

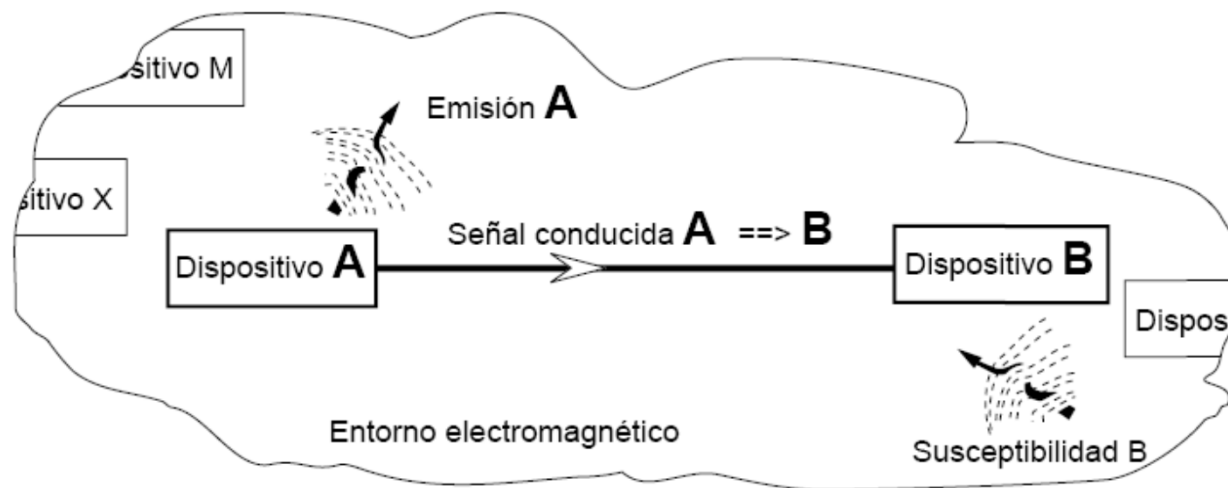
Universidad de Oviedo
Area de Ingeniería de Sistemas y Automática

sumario

- 1 · comprender los fenómenos de CEM
- 2 · como obtener la CEM en la instalación
- 3 · normas, medios y pruebas de CEM

CEM de un sistema · compatibilidad electromagnética

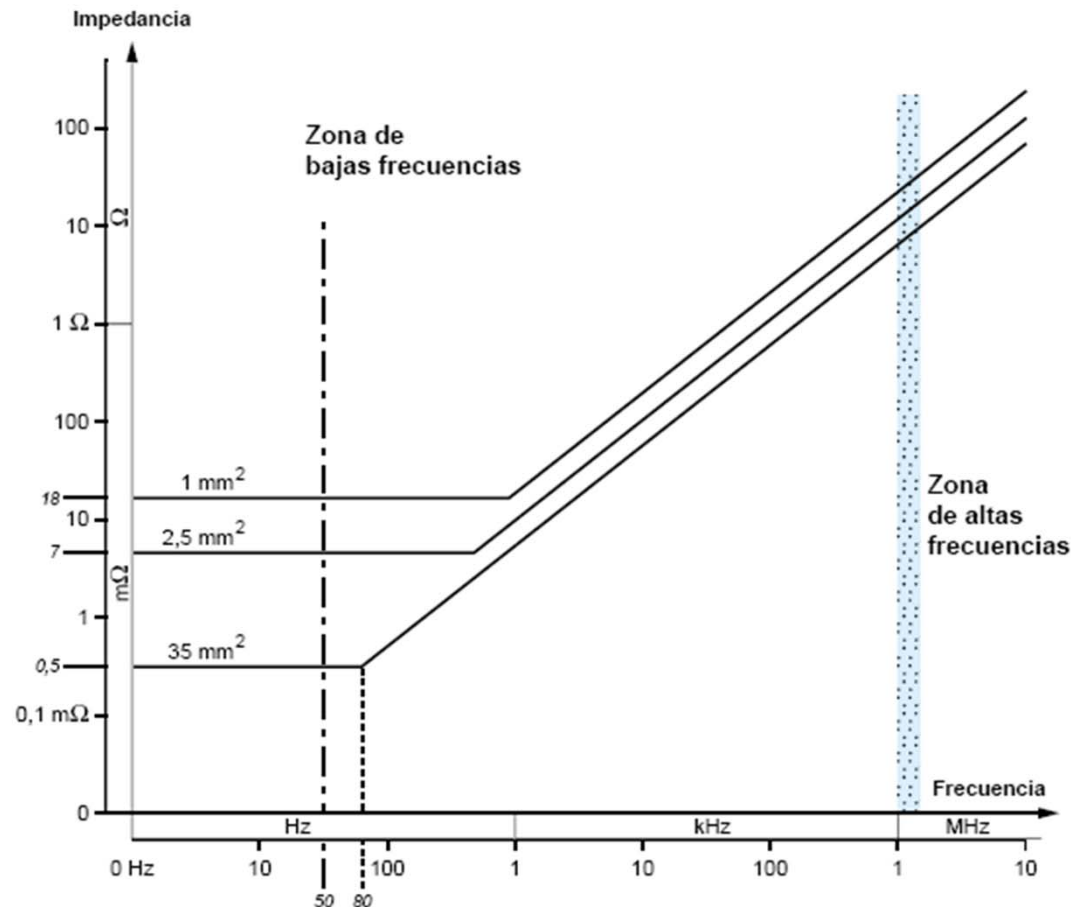
- ▶ es la aptitud de un dispositivo, aparato o sistema para funcionar en un entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin producir perturbaciones electromagnéticas intolerables para cualquier otro dispositivo situado en el mismo entorno



CEM de un sistema · campo de aplicación

- ▶ llamamos "sistema" a un conjunto de equipos (accionadores, motores, captadores, etc.) que contribuyen a la realización de una función determinada
- ▶ desde un punto de vista electromagnético, el sistema comprende todos los elementos que interactúan, las alimentaciones eléctricas, las conexiones entre los diferentes equipos, los dispositivos asociados e incluso los dispositivos de desacoplamiento de la red

introducción · respuesta en frecuencia de los conductores



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

$$Z = K \cdot f$$

La impedancia del cable aumenta proporcionalmente con la frecuencia de la señal que circula por él

para BF (50 - 60 Hz)

la s del cable es determinante

la z del cable es poco significativa

para AF (f > 5 MHz)

la z del cable es determinante

la long. del cable es determinante.

la s del cable es poco significativa

introducción · respuesta en frecuencia de las inductancias

▶ $Z = \omega L$ $Z = 2 \pi f L$

para AF la **impedancia** del cable es muy elevada

- la longitud de los conductores no es despreciable
- provoca una deformación de la señal (amplitud, frecuencia)

introducción · respuesta en frecuencia de las capacidades

▶ $Z = 1 / \omega C$ $Z = 1 / 2 \pi f C$

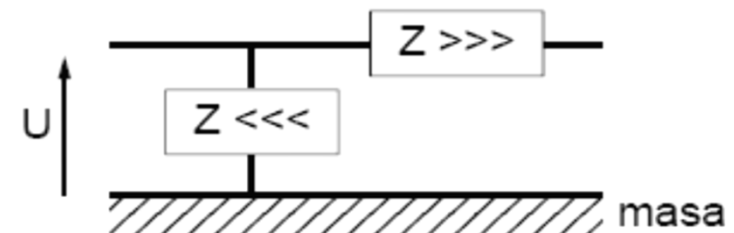
para **AF** la **impedancia** de una capacidad parásita es muy baja

- los acoplamientos capacitivos son eficaces
- aparecen corrientes de fuga en la instalación
- la señal útil se parasita fácilmente

introducción · esquema equivalente del cable

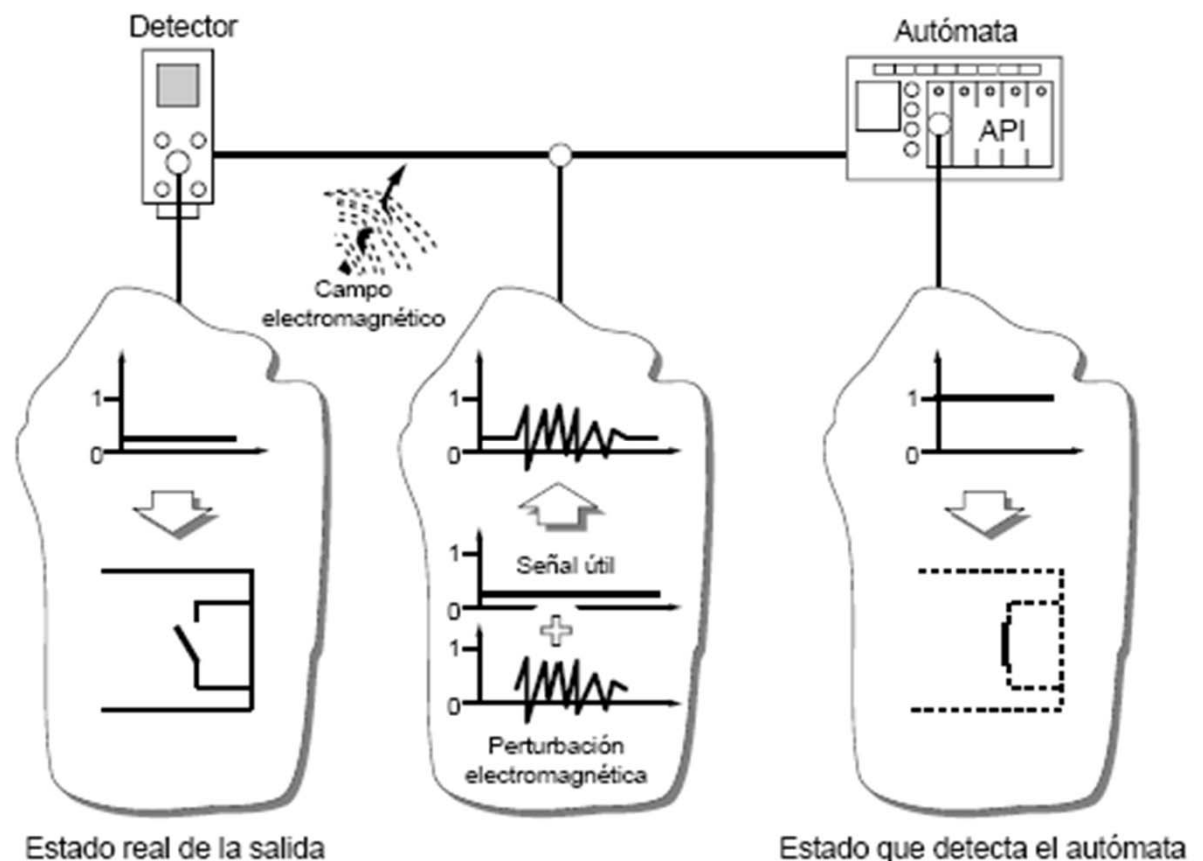


Esquema equivalente en alta frecuencia «AF»



tipos de perturbaciones EM · definición de una perturbación EM

- ▶ la perturbación electromagnética "parásita" no es más que una señal eléctrica no deseada que se suma a la señal útil
- ▶ se compone de un campo eléctrico, generado por una diferencia de potencial, y de un campo magnético que tiene su origen en la circulación de una corriente por un conductor
- ▶ esta señal se propaga por conducción, a través de los conductores, y por radiación, a través del aire



tipos de perturbaciones EM · origen de las emisiones electromagnéticas

Intencionadas:

Emisoras de Radio

Emisoras de Televisión

Teléfonos móviles

Radares

Dispositivos para el tratamiento
de materiales

Soldadura

Hornos de inducción

Lámparas de plasma

Etc...

Involuntarias:

Accidentales

Cortocircuitos

Conexión a tierra imprevista

Permanentes

Contacto seco

Onduladores

Fuente conmutada

Reguladores electrónicos

Osciladores

Etc...

tipos de perturbaciones EM · espectro de frecuencia de las perturbaciones

► Baja frecuencia

ancho de banda:

$0 \leq \text{frecuencia} \leq 1 \text{ a } 5 \text{ MHz}$

las perturbaciones de baja frecuencia se transmiten en la instalación,
principalmente por **CONDUCCIÓN**

► Alta frecuencia

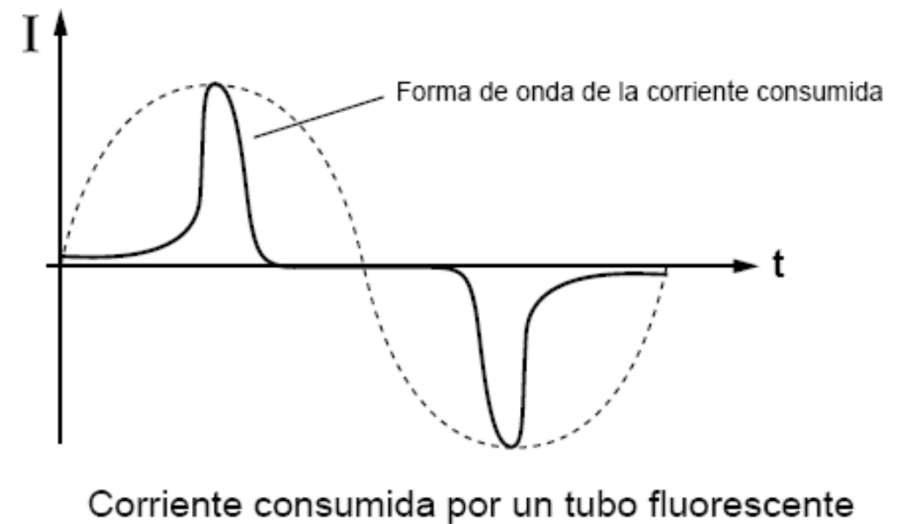
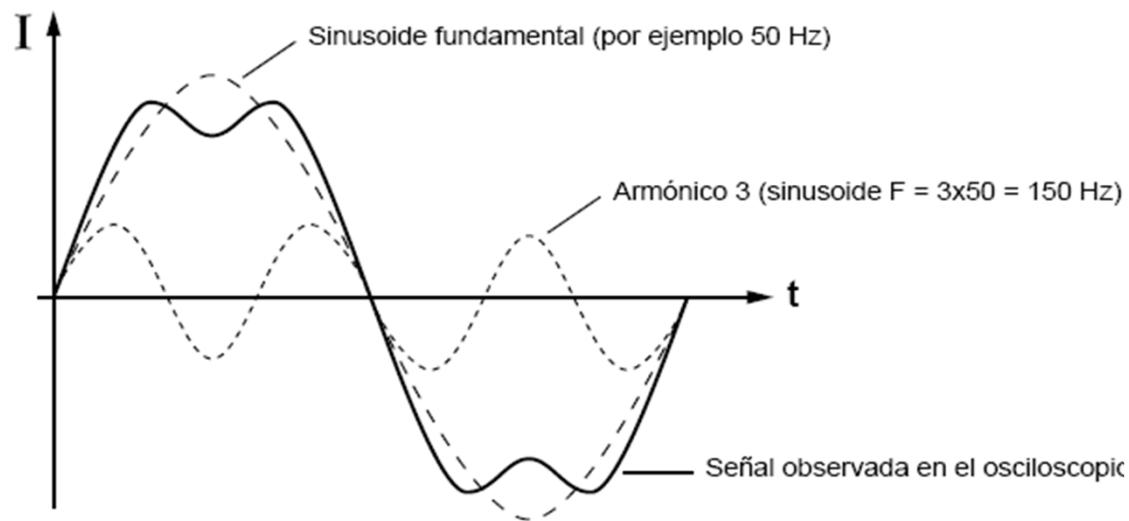
ancho de banda:

frecuencia $\geq 30 \text{ MHz}$

las perturbaciones de alta frecuencia se transmiten en la instalación,
principalmente por **RADIACIÓN**

tipos de perturbaciones EM · armónicos

- ▶ las perturbaciones armónicas son generalmente de tipo **baja frecuencia** y se transmiten principalmente por **conducción**
- ▶ los armónicos **los generan las cargas no lineales** al consumir una corriente no sinusoidal. Ejemplo: Alumbrado fluorescente, rectificador, etc ...

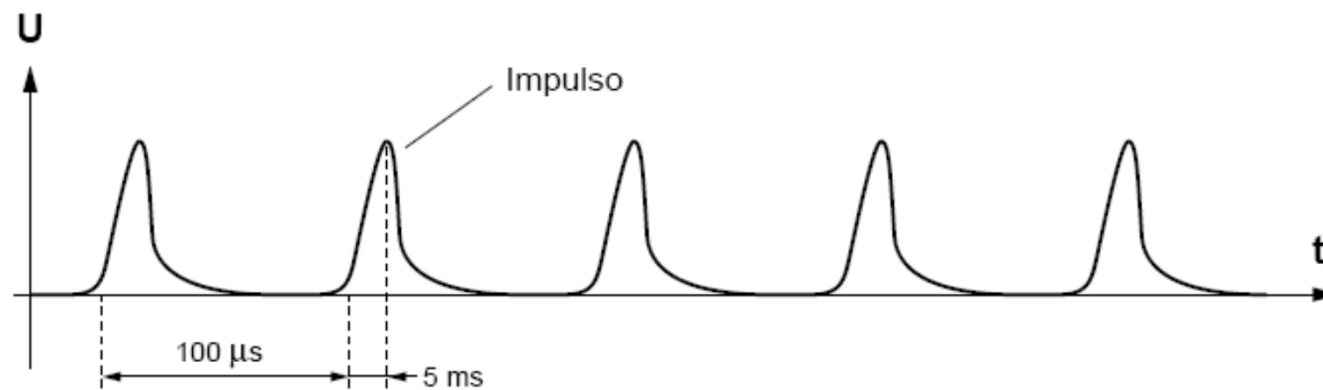


- Onduladores, convertidores directos de corriente continua
- Puentes rectificadores: electrolisis, grupos de soldadura, etc ...
- Hornos de arco
- Arrancadores electrónicos
- Variadores de velocidad para motores de CC
- Convertidores de frecuencia para motores asíncronos y síncronos
- Electrodomésticos: Televisores, lámparas, tubos fluorescentes, etc
- Circuitos magnéticos saturados.

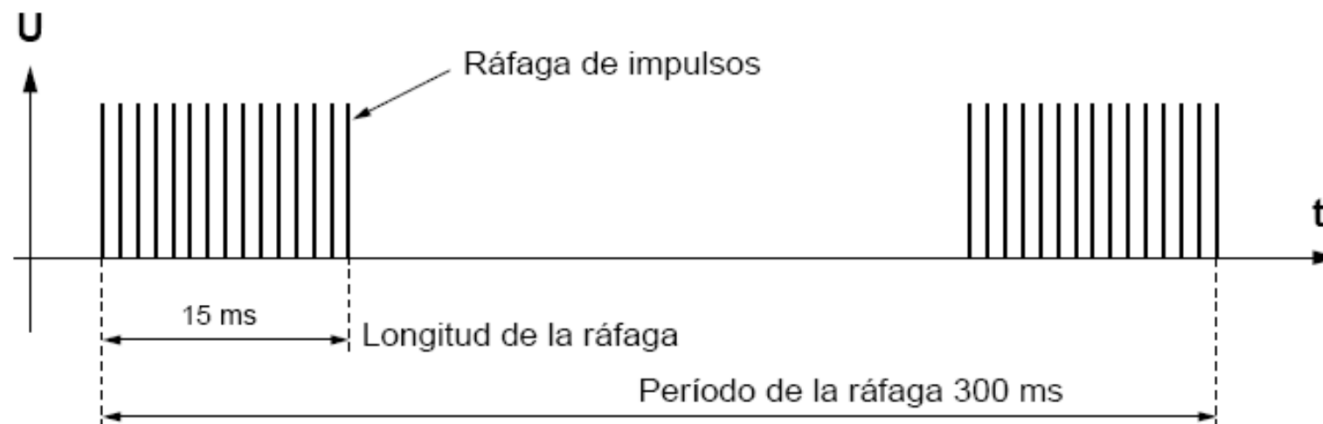
<i>Receptores</i>	<i>Resultado de la perturbación</i>
Motores síncronos:	Calentamientos suplementarios.
Transformadores:	Pérdidas y calentamientos suplementarios. Riesgos de saturación si se producen armónicos pares.
Motores asíncronos:	Calentamientos suplementarios, principalmente en motores de jaula 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.

tipos de perturbaciones EM · **transitorios**

- ▶ son **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



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



tipos de perturbaciones EM · transitorios · origen y fuentes principales

- ▶ **origen:** proceden de la **conmutación rápida de los contactos**, (mecánicos, y sobre todo electrónicos, etc ...)

cuando se conmuta un contacto, 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

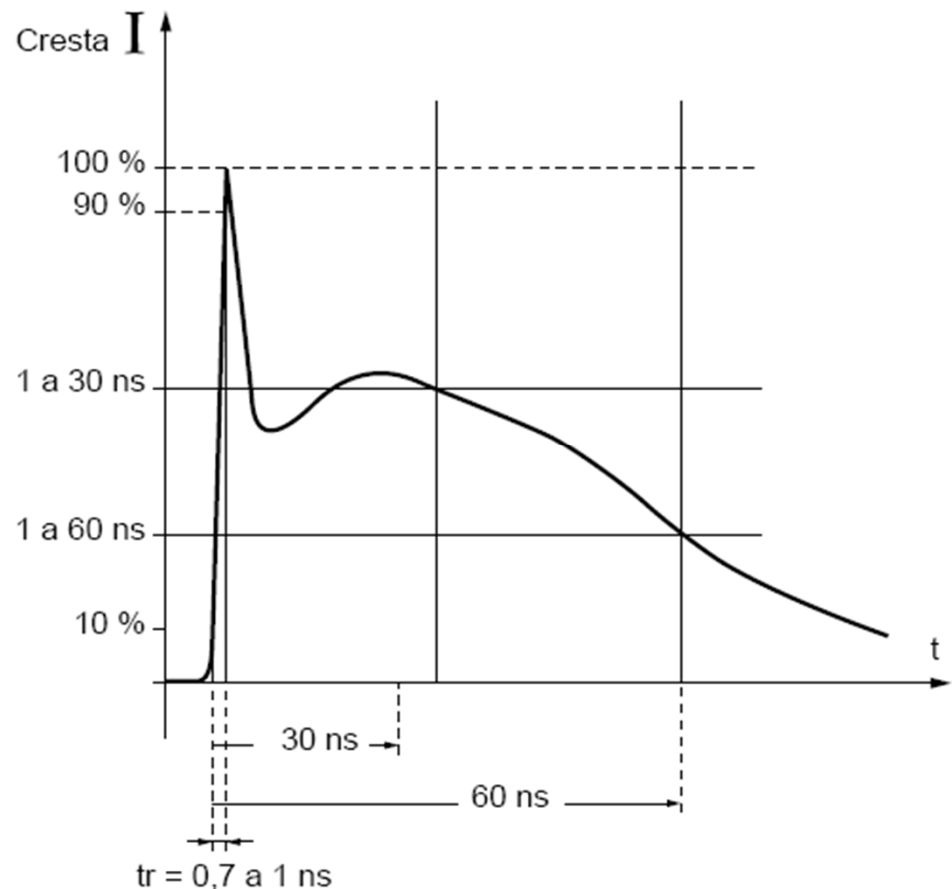
- ▶ **fuentes principales:** rayos, fallos de la conexión a tierra, fallos en la conmutación de circuitos inductivos (bobinas de contactores , electroválvulas)

las perturbaciones transitorias son perturbaciones de tipo de alta frecuencia.

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

tipos de perturbaciones EM · descargas electrostáticas (DES)

- ▶ con el término “**descargas electrostáticas**” 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
- ▶ **origen:** las “DES” proceden del intercambio de electrones entre los materiales o entre el cuerpo humano y los materiales: La combinación de materiales sintéticos (plásticos, tela, etc ...) y un ambiente seco favorece este fenómeno



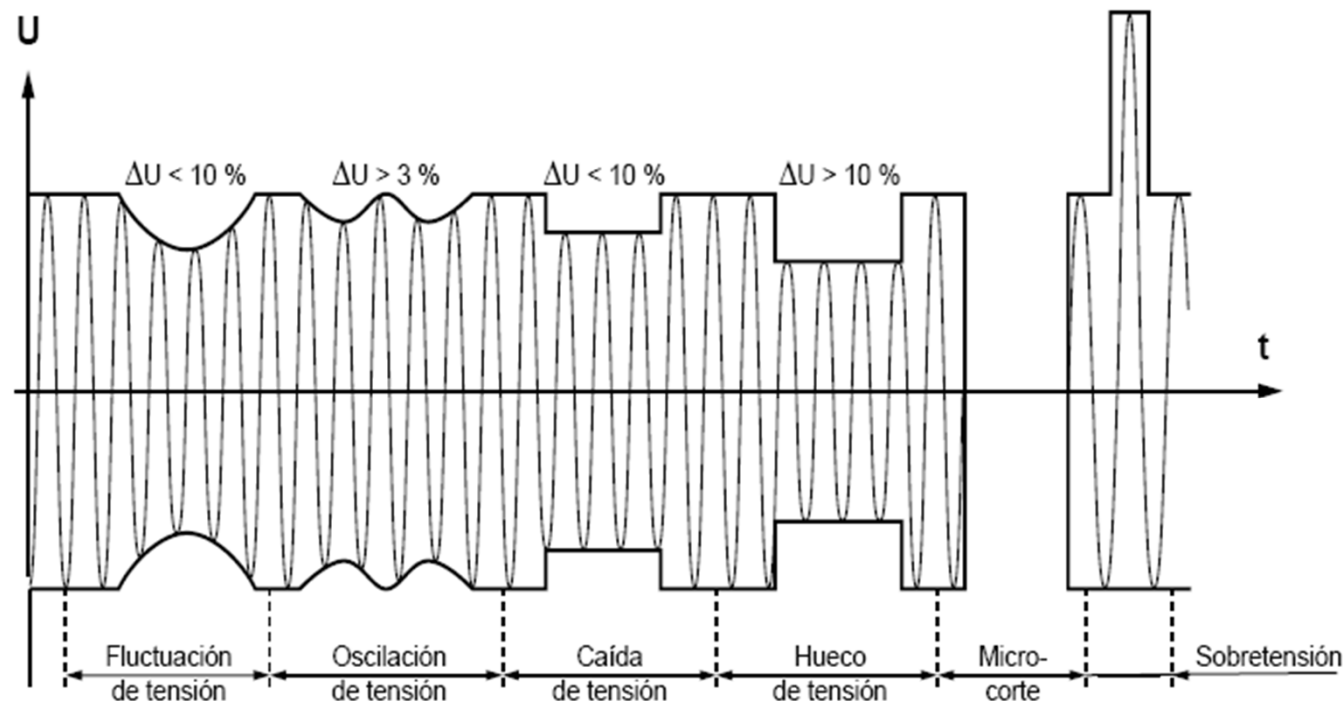
tipos de perturbaciones EM · descargas electrostáticas (DES)

- ▶ **fuentes principales:** el fenómeno se produce, por ejemplo, cuando una persona camina sobre suelo de moqueta, debido al frotamiento de la ropa con la silla en la que está sentado el operario, etc ...
- ▶ **efectos:** cuando la tensión electroestática acumulada en un operario se descarga en un dispositivo, éste puede funcionar mal o incluso estropearse.

las perturbaciones que generan los distintos tipos de DES son perturbaciones de tipo de alta frecuencia “AF” que se transmiten por conducción, pero también se acoplan fácilmente a otros dispositivos por radiación

tipos de perturbaciones EM · perturbaciones de la red de alimentación BT

- ▶ **Tensión:** Variaciones, cortes, caídas, sobretensiones
- ▶ **Frecuencia:** Variaciones
- ▶ **Forma de onda:** Armónicos, Transitorios, corrientes portadoras
- ▶ **Potencia:** Cortocircuitos, sobrecargas (efecto sobre la tensión)



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

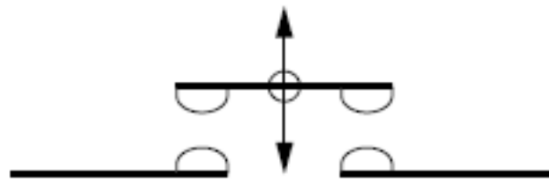
fuentes de perturbaciones electromagnéticas (PE)

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	<p>10...500 ms</p> <p>el corte y el hueco son impulsionales: < 10 ms cortos: 10 ms a 300 ms</p>	<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	$\Delta U = 100\%$	<p>cortos: 10 ms a 1 min</p> <p>largos: 0,3 s a 1 min</p> <p>permanentes: > 1 min</p>	<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

fuentes de PE · conmutación de cargas por contactos secos

► aparatos de conmutación por contactos secos

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



modos de TPE · **acoplamientos : generalidades**

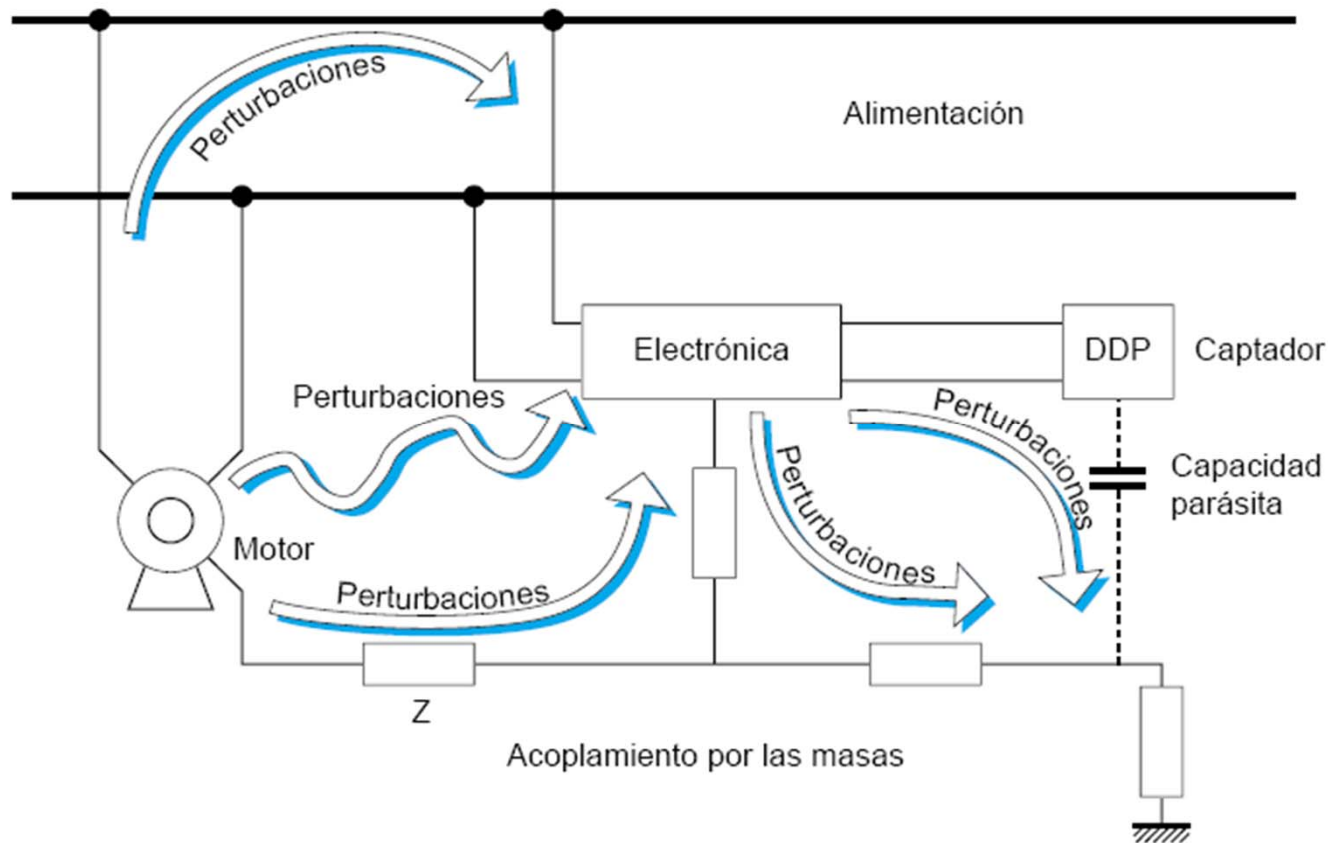
- ▶ para analizar correctamente los fenómenos “CEM” es esencial identificar el modo de transmisión de las perturbaciones

los acoplamientos constituyen el mecanismo mediante el cual las perturbaciones “CEM” afectan a los dispositivos



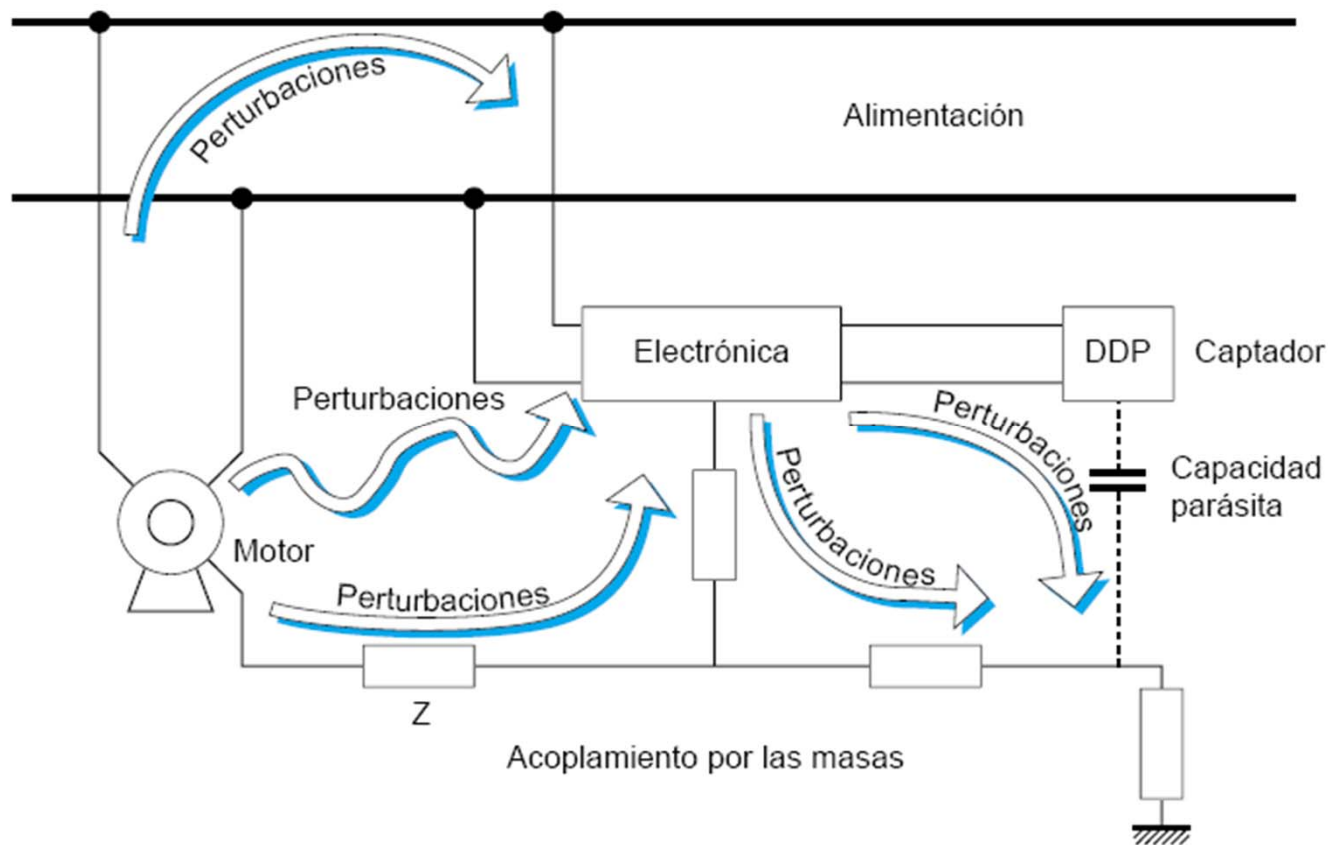
modos de TPE · **acoplamientos : por conducción**

- ▶ 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



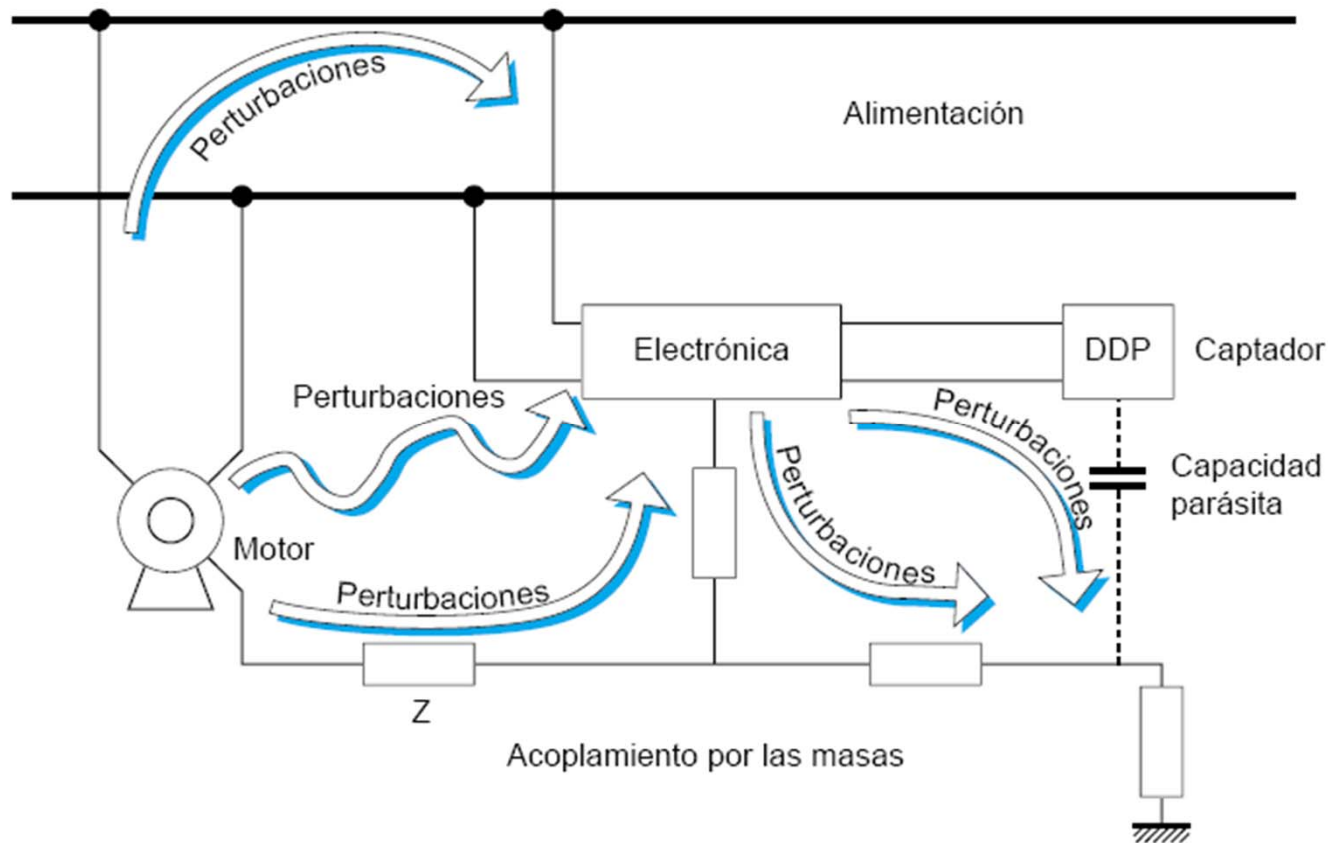
modos de TPE · **acoplamientos : por conducción**

- ▶ otro acoplamiento por conducción sucede al estar todos los conductores de masa electrónica conectados a la masa y a la tierra de la instalación a través de «conductores» eléctricos de impedancia « Z » no nula. Se produce una ddp 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...



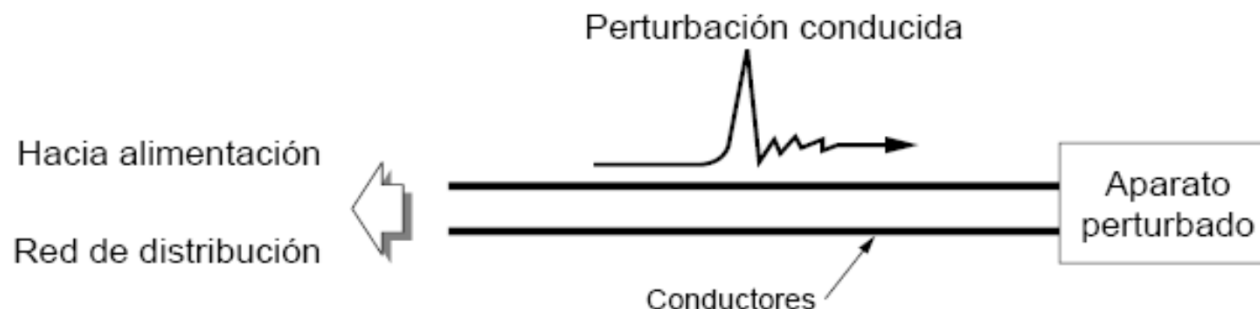
modos de TPE · **acoplamientos : por radiación**

- ▶ también pueden producirse acoplamientos por radiación, cuyo resultado es el mal funcionamiento de los aparatos cercanos



modos de TPE · **acoplamientos por conducción**

- ▶ las perturbaciones conducidas se transmiten a través de los conductores eléctricos. Por lo tanto, pueden transmitirse por:
 - líneas de alimentación interna o red de distribución
 - cables de control
 - cables de transmisión de datos
 - cables de masas (PE ... PEN, etc ...)
 - tierra
 - capacidades parásitas



► principio:

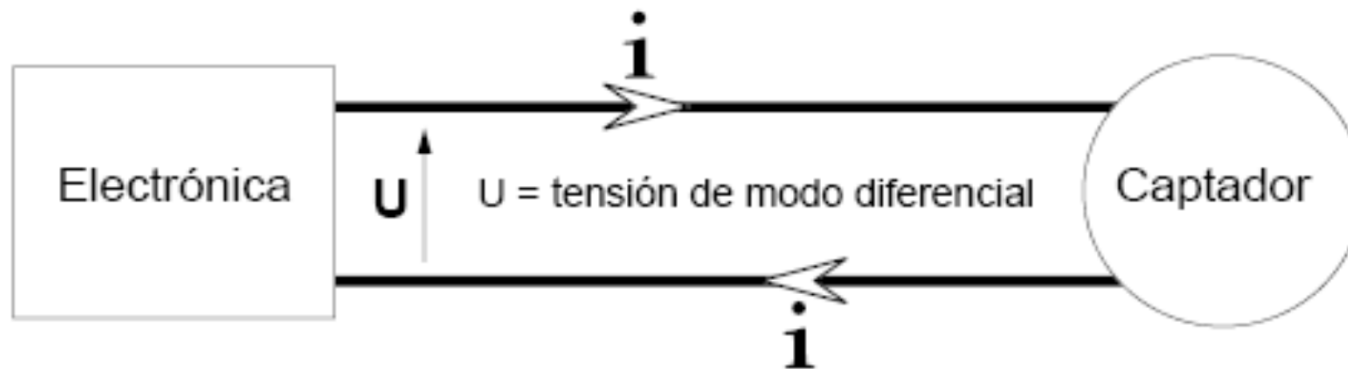
por una conexión bifilar (2 Hilos), una señal (útil o parásita) puede desplazarse de dos formas:

- modo diferencial
- modo común

modos de TPE · acoplamientos por conducción

► modo diferencial:

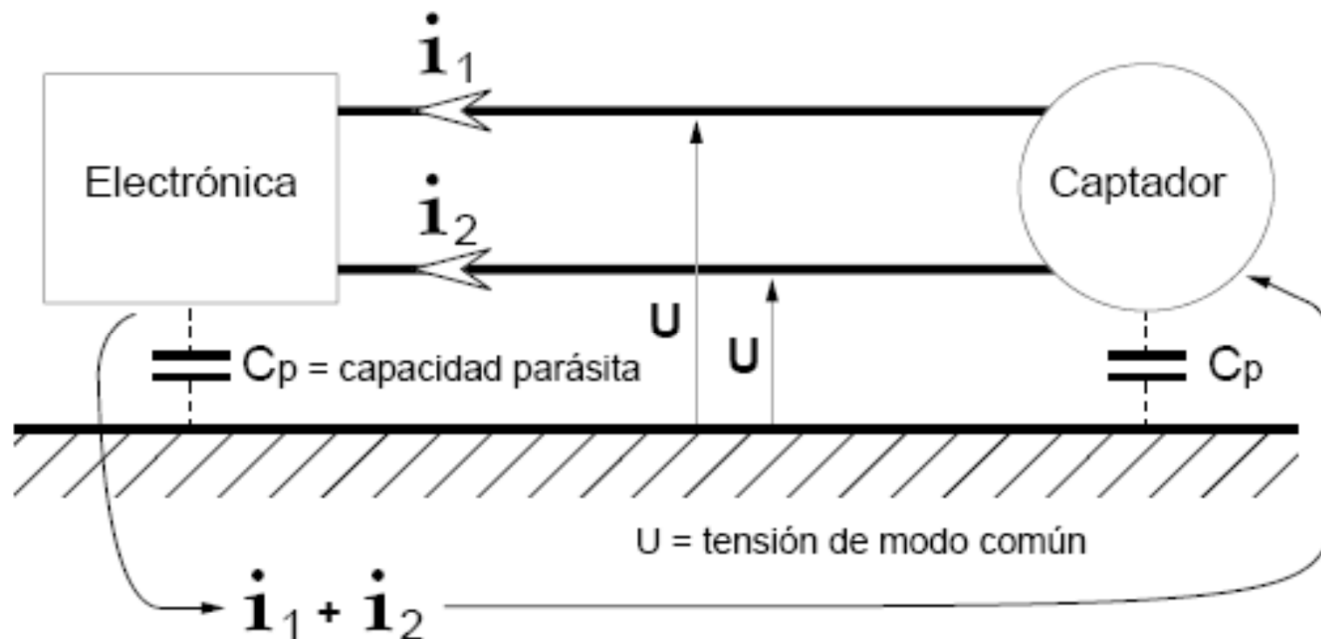
la corriente en modo diferencial (o modo serie) se propaga por uno de los conductores, pasa a través del aparato, provocando o no, un fallo en su funcionamiento y regresa por otro conductor



modos de TPE · acoplamientos por conducción

► modo común:

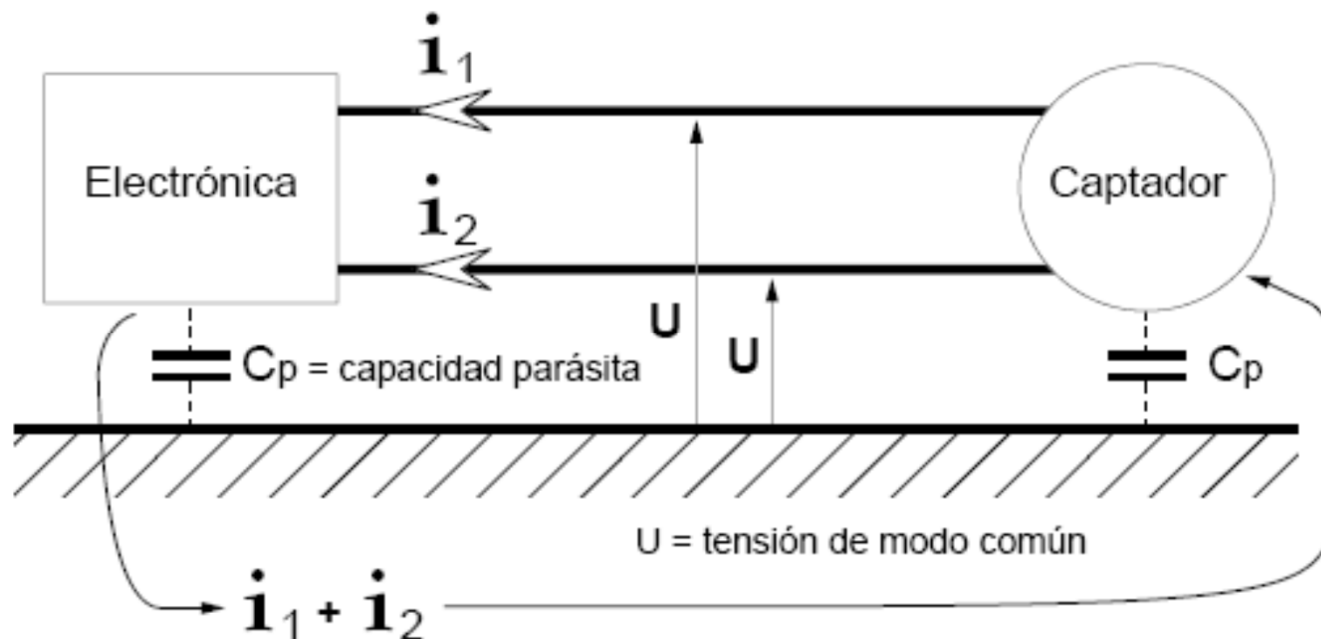
la corriente en modo común se propaga por todos los conductores en el mismo sentido y regresa a través de las capacidades parásitas



modos de TPE · **acoplamientos por conducción**

► modo común:

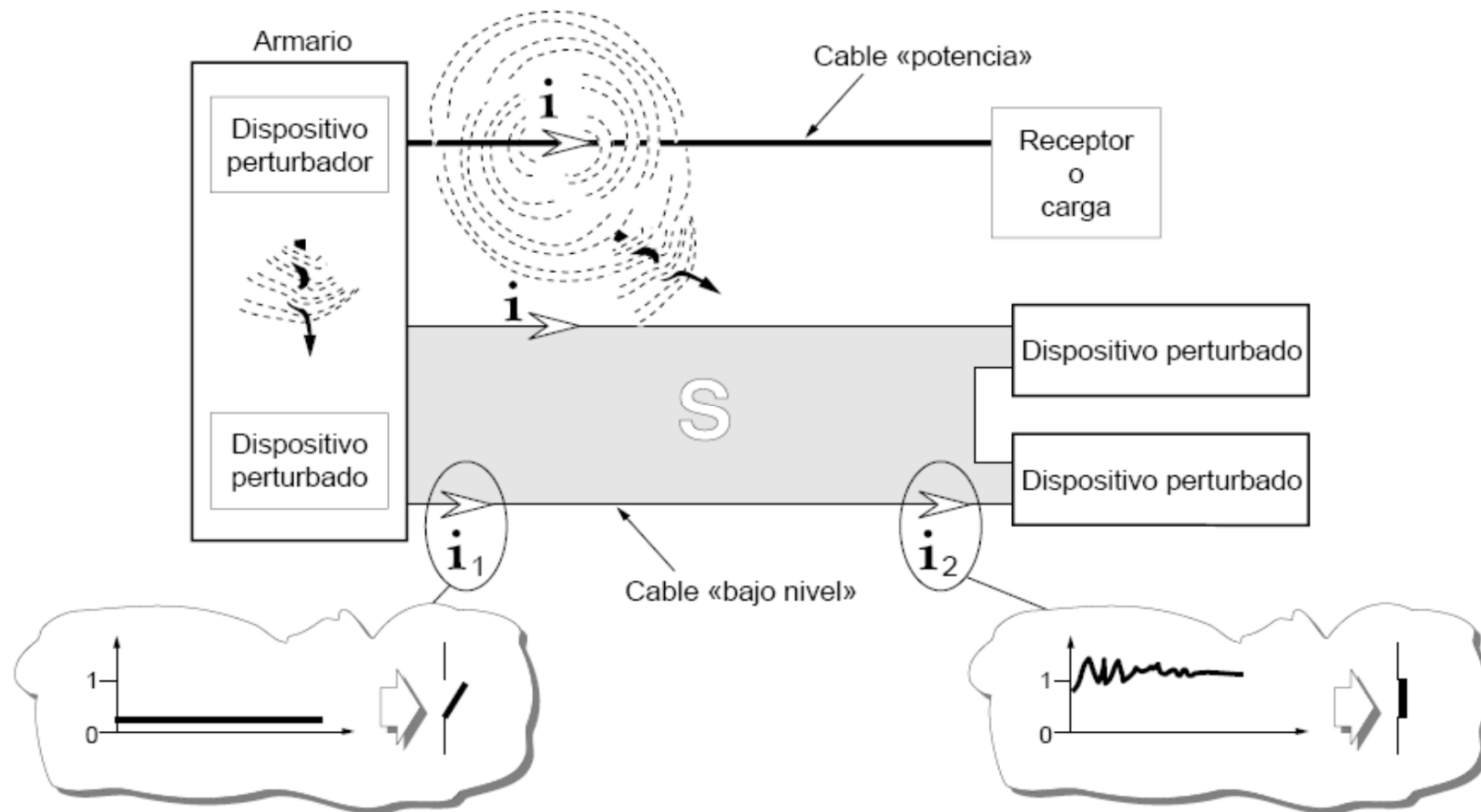
la corriente en modo común se propaga por todos los conductores en el mismo sentido y regresa a través de las capacidades parásitas



- las perturbaciones del modo común representan el principal problema de la "CEM", ya que, su trayectoria de propagación es difícil de identificar

modos de TPE · **acoplamientos por radiación**

- ▶ las perturbaciones radiadas se transmiten por el aire



modos de TPE · acoplamientos por radiación

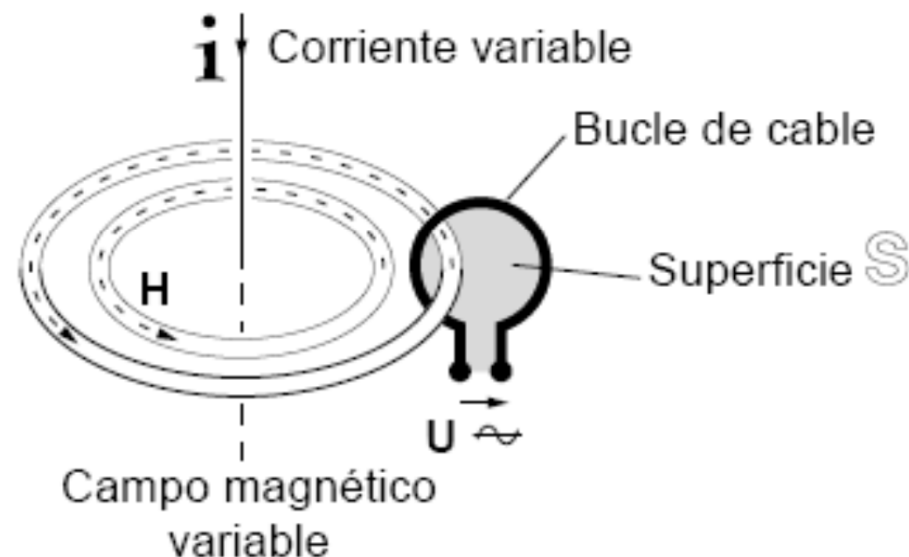
- ▶ **principio:** según la naturaleza de la perturbación emitida, los acoplamientos pueden ser de dos tipos:
 - acoplamiento inductivo
 - acoplamiento capacitivo

modos de TPE · **acoplamientos por radiación inductivos**

- ▶ una corriente I , como las que circulan por los circuitos de potencia ($> 10\text{ A}$) genera, un campo que irradia a su alrededor

siempre que un conductor eléctrico forme un bucle inmerso en un campo magnético variable aparece una tensión U inducida

Esquema básico



modos de TPE · acoplamientos por radiación capacitivos

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

cualquier diferencia de potencial variable entre 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

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

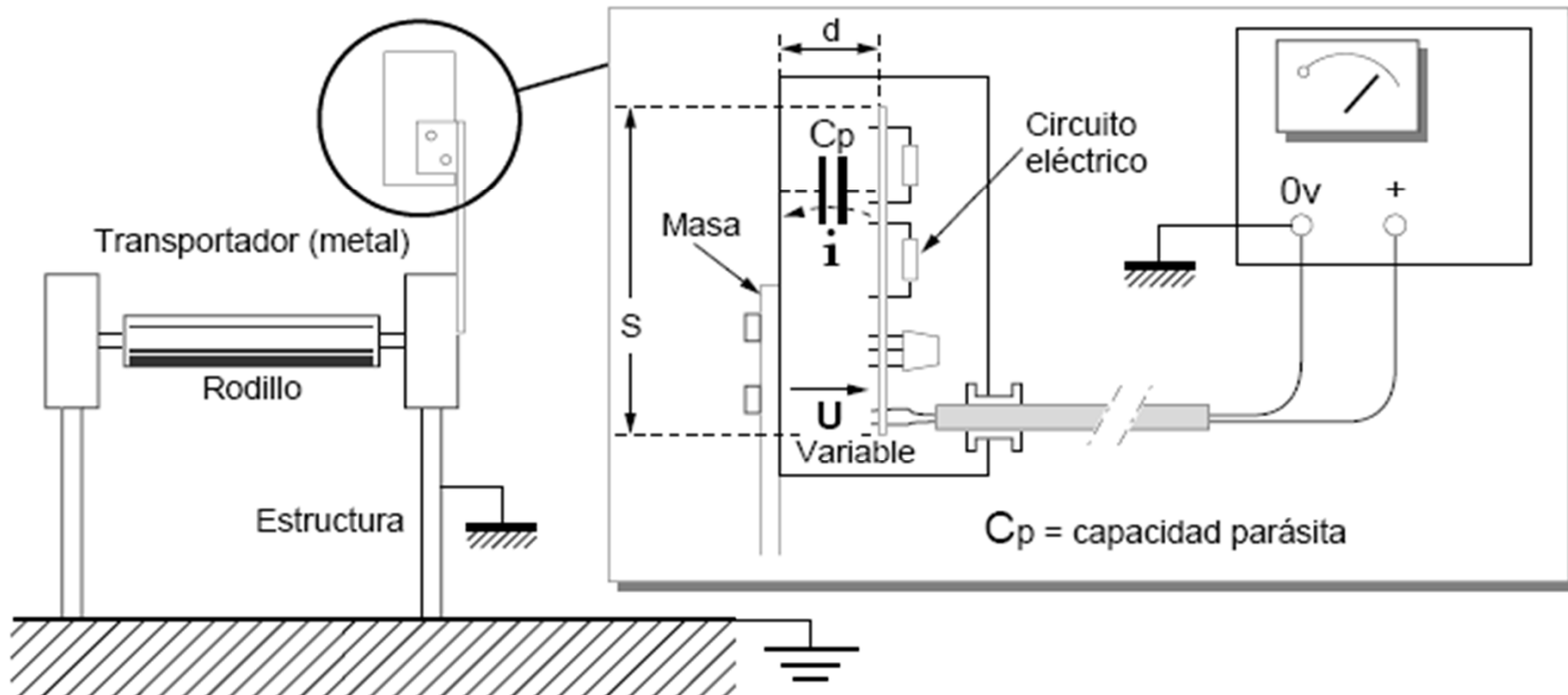
$$Z = \frac{1}{C\omega}$$

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

$$I = kf$$

modos de TPE · **acoplamientos por radiación capacitivos**

- ▶ este fenómeno se le conoce también con el nombre “efecto pelicular”




modos de TPE · acoplamientos por radiación capacitivos

- ▶ 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, provocando fallos en el funcionamiento de las instalaciones

tierra · 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

Símbolo: 

- ▶ toda corriente que circula por la tierra ha entrado en ella y saldrá para volver a la fuente

tierra · funciones de la tierra en las instalaciones eléctricas

► 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/suelo 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

tierra · conexiones eléctricas a tierra

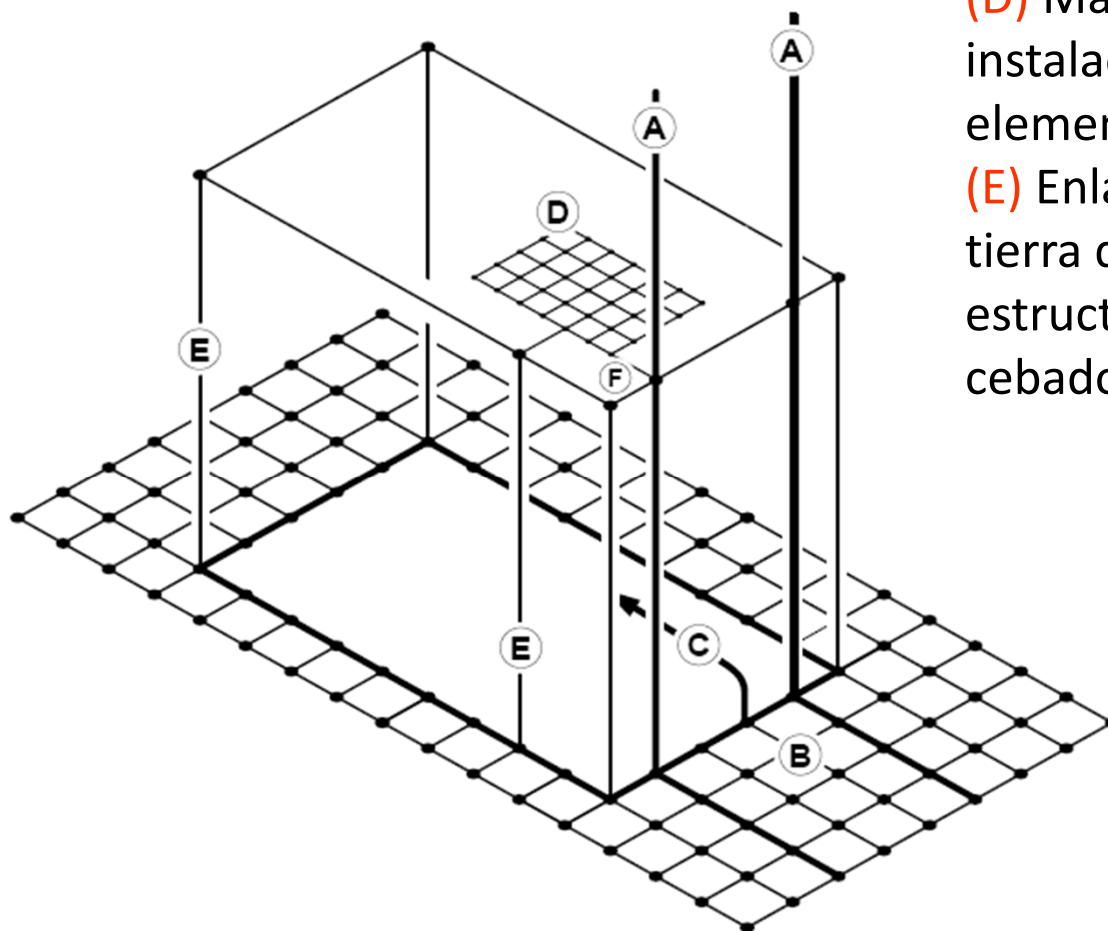
- ▶ en una instalación eléctrica dada, es necesario y suficiente tener una buena y única toma de tierra

buena porque ocasionalmente las líneas de conexión a tierra de los pararrayos tienen que conducir corrientes del orden de 20 a 30 KA hasta un suelo de resistividad muy variable (5 a 10000 $\Omega \cdot m$) 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 diferentes tomas de tierra. Además la propia instalación en su funcionamiento normal (corrientes de fuga, fallos , etc ...) producirían perturbaciones inaceptables

tierra · esquema tipo de conexión a tierra de una instalación

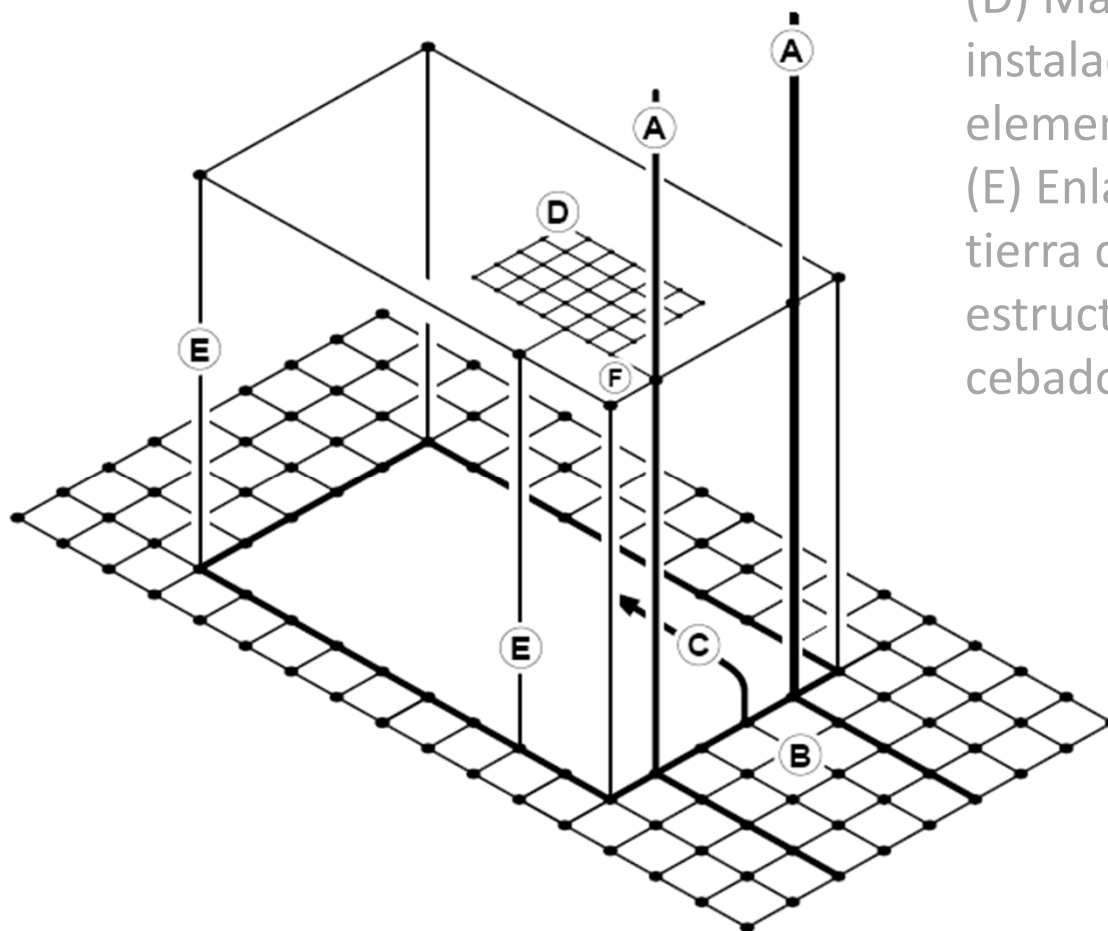
- (A) Conexión a tierra de los pararrayos
- (B) Red de tierra mallada y enterrada con refuerzo especial en la parte inferior de las conexiones a tierra de los pararrayos
- (C) Conexión de tierra de la instalación, conectada a las bornas de salida de los PE o PEN de la instalación



- (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 · 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 las bornas 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)

Los conductores de tierra presentan impedancias muy elevadas en alta frecuencia «AF» y por tanto **no tendrán utilidad alguna si no se dispone además de una red de mallado de las masas**

masa · definición general

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

Símbolo: 

- ▶ **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

- ▶ norma CEI 364: 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»

► comportamiento en baja frecuencia «BF»

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)

► comportamiento en alta frecuencia «AF»

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»

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

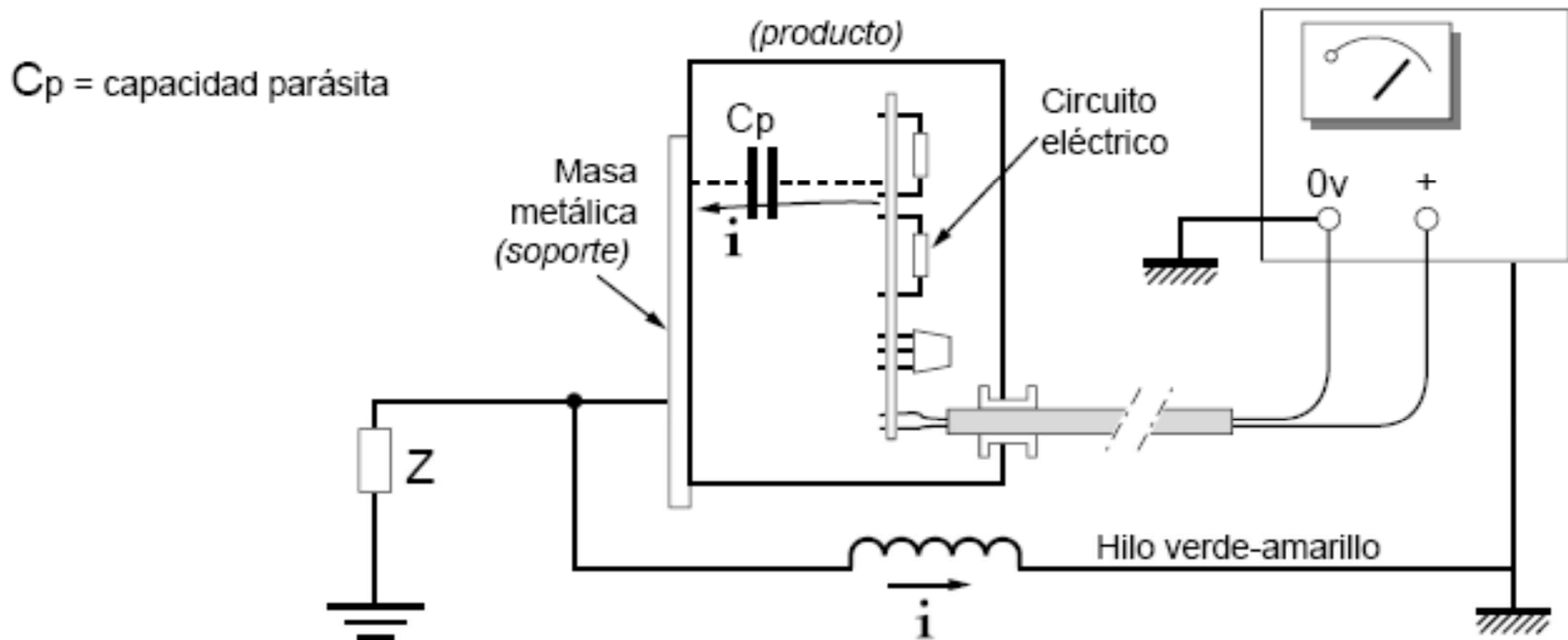
masa · masas y compatibilidad electromagnética

- ▶ es necesario 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»

masa · masas y compatibilidad electromagnética

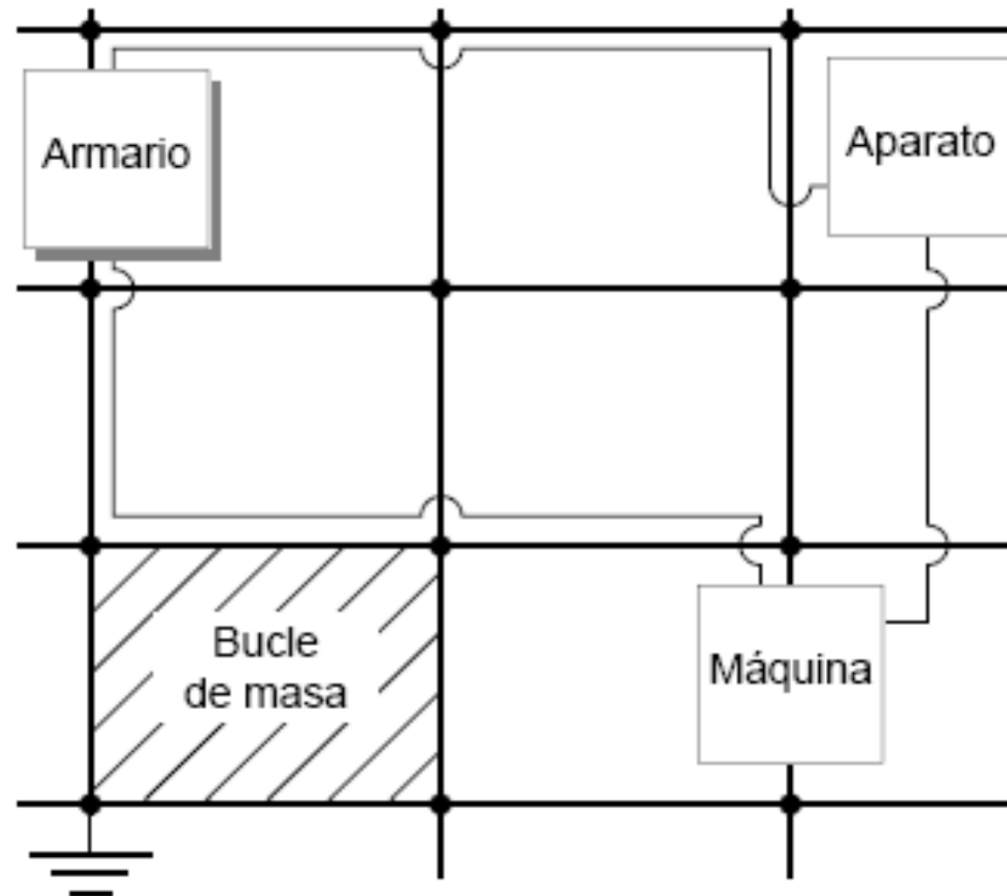
► corriente de fuga en la instalación

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, pudiendo provocar que las instalaciones funcionen mal (disparo de las protecciones diferenciales...)



masa · bucles entre masas

- ▶ un **bucle entre masas** es la superficie comprendida entre dos cables de masas

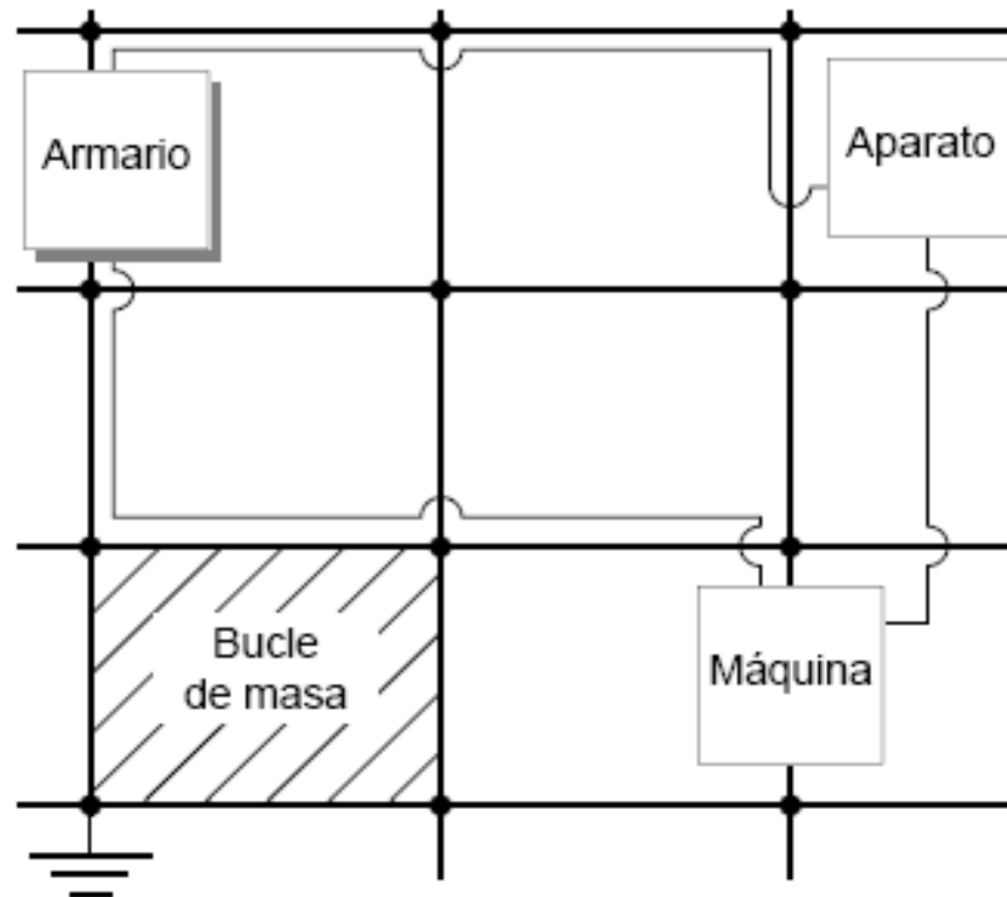


masa · bucles entre masas

- ▶ un bucle entre masas es la superficie comprendida entre dos cables de masas

se debe de hacer un mallado sistemático y riguroso que permita garantizar la equipotencialidad de una instalación

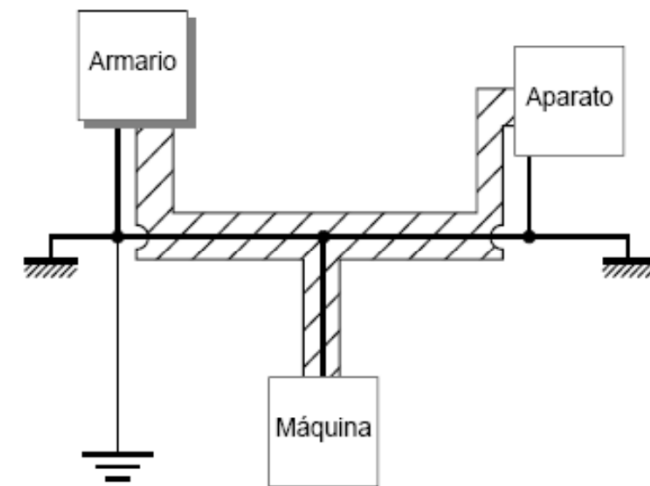
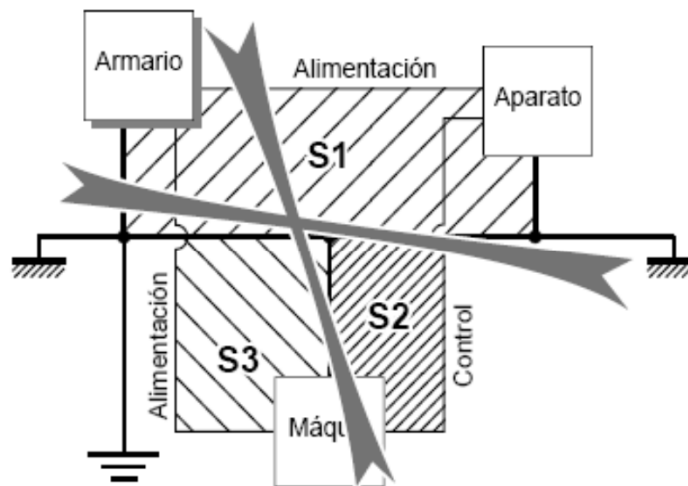
es necesario reducir la superficie de cada bucle multiplicando las conexiones entre *todas las masas*



masa · bucles de masas

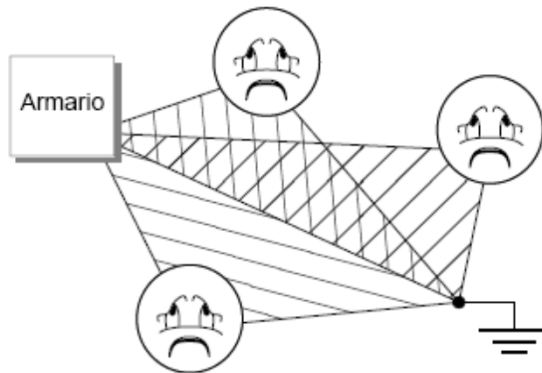
- ▶ un **bucle de masa** es la superficie comprendida entre un cable funcional (cables de alimentación, de control, red de comunicación...) y el conductor o la masa mecánica más cercana

hay tantos
bucles de
masa como
cables
funcionales

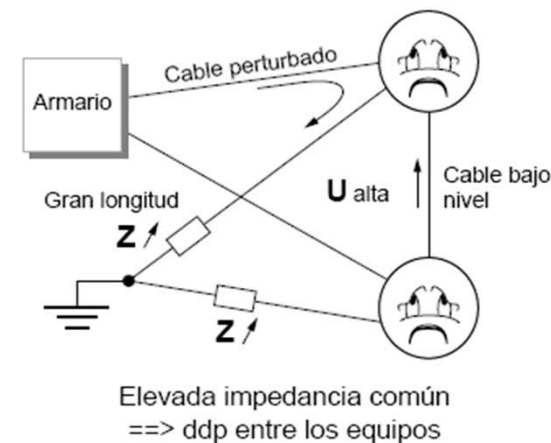
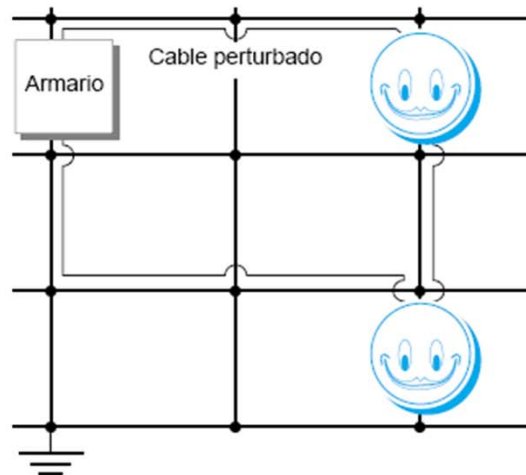
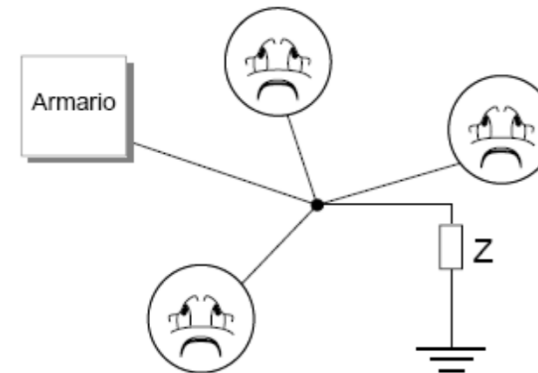


- ▶ es imprescindible reducir la superficie de los bucles de masa haciendo pasar los cables funcionales, en toda su longitud, lo más cerca posible de las masas. **Los bucles de masa son la principal fuente de problemas de «CEM».** Las perturbaciones radiadas se acoplan a través de ellos con mucha facilidad

masa · evitar la conexión en estrella de las masas a la tierra



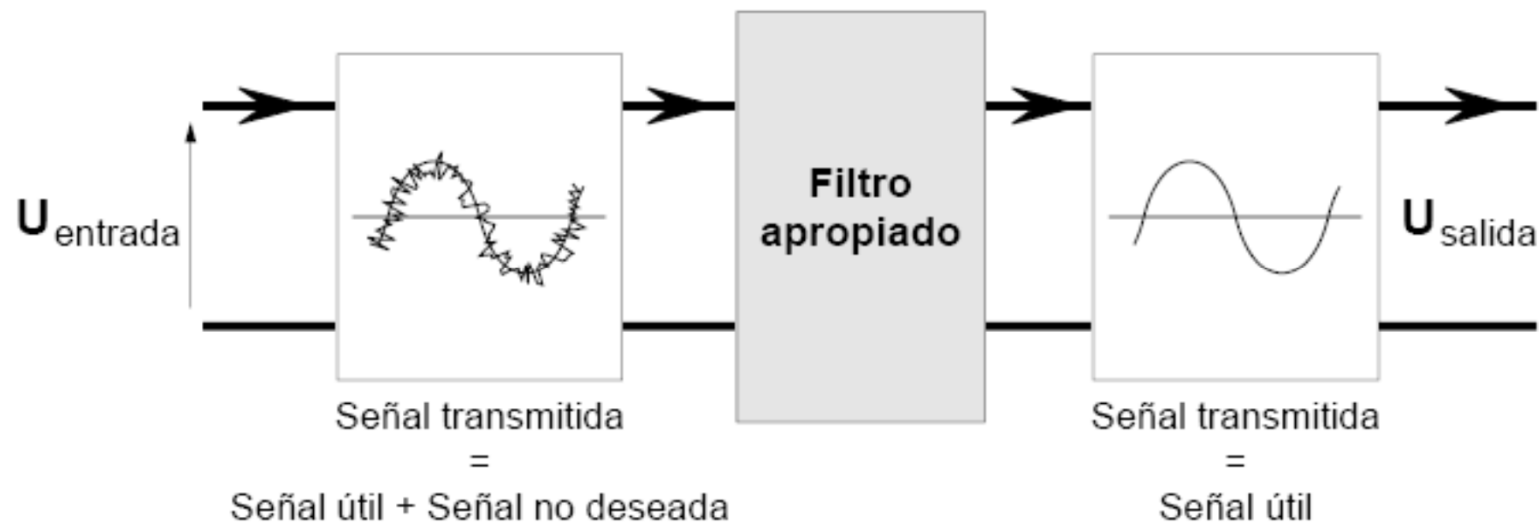
Bucles de masa de gran superficie



- ▶ 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 los filtros

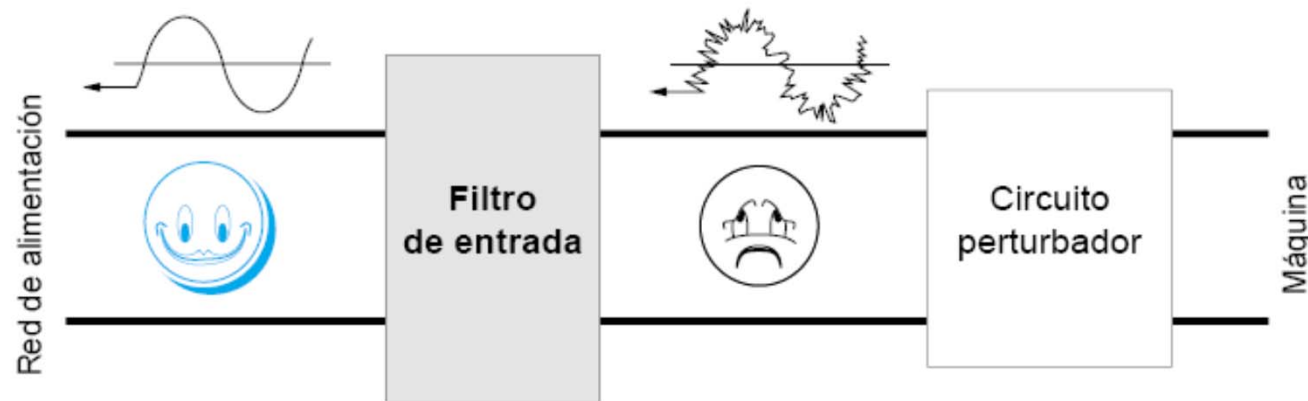
- ▶ la función de los filtros es dejar pasar las señales útiles y eliminar la parte no deseada de las señales transmitidas



- ▶ **campo de utilización:**
 - filtros antiarmónicos $F \leq 2,5 \text{ kHz}$
 - filtros RFI (Radio - Perturbaciones conducidas) $F \leq 30 \text{ MHz}$

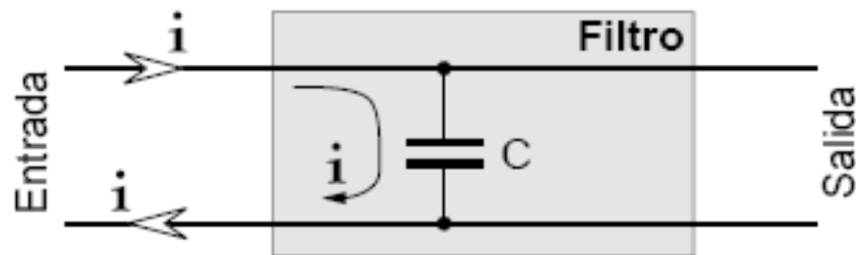
filtros · **sentido de actuación**

- ▶ filtros de entrada p.e. filtros antiarmónicos, filtros RFI protegen la red de alimentación de las perturbaciones generadas por el equipo alimentado

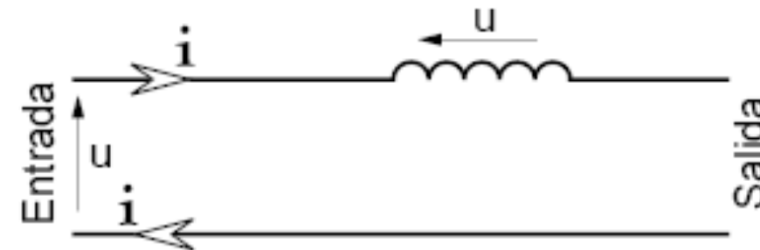


filtros · modos de filtrado

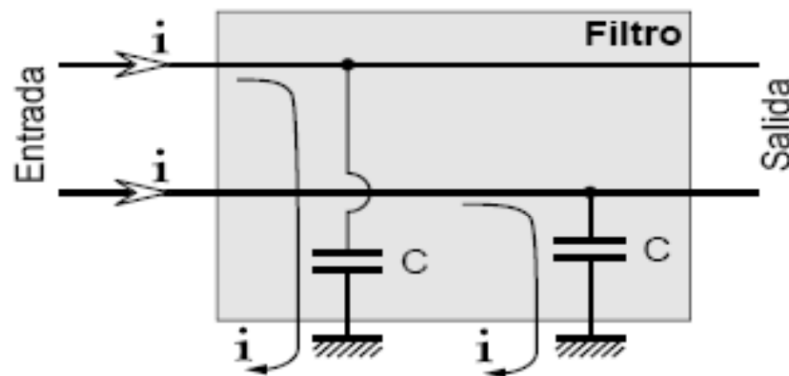
► filtrado pasivo en modo diferencial



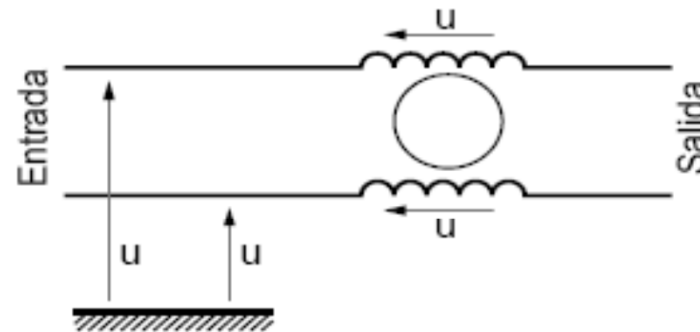
Corriente perturbadora de modo diferencial



► filtrado pasivo en modo común



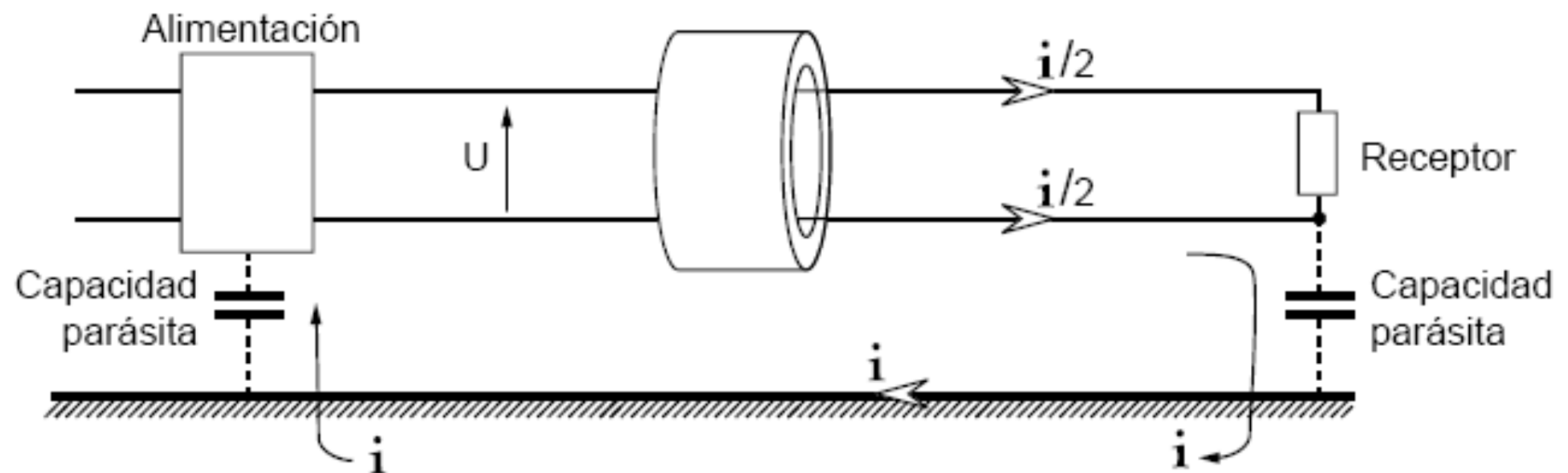
Corriente perturbadora de modo común



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

ferritas

- ▶ son filtros de modo común para alta frecuencia «AF» formadas por materiales de permeabilidad magnética « μ_r » muy elevada. Utiliza dos principios:
 - inductancia en modo común
 - absorción de las perturbaciones «AF» de modo común por calentamiento inducido



sumario

- 1 · comprender los fenómenos de CEM
- 2 · como obtener la CEM en la instalación

introducción

- ▶ la mejor garantía para evitar un mal funcionamiento de los equipos y el encarecimiento de la instalación es **garantizar la compatibilidad electromagnética en la fase de diseño de la instalación**
- ▶ no tener en cuenta la «CEM» durante el estudio del proyecto significa un ahorro inmediato de varios puntos porcentuales en el coste global de una instalación (de un 3 a un 5%), pero luego hacer modificaciones en la fase de puesta en servicio, puede tener un coste de varias decenas de puntos porcentuales

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

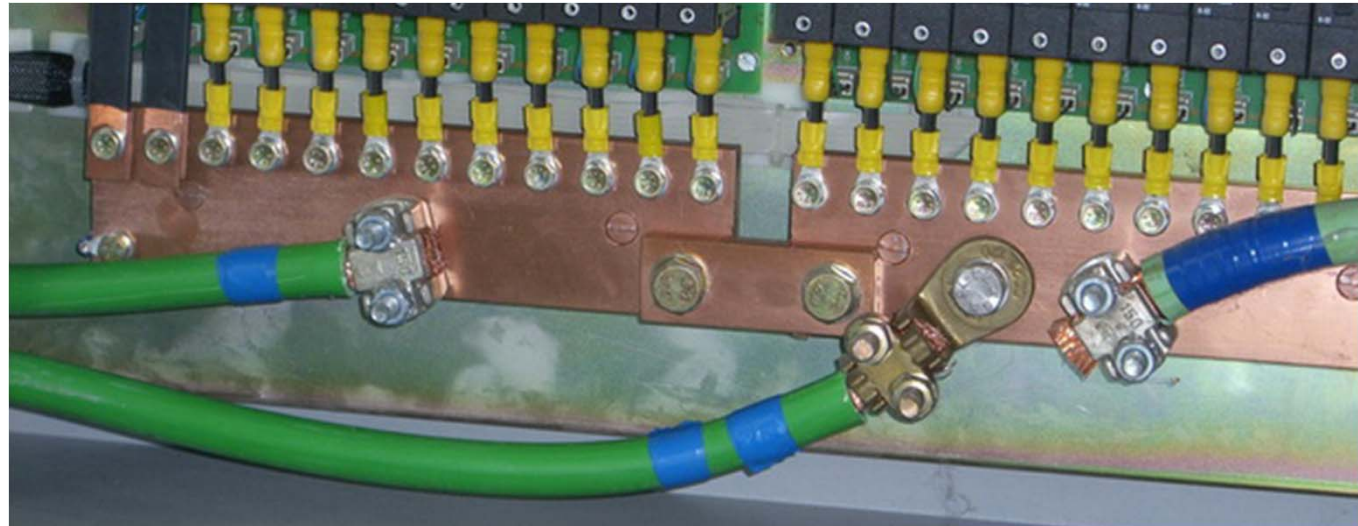
ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES	
Fenómenos de baja frecuencia «BF»	Fenómenos de alta frecuencia «AF»
<ul style="list-style-type: none">• Sistemas de protección• Filtrado• Longitud de los cables	<ul style="list-style-type: none">• EQUIPOTENCIALIDAD de las masas (mallado)• Canalización cuidadosa de los cables• 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

red de masa

- ▶ la **EQUIPOTENCIALIDAD** de las masas en baja y alta frecuencia es una regla de oro de la «CEM
- ▶ hay que buscar la equipotencialidad de «BF» y «AF»
 - del edificio mediante un mallado específico adaptado, etc.
 - del local mediante un mallado de todas las masas y, en caso necesario, un plano de masa específico adaptado, etc.
- ▶ para ello hacer un mallado sistemático de todas las estructuras metálicas, bastidores, chasis, conductores de masa... entre sí

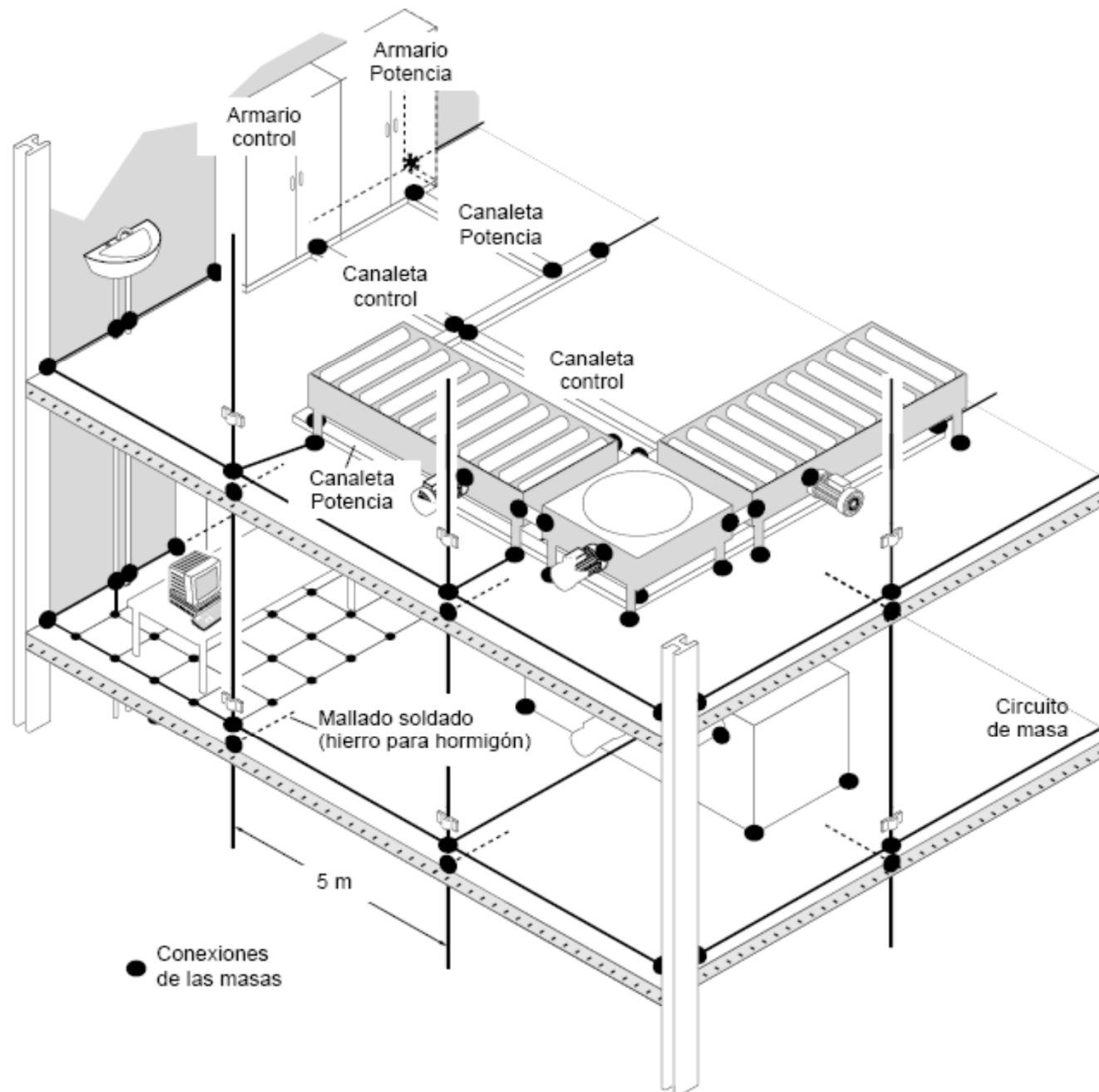
red de masa · conexiones

- ▶ 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



- ▶ 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
- ▶ tener cuidado con la pintura y los revestimientos aislantes...

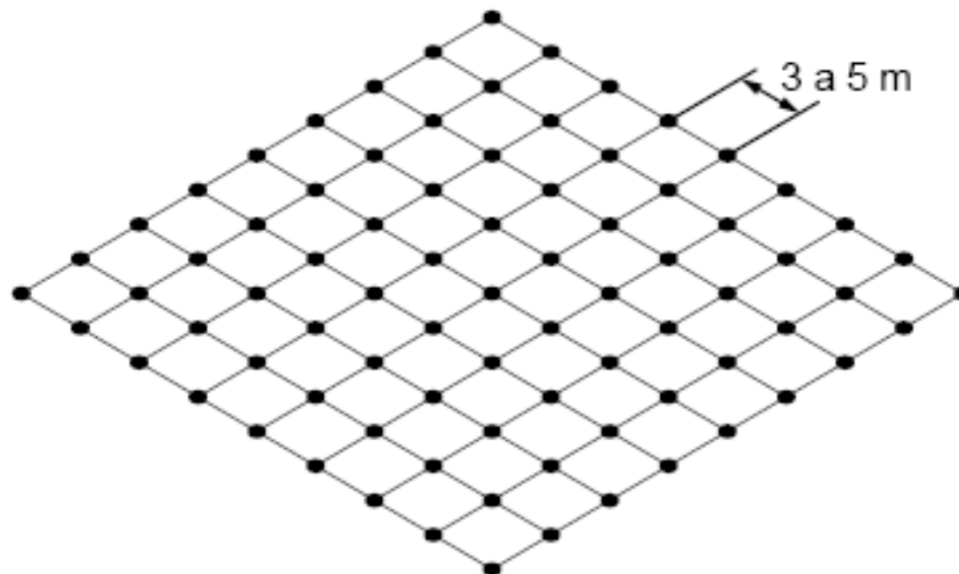
red de masa · edificio



red de masa · edificio

► 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...)
- 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...)



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

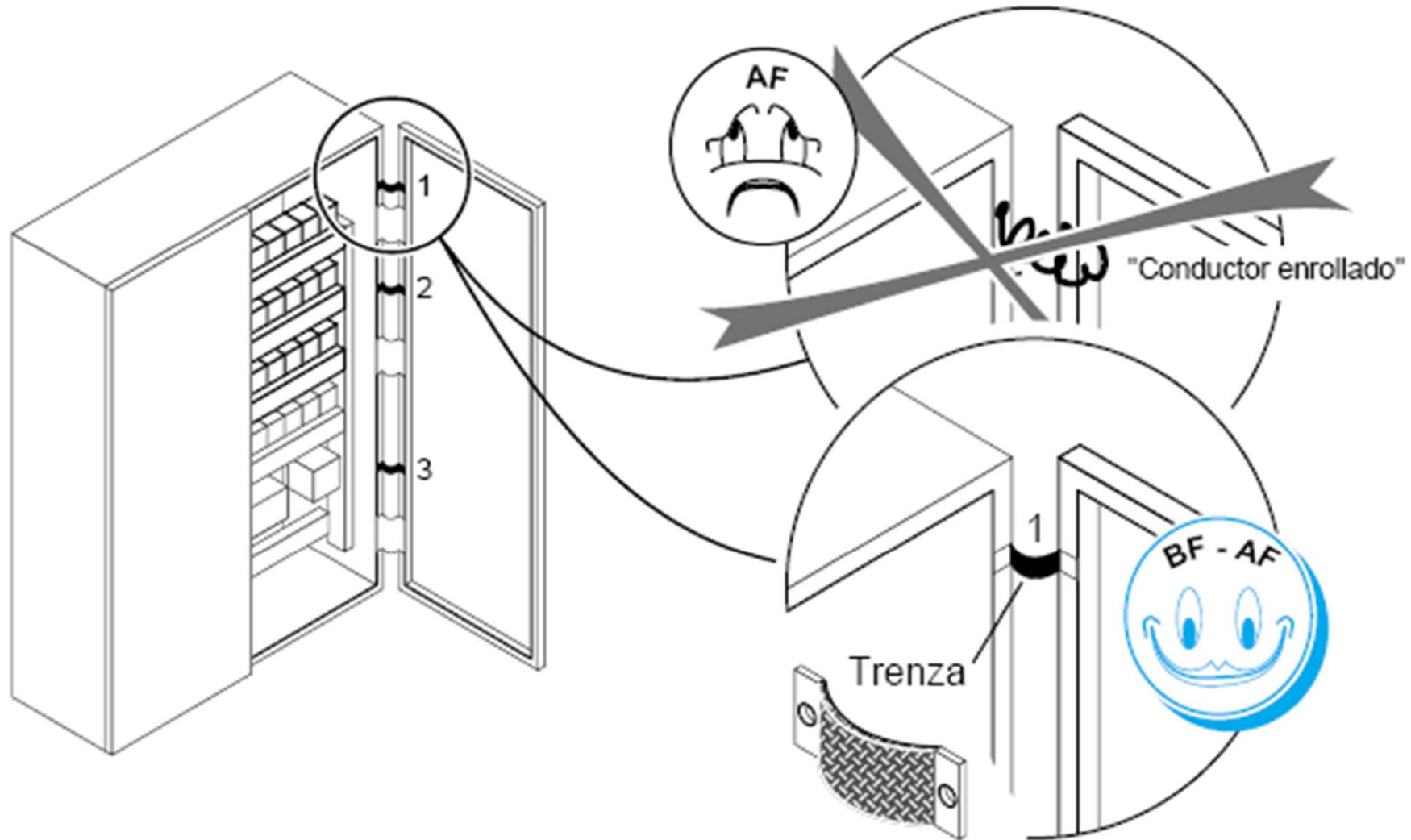
▶ equipotencialidad «BF» y «AF» del armario y de sus componentes

todos los armarios deben estar equipados con una placa de plano de masa de fondo de armario

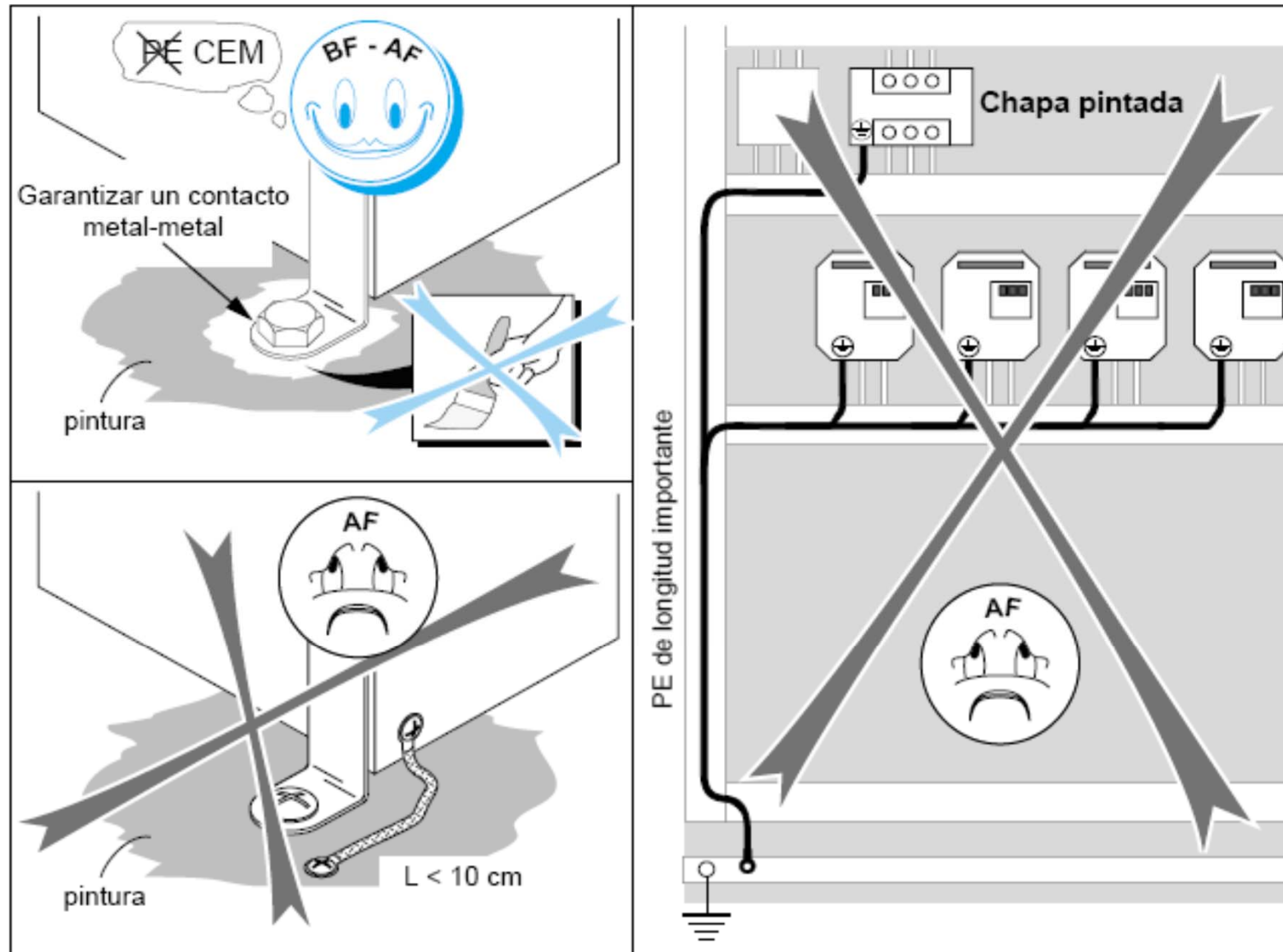
cuidado con las placas de fondo de armario pintadas o con cualquier otro tipo de revestimiento aislante

- ▶ 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»

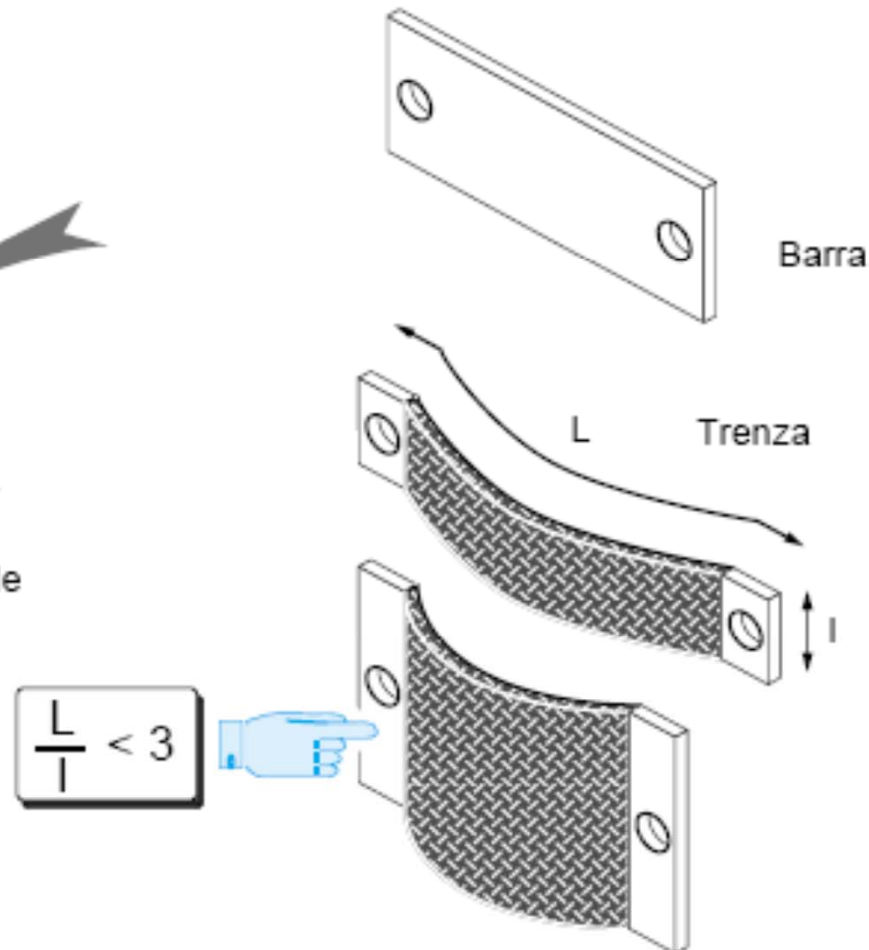
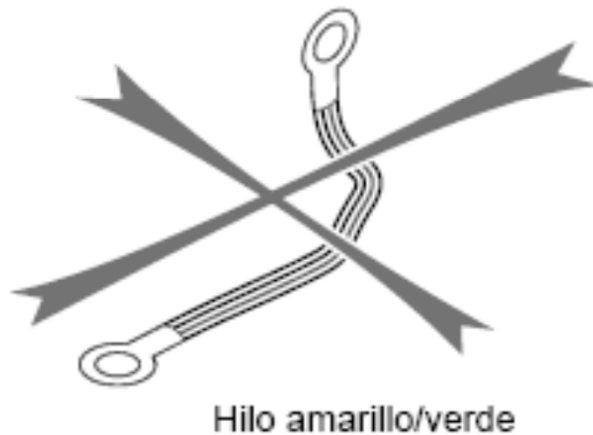
red de masa · **interconexiones mallado de las masas -armario-**



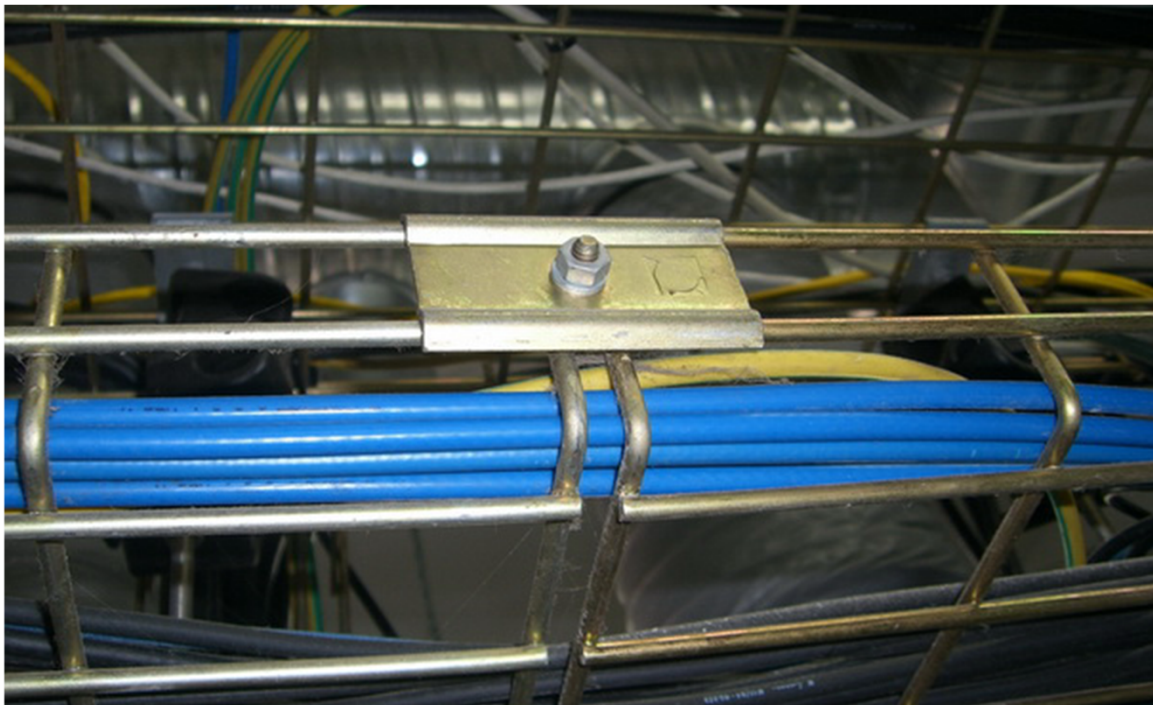
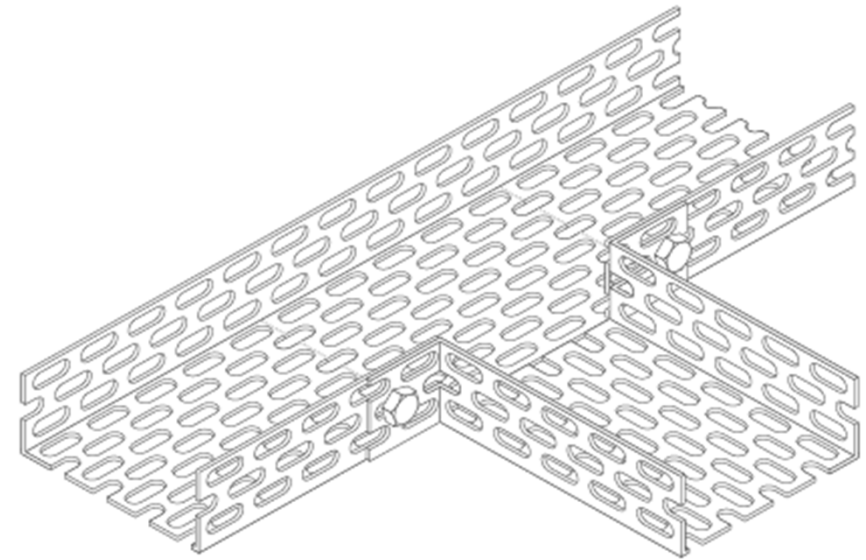
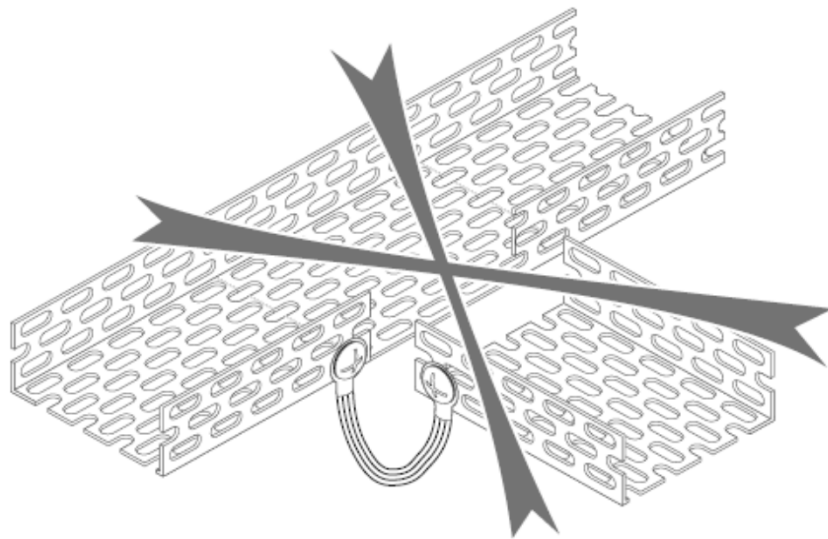
red de masa · **interconexiones mallado de las masas -armario-**



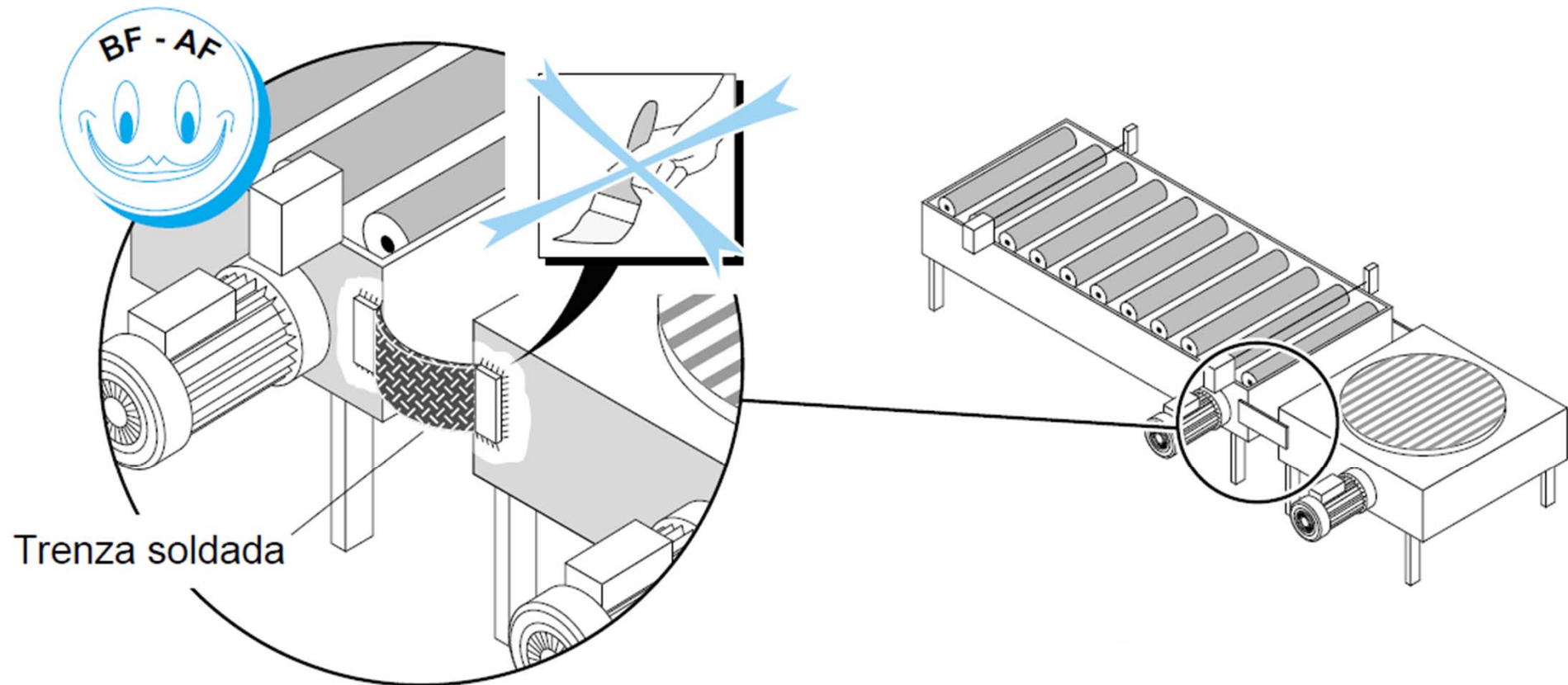
PE - PEN



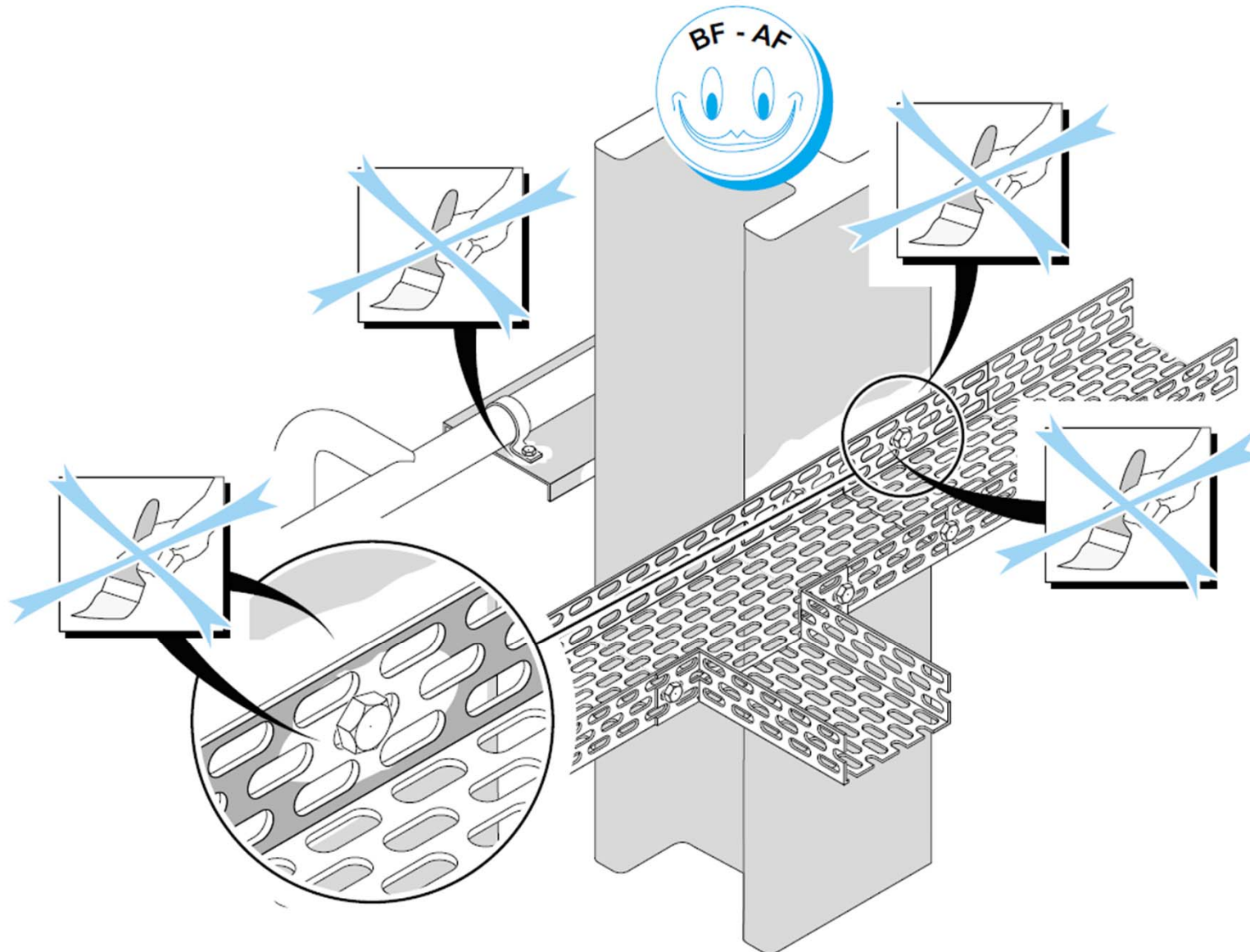
red de masa · **interconexiones mallado de las masas -instalación-**



red de masa · **interconexiones mallado de las masas -instalación-**



red de masa · **interconexiones** mallado de las masas -instalación-



- ▶ suministrar energía de calidad y garantizar su disponibilidad de manera que la instalación funcione correctamente

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

- ▶ 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

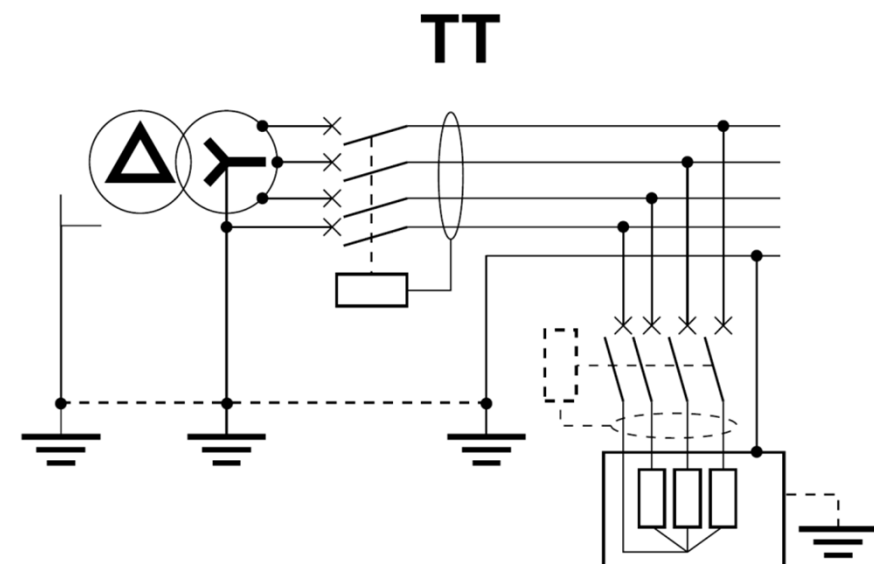
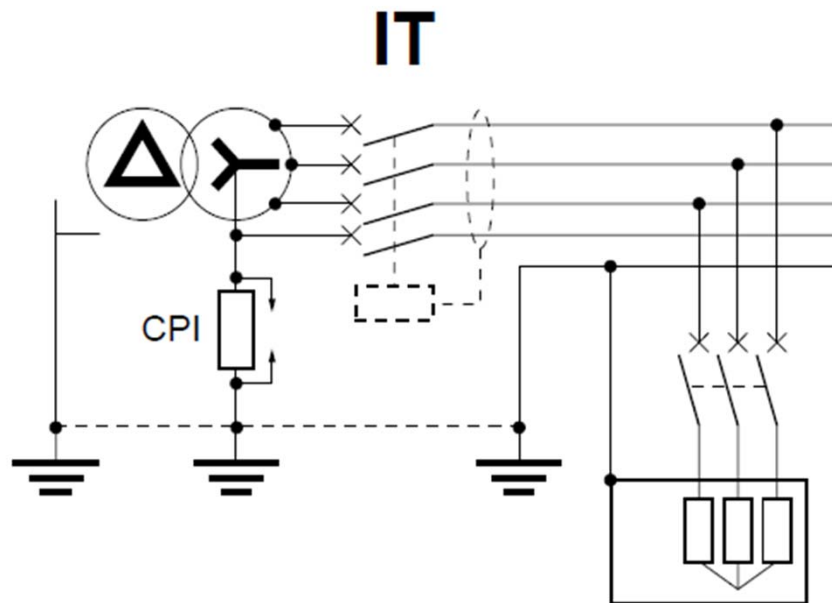
I = conexión a la tierra mediante una impedancia elevada

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 IT y TT



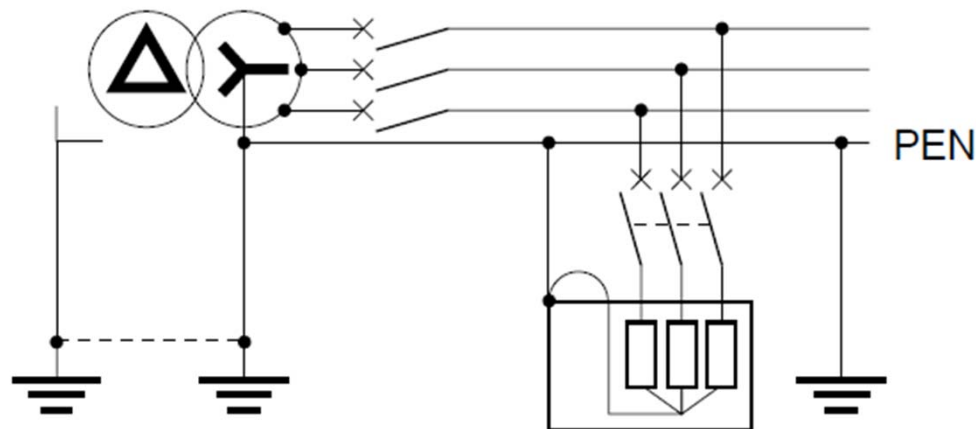
alimentación · regímenes de neutro

- ▶ esquema TN: se descompone en dos grupos TN-C - TN-S

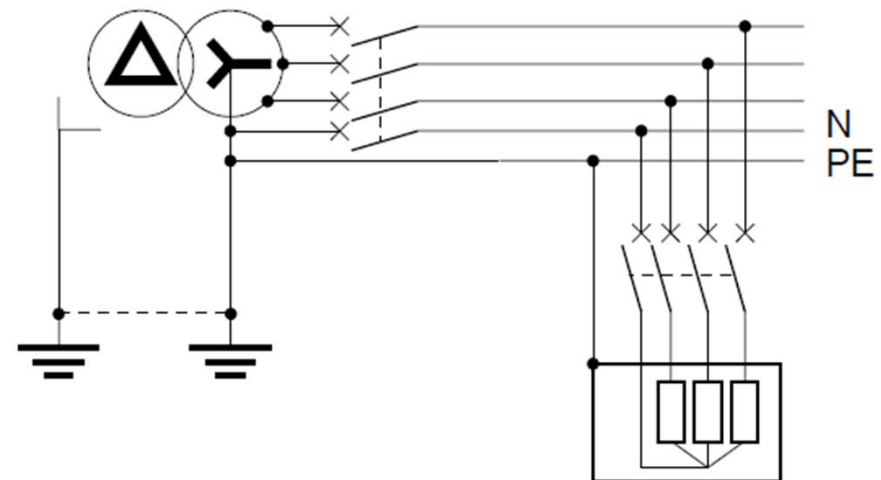
TN-C: la tierra (PE) y el neutro (N) van por un mismo conductor llamado PEN

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

TN-C



TN-S



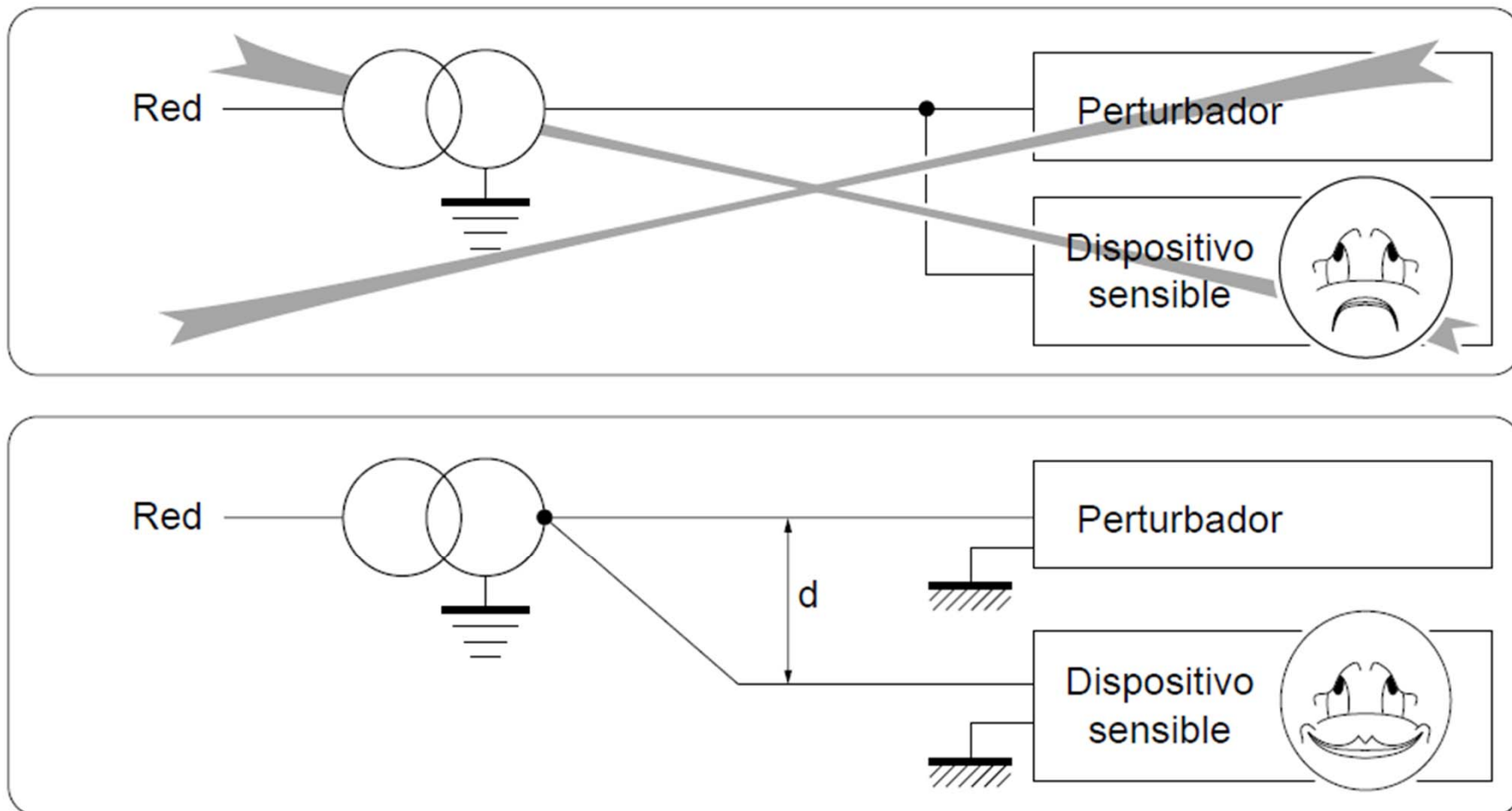
alimentación · regímenes de neutro

	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		
Seguridad de los bienes Riesgos de incendio Riesgos para los componentes	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
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

- ▶ al elegir el régimen de neutro, **debe prevalecer siempre la seguridad de las personas** sobre los aspectos funcionales

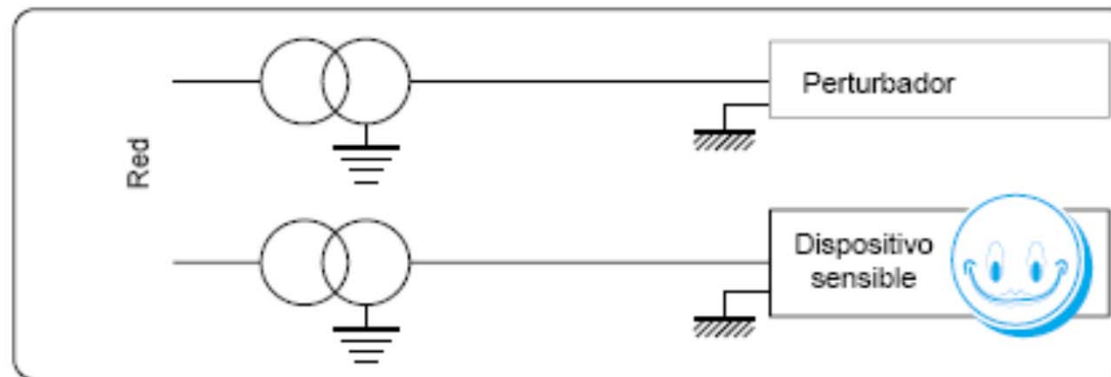
alimentación · distribución de la alimentación

- ▶ cablear en **ESTRELLA** las alimentaciones de los aparatos a partir de la alimentación principal



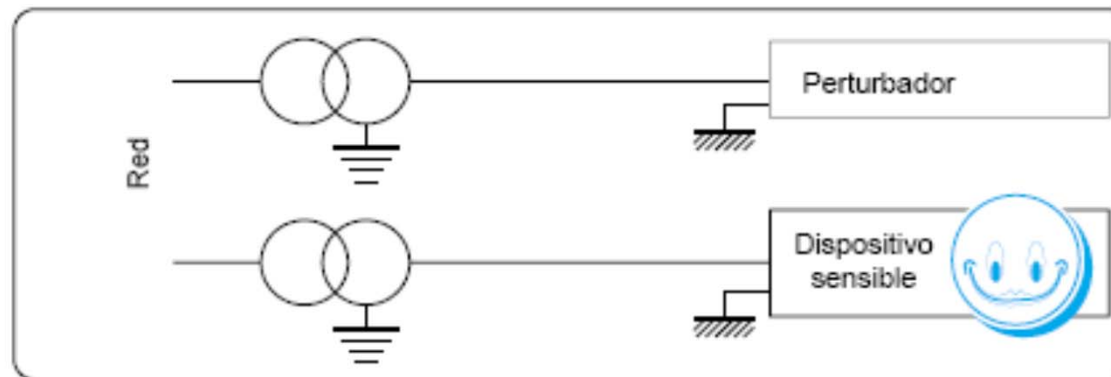
alimentación · **distribución de la alimentación**

- ▶ si se utilizan dispositivos muy sensibles o muy perturbadores, es necesario separar las alimentaciones

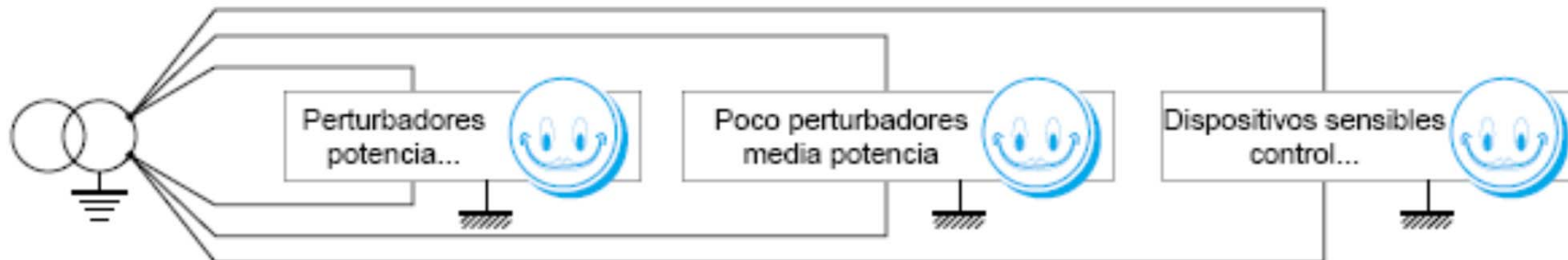


alimentación · **distribución de la alimentación**

- ▶ si se utilizan dispositivos muy sensibles o muy perturbadores, es necesario separar las alimentaciones

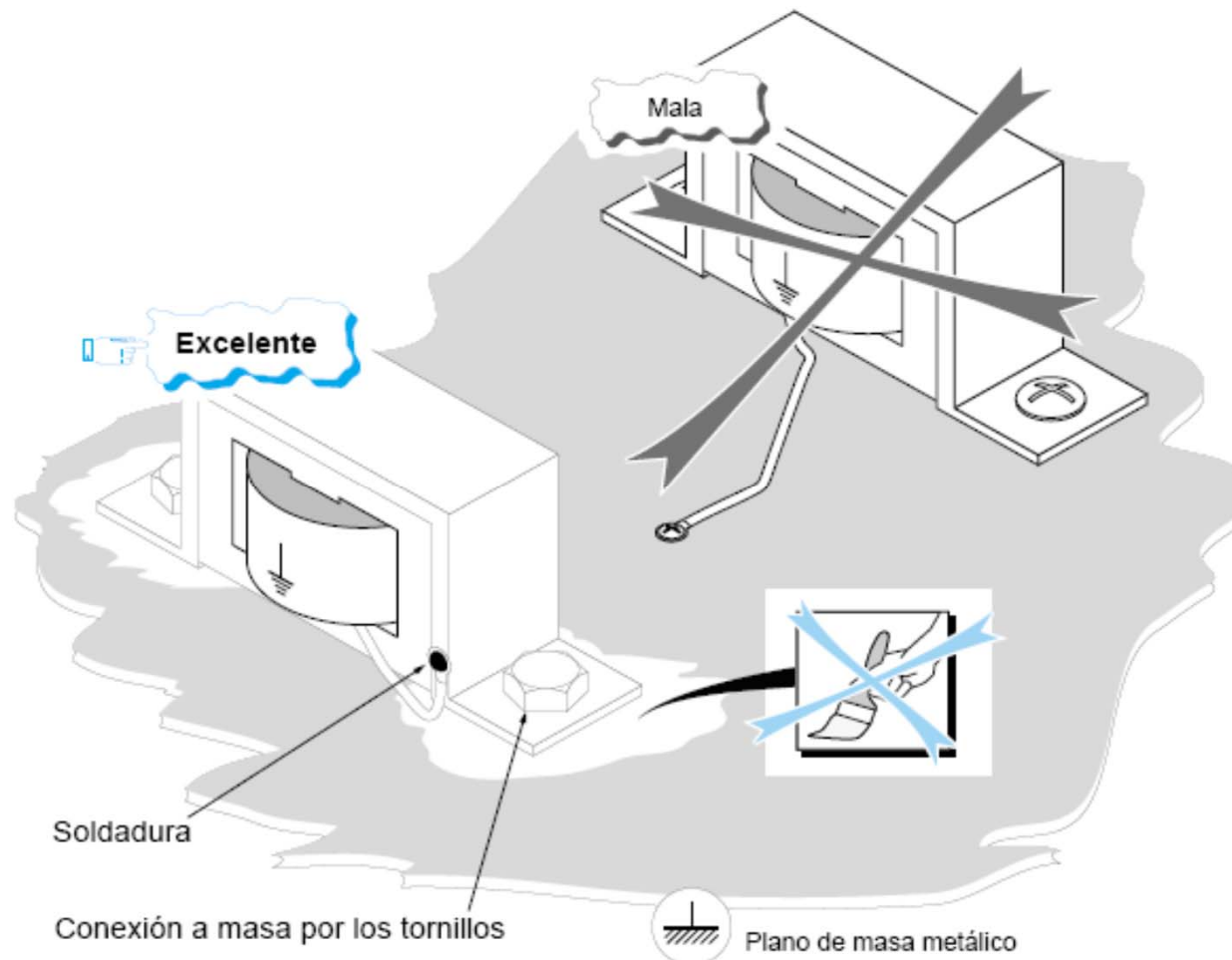


- ▶ cablear los circuitos de alimentación situando los dispositivos perturbadores lo más cerca posible de la fuente y los más sensibles, lo más lejos posible



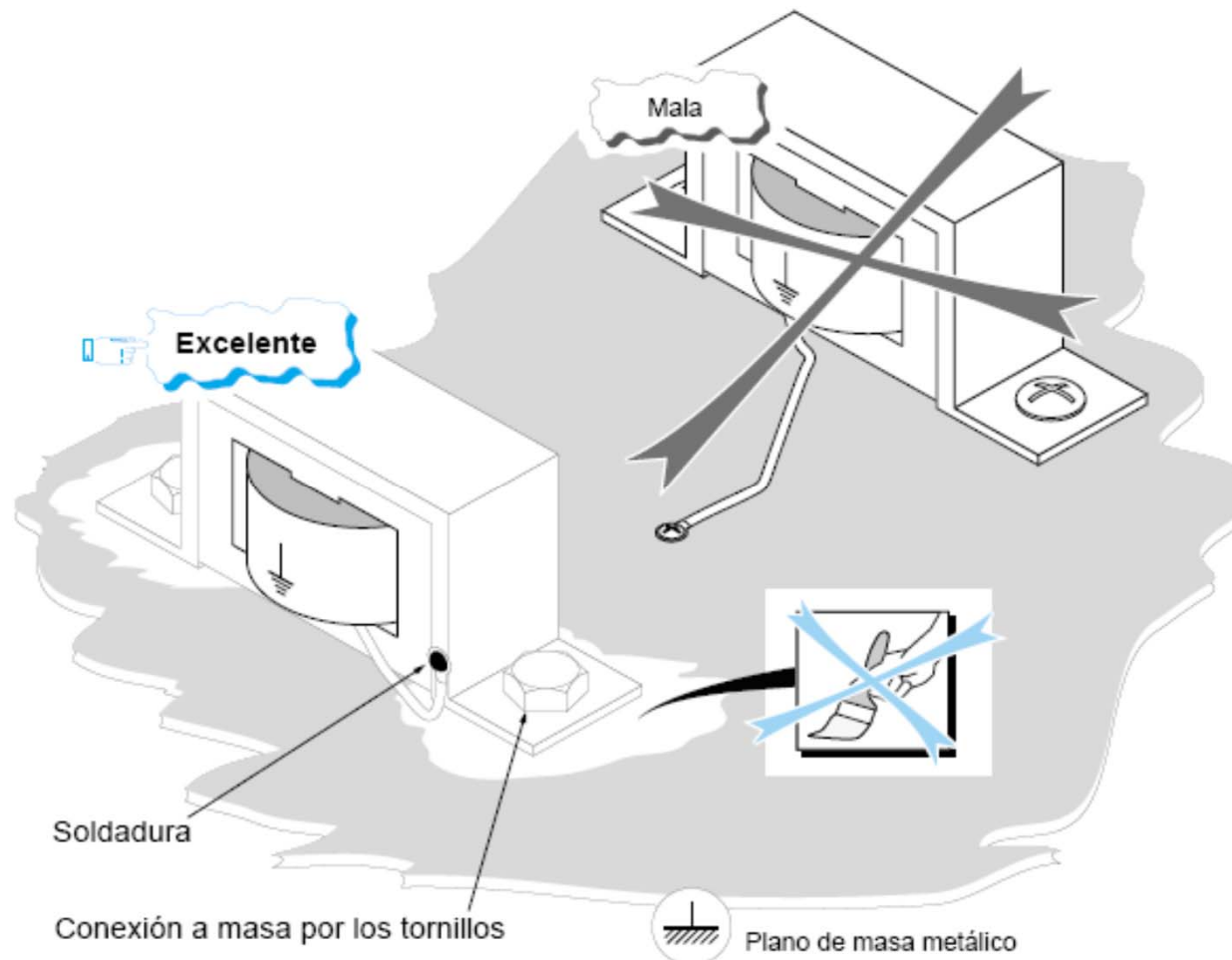
alimentación · **conexión a masa de las pantallas de los transformadores**

- ▶ la longitud de las conexiones de masa debe ser la menor posible



alimentación · **conexión a masa de las pantallas de los 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



► 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

► 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

► ejemplo clasico 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>

armario · plano de masas de referencia

- ▶ ante todo, es necesario definir y montar un plano de masa de referencia de fondo de armario, sin pintar
- ▶ 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
- ▶ 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°

armario · entrada 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

- ▶ distribuir los cables por clases y canalizarlos utilizando canaletas metálicas diferentes y separadas una distancia adecuada

alumbrado

- ▶ no utilizar lámparas fluorescentes, tubos de descargas... para iluminar los armarios de control (generadores de armónicos...)
- ▶ utilizar lámparas de incandescencia

armario · **implantación de los componentes**

- ▶ separar y montar los componentes, cables... «perturbadores» y «sensibles» en armarios diferentes

armarios pequeños

- ▶ es posible reducir la influencia de las perturbaciones montando chapas de separación conectadas en varios puntos a la masa

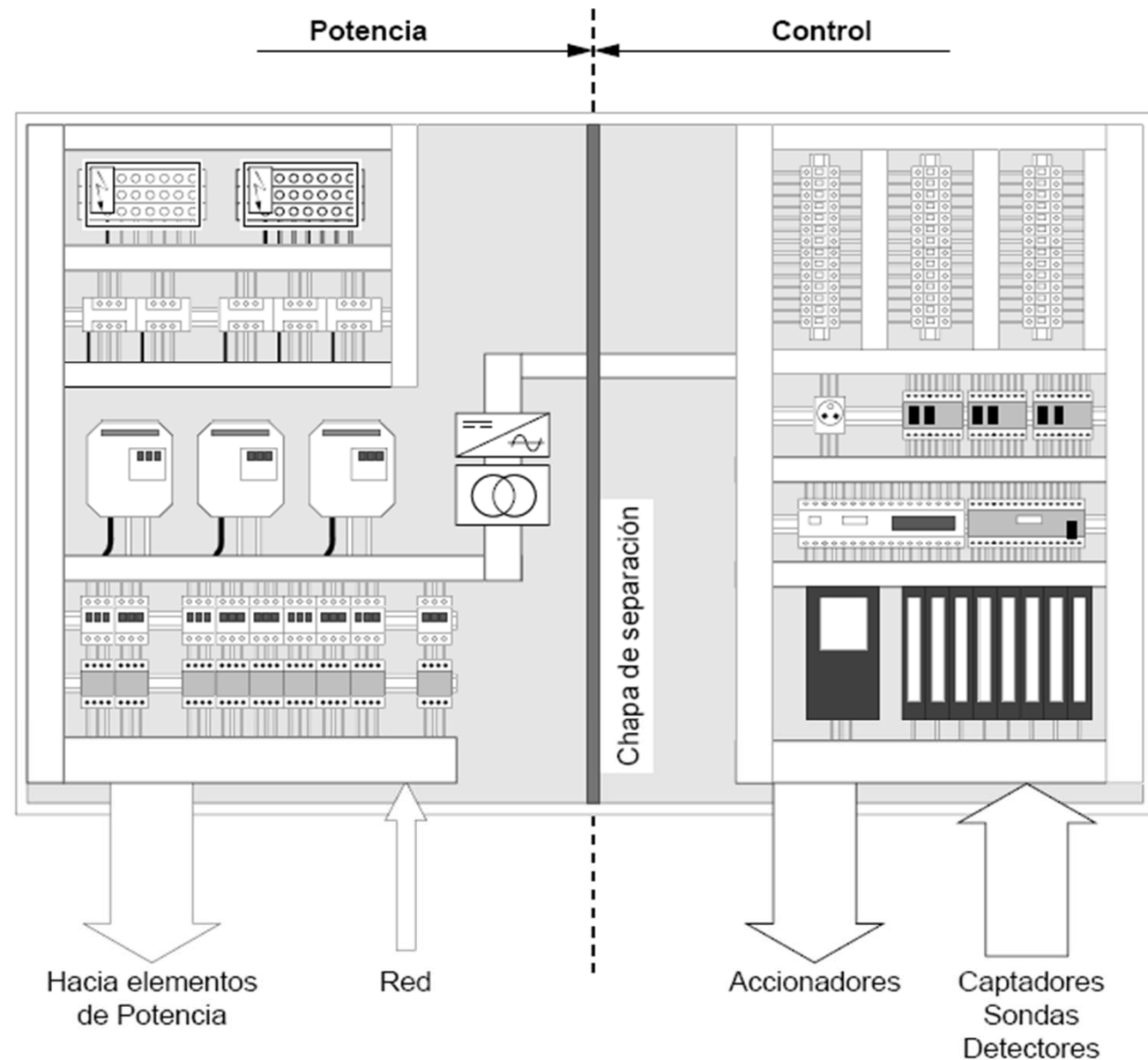
armarios grandes

- ▶ asignar un armario a cada clase de componente... Los armarios «perturbadores» y los «sensibles» deben ser diferentes y estar separados unos de otros

.

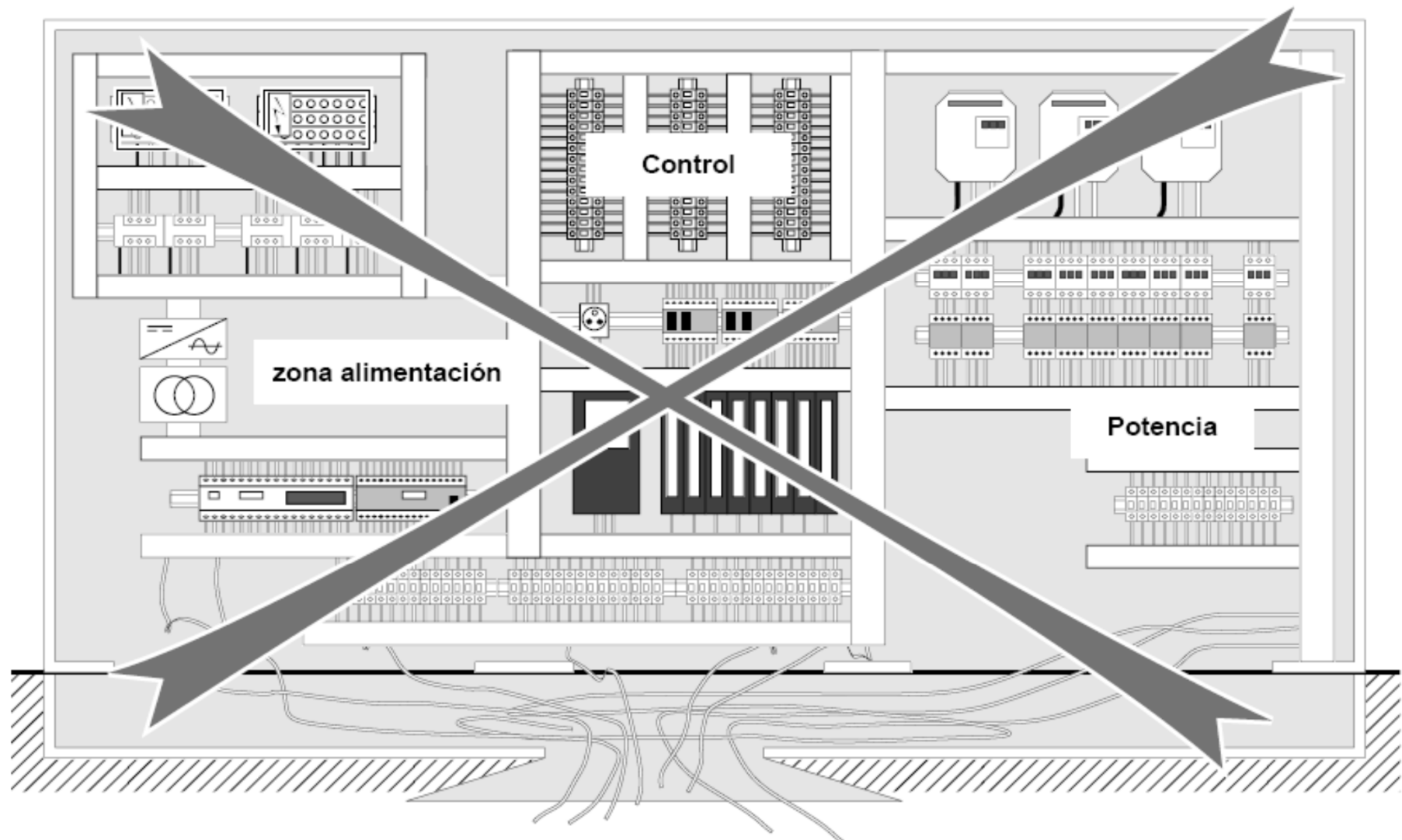
armario · ejemplo de la distribución en un armario pequeño

- ▶ en los armarios pequeños, montar una chapa metálica de separación atornillada al chasis puede ser suficiente

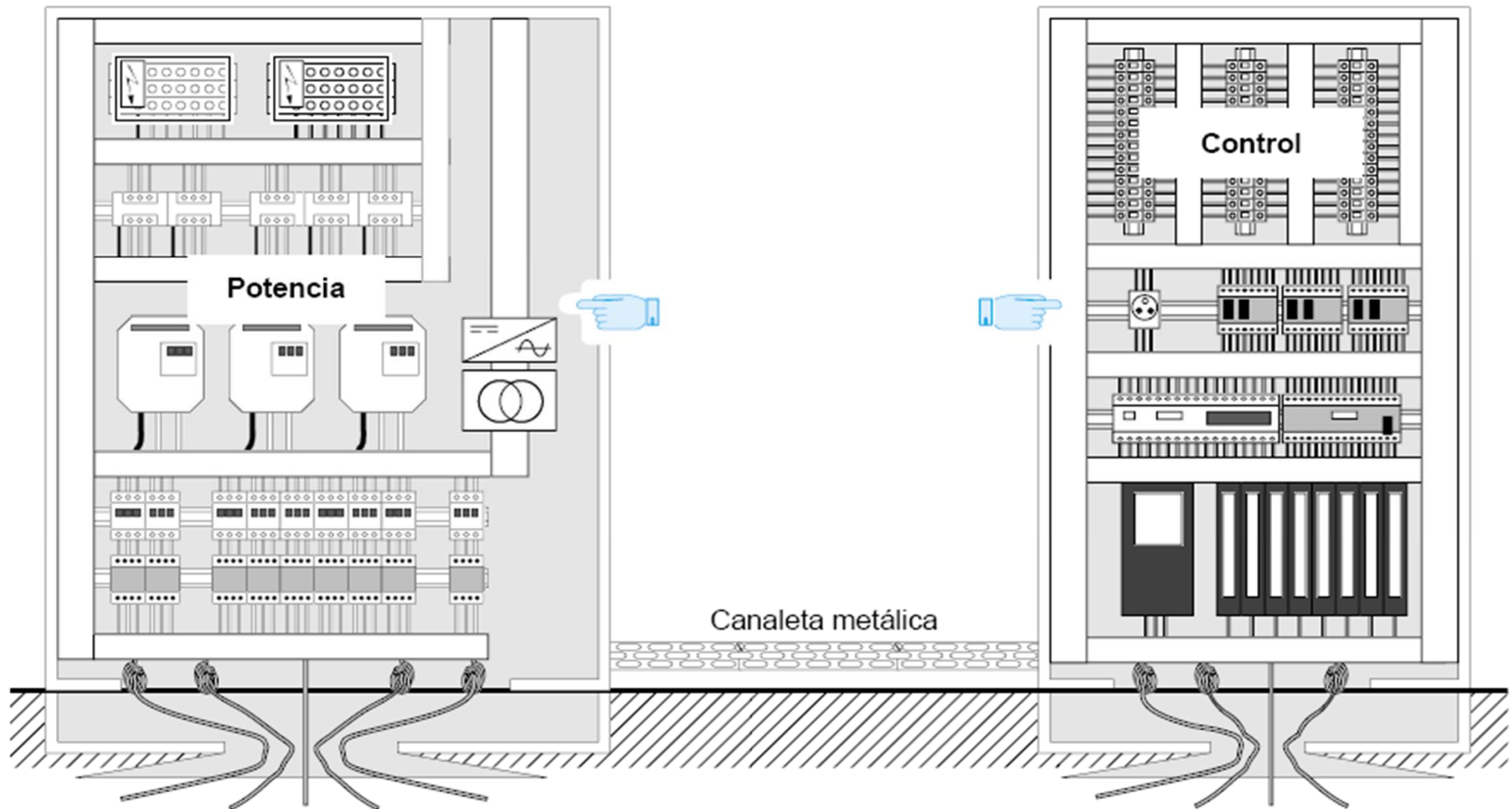


armario · ejemplo de la distribución en un armario grande

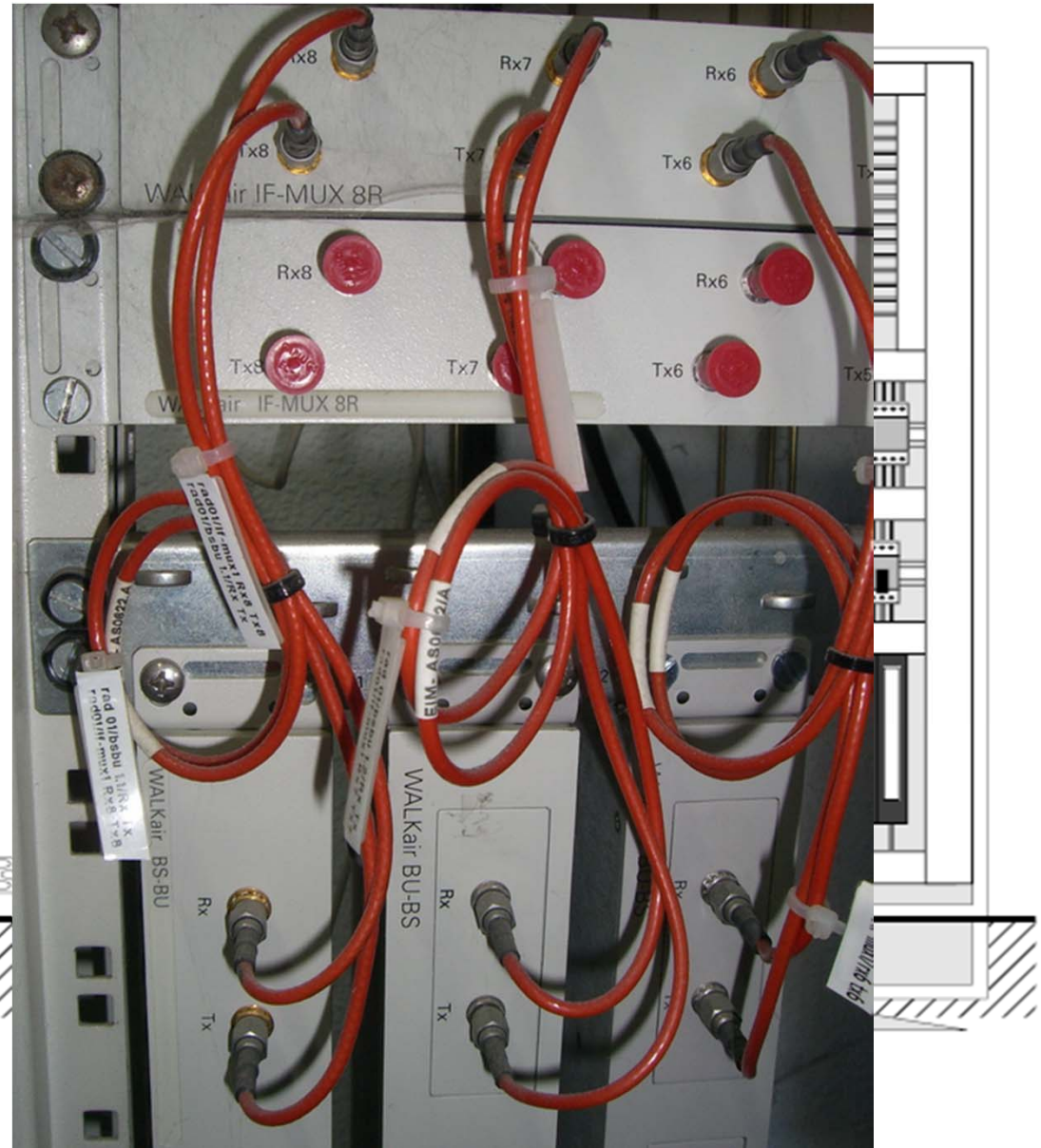
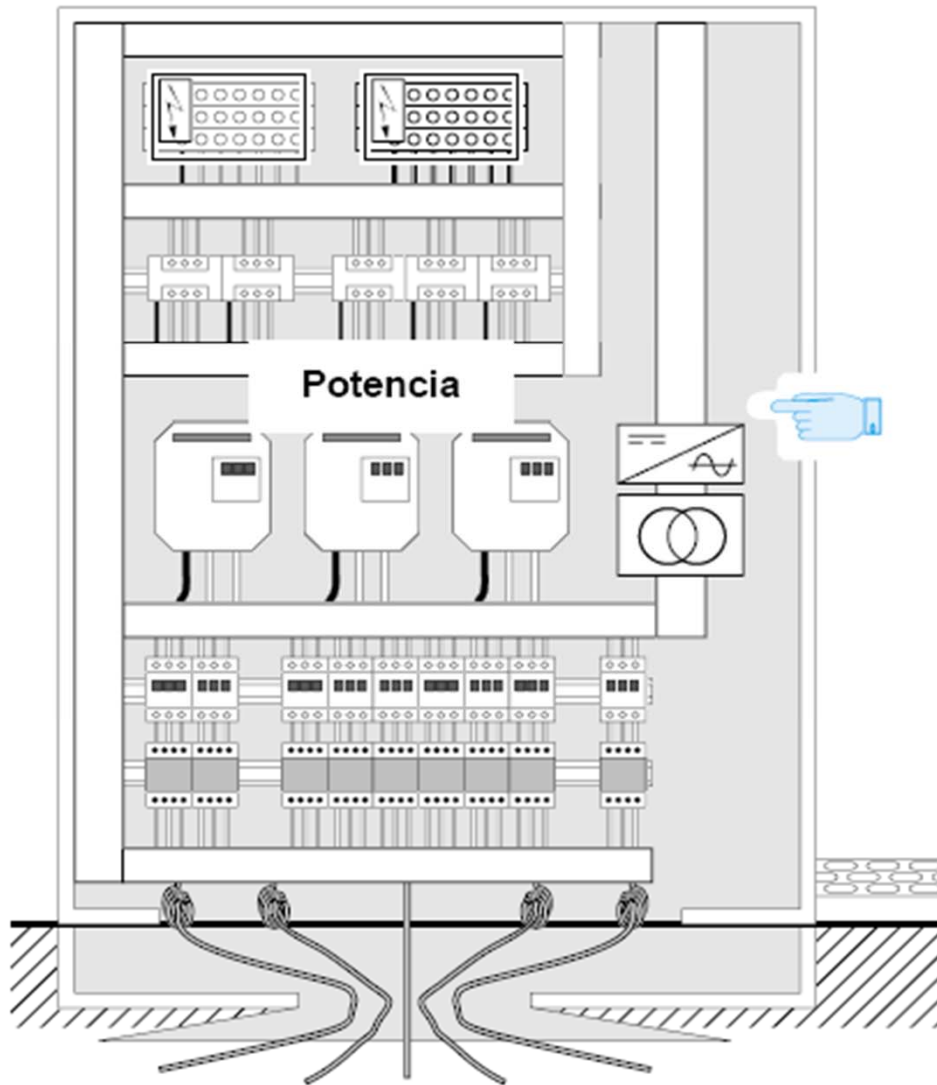
- ▶ no mezclar los cables, enrollar el cable sobrante



armario · ejemplo de la distribución en un armario grande



armario · ejemplo de la distribución en un armario grande



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...

cables · 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

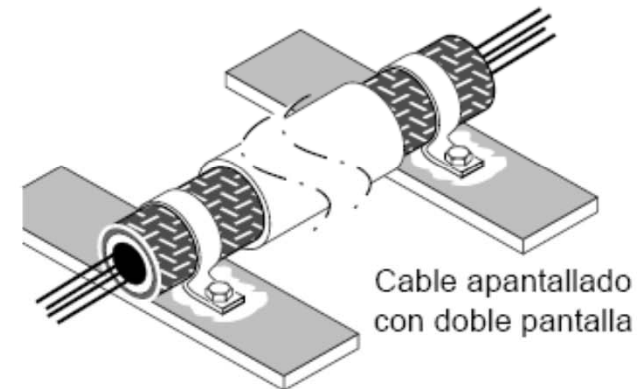
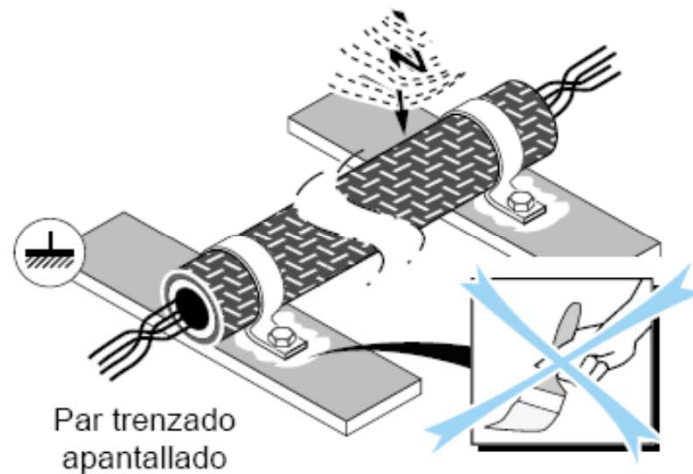


Poco recomendable
Coste elevado para
esta clase de señales

cables · ejemplo de cables utilizados para diferentes clases de señales

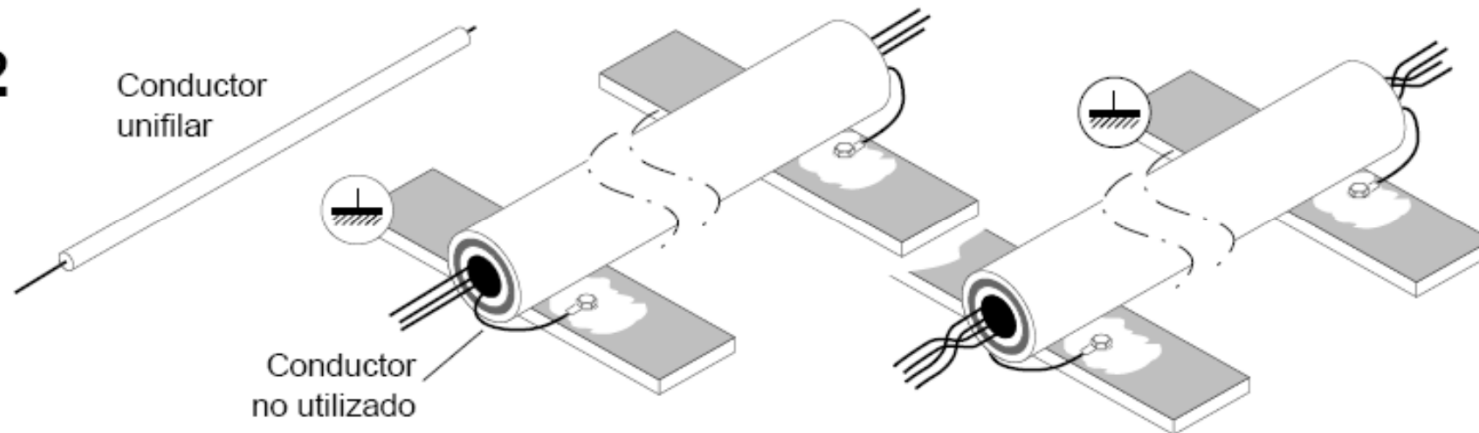
Clase* 1

Señales
sensibles



Clase* 2

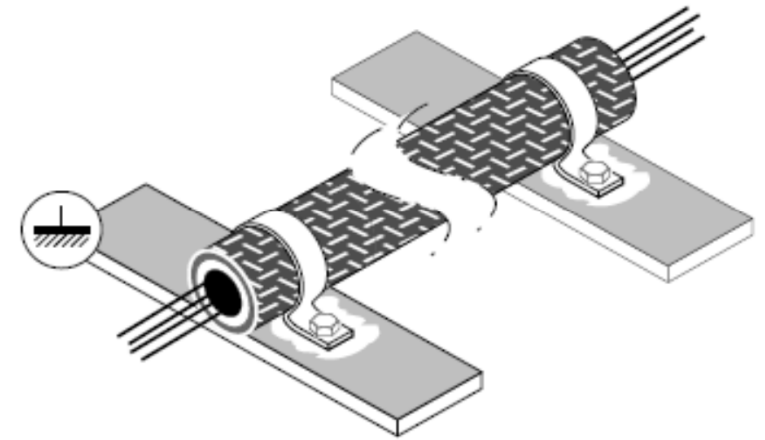
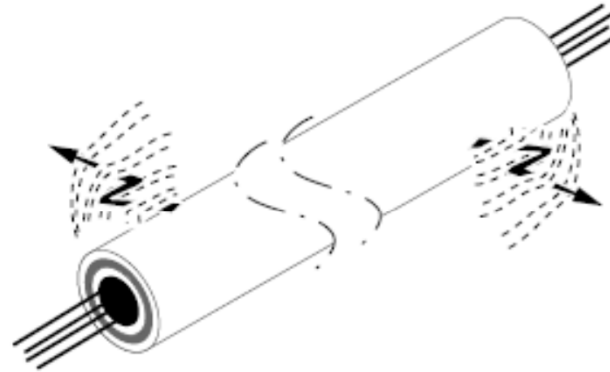
Señales
poco
sensibles



cables · ejemplo de cables utilizados para diferentes clases de señales

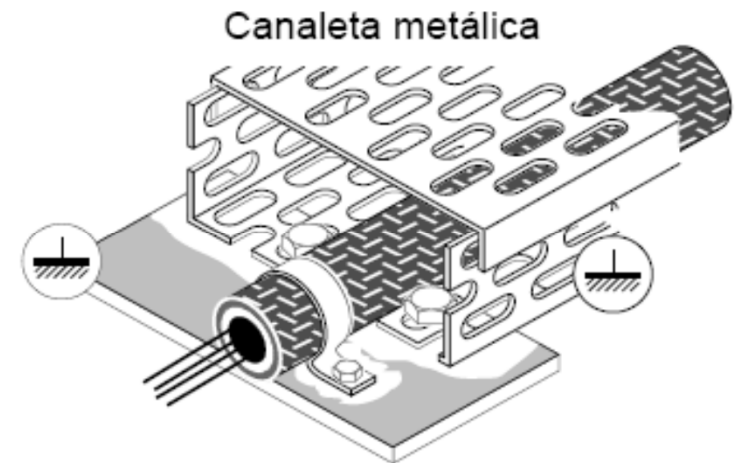
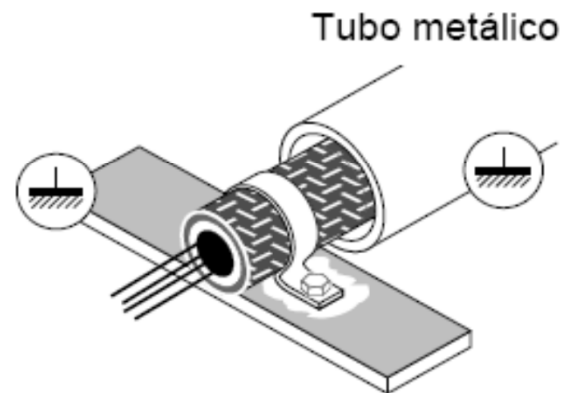
Clase* 3

Señales
poco
perturbadoras



Clase* 4

Señales
perturbadoras



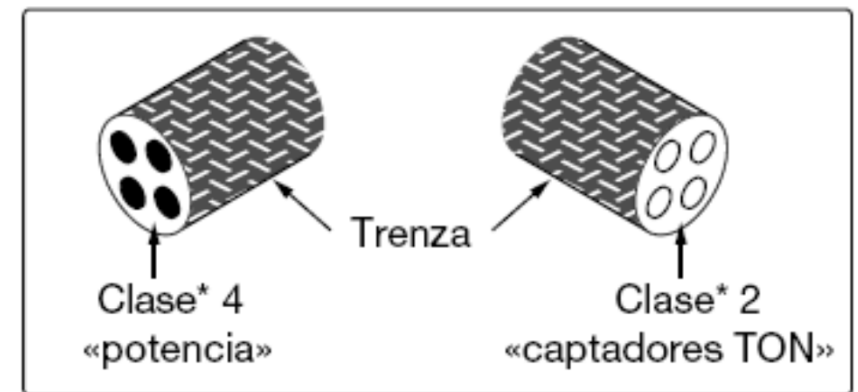
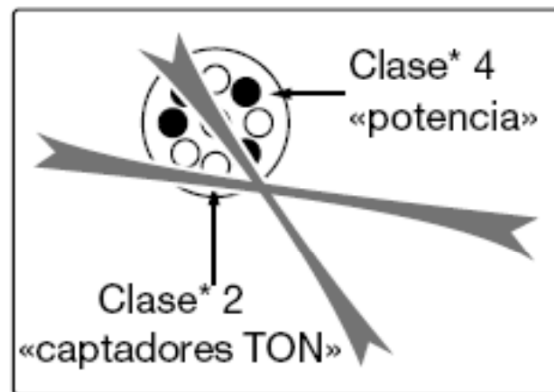
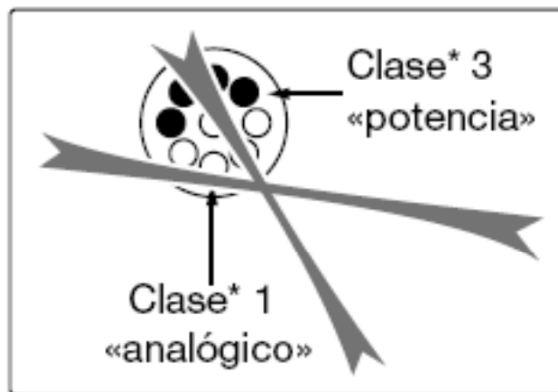
reglas de cableado · los 10 preceptos

1 · REGLA DE ORO DE LA «CEM»

garantizar la **EQUIPOTENCIALIDAD** de las masas en alta y baja frecuencia

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

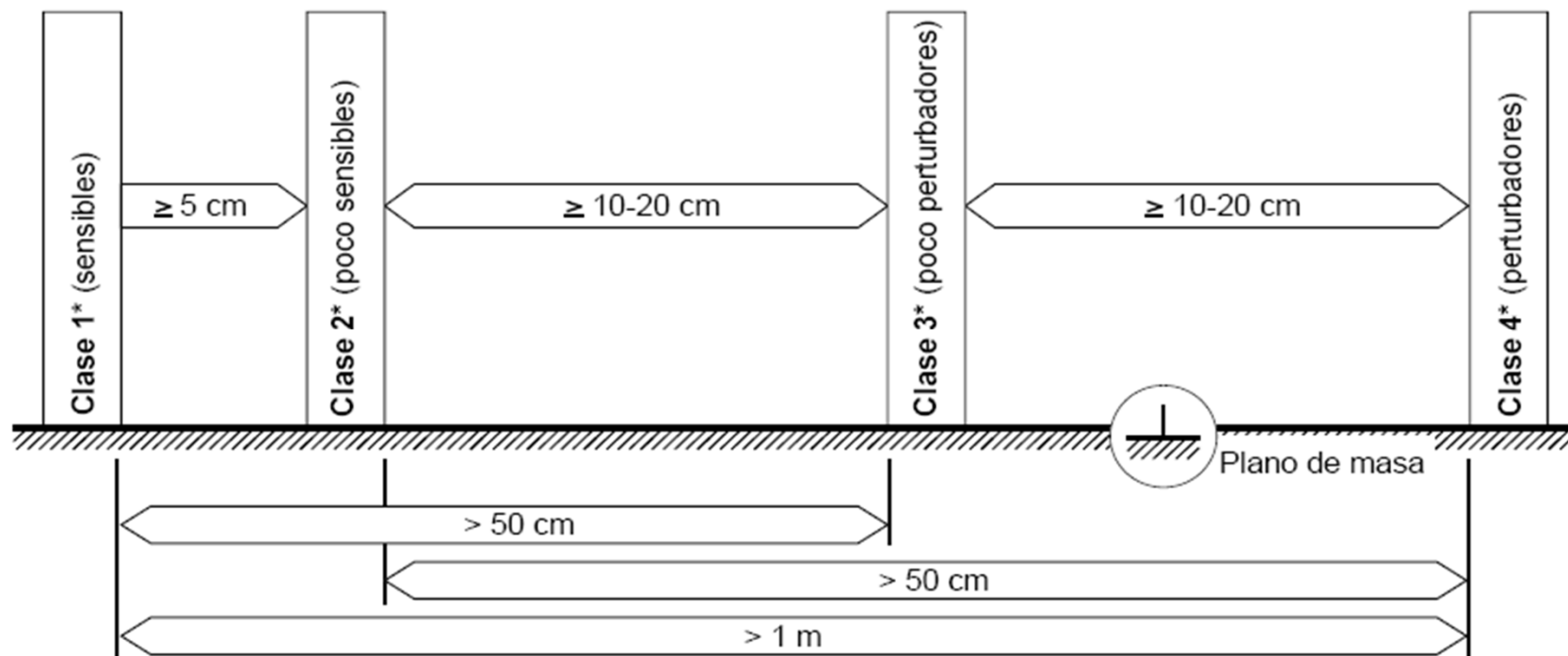
2 · No llevar por un mismo cable o conductor trenzado señales de clase sensible (1-2) y perturbadora (3-4)



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

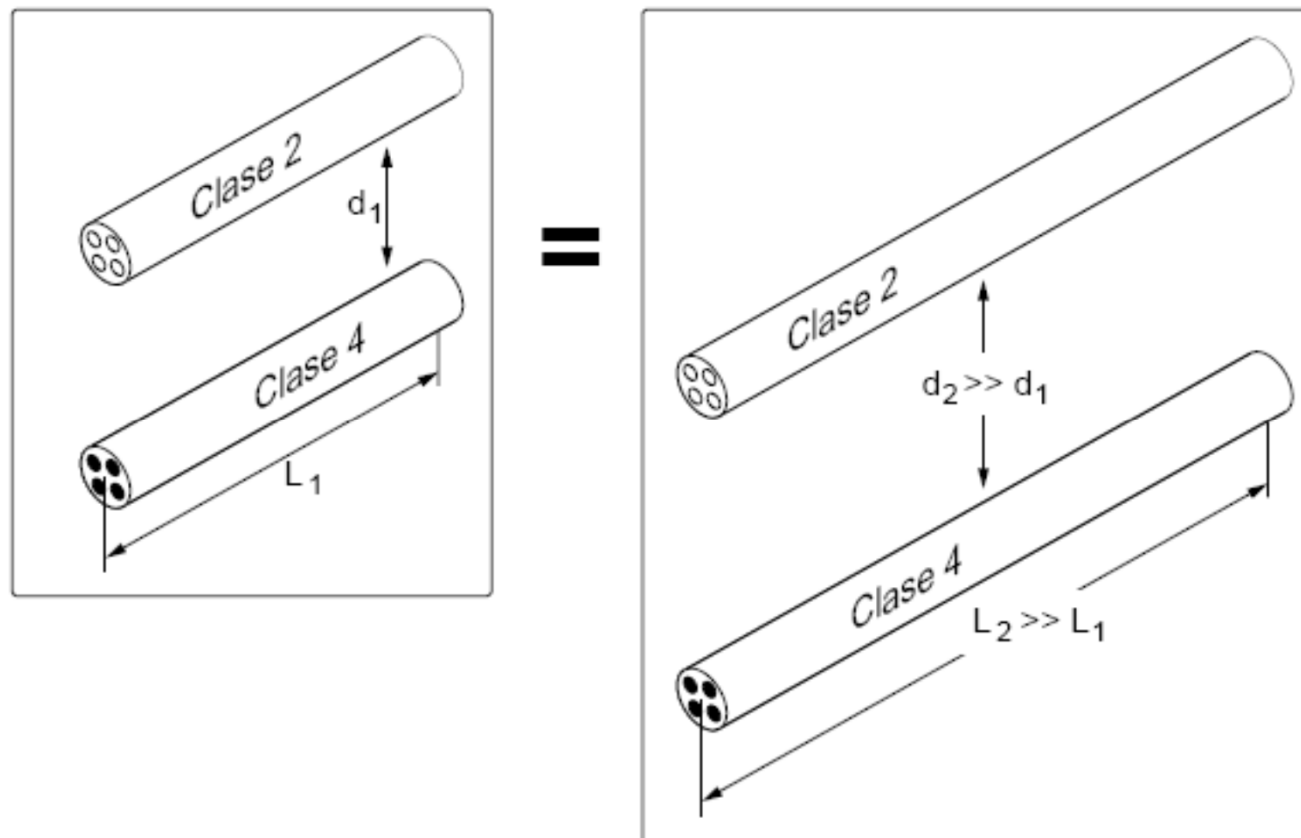
reglas de cableado · los 10 preceptos

- 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
- 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-



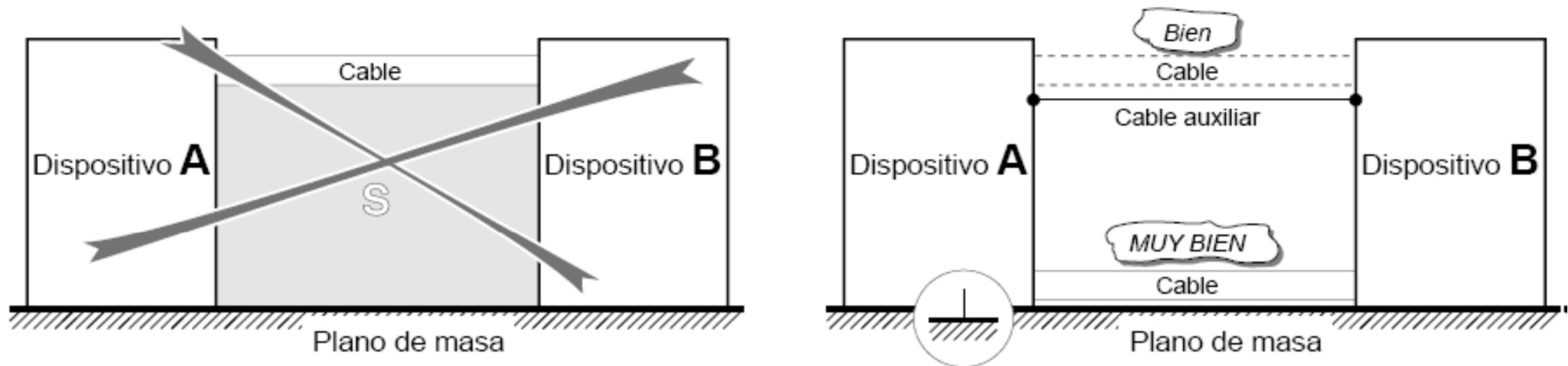
reglas de cableado · los 10 preceptos

- ▶ cuanto mayor sea la longitud de los cables, mayor deberá ser la distancia que separe unos de otros



reglas de cableado · los 10 preceptos

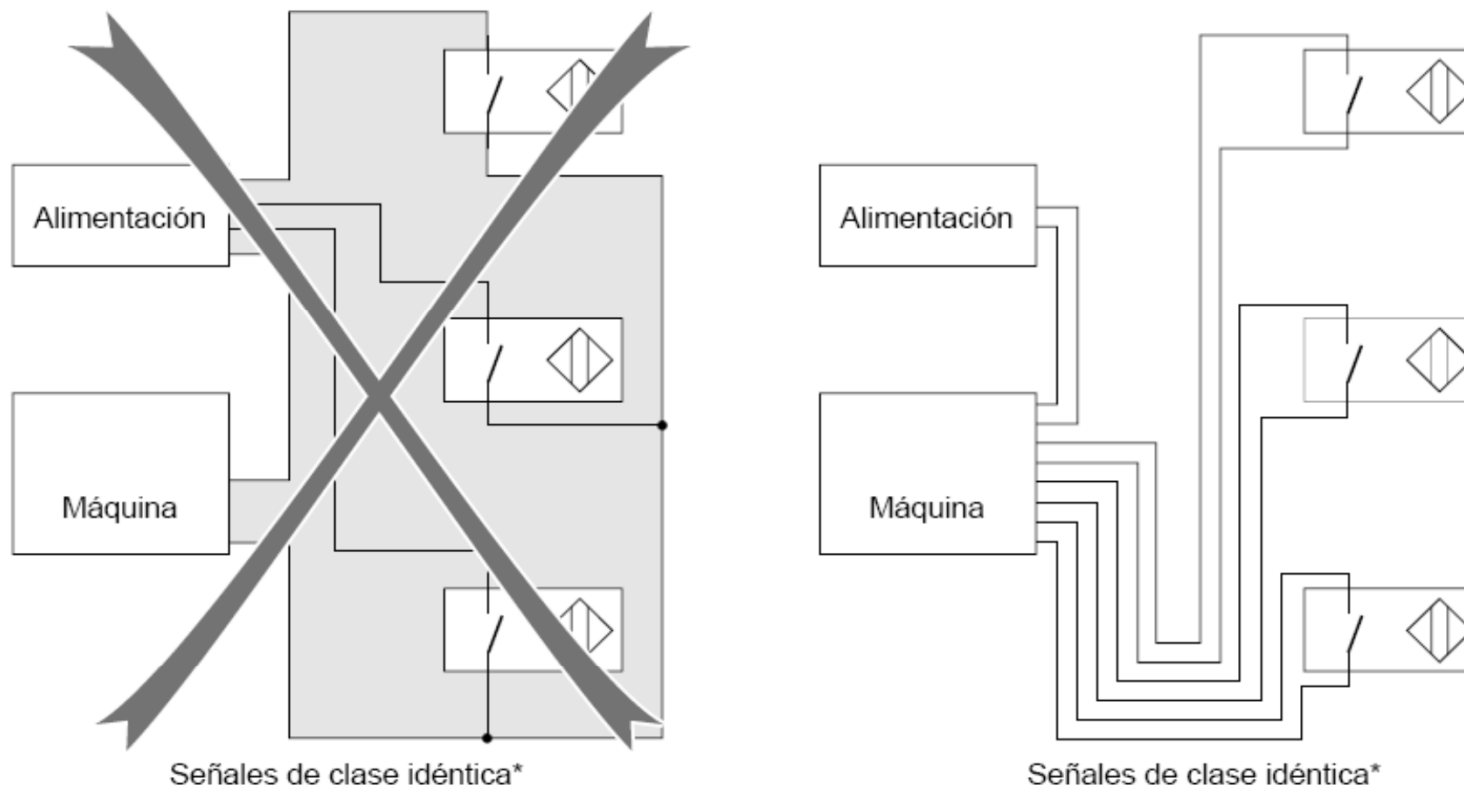
5 · reducir lo más posible la superficie de los bucles de masa



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

reglas de cableado · los 10 preceptos

- 6 · el conductor de IDA debe estar siempre lo más cerca posible del conductor de VUELTA

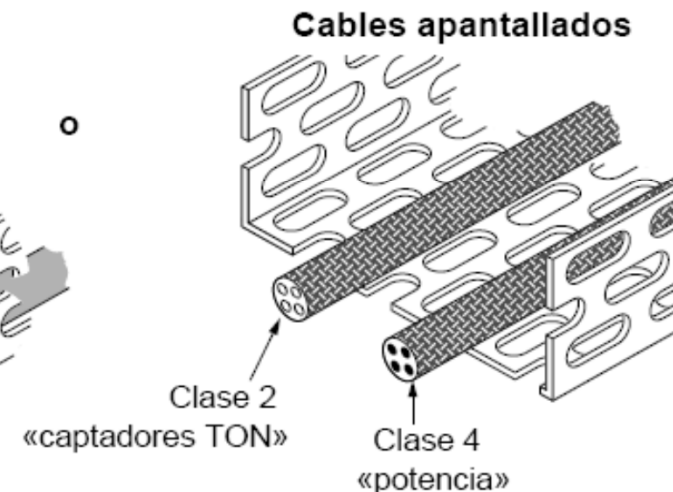
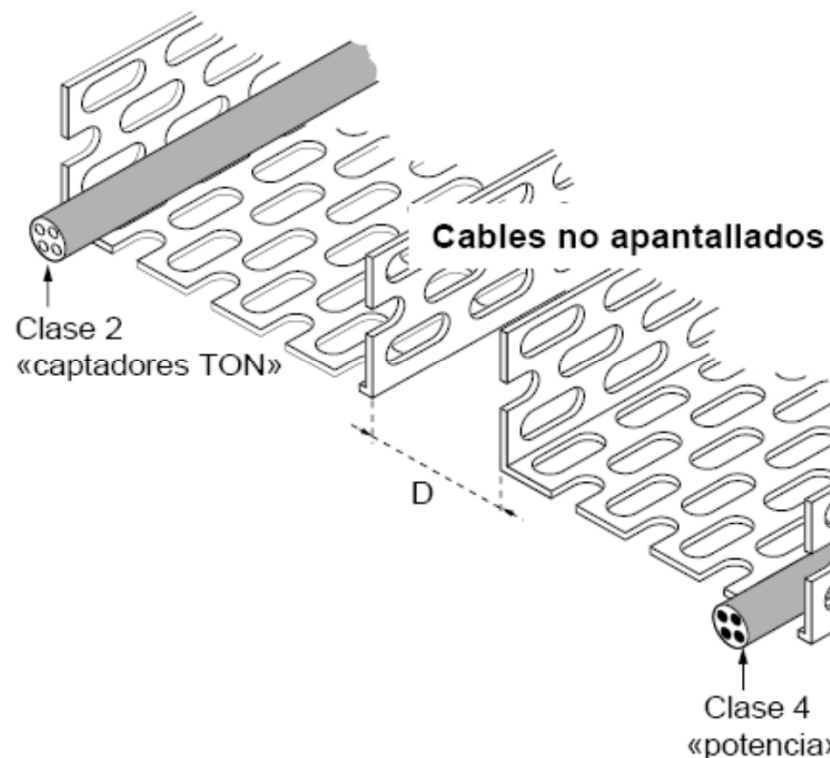
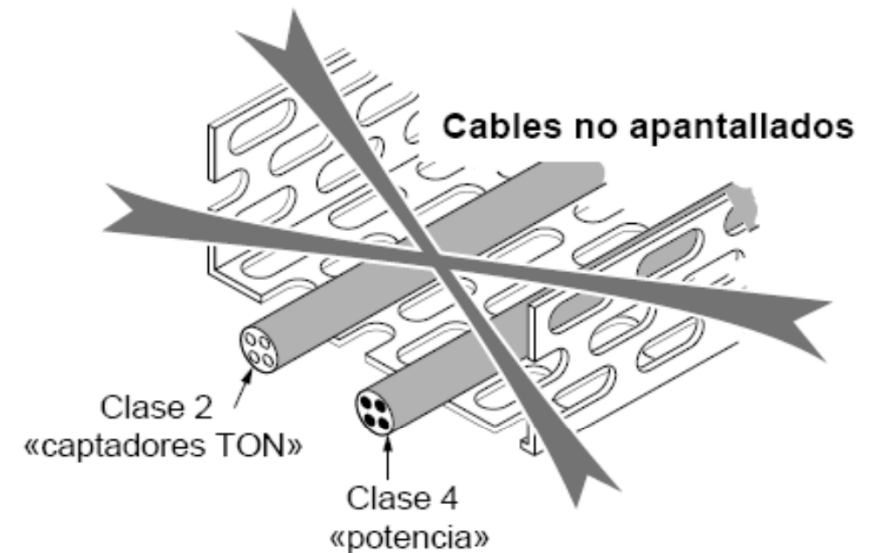


*: captadores ==> clase 2

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 · los 10 preceptos

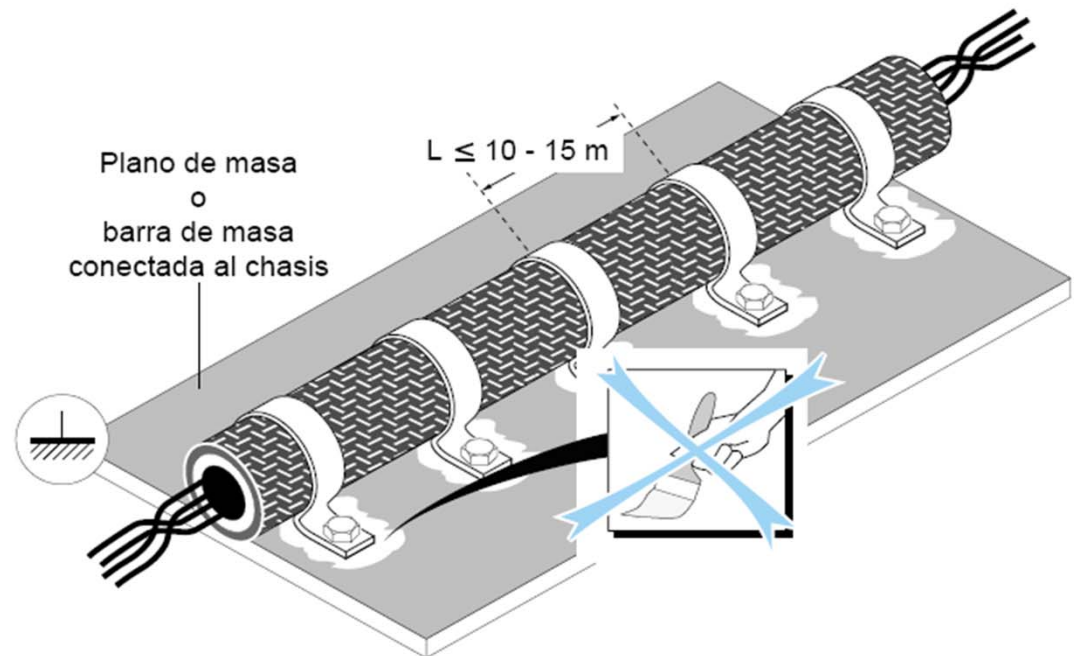
- 7 · utilizar cables blindados permite llevar cables para la transmisión de señales de clases diferentes por una misma canaleta



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
- 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
- La pantalla pierde eficacia si el cable es demasiado largo. Se recomienda multiplicar las conexiones intermedias a masa



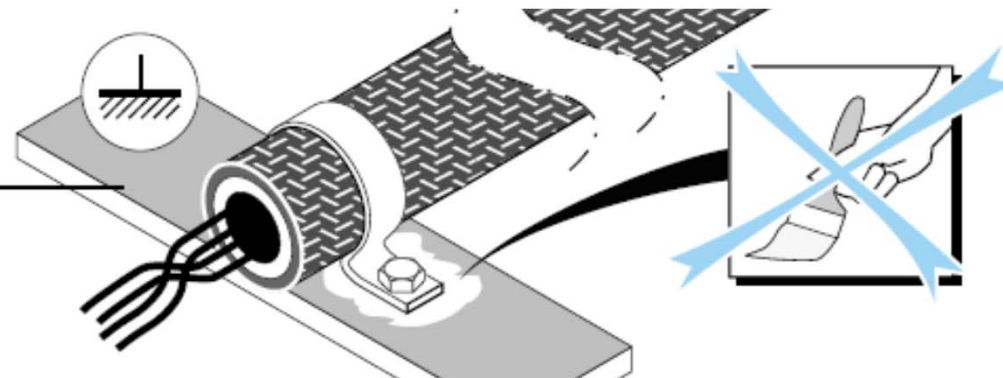
reglas de cableado · los 10 preceptos

► 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!

contactos directos.

Plano de masa
o
barra de masa
conectada al chasis



reglas de cableado · los 10 preceptos

- ▶ en el extremo de una pantalla no conectada a la masa puede aparecer una diferencia de potencial elevada

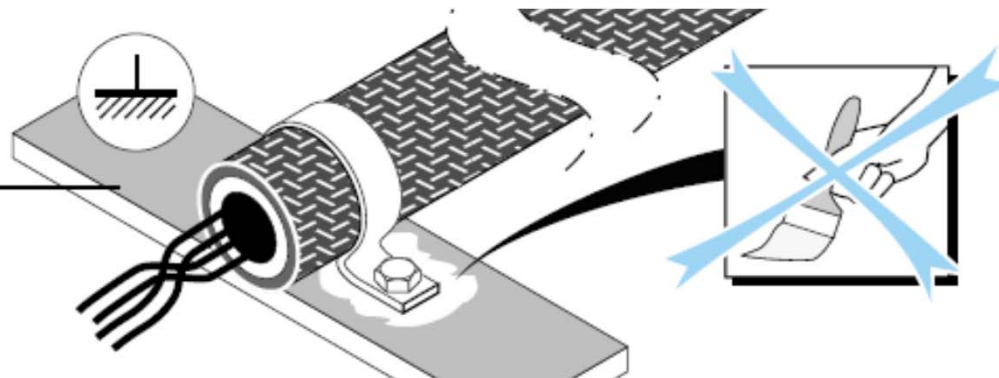
¡Es peligroso e ilegal - CEI 364!

la pantalla debe estar protegida de los contactos directos

eficacia media → funcionamiento aceptable

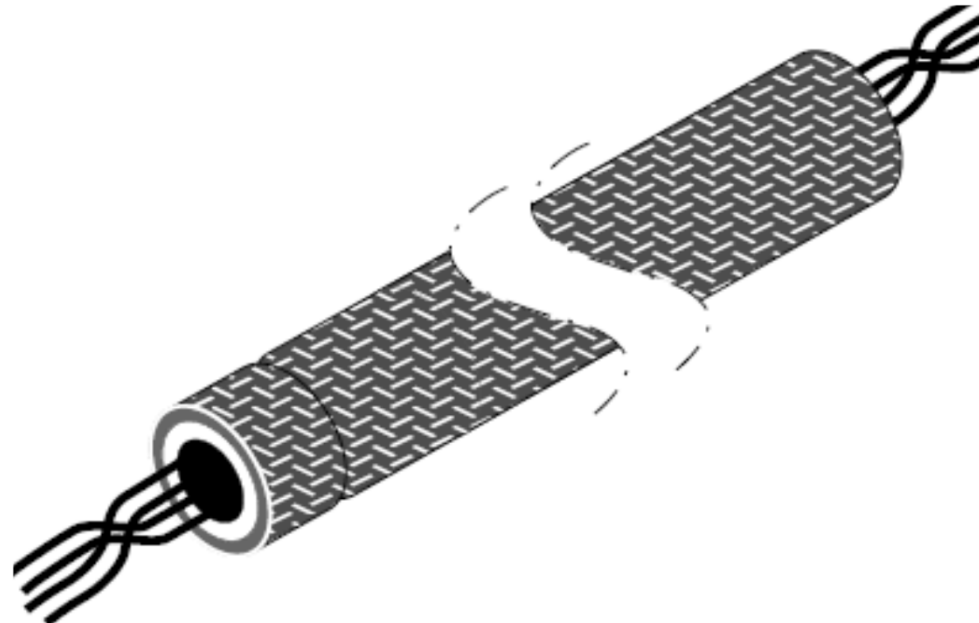
contactos directos.

Plano de masa
o
barra de masa
conectada al chasis



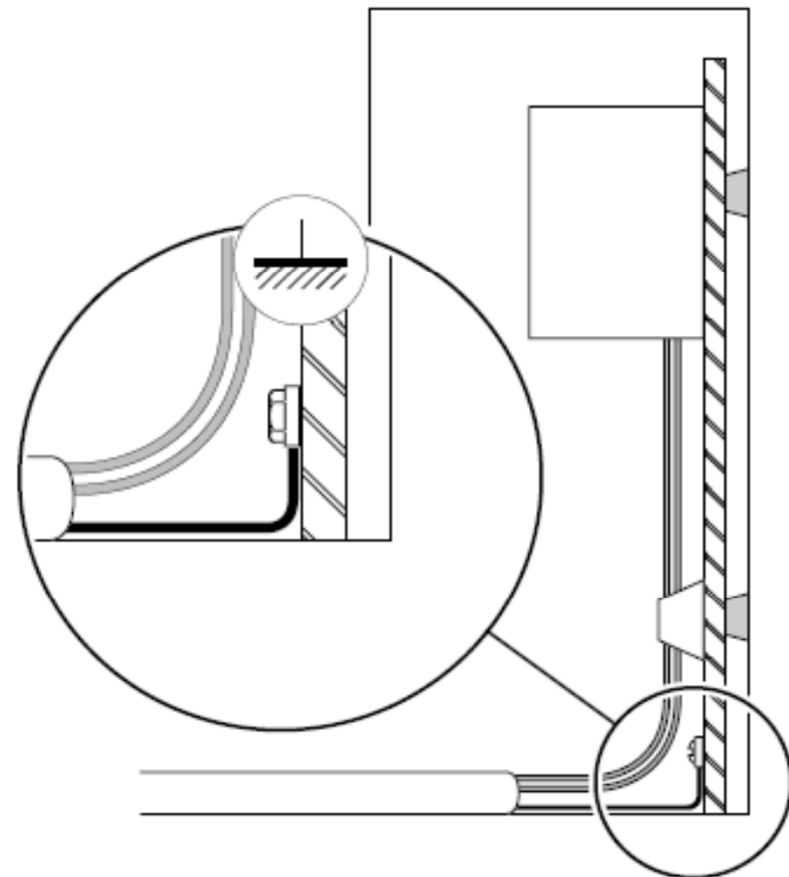
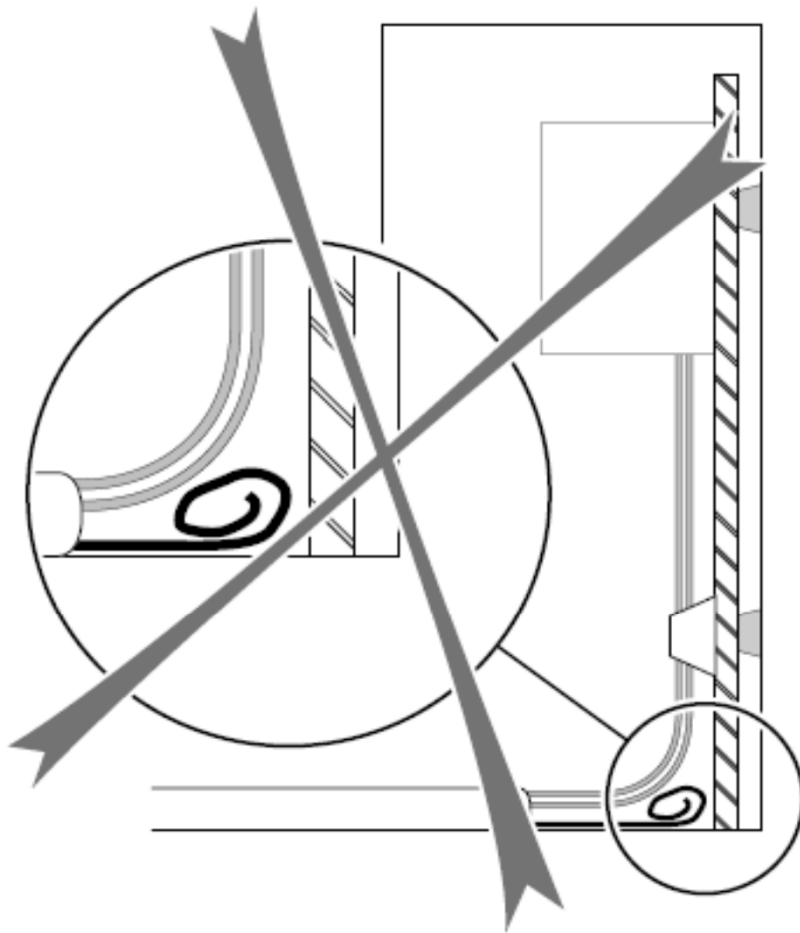
reglas de cableado · los 10 preceptos

- ▶ 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)**



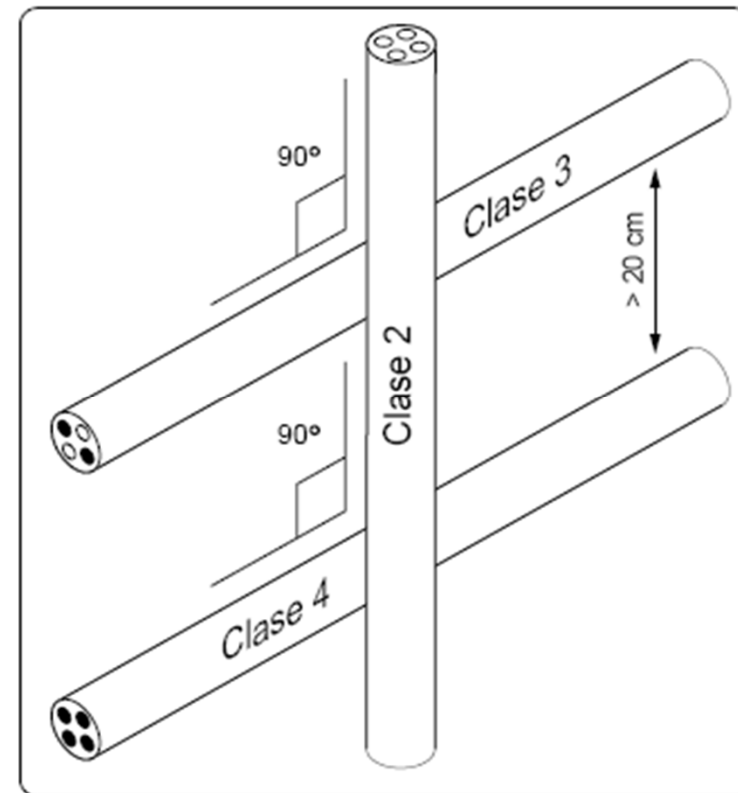
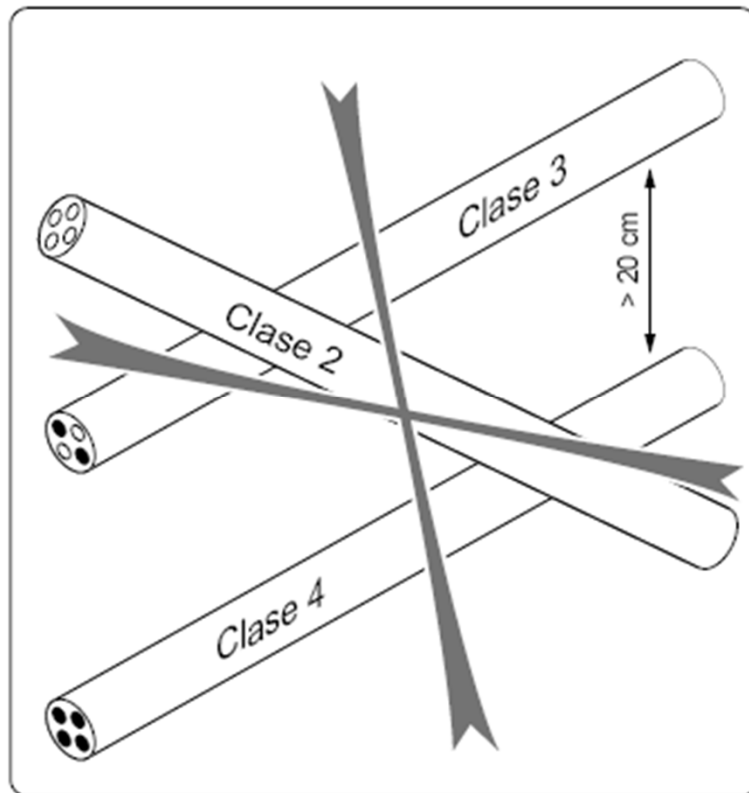
reglas de cableado · los 10 preceptos

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



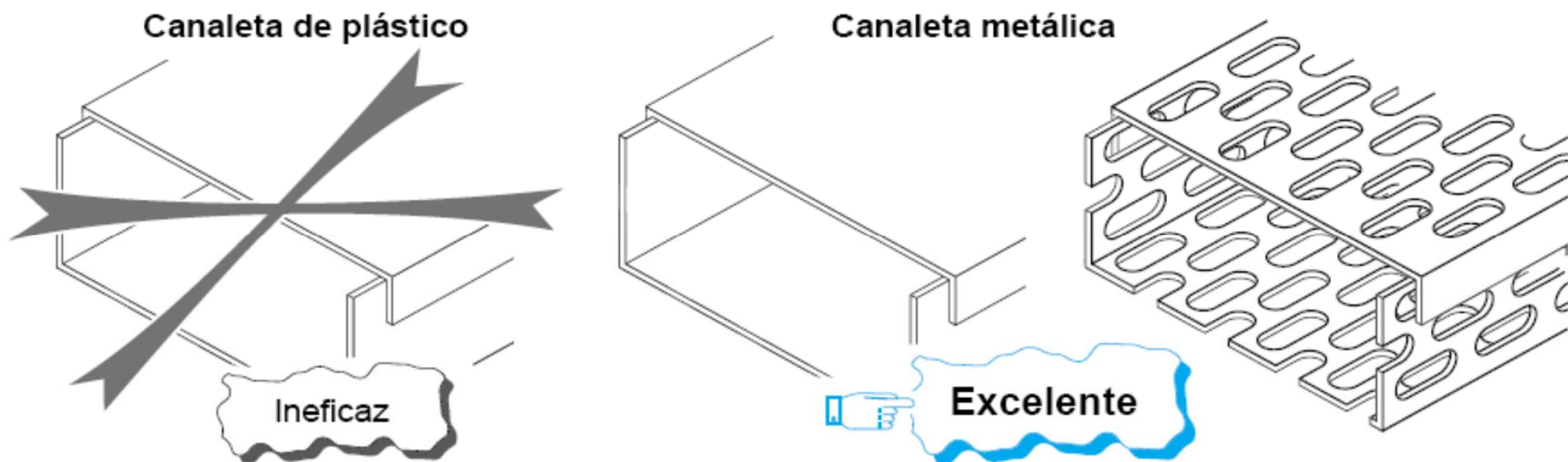
reglas de cableado · los 10 preceptos

- 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)



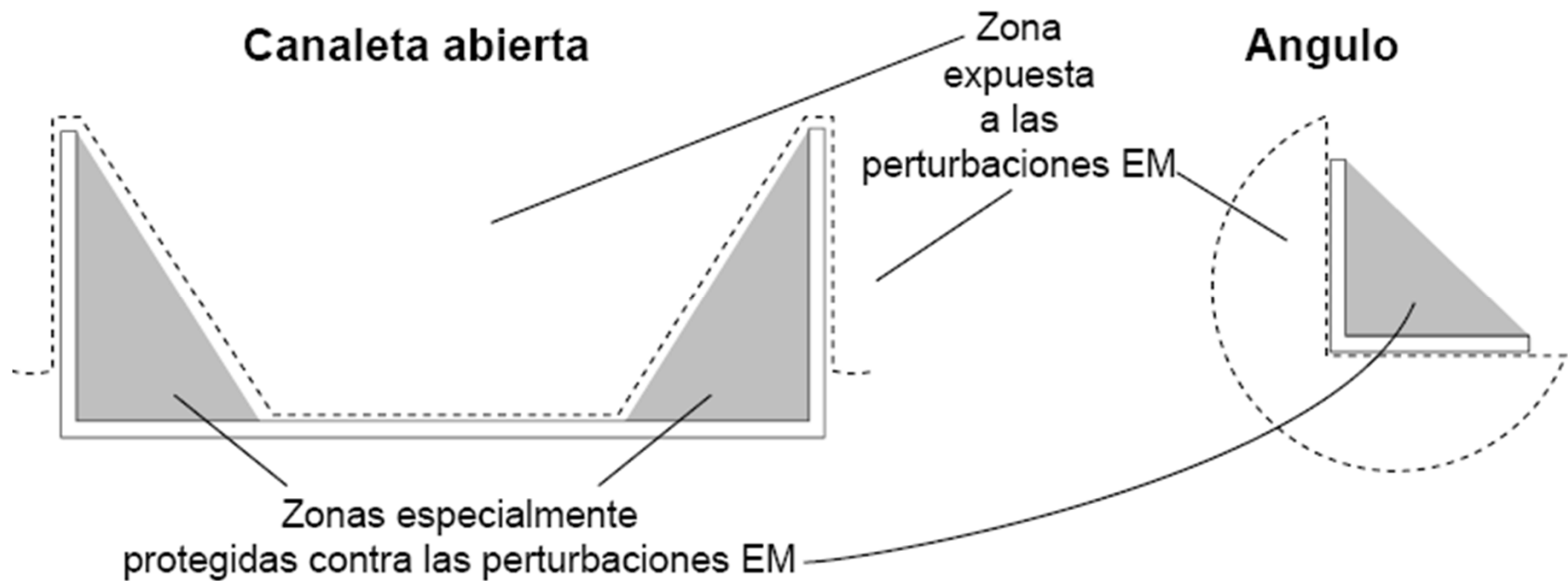
bandejas de cables · canaletas

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



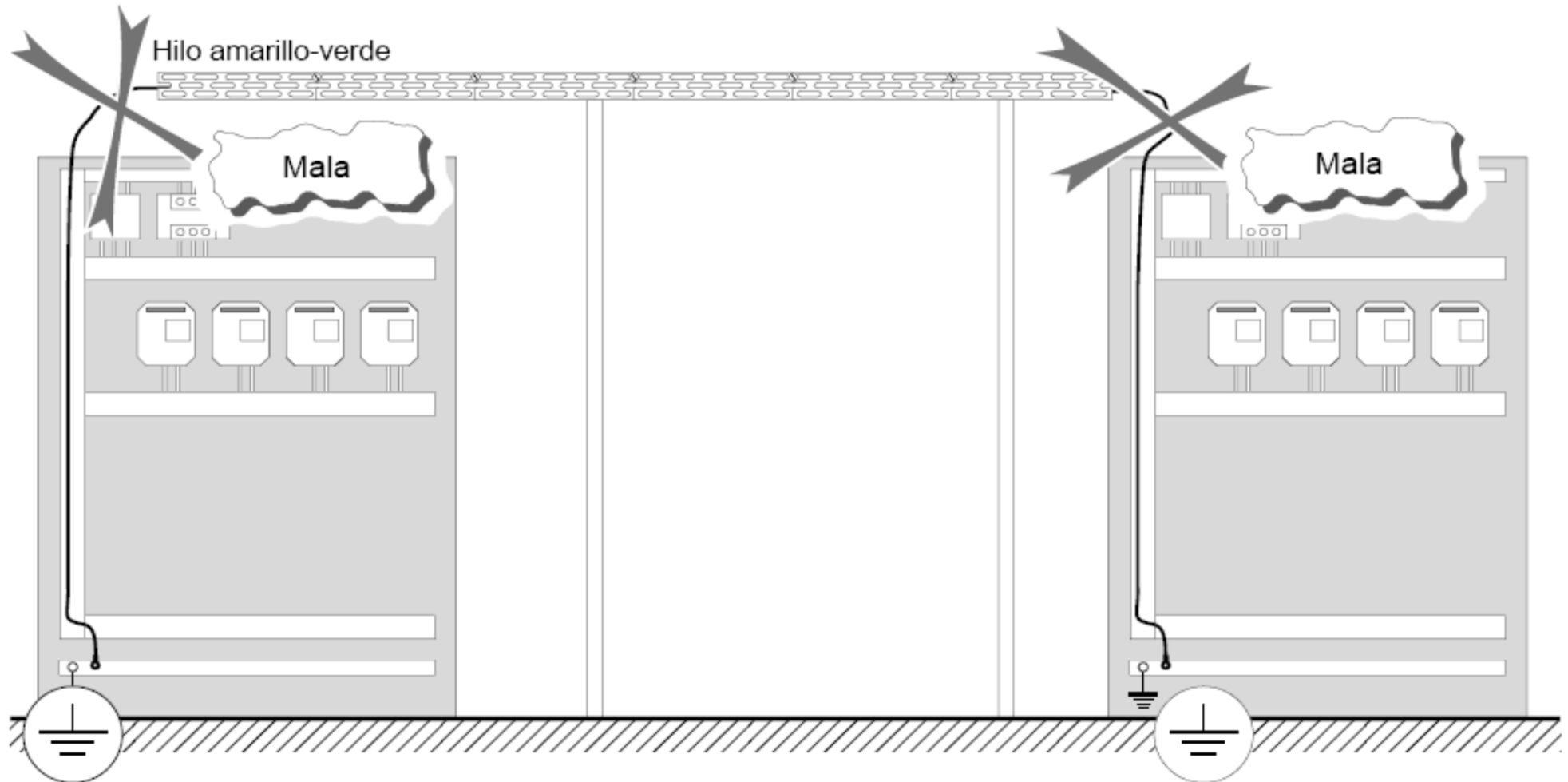
bandejas de cables · canaletas

- ▶ el efecto de pantalla de una canaleta metálica depende de la posición del cable

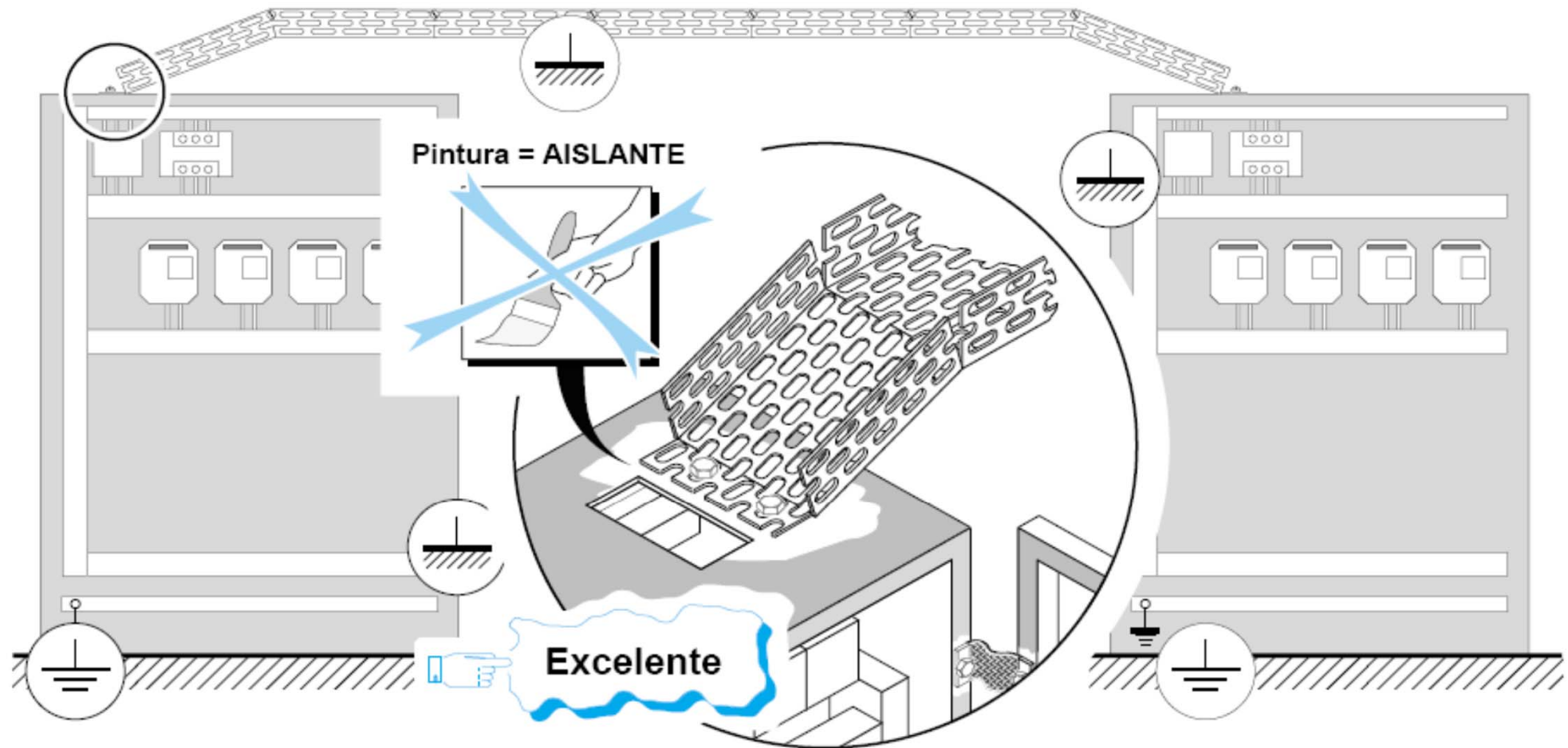


¡La mejor canaleta metálica es ineficaz si sus extremos están mal conectados!

bandejas de cables · **conexión a los armarios**

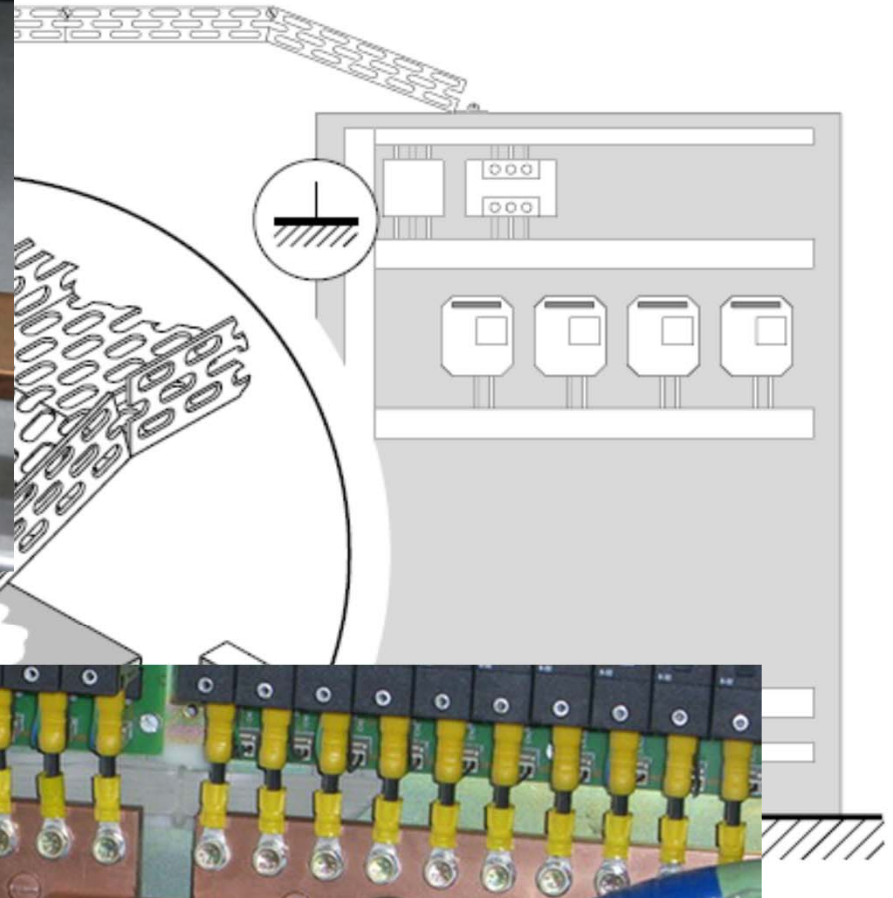
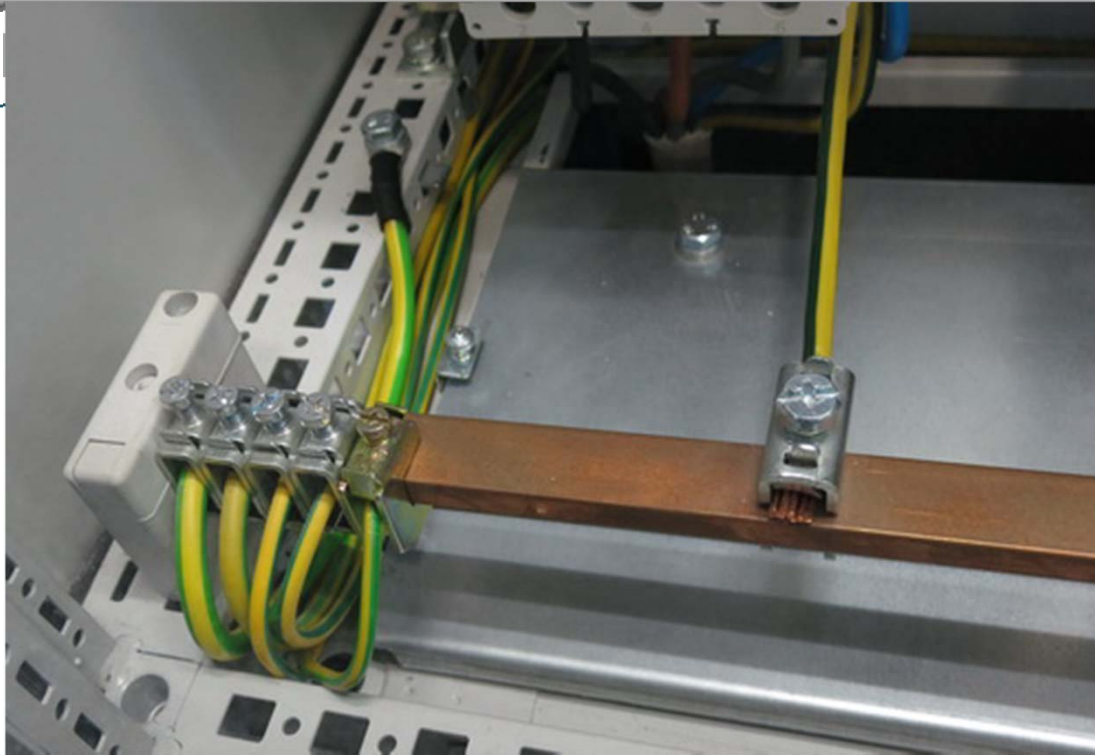


bandejas de cables · **conexión a los armarios**

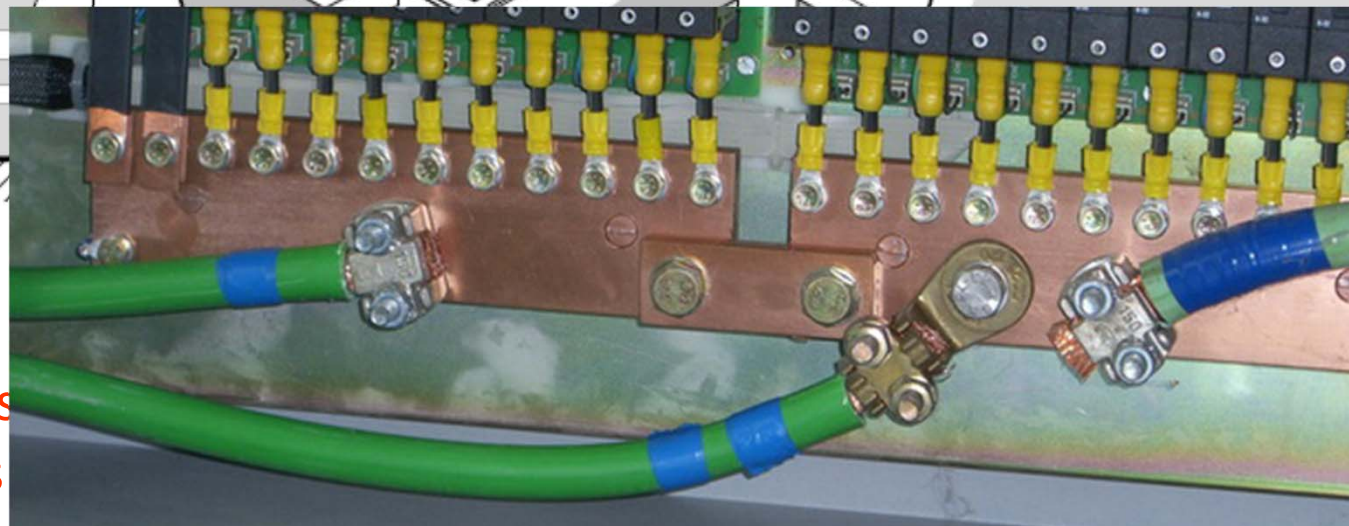


- ▶ los extremos de las canaletas, tubos metálicos... deben estar atornillados a los armarios metálicos de forma que la conexión sea adecuada

OS



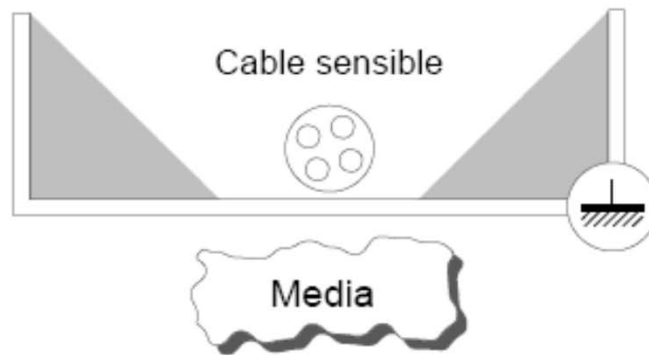
- ▶ los extremos de las
armarios metálicos



los

bandejas de cables · colocación de los cables

Canaletas



Angulos

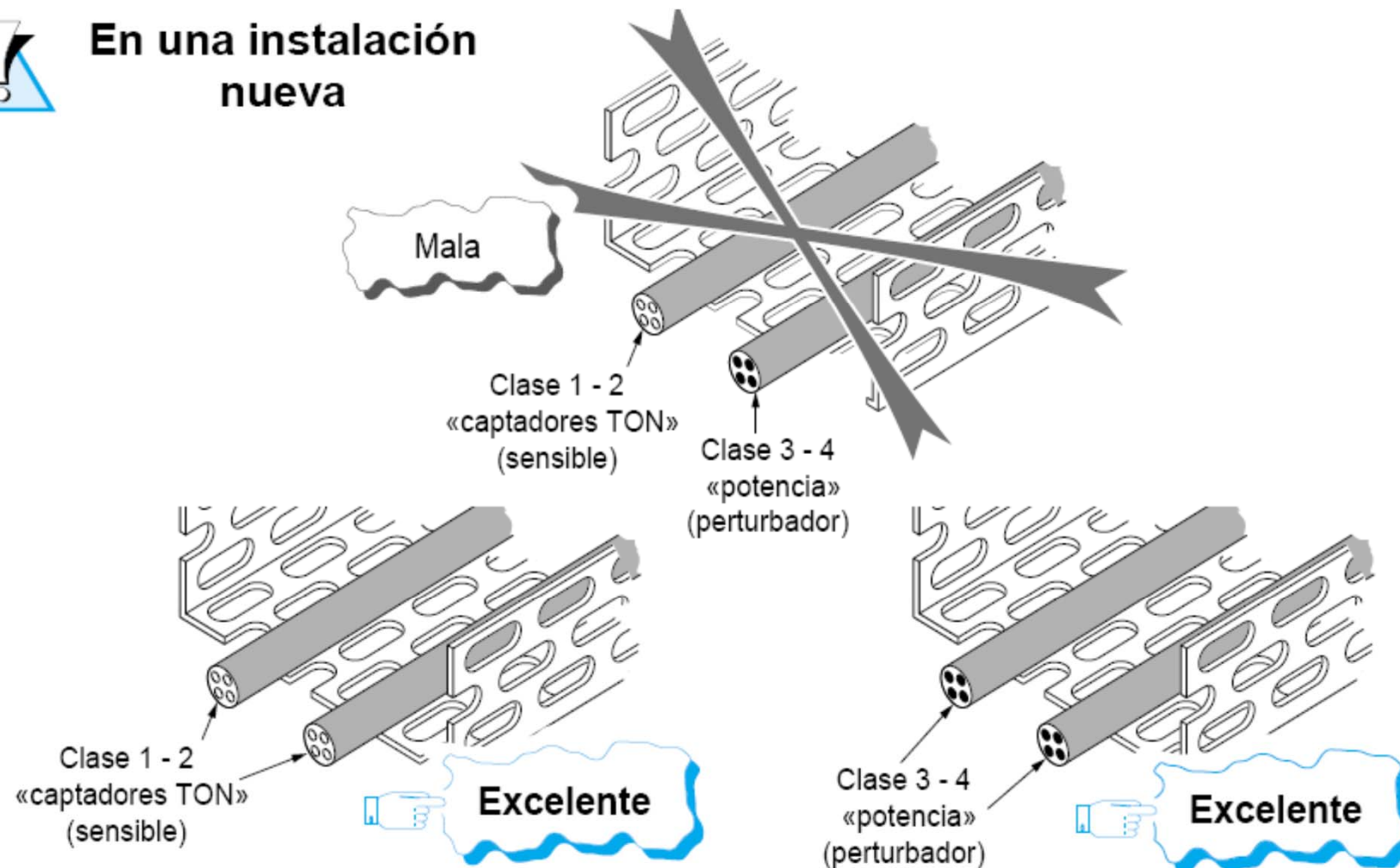


bandejas de cables · colocación de los cables

- ▶ los cables perturbadores y los sensibles deben conducirse por canalizaciones diferentes



En una instalación nueva

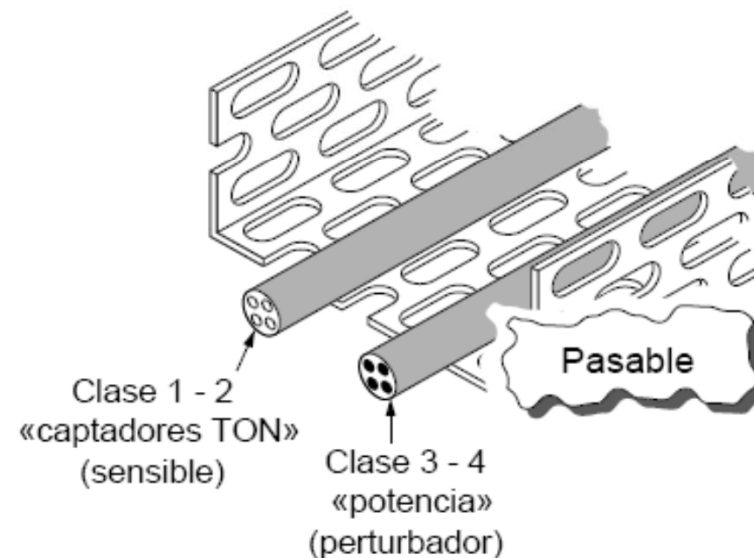
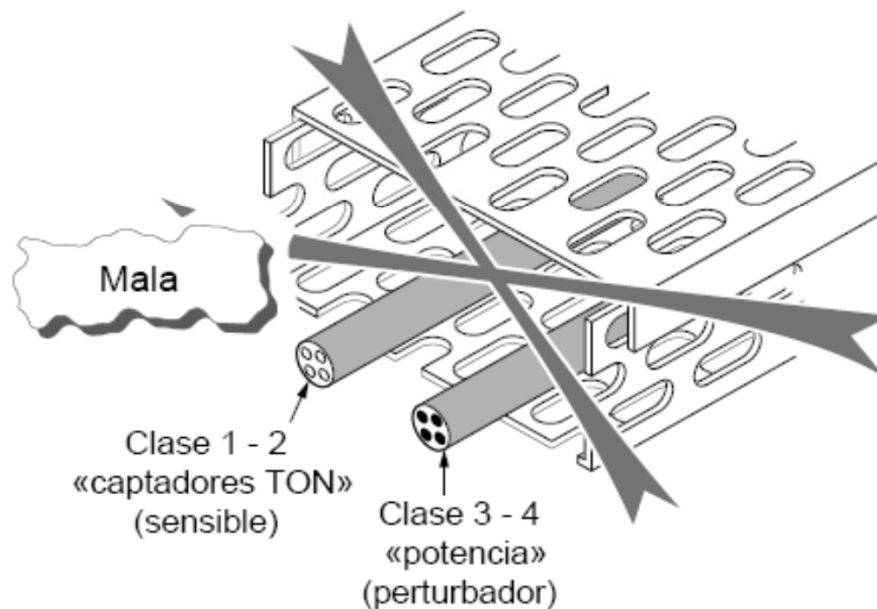


bandejas de cables · colocación de los cables

- ▶ 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



**En una instalación
ya existente**

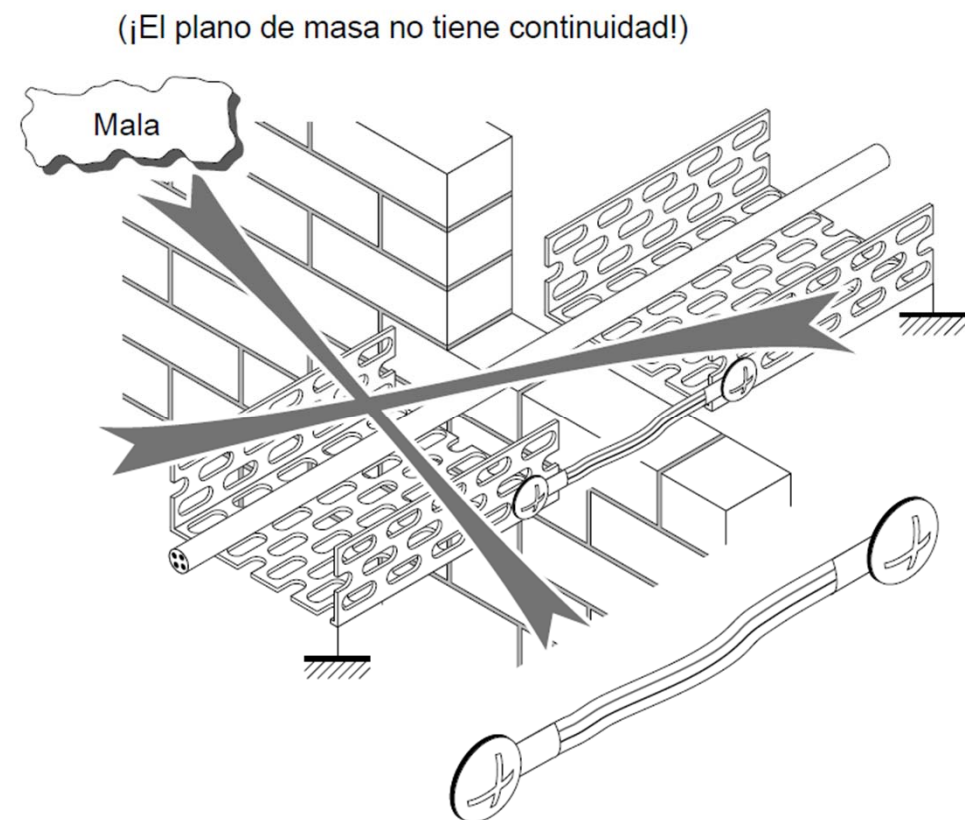
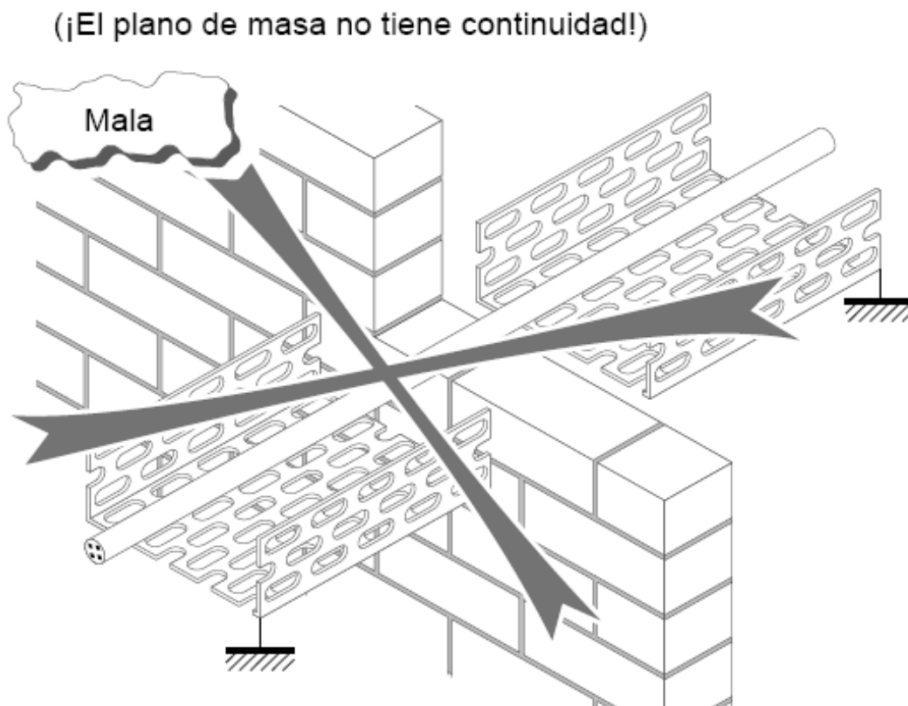


bandejas de cables · colocación de los cables

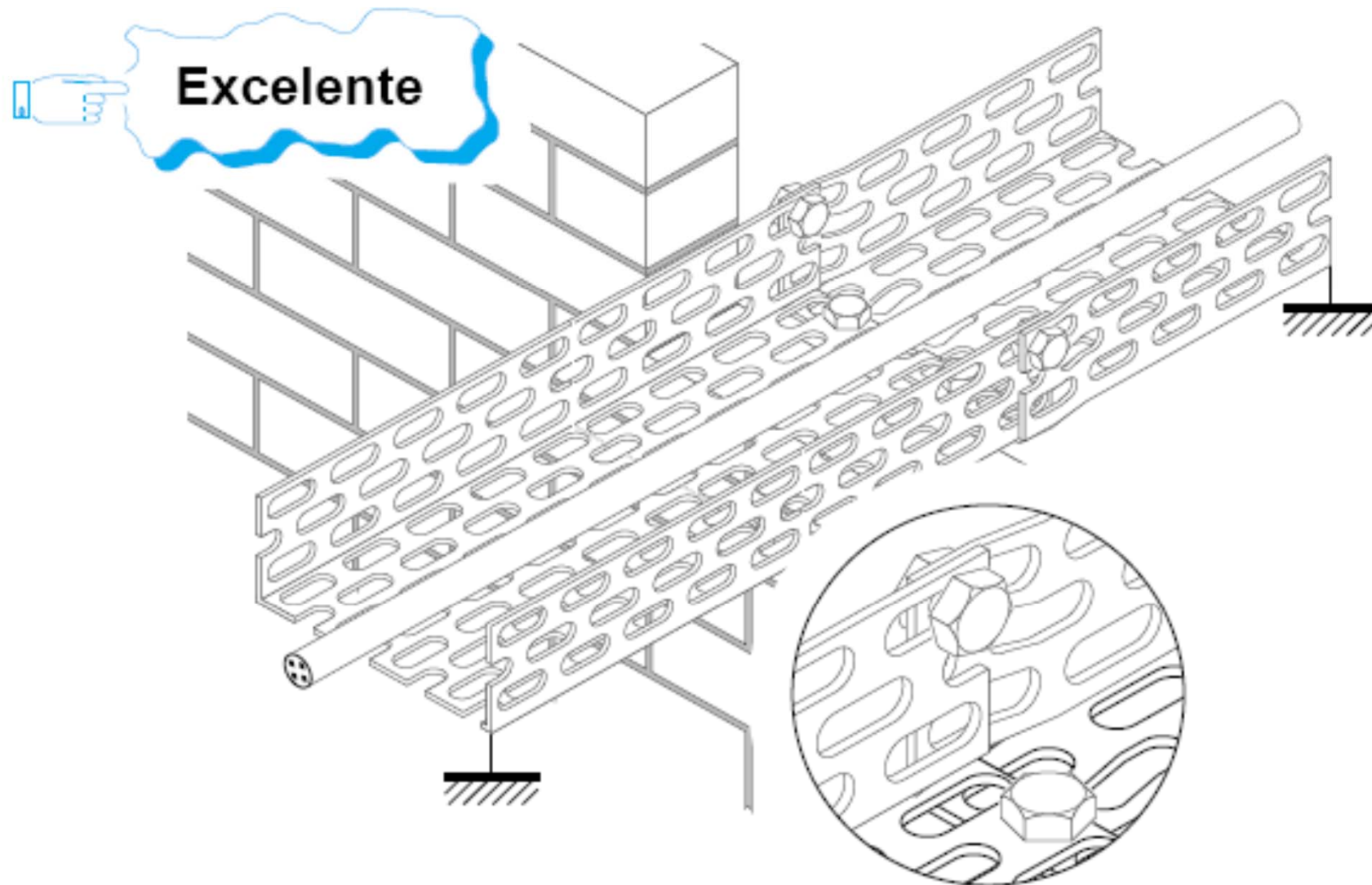


bandejas de cables · **conexión de los extremos**

- ▶ los extremos de las canaletas, tubos metálicos... deben estar solapados y atornillados entre sí

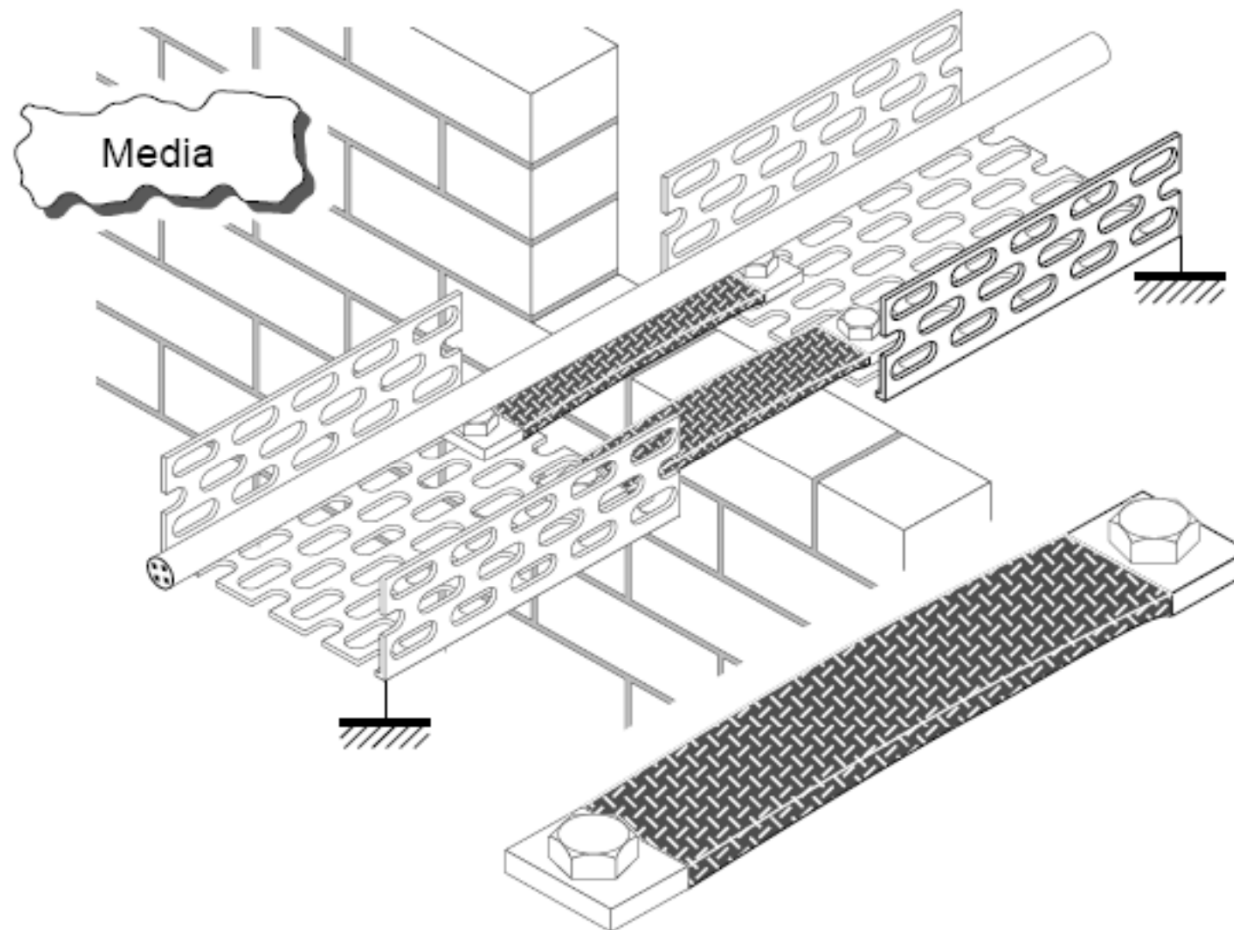


bandejas de cables · **conexión de los extremos**



bandejas de cables · **conexión de los extremos**

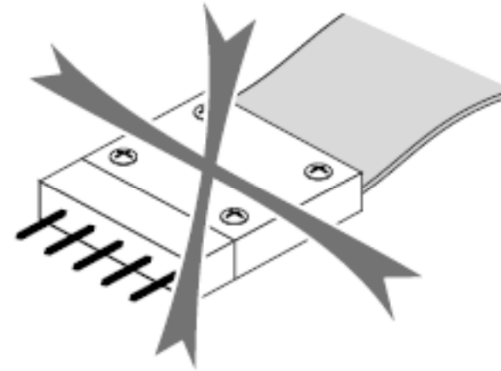
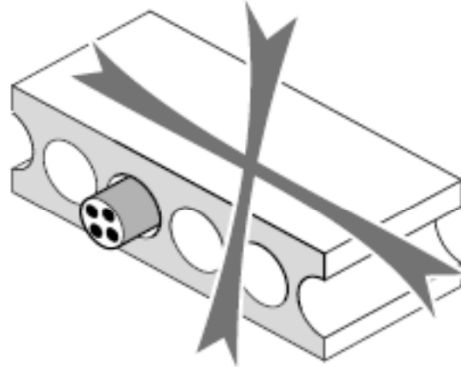
- ▶ si no fuera posible solapar y atornillar los extremos de las canaletas:
montar una trenza ancha y corta debajo de cada conductor o cable



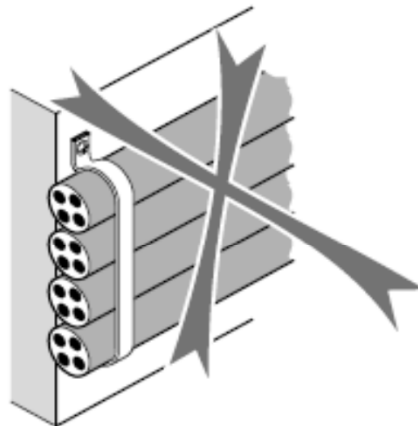
- ▶ **la mejor canaleta metálica es ineficaz si sus extremos están mal colocados**

bandejas de cables · modo de colocación incorrecto

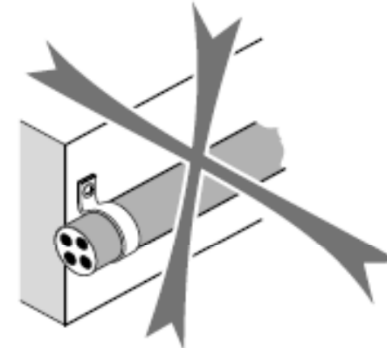
Hueco de ladrillo
de tabique



Cubierta, bus...

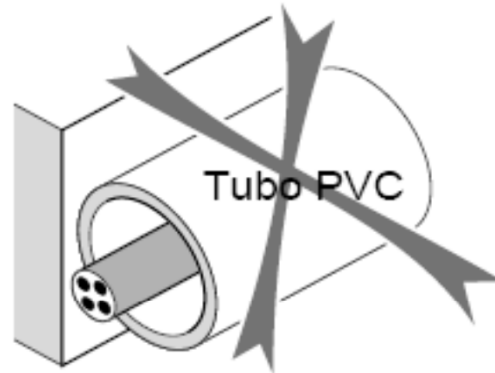


Fijación directa
a paredes y techos
con abrazaderas, bridas...

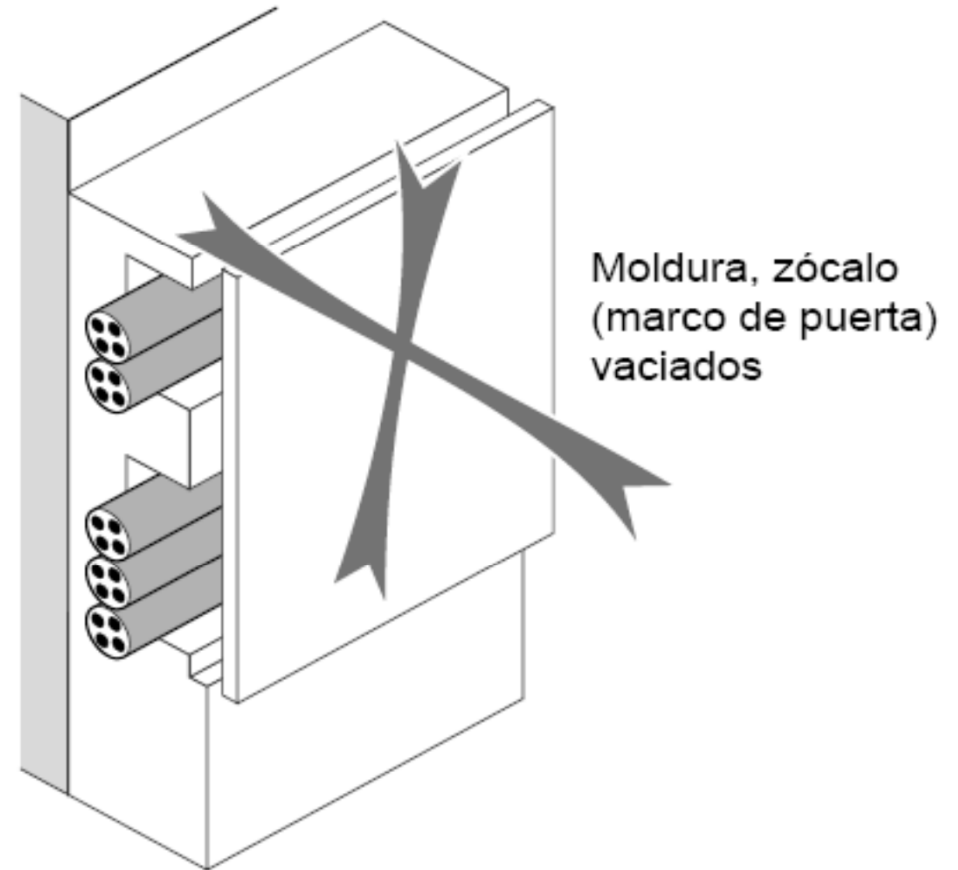
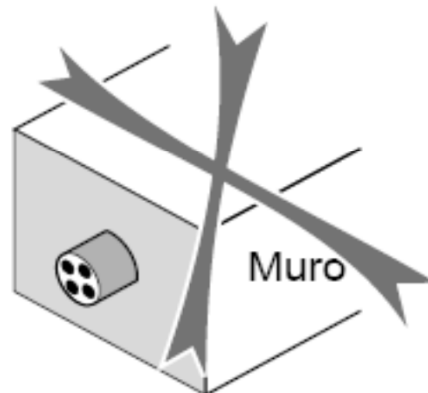


bandejas de cables · modo de colocación incorrecto

Canalización
a la vista

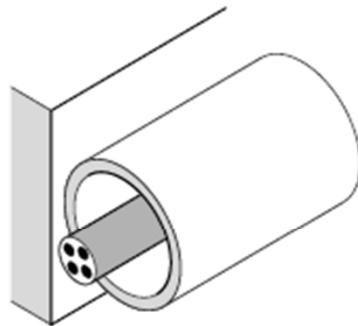


Canalización
empotrada

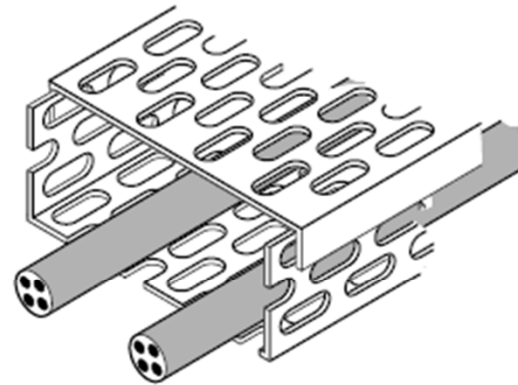


bandejas de cables · modo de colocación correcto

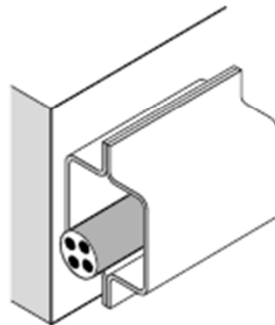
Tubo de acero



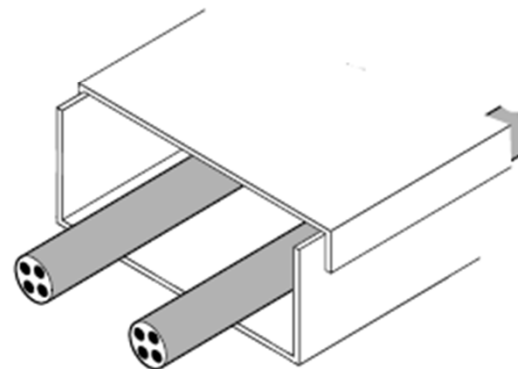
Canaleta de acero



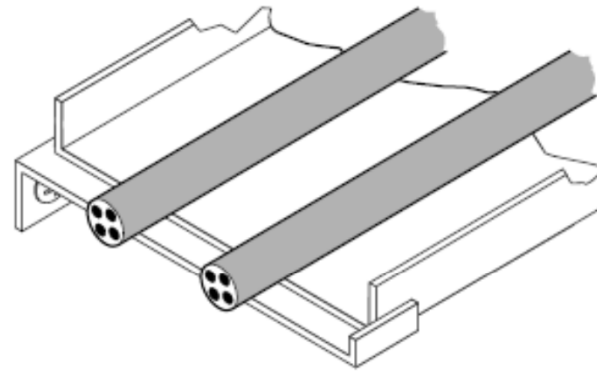
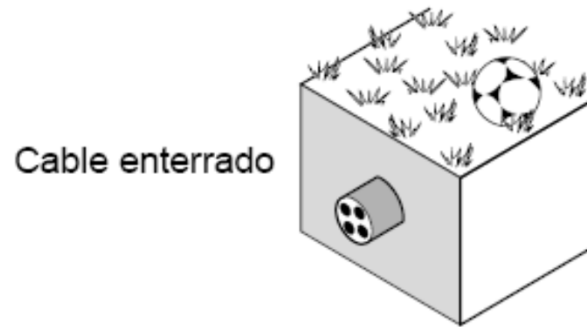
Canalis



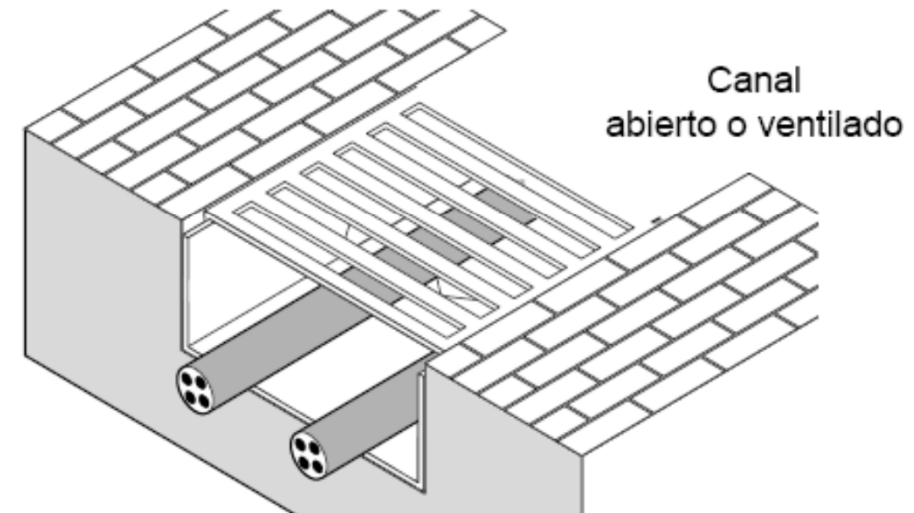
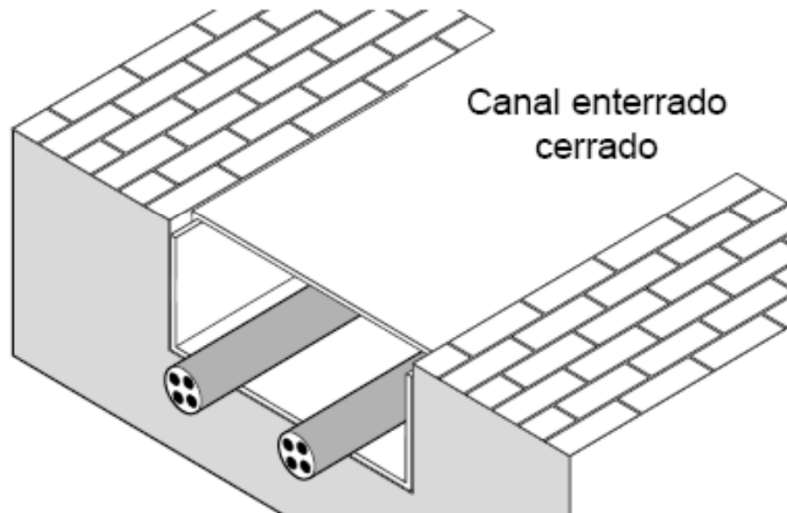
Canalón de acero



bandejas de cables · modo de colocación correcto

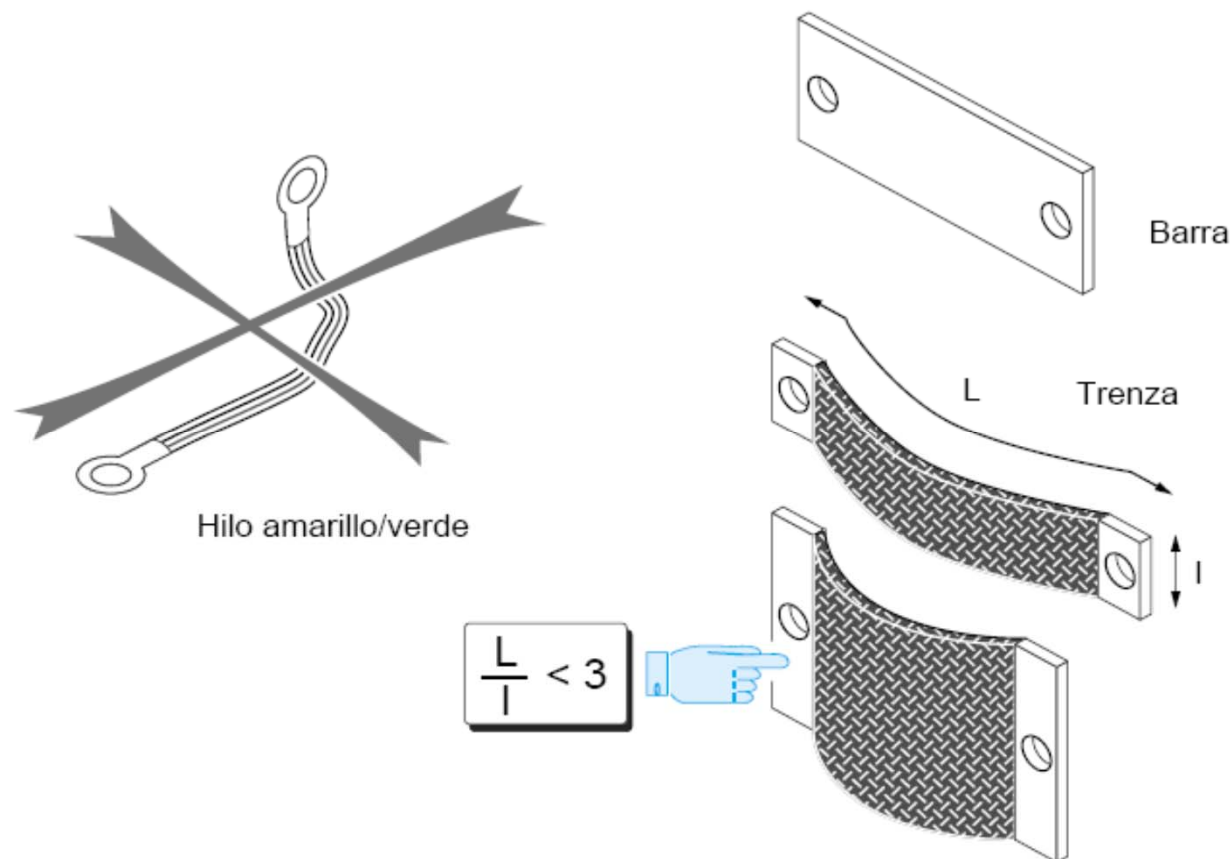


Conducto para cables
o
Placa de acero



conexiones · tipo y longitud de las conexiones

- ▶ la calidad de las CONEXIONES es tan importante como el cable, la pantalla y la red de masa
- ▶ en todos los casos, las conexiones de masas... deben ser lo más cortas y anchas posible



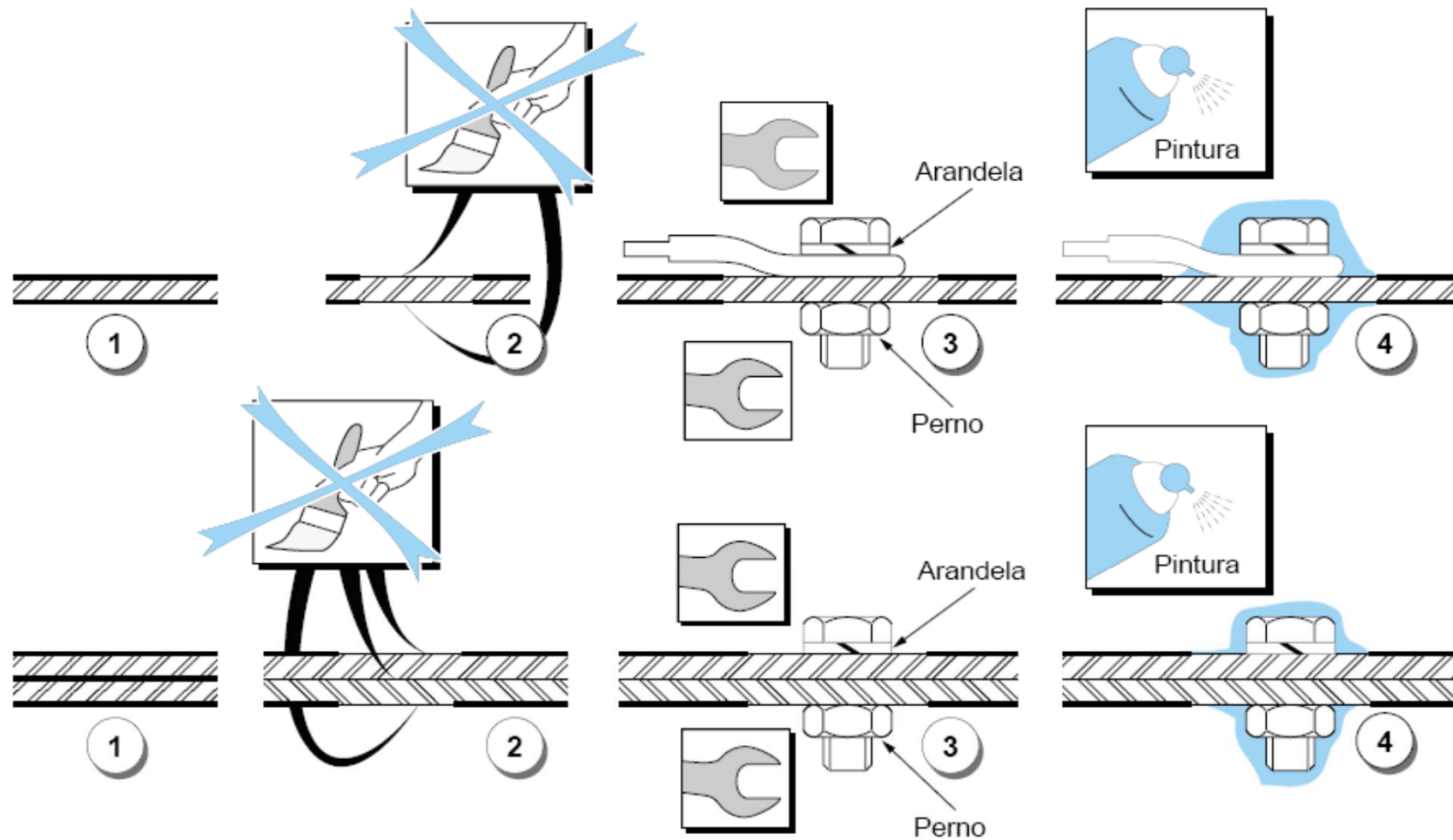
- ▶ es imprescindible que se produzca un contacto «metal con metal» y que la presión de contacto entre las partes conductoras sea elevada

Procedimiento:

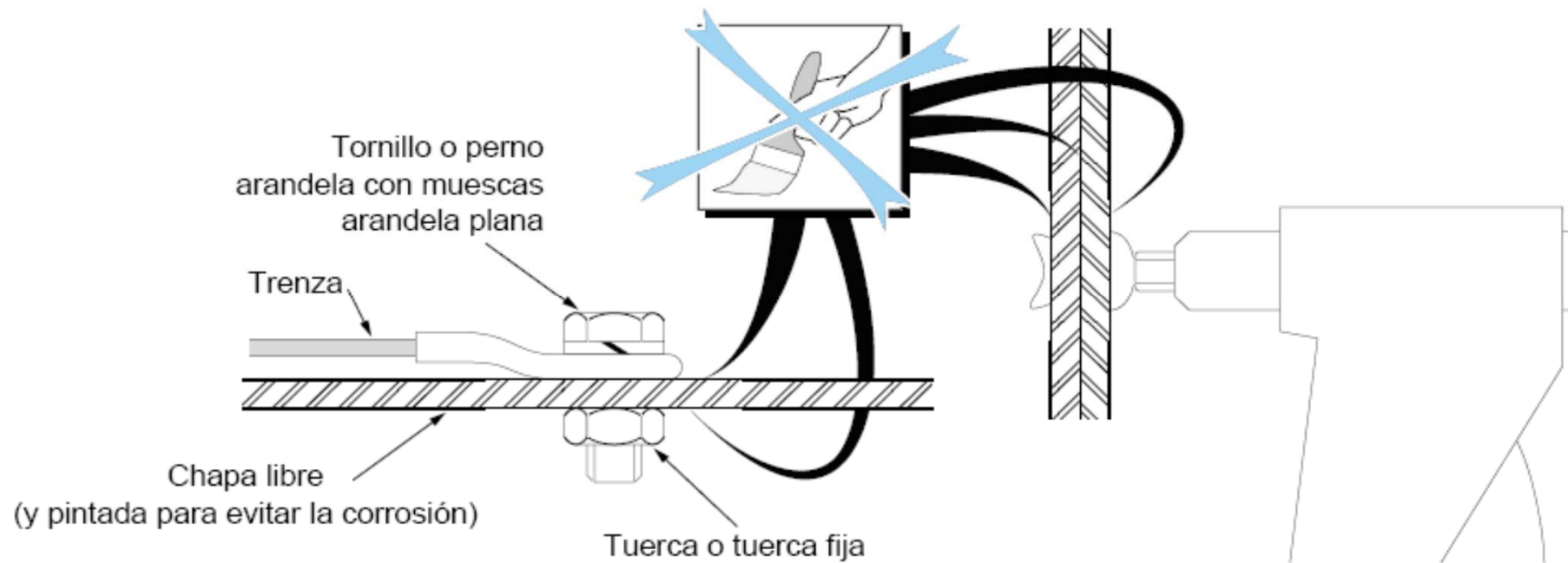
- 1 - chapa pintada
 - 2 - no pintar - rascar la pintura
 - 3 - apretar bien la conexión utilizando, por ejemplo, un sistema de tuerca y tornillo con arandela
 - 4 - asegurarse de que el contacto es permanente
- ▶ aplicar pintura o grasa anticorrosivas una vez asegurado el contacto

conexiones · realización de una conexión

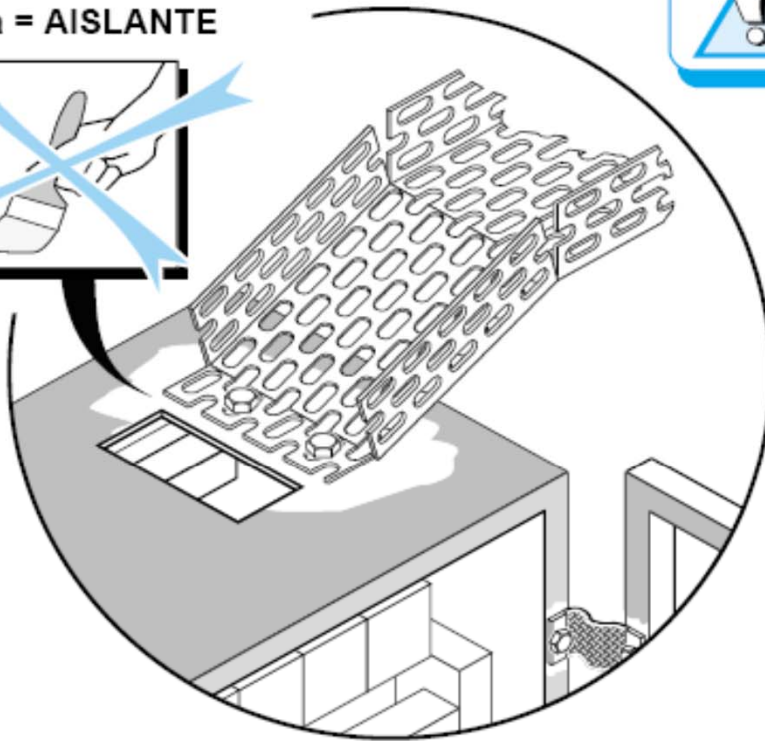
- ▶ eliminar los revestimientos aislantes, pinturas... de las superficies en contacto



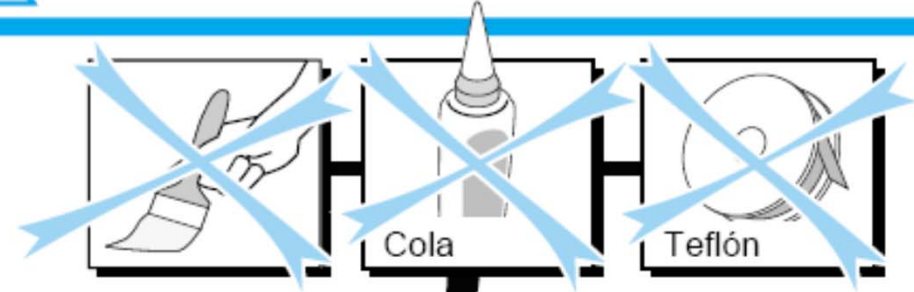
conexiones · acciones que deben evitarse



Pintura = AISLANTE

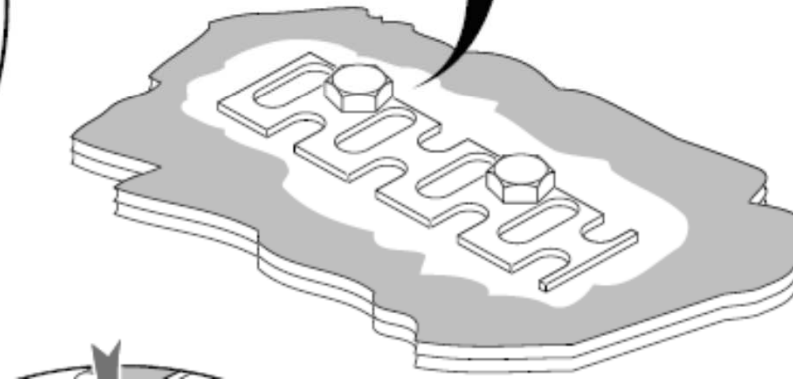


Pintura, cola y teflón = AISLANTE

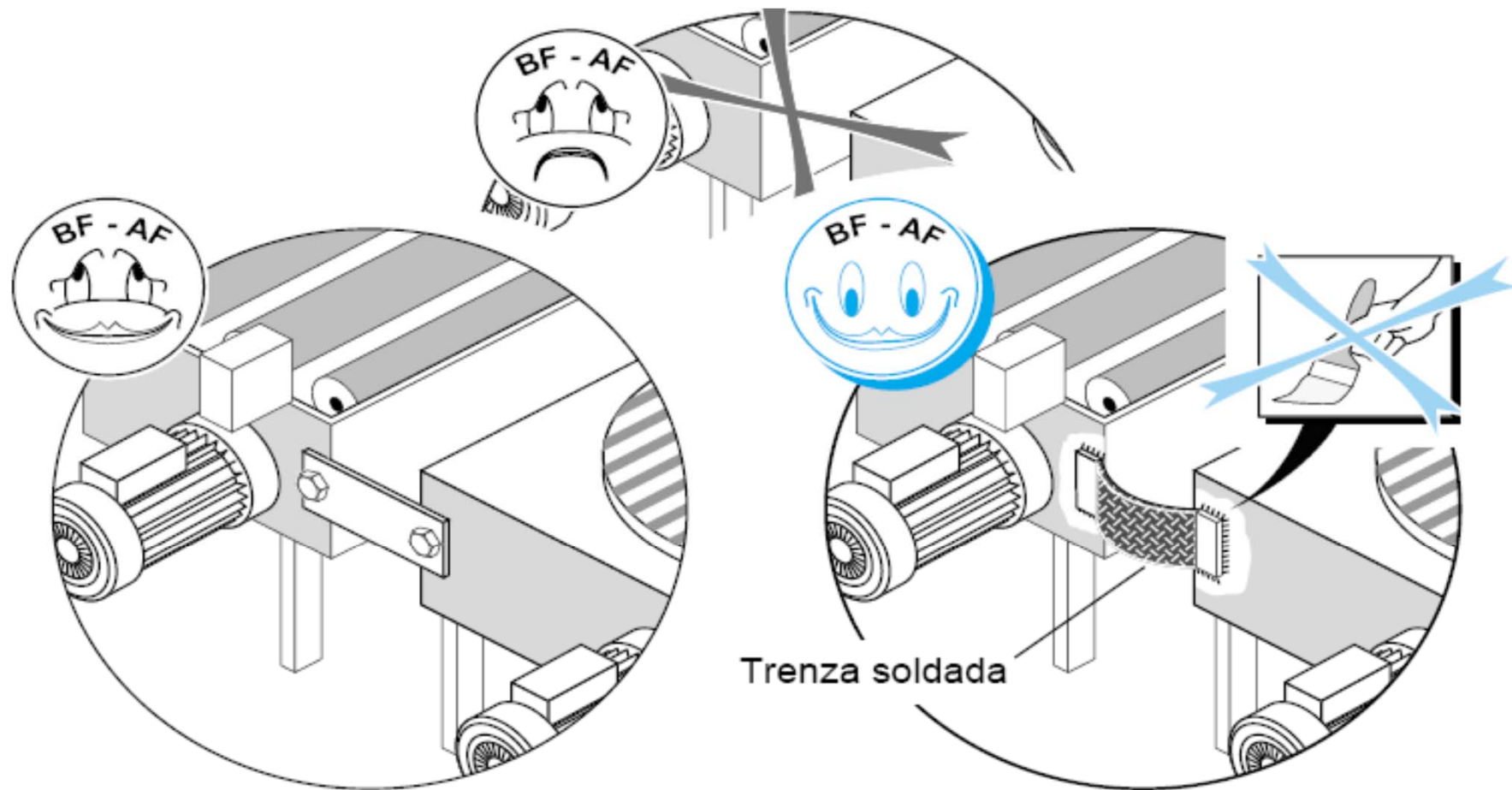


Cola

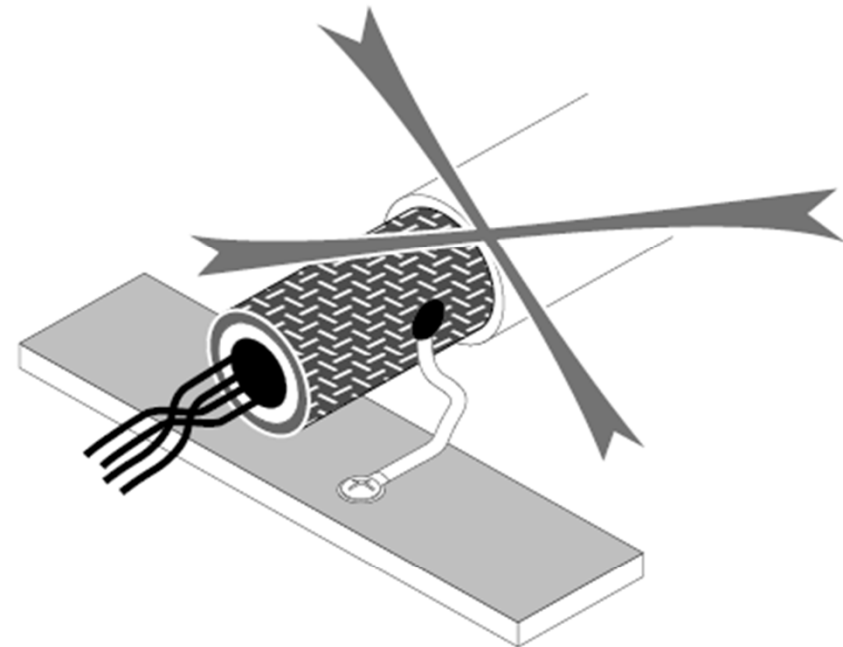
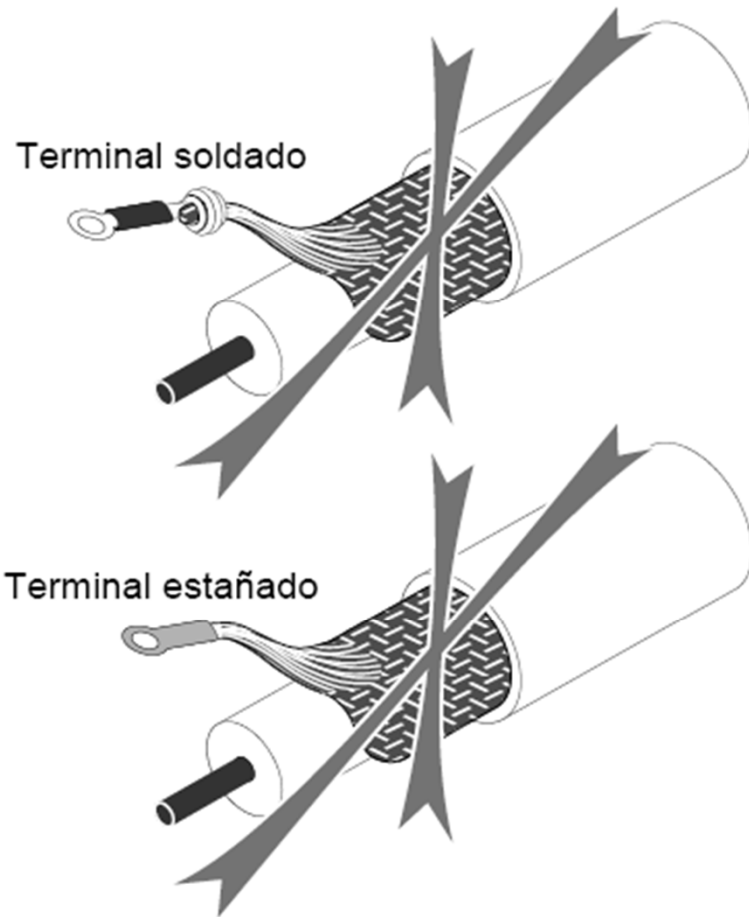
Teflón



conexiones · acciones que deben evitarse

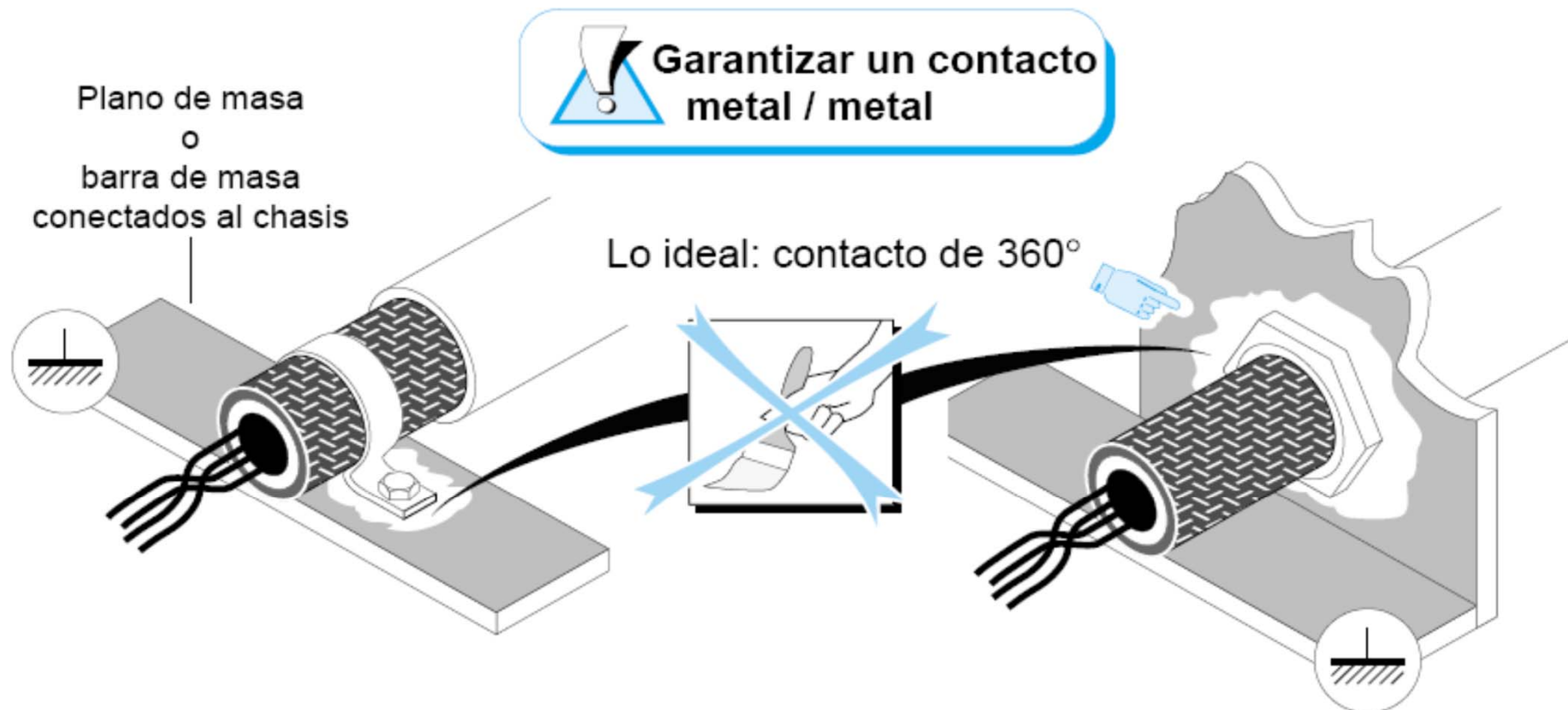


conexiones · conexiones de los blindajes

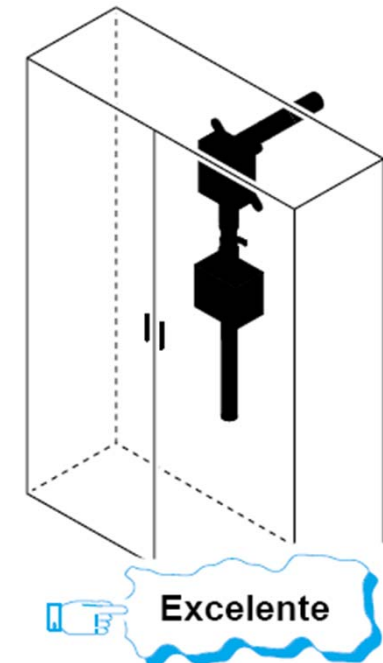
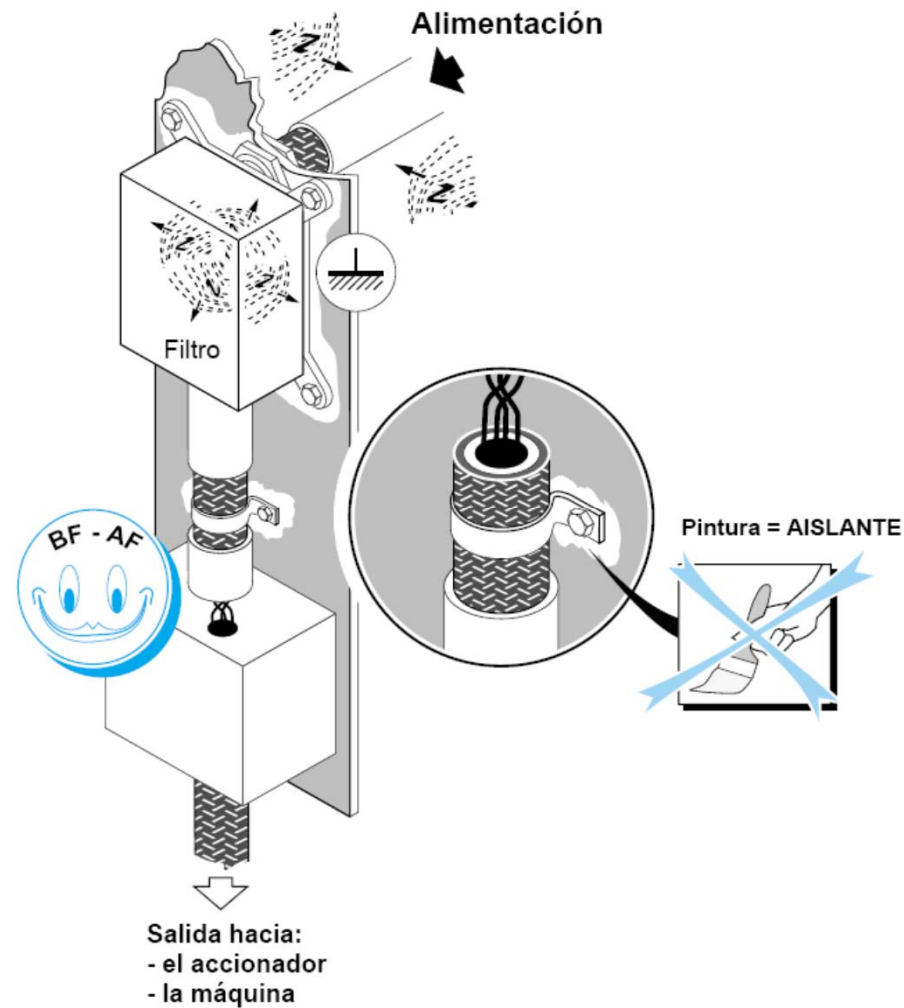
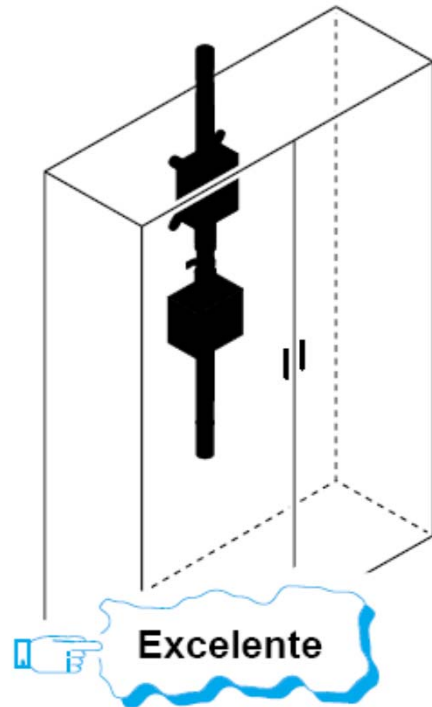


conexiones · conexiones de los blindajes

- cuidado con las láminas de plástico aislante situadas entre la pantalla y la funda

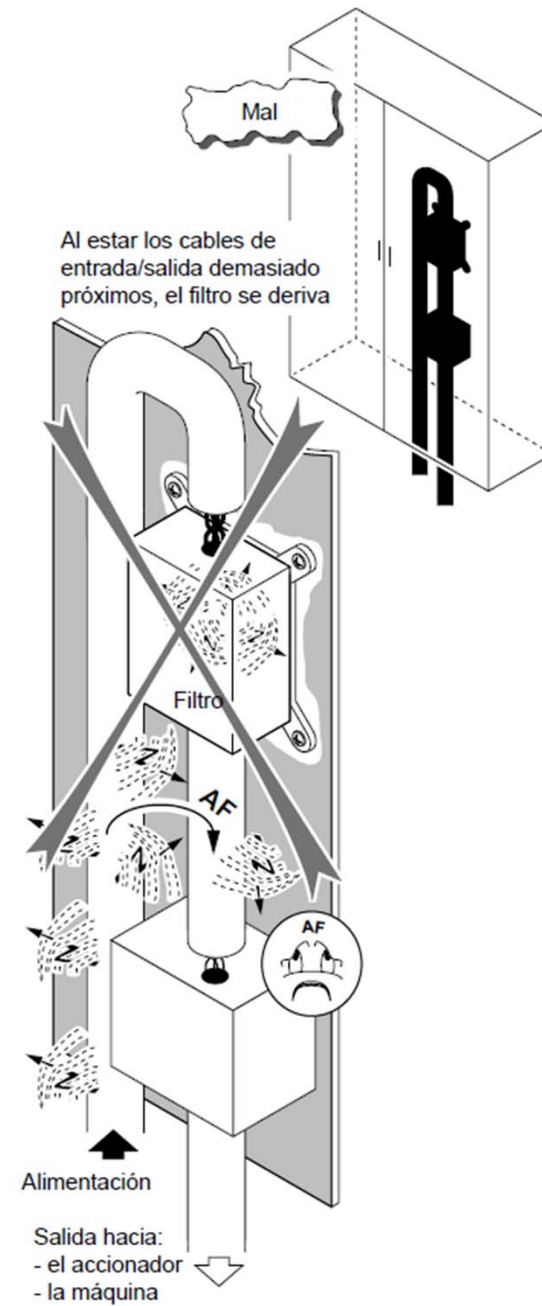
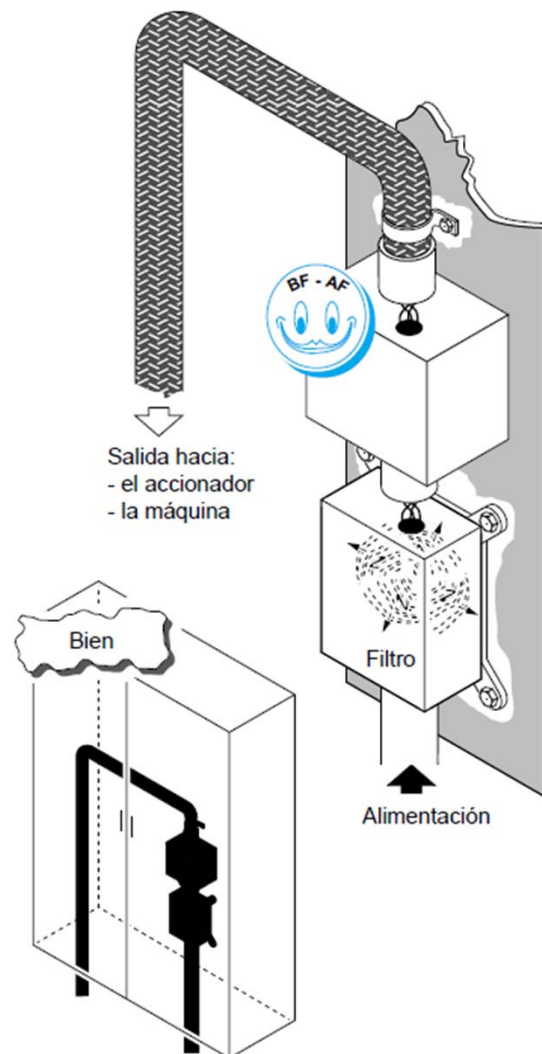


filtros · instalación en el armario



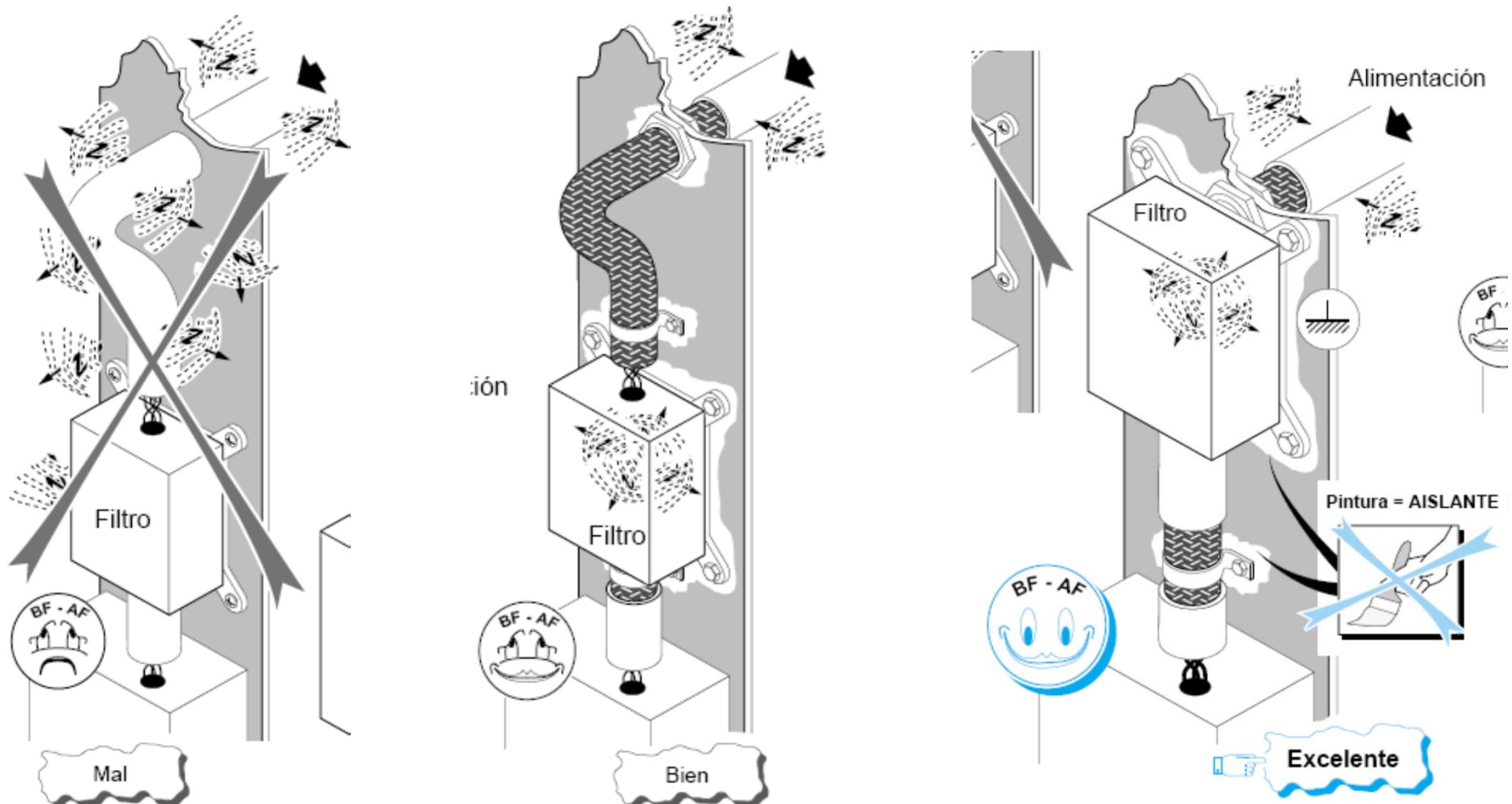
filtros · instalación en el armario

- ▶ el cable de entrada no debe estar junto al cable de salida



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 · montaje de los filtros

- ▶ sujetar los cables al plano de masa de referencia de fondo de armario

