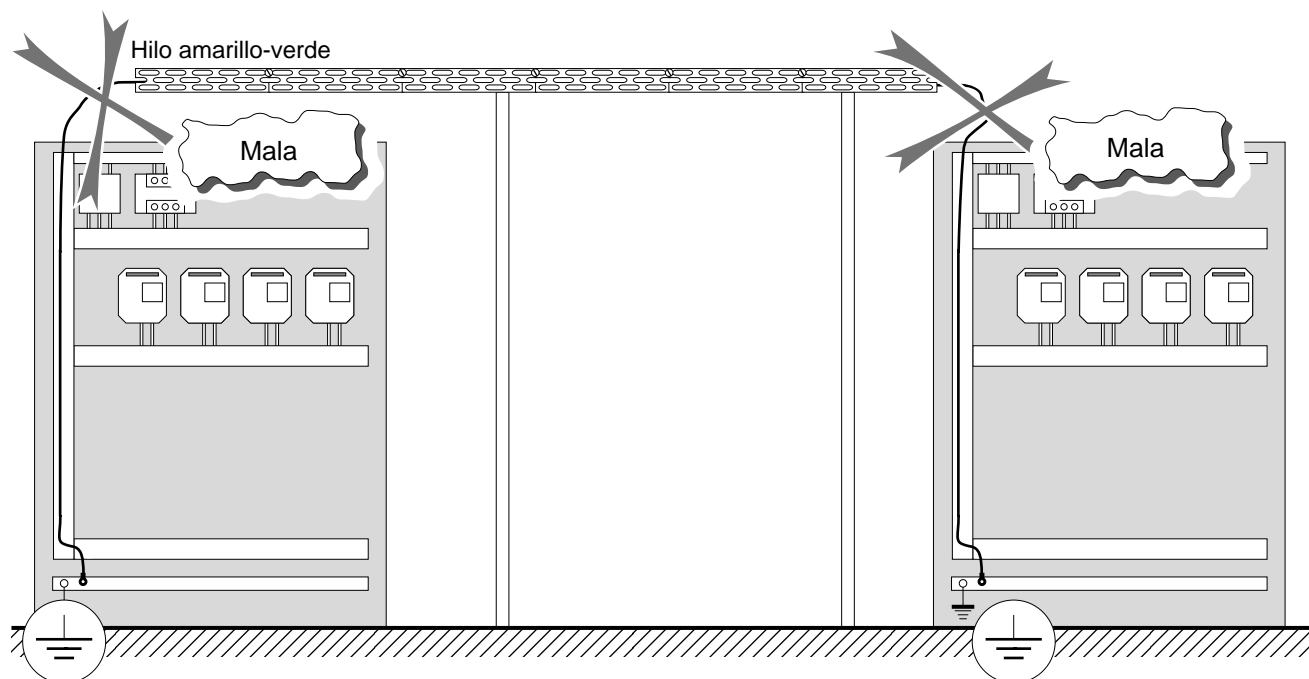


La mejor canaleta metálica es ineficaz si sus extremos están mal conectados.

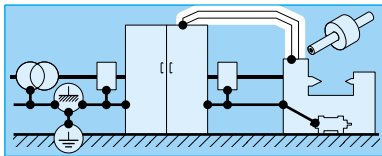
Bandejas de cables



Conexión a los armarios



Los extremos de las canaletas, tubos metálicos... deben estar atornillados a los armarios metálicos de forma que la conexión sea adecuada.



Bandejas de cables

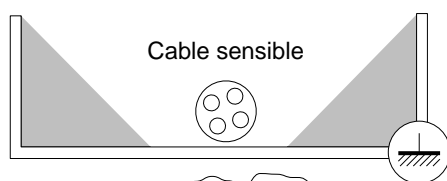
Colocación de los cables

1

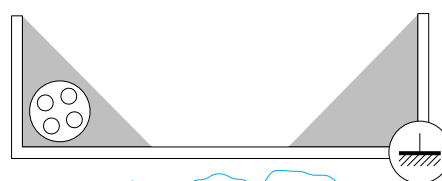
2

3

Canaletas

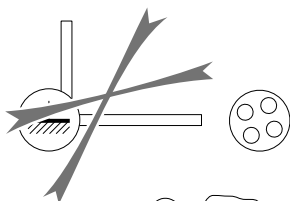


Media

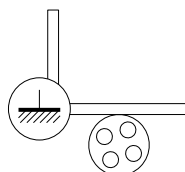


Excelente

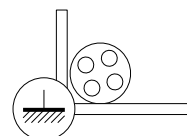
Angulos



No recomendada



Buena

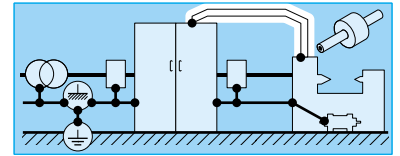


Excelente



La mejor canaleta metálica es ineficaz si sus extremos están mal conectados.

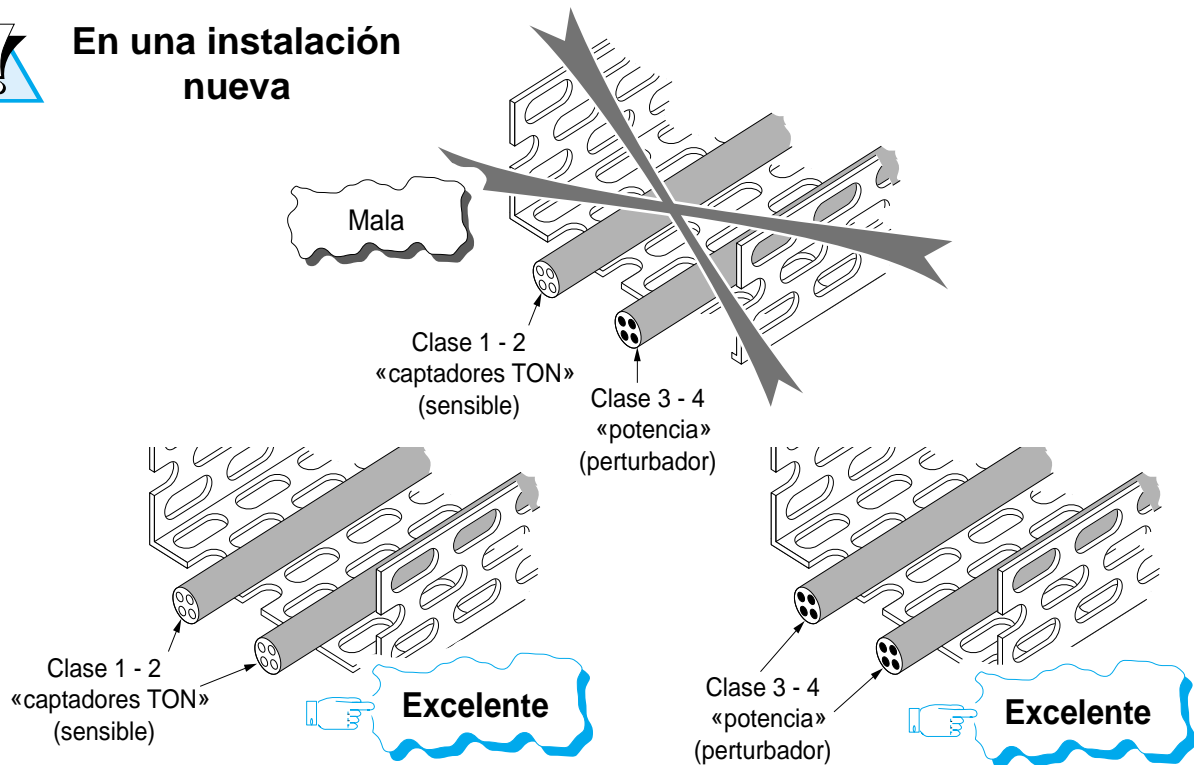
Bandejas de cables



Los cables perturbadores y los sensibles deben conducirse por canalizaciones diferentes.



En una instalación nueva



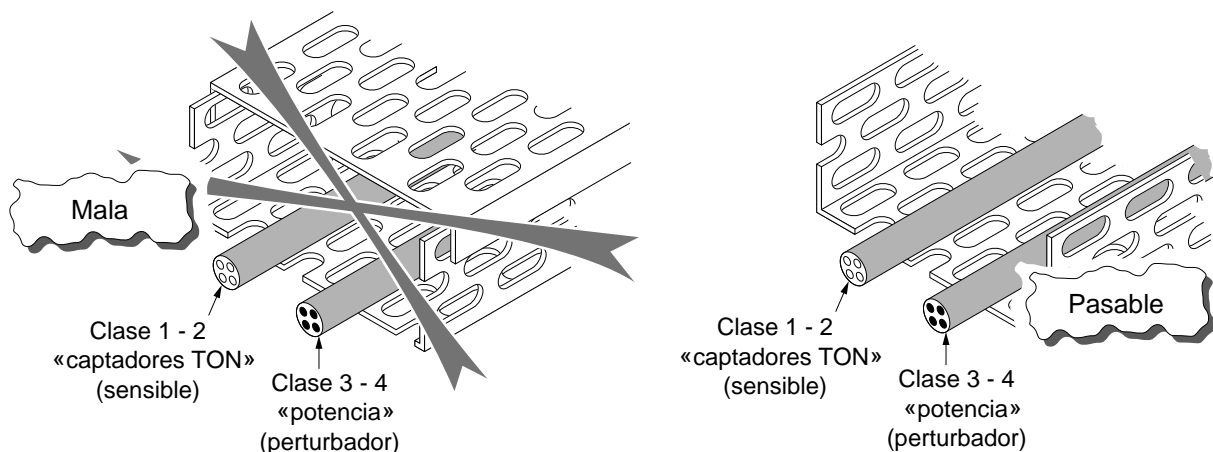
1

2

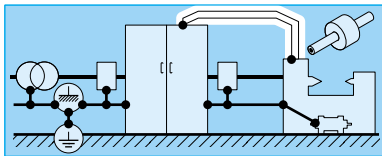
3



En una instalación ya existente



Si, a pesar de todo, los cables «sensibles» (clase 1 - 2) y perturbadores (clase 3 - 4) han de ir por la misma canaleta, es preferible dejarla abierta.



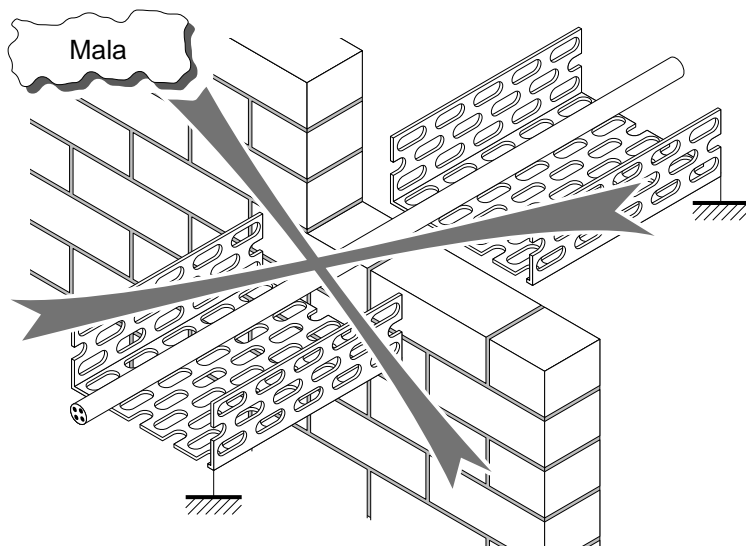
Bandejas de cables

Conexión de los extremos

Los extremos de las canaletas, tubos metálicos... deben estar solapados y atornillados entre sí.

1

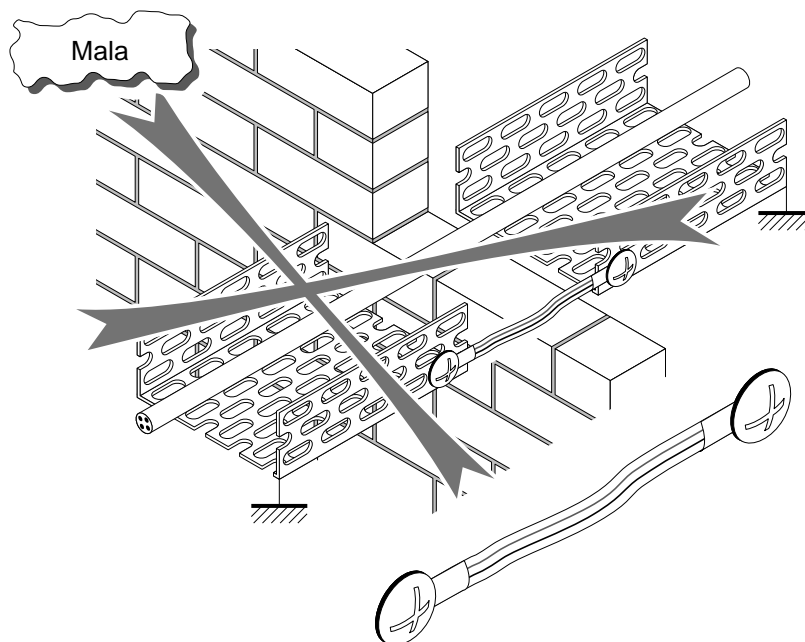
(¡El plano de masa no tiene continuidad!)



2

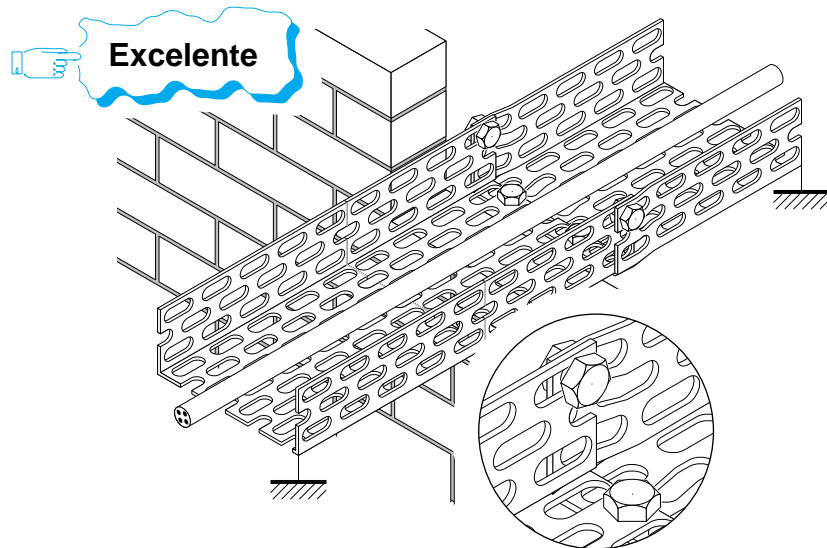
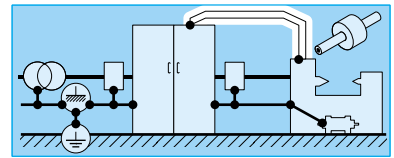
3

(¡El plano de masa no tiene continuidad!)



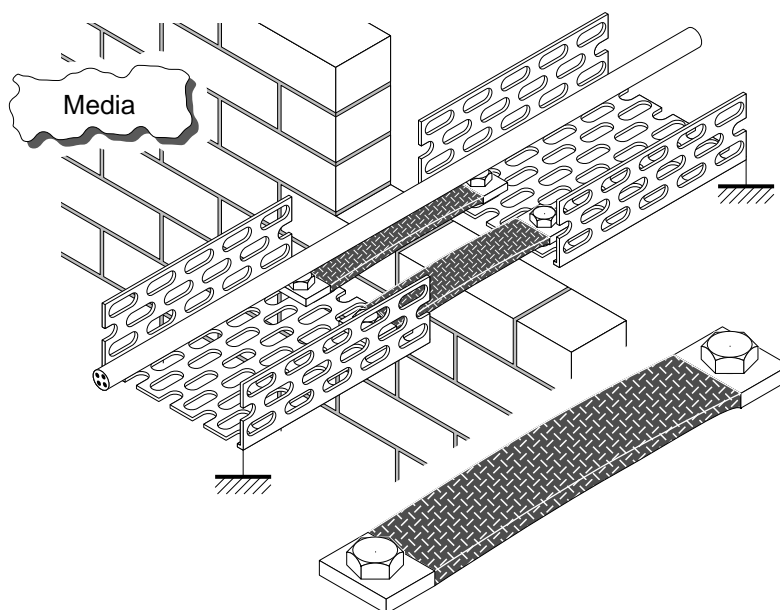
Un conductor de longitud $L \simeq 10$ cm divide por 10 la eficacia de la canaleta.

Bandejas de cables

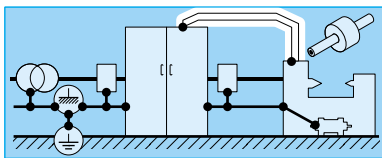


Si no fuera posible solapar y atornillar los extremos de las canaletas:

==> montar una trenza ancha y corta debajo de cada conductor o cable.



La mejor canaleta metálica es ineficaz si sus extremos están mal conectados.

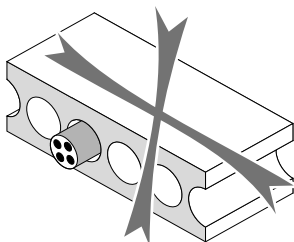


Bandejas de cables

Modo de colocación incorrecto

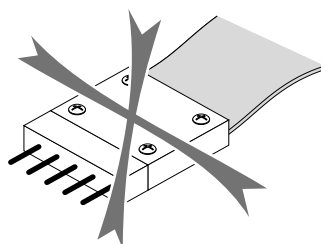
1

Hueco de ladrillo de tabique



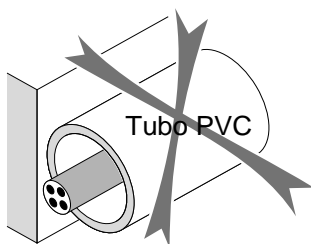
2

Cubierta, bus...

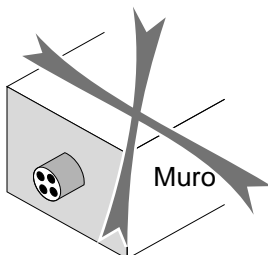


3

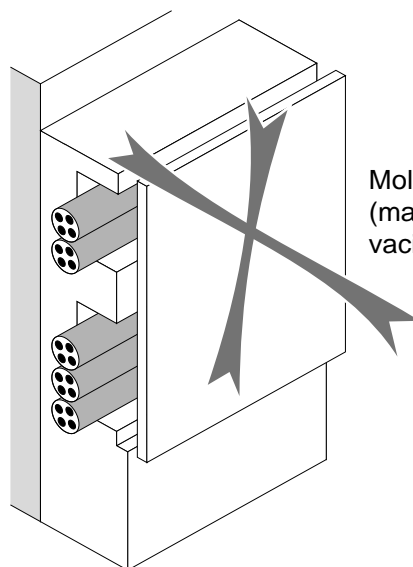
Canalización a la vista



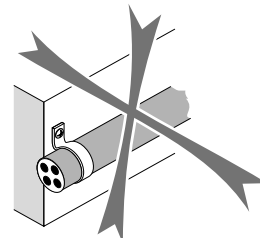
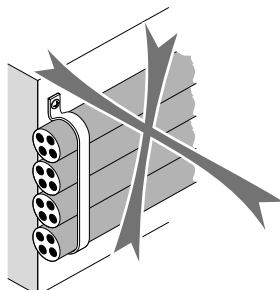
Canalización empotrada



Moldura, zócalo (marco de puerta) vaciados



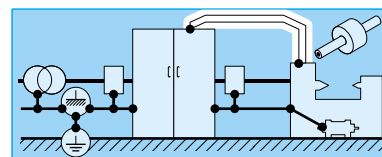
Fijación directa a paredes y techos con abrazaderas, bridas...



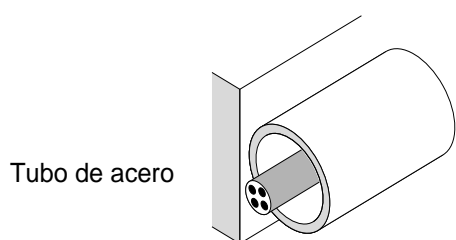
La mejor canaleta metálica es ineficaz si sus extremos están mal conectados.



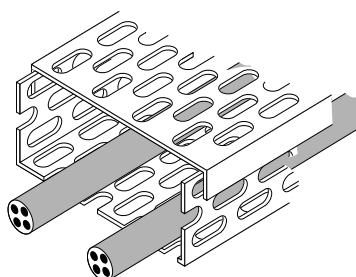
Bandejas de cables



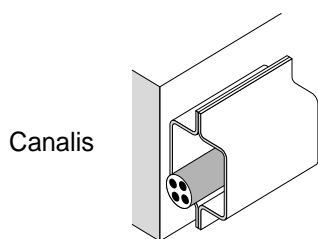
Modo de colocación correcto



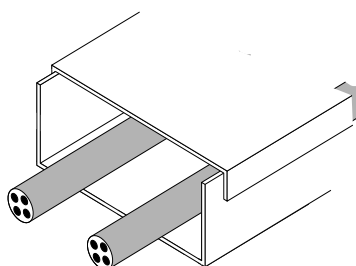
Tubo de acero



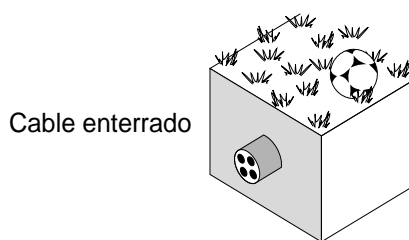
Canaleta de acero



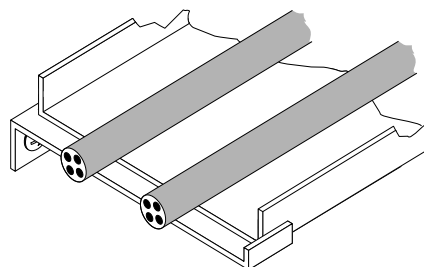
Canalis



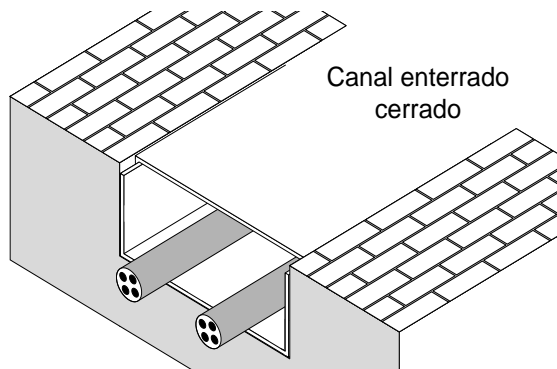
Canalón de acero



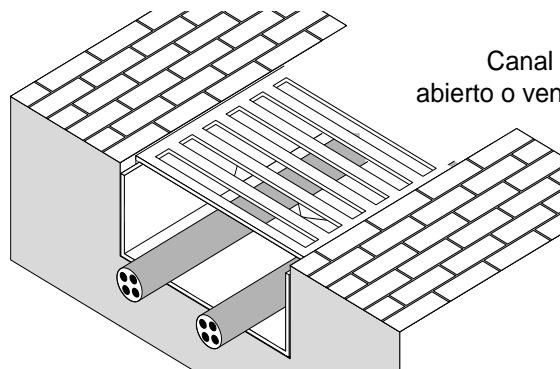
Cable enterrado



Conducto para cables
o
Placa de acero



Canal enterrado
cerrado

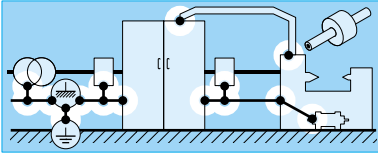


Canal
abierto o ventilado

1

2

3



Conexiones

La calidad de las CONEXIONES es tan importante como el cable, la pantalla y la red de masa.

Es imprescindible entender los fenómenos de alta frecuencia «AF», por lo que se recomienda leer el capítulo I (especialmente el apartado «Cables»).

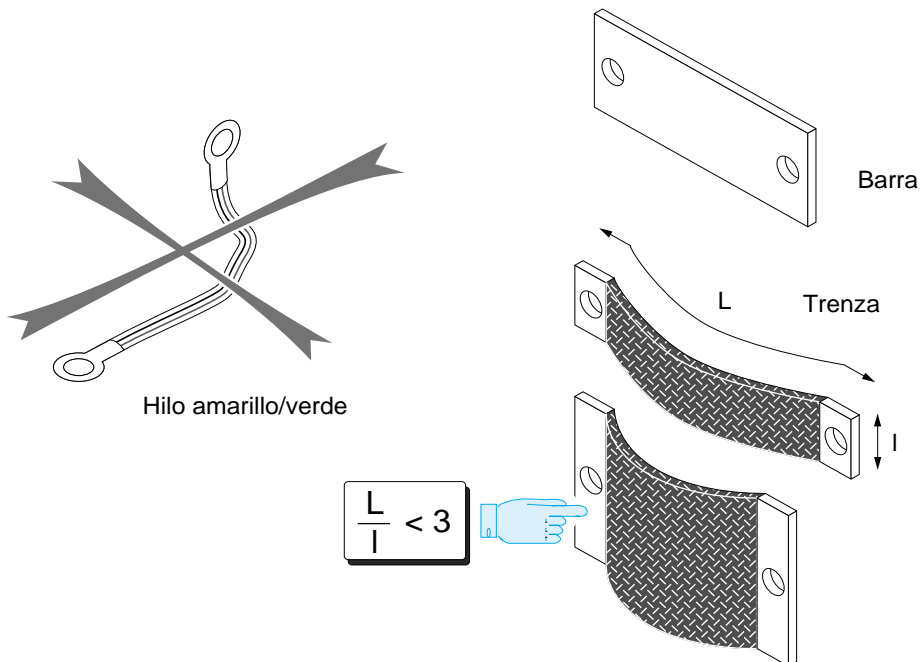
1

Tipo y longitud de las conexiones

2

En todos los casos, las conexiones de masas... deben ser lo más cortas y anchas posible.

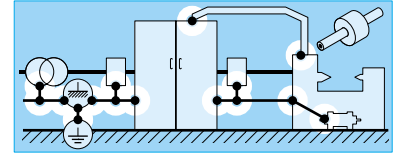
3



Advertencia: en alta frecuencia «AF», la longitud del cable es determinante (ver el capítulo I)

La calidad de las conexiones es determinante para la «CEM».

Conexiones



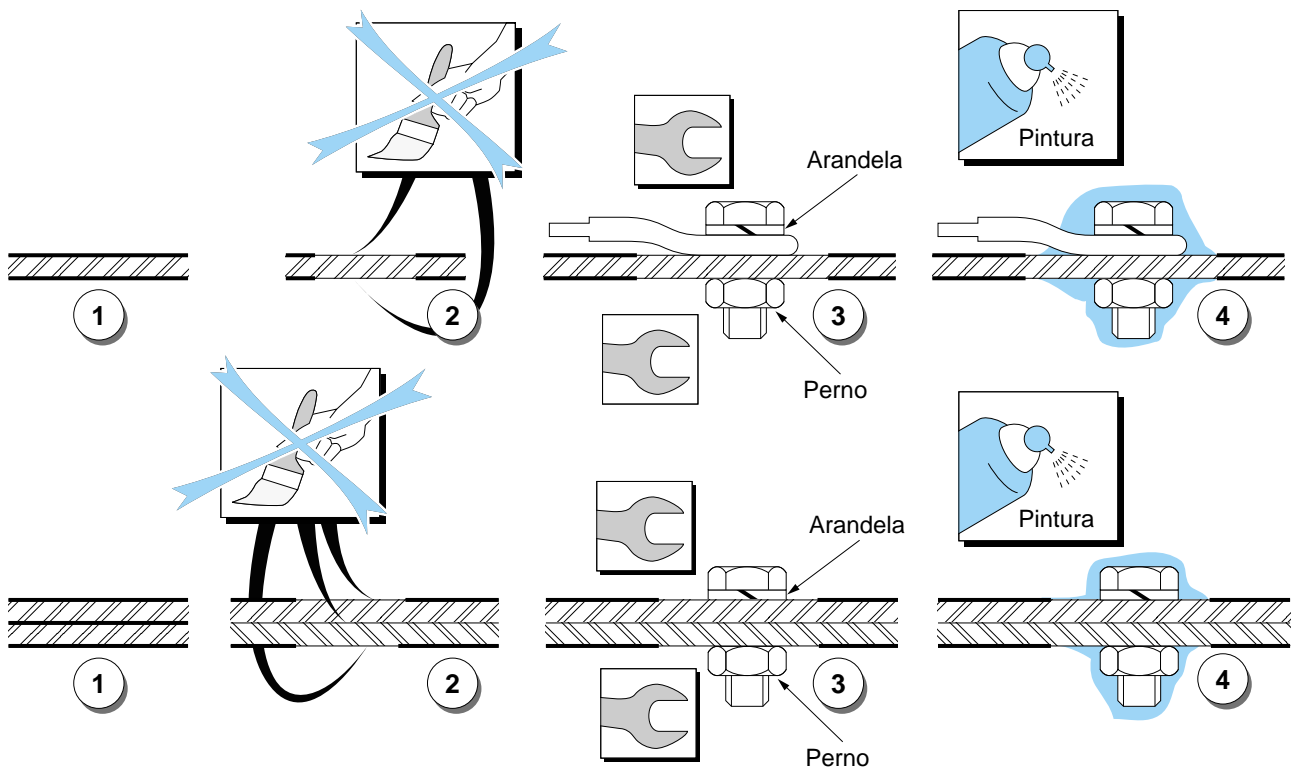
Realización de una conexión

Es imprescindible que se produzca un contacto «metal con metal» y que la presión de contacto entre las partes conductoras sea elevada.

Procedimiento:

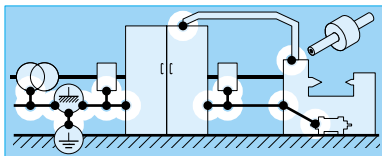
- 1 - Chapa pintada
- 2 - No pintar - rascar la pintura
- 3 - Apretar bien la conexión utilizando, por ejemplo, un sistema de tuerca y tornillo con arandela
- 4 - Asegurarse de que el contacto es permanente

—> Aplicar pintura o grasa anticorrosivas una vez asegurado el contacto.



Eliminar los revestimientos aislantes, pinturas... de las superficies en contacto

La calidad de las conexiones es determinante para la «CEM».

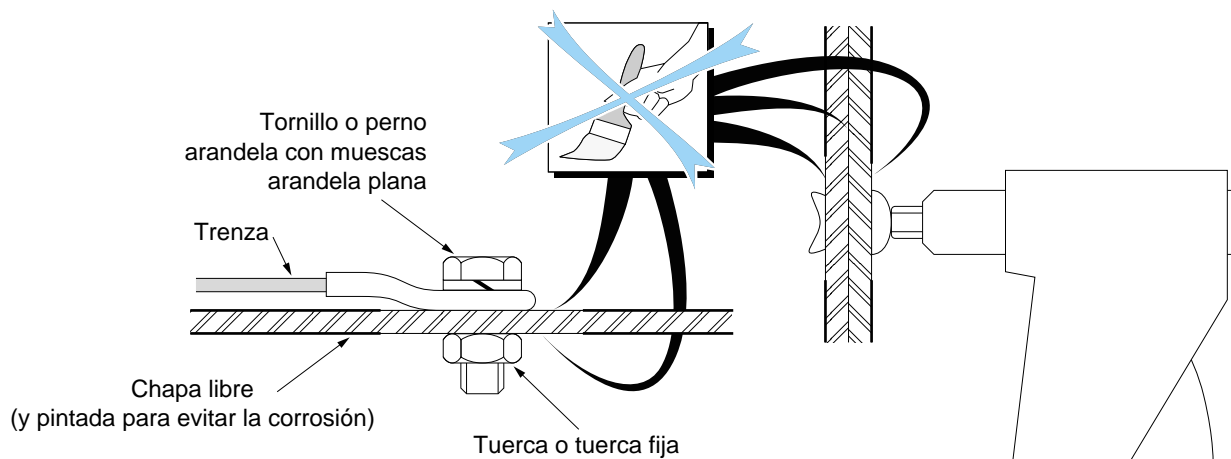


Conexiones



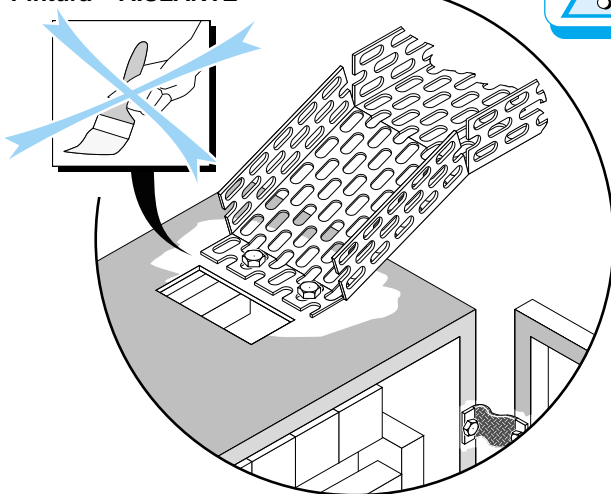
Acciones que deben evitarse

1



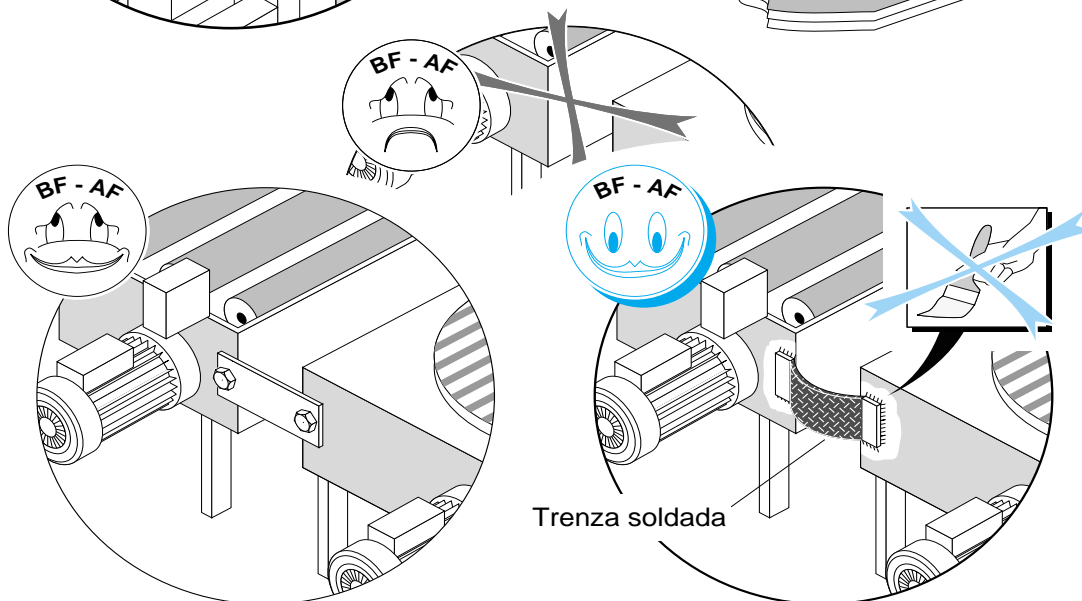
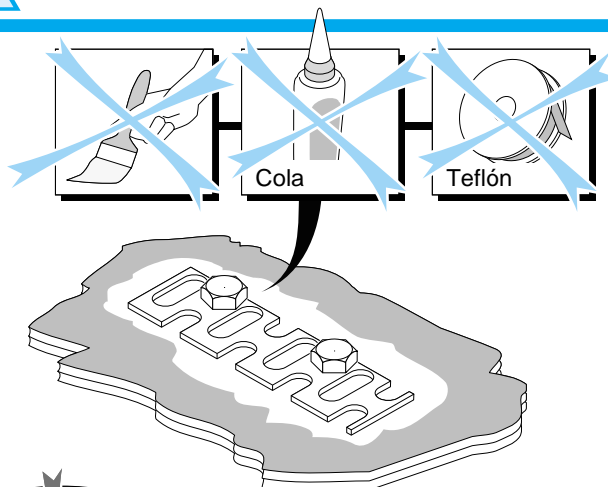
2

Pintura = AISLANTE

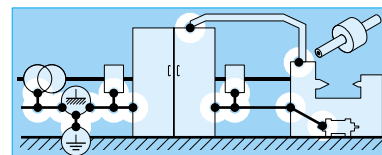


3

Pintura, cola y teflón = AISLANTE

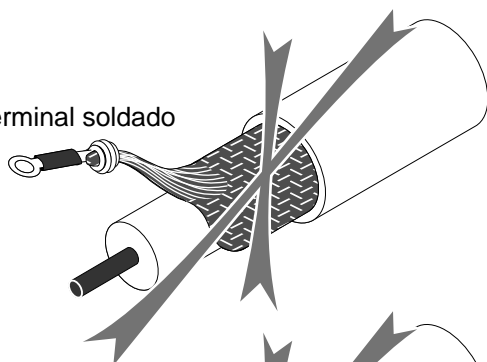


Conexiones

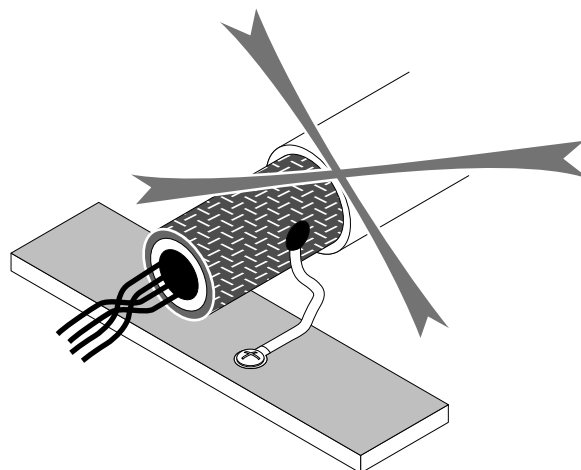
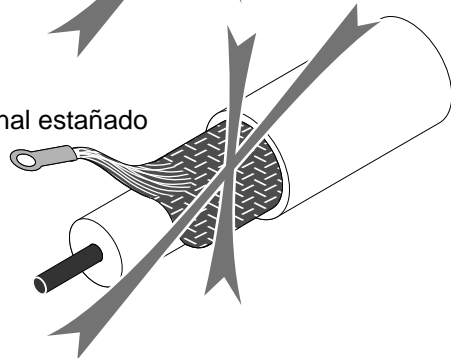


Conexión de los blindajes

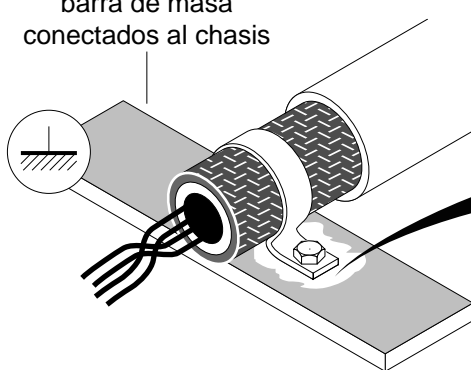
Terminal soldado



Terminal estañado

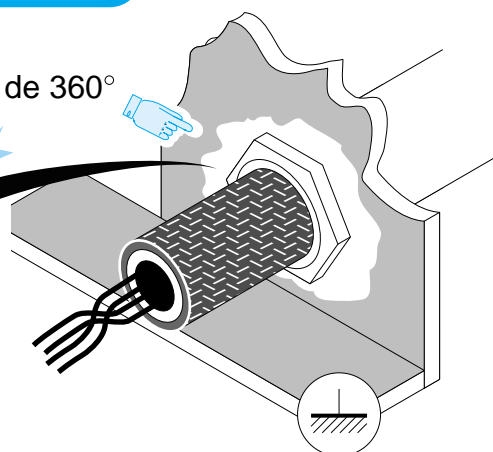
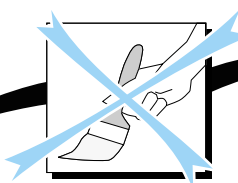


Plano de masa
o
barra de masa
conectados al chasis



**Garantizar un contacto
metal / metal**

Lo ideal: contacto de 360°



1

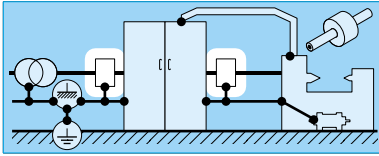
2

3



**Cuidado con las láminas de plástico aislante situadas
entre la pantalla y la funda**

Las pantallas en el extremo de los cables deben reforzarse mediante un contacto metal con metal de 360°.



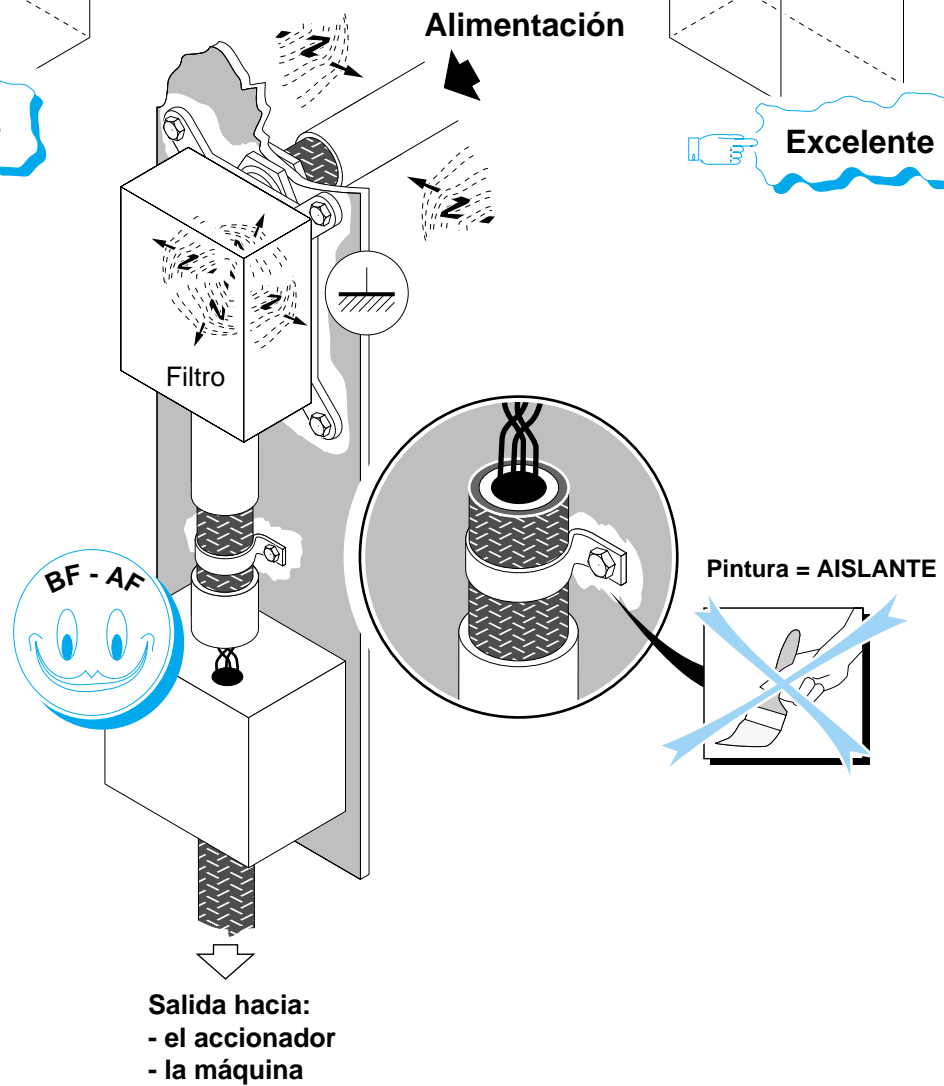
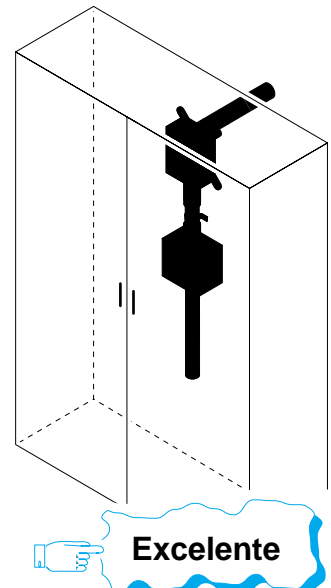
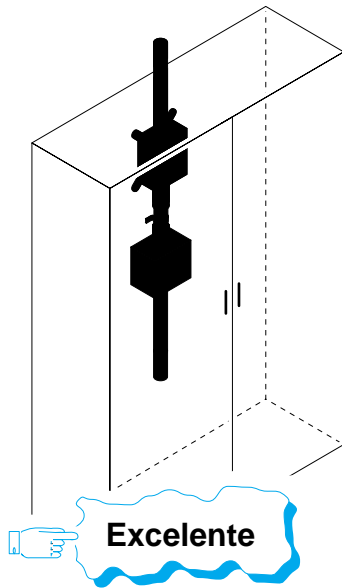
Filtros

Instalación en el armario

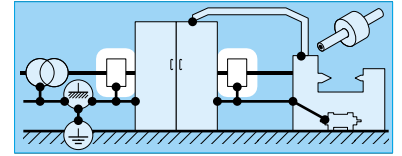
1

2

3



Filtros

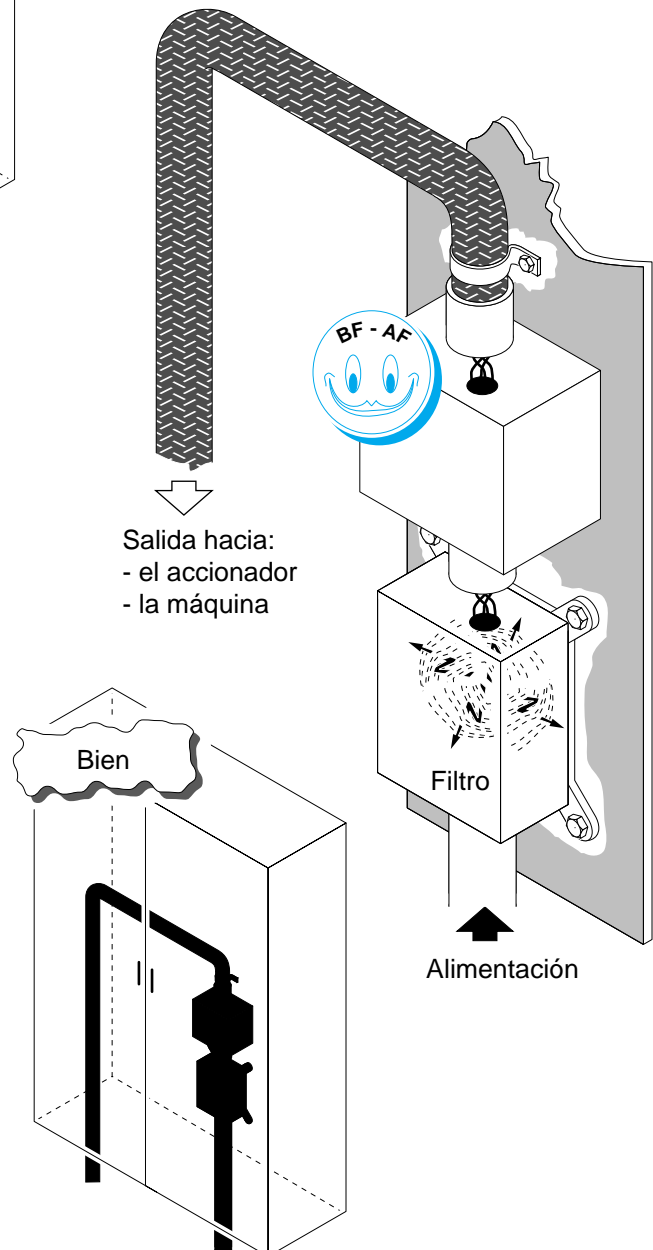
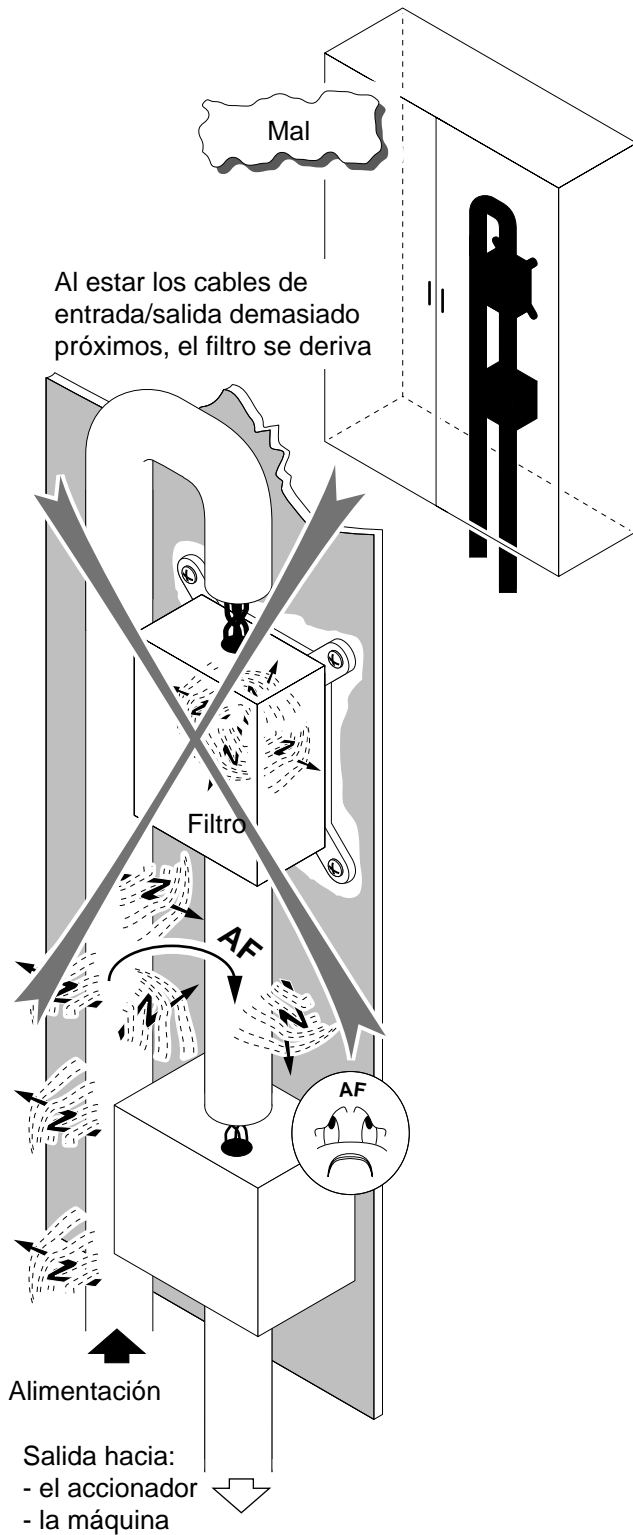


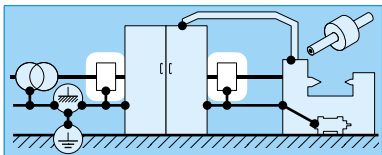
El cable de entrada no debe estar junto al cable de salida.

1

2

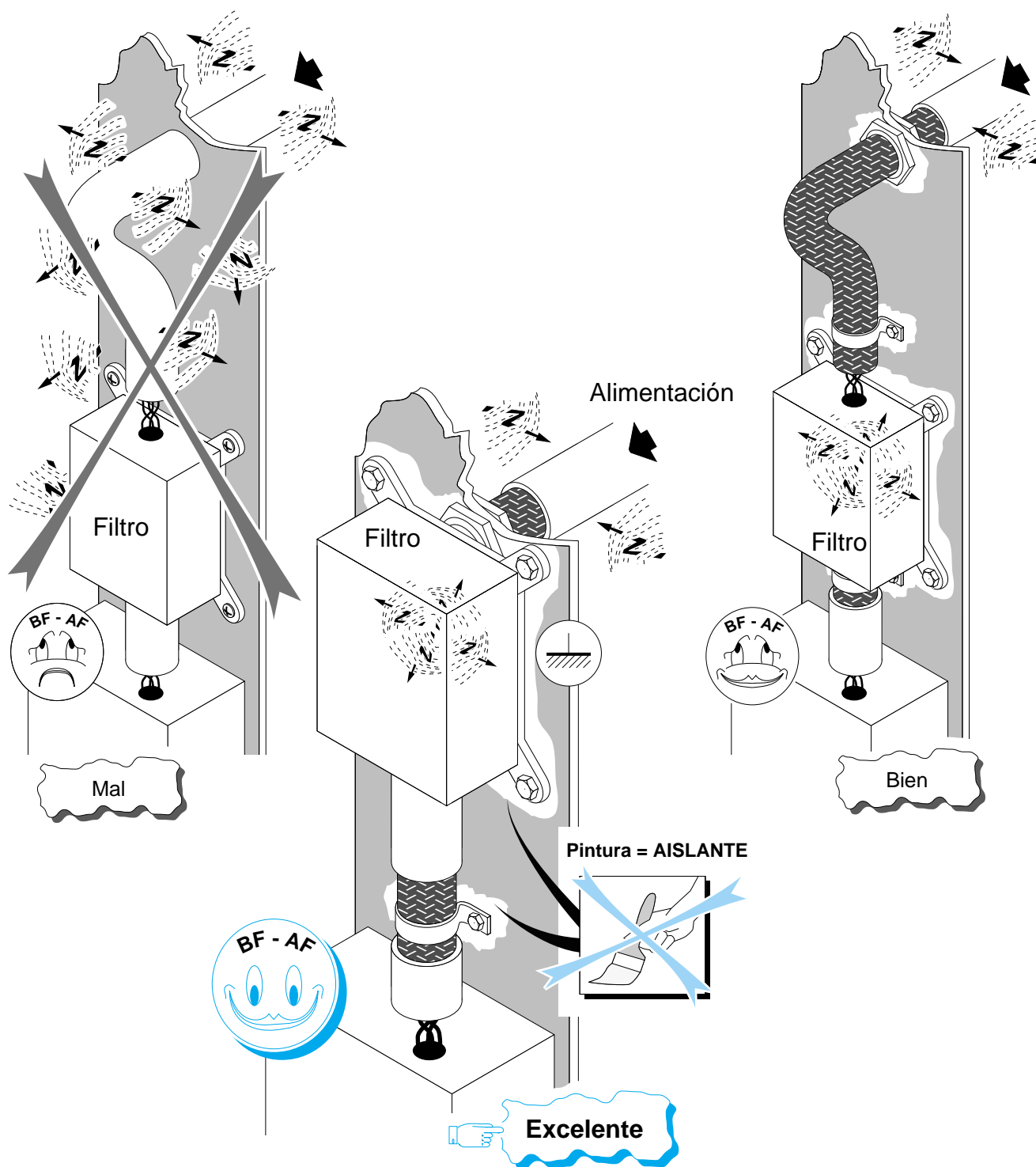
3





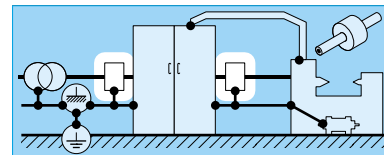
Filtros

Montaje de los filtros

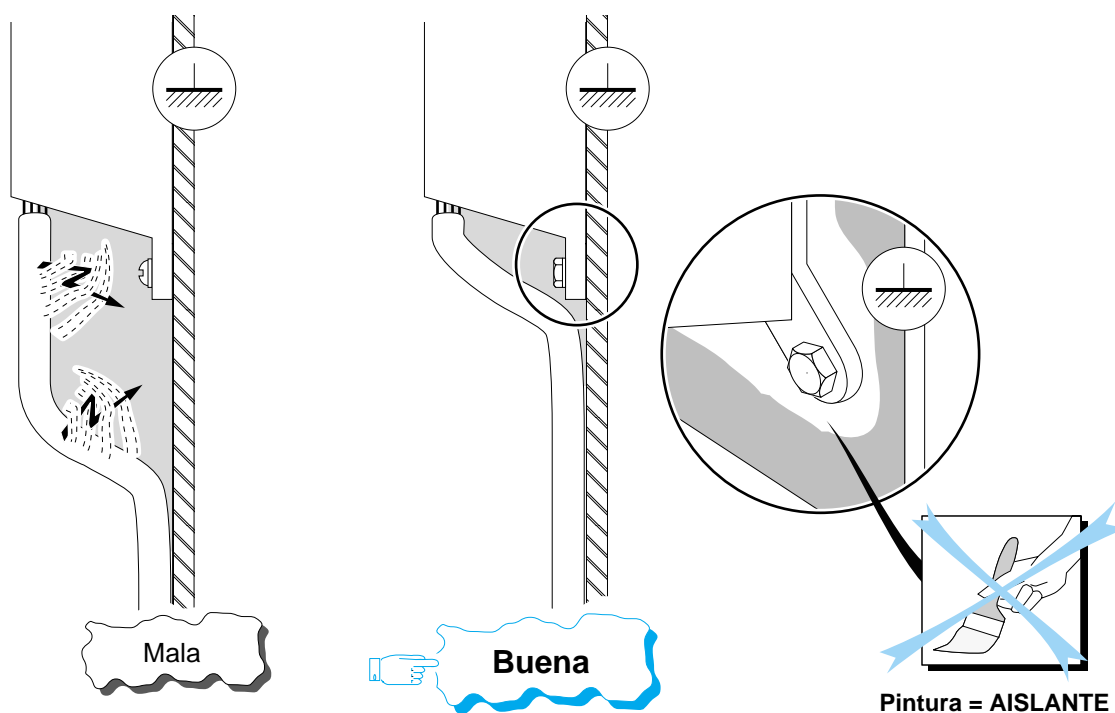


Montar los filtros en la entrada del armario y atornillarlos al chasis o al plano de masa de fondo de armario.

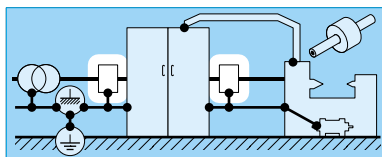
Filtros



Conexión de los filtros



Sujetar los cables al plano de masa de referencia de fondo de armario.

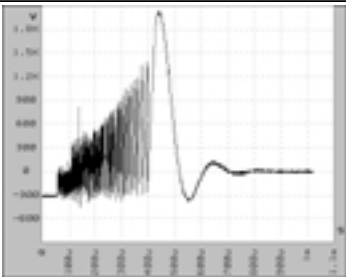
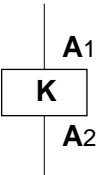
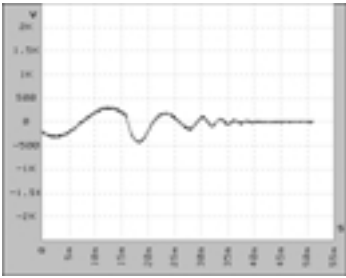
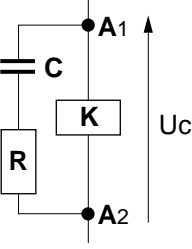
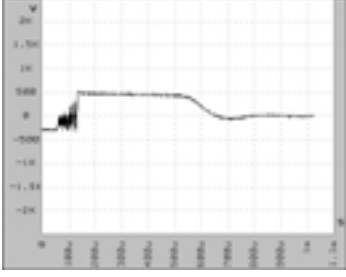
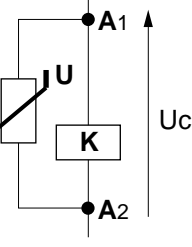
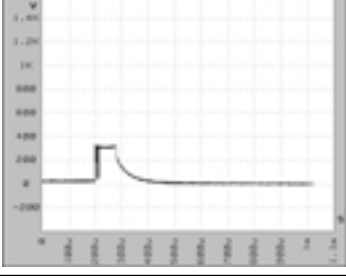
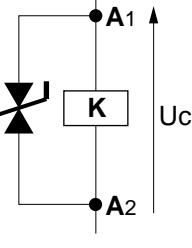
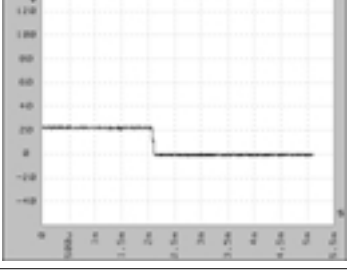
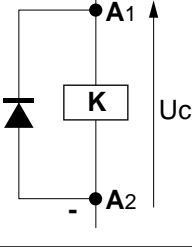


Limitadores de sobretensión

Limitadores de sobretensión o módulos antiparasitarios de bobinas: Elección

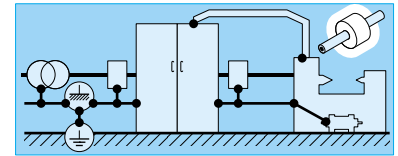
La finalidad de los siguientes dispositivos es reducir:

- las sobretensiones de corte
- los residuos de alta frecuencia «AF» (nivel, cantidad y pendiente de los frentes de descarga)

Oscilogramas	Tipo de antiparasitario	Esquemas	Limitación de la sobretensión	
	---		> 1 kV	Sin limitación. Sobretensión elevada, de hasta varios kilovoltios, precedida de un tren de descargas de frentes de rampa corta.
	Circuito R - C el RC reduce la pendiente de los frentes		$\approx 2U_c$	Buena limitación: del orden de 2 veces la tensión de control U_c . (variable según el instante de corte, el tipo de bobina y los valores de R y C).
	Varistancia		$\approx 2U_c$ Predeterminada	Limitación de la sobretensión a un valor de cresta predeterminado del orden de 2 veces la tensión máxima de control U_c .
	Diodo limitador de cresta bidireccional		$\approx 2U_c$ Predeterminada	Limitación de la sobretensión a un valor de cresta predeterminado del orden de 2 veces la tensión máxima de control U_c .
	Diodo de «rueda libre»		U_c sin sobretensión	Supresión total de la sobretensión.



Limitadores de sobretensión



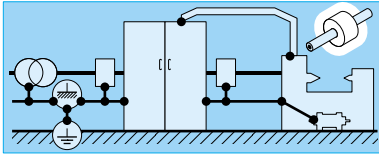
La asociación de limitadores de cresta + RC combina las ventajas de los 2 circuitos

Aplicaciones	Tiempo de caída	Influencia sobre la función
<p>Sobretensión típica que aparece en las bornas de una bobina desactivada por contacto seco.</p> <p>Ejemplo tratado: contactor de calibre 9A.</p> <p>Para información más detallada, ver el capítulo 1.</p>	T_{C1}	
<ul style="list-style-type: none"> En asociación con aparatos alimentados en corriente alterna. Se utiliza poco para corriente continua (volumen y coste del compensador). Asistencia a la desactivación (reducción del desgaste del contacto de control). Efecto sobre las altas frecuencias «AF»: <ul style="list-style-type: none"> Desaparecen los frentes de rampa corta y las descargas (no circulan corrientes de alta frecuencia «AF» por el circuito de control). Solamente se observa una onda de tensión oscilatoria amortiguada de «BF» (orden de magnitud ≈ 100 Hz). 	$T_c = 1$ a 2 T_{C1}	<ul style="list-style-type: none"> El tiempo de caída aumenta en un factor del orden de 1 a 2. <p>(generalmente aceptada, teniendo en cuenta la elevada dispersión de los tiempos de caída en Δ).</p>
<ul style="list-style-type: none"> En asociación con aparatos alimentados en corriente alterna o continua. Asistencia a la desactivación (reducción del desgaste del contacto de control). Efecto sobre las altas frecuencias «AF»: <ul style="list-style-type: none"> Antes de alcanzar el umbral de limitación de cresta, puede aparecer un tren de descargas de corta duración según el tipo de contacto y de orden de magnitud UC. Por el circuito de control pueden circular corrientes de alta frecuencia «AF», de baja amplitud y corta duración. Puede canalizar un nivel elevado de energía (más que el RC). 	$T_c = 1,2$ a 2 T_{C1}	<ul style="list-style-type: none"> El tiempo de caída aumenta en un factor del orden de 1,2 a 2.
<ul style="list-style-type: none"> En asociación con aparatos alimentados en corriente alterna o continua (salvo los diodos limitadores de cresta unidireccionales, que se parasitan). Asistencia a la desactivación (reducción del desgaste del contacto de control). Efecto sobre las altas frecuencias «AF»: <ul style="list-style-type: none"> Pocos residuos «AF» (riesgo de descargas limitado) para las UC de bajo nivel. Para valores de UC elevados, > 200 V (comportamiento «AF» semejante a una varistancia), por el circuito de control pueden circular corrientes de alta frecuencia «AF», de baja amplitud y muy corta duración. 	$T_c = 1,2$ a 2 T_{C1}	<ul style="list-style-type: none"> El tiempo de caída aumenta en un factor del orden de 1,2 a 2.
<ul style="list-style-type: none"> En asociación con aparatos alimentados en corriente continua (componente polarizado). Asistencia a la desactivación (reducción del desgaste del contacto de control). Efecto sobre las altas frecuencias «AF»: <p>En la desactivación, el diodo canaliza la energía que devuelve la inductancia en forma de corriente, la tensión en sus bornas es casi nula y la tensión en las bornas del contacto de control es igual a UC.</p> No existe riesgo de descarga ni de que se produzca la correspondiente perturbación «AF». 	$T_c = 4$ a 8 T_{C1}	<ul style="list-style-type: none"> El tiempo de caída aumenta en un factor del orden de 4 a 8. <p>(variable según el tipo y el tamaño del electroimán).</p>

1

2

3



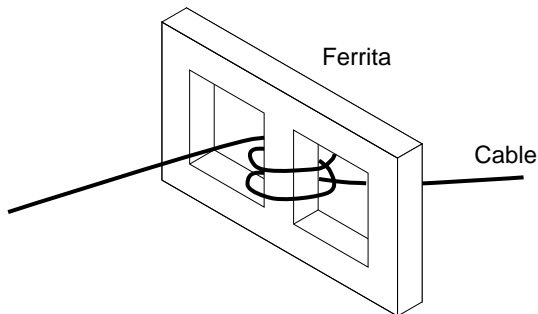
Ferritas

Los conductores de «ida» y «vuelta» de la señal por descontaminar deben pasar por la ferrita.

1

2

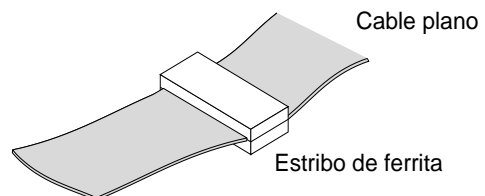
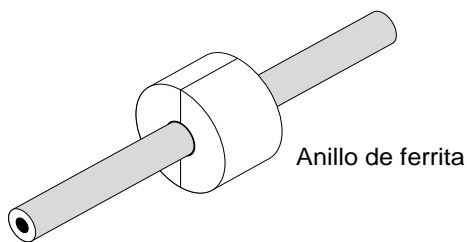
3



El número de vueltas aumenta la eficacia pero genera capacidades parásitas entre las espiras. Por tanto, existe un número máximo de vueltas que no se debe sobrepasar y que depende:

- de la frecuencia de las perturbaciones
- del cable
- de la ferrita

==> Buscar la solución óptima experimentalmente.



La utilización de ferritas de media concha facilita su instalación, pero son menos eficaces que las ferritas de una sola pieza (cerradas).



Problema de emisión: montar la ferrita lo más cerca posible del aparato perturbador.



Problema de inmunidad: montar la ferrita lo más cerca posible del aparato sensible, solamente si no se puede descontaminar o no se puede identificar el aparato perturbador.

CAPÍTULO 3

NORMAS, MEDIOS Y PRUEBAS DE «CEM»

1

2

3

Normas

Introducción

Una norma es un conjunto de reglas, descripciones, metodologías... que un fabricante puede utilizar como referencia cuando define y prueba uno de sus productos.

1

Existen 3 tipos de normas «CEM»

2

Publicaciones o normas fundamentales

Son normas o guías que definen de manera general las prescripciones relativas a la «CEM» (fenómenos, pruebas...).

3

Son de aplicación en todos los productos y se utilizan como referencia, principalmente en los comités encargados de elaborar las normas específicas.

Las normas fundamentales no se armonizarán a nivel europeo.

Normas genéricas (europeas)

Estas normas definen las exigencias esenciales en términos de nivel mínimo por tipo de prueba... basándose en las normas fundamentales.

Cuando no existen normas de productos o de familias de productos, se aplican a cualquier producto instalado en un entorno definido.

Normas de productos o de familias de productos

Estas normas definen las disposiciones relativas a la fabricación, características, métodos y niveles de prueba... de aplicación para productos o familias de productos determinados.

Cuando existen, estas normas prevalecen sobre las normas genéricas.

Nota: el tipo de norma figura en la cabecera de cada publicación.



Normas

Organismos de normalización

CISPR: Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas.

CEI: Comisión Electrotécnica Internacional (Ginebra).

CENELEC: Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (Bruselas).

Las referencias de los documentos empiezan con las letras EN, ENV, HD...

IRANOR: Instituto Nacional de Racionalización y Normalización,

IRANOR es el miembro español del CENELEC

Las referencias de los documentos IRANOR empiezan por UNE...

1

2

3

Publicaciones CISPR

Las primeras publicaciones CISPR se editaron a partir de 1934. Su finalidad es la protección de la transmisión y recepción de las ondas radioeléctricas.

En particular, definen las condiciones de prueba y los límites de emisión de los productos eléctricos y electrónicos.

Normas

Ejemplos de publicaciones CISPR de aplicación en nuestros productos

1

CISPR 11 - 1990 Límites y métodos para medir las características de las perturbaciones electromagnéticas de los aparatos industriales, científicos y médicos (ISM) de frecuencia radioeléctrica.

2

CISPR 14 - 1993 Límites y métodos para medir las perturbaciones radioeléctricas producidas por aparatos electrodomésticos o análogos equipados con motores o dispositivos térmicos, por herramientas eléctricas portátiles y por aparatos eléctricos análogos.

3

CISPR 16 - 1993 Especificaciones relativas a los métodos y aparatos para medir las perturbaciones radioeléctricas y la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas.

1ª parte: aparatos para medir las perturbaciones radioeléctricas y la inmunidad a las perturbaciones radioeléctricas.

CISPR 17 - 1981 Métodos para medir las características antiparasitarias de los elementos de reducción de las perturbaciones radioeléctricas y de los filtros pasivos.

CISPR 18-1 - 1982 Características de las líneas y de los equipos de alta tensión, relativas a las perturbaciones radioeléctricas.

1ª parte: descripción de los fenómenos.

CISPR 22 - 1993 Límites y métodos para medir las características de las perturbaciones radioeléctricas producidas por aparatos de tratamiento de la información.



Normas

Publicaciones CEI

Normas de la serie CEI 801-X

Las normas de la serie CEI 801-X fueron publicadas a principios de los años 70. Se refieren a la Compatibilidad Electromagnética de los dispositivos de medición y control para procesos industriales.

Están dirigidas a los fabricantes y usuarios de este tipo de dispositivos.

Actualmente, estas normas se están sustituyendo por las normas de la serie CEI 1000-4-X.

Normas de la serie CEI 1000-X-X

Desde 1991, las publicaciones CEI 1000-X-X, totalmente dedicadas a la Compatibilidad Electromagnética, agrupan todas las normas CEI relativas a este campo.

1

2

3

Normas

1
2
3

Parte	CEI	Referencia CEI actual	Tema	Equivalente EN/ENV
Generalidad		CEI 1000-1-1 (1992)	Aplicación e interpretación de definiciones y términos fundamentales.	
Entorno		CEI 1000-2-1 (1990)	Entorno electromagnético para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia «BF» y la transmisión de señales por las redes de alimentación públicas.	
		CEI 1000-2-2 (1990)	Niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia «BF» y la transmisión de señales por las redes de alimentación públicas de baja tensión.	
		CEI 1000-2-3 (1992)	Fenómenos radiados y fenómenos conducidos a frecuencias diferentes de las de la red.	
		CEI 1000-2-4 (1994)	Niveles de compatibilidad en las instalaciones industriales para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia.	
Límites		CEI 1000-2-5 (1995)	Clasificación de los entornos electromagnéticos.	
	555-2	CEI 1000-3-2(1995)	Límites para las emisiones de corriente armónica emitida por aparatos < 16A por fase.	EN 61000-3-2 (1995)
	555-3	CEI 1000-3-3 (1994)	Limitación de las fluctuaciones de tensión y de las oscilaciones en las redes de baja tensión para los equipos con corriente de llamada ≤ 16A.	EN 61000-3-3 (1995)
		CEI 1000-3-5 (1994)	Limitación de las fluctuaciones de tensión y de las oscilaciones en las redes de baja tensión para los equipos con corriente de llamada > 16A.	
Técnicas de prueba y medida	801-1	CEI 1000-4-1 (1992-12)	Visión general de las pruebas de inmunidad. Publicación fundamental en «CEM».	EN 61000-4 (1994-08)
	801-2	CEI 1000-4-2 (1995-01)	Prueba de inmunidad a las descargas electrostáticas. Publicación fundamental en «CEM».	EN 61000-4-2 (próxima aparición)

Normas

Parte	CEI	Referencia CEI actual	Tema	Equivalente EN/ENV
Técnicas de prueba y medida	801-3	CEI 1000-4-3 (1995-02)	Prueba de inmunidad a los campos electromagnéticos radiados a frecuencias radioeléctricas.	ENV 50140 (1993)
	801-4	CEI 1000-4-4 (1995-01)	Prueba de inmunidad a los transitorios eléctricos rápidos en series. Publicación fundamental en «CEM».	EN 61000-4-4 (próxima aparición)
	801-5	CEI 1000-4-5 (1995-02)	Prueba de inmunidad a las ondas de choque.	EN 61000-4-5 (próxima aparición)
		pr CEI 1000-4-6	Inmunidad a las perturbaciones conducidas, inducidas por los campos radioeléctricos.	ENV 50141 (1993)
		CEI 1000-4-7 (1991-07)	Guía general relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos, así como a los equipos de medida, aplicable a las redes de alimentación y a los aparatos conectados a ellas.	EN 61000-4-7 (1993-03)
		CEI 1000-4-8 (1993-06)	Prueba de inmunidad al campo magnético a la frecuencia de la red. Publicación fundamental en «CEM».	EN 61000-4-8 (1993-09)
		CEI 1000-4-9 (1993-06)	Prueba de inmunidad al campo magnético de impulsos. Publicación fundamental en «CEM».	EN 61000-4-9 (1993-09)
		CEI 1000-4-10 (1993-06)	Prueba de inmunidad al campo magnético oscilatorio amortiguado. Publicación fundamental en «CEM».	EN 61000-4-10 (1993-09)
		CEI 1000-4-11 (1994-06)	Prueba de inmunidad a las caídas de tensión, microcortes y variaciones de tensión.	EN 61000-4-11 (1994-09)
		pr CEI 1000-4-12	Prueba de inmunidad a las ondas oscilatorias amortiguadas. Publicación fundamental en «CEM».	
Recomendaciones para la instalación		CEI 1000-5-1	Consideraciones generales.	
		CEI 1000-5-2	Conexión a tierra y cableado.	
		CEI 1000-5-3	Influencias externas.	

Normas

Publicaciones CENELEC

Las publicaciones EN o ENV... comprenden las normas las normas de aplicación en el marco del espacio económico europeo (AELE).

1

Actualmente están en curso de armonización con la Directiva «CEM».

Generalmente son reproducciones de las normas internacionales existentes.

Ejemplos: EN 55011 elaborada a partir de la norma CISPR 11
 EN 61000-4-1 elaborada a partir de la norma CEI 1000-4-1

2

3

Normas genéricas (europeas)

Cuando no existen normas específicas por productos o familias de productos, estas normas son de aplicación en todo el espacio económico europeo (AELE).

Están armonizadas a nivel europeo.

Normas de productos o familias de productos

Estas normas son de aplicación para los productos o familias de productos a las que se refieren.

Detallan las condiciones y niveles de prueba aplicables.

En el espacio europeo, cuando existen y están armonizadas, prevalecen sobre las normas genéricas fundamentales.

Ejemplo: EN 60947-1 A11

Equipos de baja tensión (generalidad), modificación A11: Especificidades «CEM».



Medios y pruebas de «CEM»

Normas nacionales

En España, las aprueba el IRANOR.

Generalmente, las normas que se aplican en Francia se han elaborado a partir de normas europeas.

Ejemplo: UTE EN 60947-1 A11 (España)

DIN EN 60947-1 A11 (Alemania)

Estas normas anulan y sustituyen todas las normas nacionales anteriores que tratan sobre los mismos temas.

Ejemplo: VDE 871, 875...

1

2

3

Medios y pruebas de «CEM»

Es necesario distinguir dos tipos de pruebas que se pueden realizar con un producto utilizando el método apropiado.

Pruebas de tipo

Son pruebas que realiza el fabricante para cualificar sus productos antes de su comercialización.

Pruebas sobre el terreno

Son pruebas que se realizan con el equipo en el que está instalado el producto. Es responsable de las mismas la persona que instala estos productos en sus equipos y su finalidad es validar una instalación, un equipo o una máquina.

Medios de prueba

Los medios y modalidades de aplicación de estas pruebas se describen con detalle en las normas.



Índice alfabético

A

Acciones: 2-54
Acoplamiento: 1- 32
Acoplamientos: 1- 30
AF: 1- 9
Alimentación: 1- 18, 2-18
Alumbrado: 1- 27, 2-29
Ampliación: 2-4
Antena: 1- 52
Aplicación: 1- 6
Armario: 2-12, 2-26, 2-45, 2-56
Armónicos: 1- 10

B

Bandejas de cables: 2-44
BF: 1- 9
Bucles: 1- 46, 1- 47

C

Cableado: 2-36
Cables: 1- 50, 2-28, 2-32, 2-34
Canaletas: 2-44
Canalización: 2-28
Capacidad: 1- 4
Cargas: 1- 20, 1- 23
CEM: 1- 5, 2-3
Clase: 2-32
Colocación: 2-46, 2-50
Compatibilidad: 1- 5
Componentes: 2-29
Conducción: 1- 32

Conductor: 1- 49
Conductores: 1- 23
Conexión: 1- 41, 1- 48, 2-45, 2-48,
2-55, 2-59
Conexiones: 1- 40, 2-52
Conmutación: 1- 20
Contactos: 1- 20

D

Desacoplamiento: 1- 38, 2-19
Descargas: 1- 16
Diseño: 2-4
Distribución: 1- 29, 2-24

E

Edificio: 2-9
Eléctrico: 1- 25
Electromagnética: 1- 5
Electrostáticas: 1- 16
Emisiones: 1- 8
Entrada: 2-28
Equipo: 2-11
Espectral: 1- 29
Estrella: 1- 48
Extremos: 2-48

F

Ferritas: 1- 57, 2-62
Filtro: 2-56, 2-58, 2-59
Filtros: 1- 55

Índice alfabético

Fluorescente: 1- 27

Frecuencia: 1- 3, 1- 4, 1- 9, 1- 49

Fuente: 1- 20

I

Inductancia: 1- 4

Inductivas: 1- 20, 1- 23

Instalación: 2-4, 2-5, 2-6, 2-16, 2-24,
2-29, 2-47, 2-56

Interconexión: 1- 53

L

Limitadores de sobretensión: 2-60

Longitud: 1- 51, 2-52

M

Mallado: 2-13, 2-14, 2-15, 2-16, 2-17

Mantenimiento: 2-5

Máquina: 2-11

Masa: 2-25, 2-28

Masas: 1- 42, 1- 53, 2-8

Mejora: 2-6

Modificación: 2-5

Modos: 1- 30

Montaje: 2-58

Motores: 1- 25

N

Normas: 3-2

O

Obtener: 2-1

Origen: 1- 8

P

Pantalla: 2-55

Pantallas: 2-25

Parque: 2-5

Perturbación: 1- 7

Perturbaciones: 1- 9, 1- 18, 1- 29, 1- 38

Plano: 2-28

Preceptos: 2-36

Procedimiento: 2-3

Pública: 1- 18

R

Radiación: 1- 34

Realización: 2-53

Red: 1- 18, 2-8

Referencia: 2-28

Reglas: 2-7, 2-36

Rendimiento: 2-34

Respuesta: 1- 3, 1- 4

Índice alfabético

S

Sección: 1- 51

Secos: 1- 20

Seguridad: 1- 42, 2-13, 2-14, 2-15,
2-16, 2-17

Señales: 2-32

Soldadura: 1- 28

T

Tierra: 1- 40

Tipo: 1- 7

Transformador: 2-19

Transitorios: 1- 14

Transmisión: 1- 30



Este manual didáctico no tiene carácter contractual.
Con el fin de incluir en él las modificaciones necesarias para responder lo mejor posible a sus necesidades, remita sus observaciones y comentarios a:

o a la dirección siguiente: **su interlocutor comercial Schneider Electric**

Schneider Electric España, S.A.

Div. Control Industrial
Plaza Dr. Letamendi, 5-7
08007 Barcelona
Tel.: 93 484 31 00
Fax: 93 484 33 37

A pesar del cuidado con que ha elaborado el presente manual, **Schneider Electric** no garantiza la exactitud de la información que contiene ni se responsabiliza de los errores que puedan derivarse de su uso o aplicación.

© **Copyright Schneider Electric 1995.**

Se prohíbe copiar o reproducir el presente manual, en parte o en su totalidad, por cualquier procedimiento fotográfico, magnético o de otro tipo. Asimismo, se prohíbe cualquier transcripción total o parcial del mismo para su lectura en una máquina electrónica.