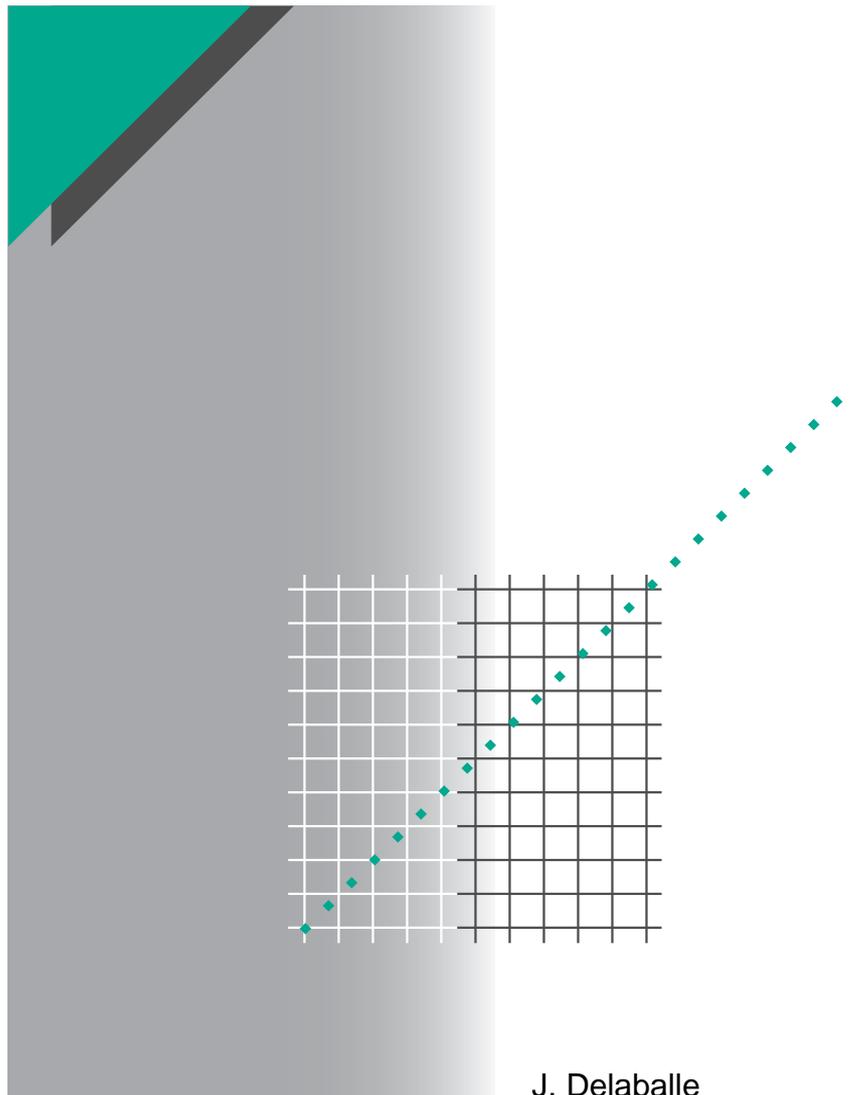


Cuaderno Técnico nº 177

Perturbaciones en los sistemas electrónicos y esquemas de conexión a tierra



J. Delaballe

Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades electrotécnicas y electrónicas. Están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica o más amplia, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas.

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet:

<http://www.schneiderelectric.es>

Igualmente pueden solicitarse ejemplares en cualquier delegación comercial de **Schneider Electric España S.A.**, o bien dirigirse a:

Centro de Formación Schneider
C/ Miquel i Badia, 8 bajos
08024 Barcelona

Telf. (93) 285 35 80

Fax: (93) 219 64 40

e-mail: formacion@schneiderelectric.es

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» del **Schneider Electric**.

Advertencia

Los autores declinan toda responsabilidad derivada de la incorrecta utilización de las informaciones y esquemas reproducidos en la presente obra y no serán responsables de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones o esquemas contenidos en la presente edición.

La reproducción total o parcial de este Cuaderno Técnico está autorizada haciendo la mención obligatoria: «Reproducción del Cuaderno Técnico nº 177 de Schneider Electric».

Cuaderno Técnico nº 177

Perturbaciones en los sistemas electrónicos y esquemas de conexión a tierra



Jacques DELABALLE

Doctor por la Universidad de Limoges en 1980, entra en Merlin Gerin en 1986 después de siete años pasados en Thomson.

Fue delegado de normalización después de haber sido responsable del laboratorio CEM del centro de ensayos Schneider Electric. Fue también Secretario del subcomité 77B (fenómenos de alta frecuencia) de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

Por: Jacques Delaballe

Trad.: José M^a Giró

Edición francesa: noviembre 2002

Versión española: setiembre 2003

Merlín Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

Terminología

BT:
Baja Tensión.

CEI:
Comité Electrotécnico Internacional.

CEM:
Compatibilidad Electromagnética.

CPA:
Controlador Permanente de Aislamiento.

DDR/AS:
Dispositivo Diferencial de corriente Residual de Alta Sensibilidad (≤ 30 mA).

DDR/BS:
Dispositivo Diferencial de corriente Residual de Baja Sensibilidad.

DDR/MS:
Dispositivo Diferencial de corriente Residual de Media Sensibilidad.

DLD:
Dispositivo de Localización de Defectos.

DPCC:
Dispositivo de Protección Contra Cortocircuitos.

ECT:
Esquema de Conexión a Tierra también llamado «régimen de neutro» (anexo).

Electrización:
Apliación de una tensión entre dos partes del cuerpo.

Electrocución:
Electrización que provoca la muerte.

I Δ n:
Valor de ajuste del umbral de funcionamiento de un DDR.

MT:
Media Tensión (1 a 35 kV, según CENELEC).

SEC:
Sistemas Electrónicos/digitales Comunicantes.

Perturbaciones en los sistemas electrónicos y esquema de conexión a tierra

Hoy en día, la electrónica de potencia y el proceso de señales (analógicas y digitales) está omnipresente en todo tipo de edificios.

La informática, la automática, los sistemas jerárquicos de mando y control tienden todo un «manto» alrededor de las redes eléctricas que los alimentan.

Si los receptores no lineales (rectificadores, variadores de velocidad, troceadores, fuentes de alimentación conmutada...) son perturbadores, los sistemas electrónicos de señal o «corriente débil» son agredidos por perturbaciones e interferencias eléctricas y magnéticas de todo tipo.

La elección del esquema de conexión a tierra –ECT– no es independiente para los sistemas electrónicos, especialmente cuando se utilizan líneas digitales (buses) para comunicaciones.

Este Cuaderno Técnico, después de un análisis de las perturbaciones que existen en las instalaciones BT, aporta su luz sobre las ventajas e inconvenientes de los ECT en cuanto a la coexistencia de «corrientes fuertes» y «corrientes débiles».

Índice

1	Introducción		p. 6
2	Perturbaciones originadas fuera de la red BT		p. 7
	2.1	Corrientes telúricas	p. 7
	2.2	Corrientes vagabundas de tierra de 50 Hz	p. 7
	2.3	Corrientes de descarga en los transformadores MT/BT	p. 7
	2.4	Sobretensiones de maniobra en redes de MT	p. 8
	2.5	Tensiones armónicas	p. 8
	2.6	Tensiones y corrientes de rayo	p. 8
	2.7	Perturbaciones de AF	p. 9
3	Las perturbaciones originadas dentro de la red BT		p. 10
	3.1	Corrientes y tensiones armónicas	p. 11
	3.2	Sobretensiones de maniobra (modo diferencial) en la red BT	p. 11
	3.3	Grandes corrientes de defecto	p. 11
4	La coexistencia de «corrientes fuertes» - «corrientes débiles»		p. 12
	4.1	Limitación de las perturbaciones emitidas	p. 13
	4.2	Reducción de los acoplamientos	p. 13
	4.3	Masas y tierras	p. 16
	4.4	Sistema ideal de tierra y de masa	p. 17
5	Los ECT y los sistemas electrónicos de comunicantes (SEC)		p. 18
	5.1	ECT, SEC y perturbaciones en baja frecuencia -BF-	p. 19
	5.2	ECT, SEC y perturbaciones en alta frecuencia -AF	p. 19
6	Conclusión		p. 24
	Anexo 1: Los ECT según la CEI 60364		p. 25
	Anexo 2: Ejemplo de preparación de un local libre de perturbaciones electromagnéticas		p. 27
	Bibliografía		p. 29

1 Introducción

Una señal eléctrica se caracteriza:

- por su frecuencia,
- por su tensión,
- por su intensidad.

En las grandes redes de los países industrializados, la frecuencia es perfectamente estable. Puede variar en la isla de una instalación privada cuando se emplean fuentes de alimentación de sustitución, pero esta variación no tiene efecto notable en los regímenes de neutro ni en los equipos de protección que necesitan.

La frecuencia sea 50 ó 60 Hz no es determinante; en cambio, en ciertas redes que distribuyen la potencia a 400 Hz, hay que tener en cuenta la influencia de las capacidades de fuga a tierra en la elección del ECT.

Las corrientes y tensiones presentes en las instalaciones eléctricas, en circunstancias normales y en el caso de defecto de aislamiento, son esencialmente variables en valor y en forma de onda, pudiendo apartarse ésta mucho de la senoide. Esto es especialmente en las corrientes que resultan de un defecto de aislamiento aguas abajo de un convertidor estático (Cuaderno Técnico nº 114).

Los fenómenos que deforman o perturban la senoide «de red» tienen orígenes diversos y, según el ECT, pueden introducir perturbaciones de diversa naturaleza no sólo en la distribución de BT sino también en los sistemas electrónicos comunicantes.

Existen tres ECT definidos por la publicación CEI 60364 y, en Francia, por la norma NF C 15-100; se analizan también en los Cuadernos Técnicos nº 172 y 173 y en el resumen que se hace en el anexo 1.

2 Perturbaciones originadas fuera de las redes BT

2.1 Corrientes telúricas

Se trata de corrientes de frecuencia inferior a 50 Hz, debidas a las tormentas magnéticas solares. Circulan por la tierra profunda. Pueden perturbar las protecciones de líneas de

transporte, pero no son perjudiciales para las redes de BT, que no suelen ser muy largas y además sin efecto cuando no tienen más que una toma de tierra.

2.2 Corrientes vagabundas de tierra de 50 Hz

Tienen su origen en los defectos de aislamiento de las redes de MT o AT, explotadas en régimen de neutro impedante a tierra, pero también en ciertas instalaciones de tracción eléctrica cuya corriente de retorno pasa por tierra. Por tanto, hay que prestar especial atención a las instalaciones BT situadas en la proximidad de centros de transformación MT/BT y de líneas férreas electrificadas.

Pueden provocar perturbaciones por impedancia común en el funcionamiento de las líneas de «corriente débil», geográficamente repartidas, sobre todo si estos sistemas no tienen una referencia de potencial única (varias tomas de tierra).

Hay que destacar que las corrientes erráticas han sido la causa del abandono de los relés voltimétricos de tierra sensibles a la tensión de defecto.

2.3 Corrientes de descarga en los transformadores MT/BT

Su intensidad depende del ECT de la red MT. Su efecto (sobretensión) depende de la interconexión de las masas de los receptores BT con la toma de tierra del neutro (figura 1).

Así, en un esquema TT, para evitar una descarga de retorno de los materiales BT, la resistencia R_b deberá ser inferior a:

$$R_b = \frac{2U + 1000}{I_{hTM}}$$

Hay que destacar que la publicación CEI 60364 sustituye $2U + 1000$ V por $U + 1200$ V, en TT y TN, y por $\sqrt{3} U + 1200$ V en IT; indica también, por otra parte, que esta sobretensión máxima no debe durar más de 5 segundos.

En régimen TN, para evitar el riesgo de «contacto indirecto», es necesario que el edificio sea totalmente equipotencial (Ej.: edificios de gran altura). Sucede lo mismo en el régimen IT en el momento de la descarga (puesta en cortocircuito) del limitador de sobretensión, si R_b y R_a son la misma.

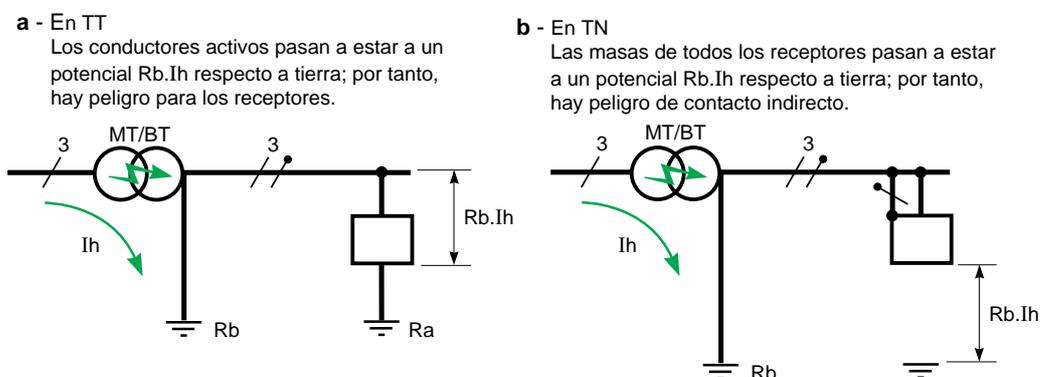


Fig. 1: Riesgos derivados de una descarga MT - BT en el transformador.

2.4 Sobretensiones de maniobra en redes de MT

Las sobretensiones con origen en MT quedan muy atenuadas debido a lo estrecho de la banda pasante del transformador MT/BT (en modo

diferencial). Sus posibles efectos son independientes de la elección del ECT de la instalación BT.

2.5 Tensiones armónicas

Los generadores de armónicos que hay en casa de los abonados perturban la red de MT. Como consecuencia de esto se produce una deformación de la onda de tensión MT y, por tanto, de la de BT.

Los receptores BT de un abonado no perturbador absorben, por tanto, corrientes armónicas; por tanto, las corrientes armónicas que resultan de un defecto de aislamiento, está también deformadas.

Hoy en día, los distribuidores de energía eléctrica están muy preocupados por el deterioro de la onda de MT, a pesar de que los transformadores

estrella-triángulo (Dy11) no transmiten el tercer armónico y sus múltiplos de la BT a la MT...

La tabla de la **figura 2** da los valores de perturbación armónica máximos admitidos por Electricité de France; la norma EN 50160 da los mismos valores, salvo para el tercer armónico y sus múltiplos.

$$\text{Recordemos que: } \tau (\%) = \frac{Y_n}{Y_1} \cdot 100$$

En las redes BT privadas es frecuente encontrar valores de tensión y corriente armónicas mucho más altas.

armónicos impares no-múltiplos de 3		armónicos impares múltiplos de 3		armónicos pares	
rango armónico	tensión armónico %	rango armónico	tensión armónico %	rango armónico	tensión armónico %
BT/MT		BT/MT		BT/MT	
5	6	3	1,5	2	2
7	5	9	0,3	4	1
11	3,5	15	0,2	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	> 21		10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			> 12	0,2
25	1,5				
> 25	0,2+0,5*25/h				

La EDF (Electricidad de Francia) ha adoptado estos valores límite, que pueden parecer relativamente severos, a partir de las medidas realizadas en las redes, y que corresponden a niveles de armónicos para los que los aparatos perturbados y perturbadores coexisten en la red en condiciones aceptables.

Fig. 2: Valores de perturbaciones armónicas de la tensión admitidas en las redes de distribución MT y BT.

2.6 Tensiones y corrientes de rayo

Cuando se produce una caída de un rayo, directa o indirecta, sobre una línea aérea que alimenta un centro de transformación MT/BT los limitadores de sobretensiones situados a la entrada MT del centro de transformación limitan la onda de tensión y derivan la corriente de rayo (Cuaderno Técnico nº 168).

La onda de tensión, en modo común, es transmitida sobre los arrollamientos BT del transformador por las capacidades parásitas entre los arrollamientos MT y BT. Esta onda, cuyo valor no suele sobrepasar los 6 kV, aparece simultáneamente en todos los conductores activos.

La puesta a tierra del neutro (directa en TT o TN, o a través del limitador de sobretensión, en IT) no puede atenuar más que la sobretensión que aparece en el neutro y provoca la aparición de una sobretensión en modo diferencial (entre neutro y fases).

Si hay riesgo de sobretensión será muy conveniente instalar limitadores de sobretensiones entre todos los conductores activos y tierra, sea el que sea el ECT (Cuaderno Técnico nº 179).

Las conexiones deben de ser lo más cortas posible:

$$\Delta U = L\omega\hat{i},$$

con $L = 1 \mu\text{H/m}$; $\omega = 2,2/t_m$, siendo t_m el tiempo de subida de la corriente.

La derivación a tierra de la corriente de rayo crea sobretensiones en la red BT de modo similar al caso de la descarga del transformador (**figura 1**), aunque normalmente con una atenuación, debida a las capacidades parásitas en función del recorrido de la onda en la red.

Recordemos que las normas francesas definen cuatro niveles de tensión nominal de rigidez dieléctrica de los materiales eléctricos (ensayo con onda 1,2/50 μs): 1,5 - 2,5 - 4 y 6 kV.

2.7 Perturbaciones de AF

Además de las «descargas de rayo», los emisores de ondas hertzianas (radio, TV, CB, walkies talkies, GSM) generan campos electromagnéticos permanentes o transitorios.

Las maniobras normales o con cortocircuito de los aparatos de corte generan campos electromagnéticos de tipo impulsional. Por ejemplo, se han encontrado campos de 40 kV/m a una distancia de 1 metro de una celda de MT.

Los campos permanentes, transitorios o impulsionales se convierten, por efecto antena o lazo, en parásitos conducidos. Estos parásitos pueden perturbar, y hasta deteriorar, en los equipos electrónicos autónomos (si su inmunidad es insuficiente) y en los sistemas electrónicos de comunicaciones (si las conexiones de «corrientes débiles» están mal hechas).

3 Las perturbaciones originadas dentro de la propia red BT

3.1 Corrientes y tensiones armónicas

Los receptores industriales (convertidores estáticos...), terciarios (iluminación fluorescente, material informático...) y hasta los domésticos (microondas, televisores...) son cada vez más generadores de armónicos (**figura 3**).

■ Iluminación fluorescente

La norma francesa NF C 71-212 fija los valores máximos de la tasa de armónicos emitidos:

- armónicos de 3^{er} orden: 25%,
- armónicos de 5^o orden: 7%,
- armónicos de 7^o orden: ... %.

La norma EN 55015 indica los niveles de perturbaciones radiadas que no hay que sobrepasar. La norma francesa NF C 71-100 fija en 1 mA la corriente máxima de fuga a tierra (a través del conductor CP).

■ Rectificadores de puente de Graëtz

Aunque la norma CEI 60146-4 indica las corrientes armónicas que producen los rectificadores, no existe todavía una norma que fije los niveles que no han de sobrepasar (Cuadernos Técnicos números 152 y 160).

■ Fuentes de alimentación conmutadas (por modulación de ancho de impulso)

Estos convertidores, dada la frecuencia de conmutación 10 a 30 kHz, generan corrientes armónicas de frecuencia muy elevada que conviene atenuar (filtros AF).

Son varios y perjudiciales los efectos de las corrientes armónicas:

■ Si uno o varios receptores generan corrientes del tercer armónico y sus múltiplos (3 k), éstos, en ausencia de defecto, se suman y circulan por el neutro. Si el neutro es común con el CP (esquema TN-C), esta corriente provoca una variación del potencial de masa que puede ser perjudicial a los receptores sensibles (tensiones parásitas en modo común respecto a tierra).

■ Al producirse un defecto de aislamiento en un receptor, que es a su vez generador de corrientes armónicas (convertidores estáticos), la onda de corriente de defecto tiene una forma muy variable que depende del esquema y del punto de defecto.

■ Las corrientes de defecto de aislamiento con armónicos pueden ser causa de mal funcionamiento de las protecciones. La solución sería:

□ en TN e IT, los interruptores automáticos deberán tener un térmico sensible a la corriente eficaz real (valor RMS),

□ en TT, los DDR deberán ser de clase A (aptos para funcionar con corrientes pulsantes o deformadas).

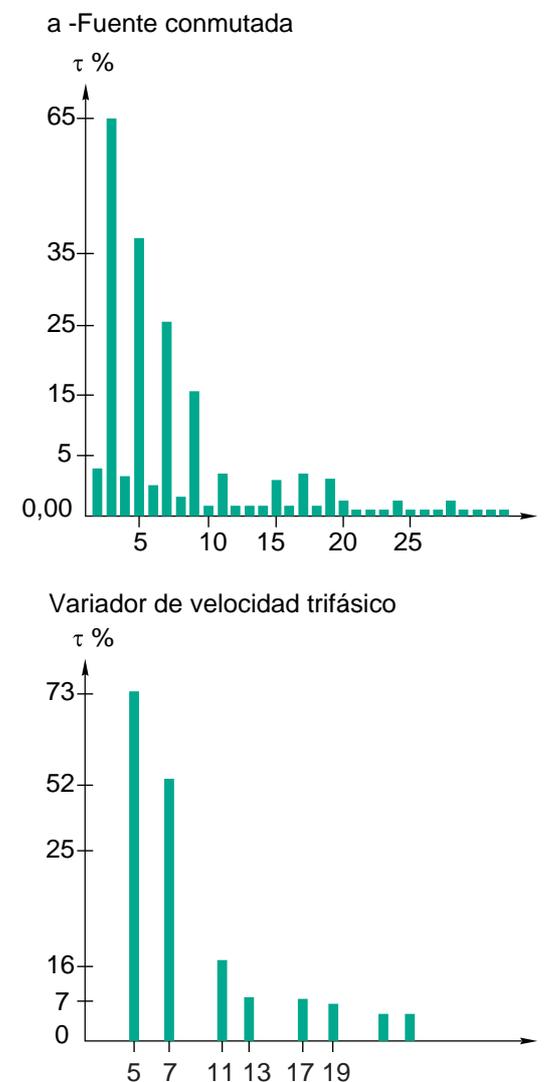


Fig. 3: Ejemplos de espectros de armónicos de receptores.

3.2 Sobretensiones de maniobra (modo diferencial) en la red BT

Se producen principalmente por el corte de corrientes normales o de defecto, por ejemplo, durante:

- la apertura de circuitos de mando de contactores y relés, si no están equipados con filtros RC;
- el corte de corrientes de cortocircuito mediante los DPCC con tensión de arco muy elevada (ciertos fusibles); hay que destacar que

el corte de la corriente de un defecto de aislamiento en régimen TN puede provocar una sobretensión de modo común.

Estas sobretensiones pueden perturbar el funcionamiento de cierto aparellaje sensible... incluidos los equipos de protección con fuente auxiliar que, por construcción, deberían de estar inmunizados.

3.3 Grandes corrientes de defecto

Se trata esencialmente de corrientes de cortocircuito entre conductores activos (o a través del CP en TN, o debidas a un segundo defecto en IT).

Si los diversos conductores son unifilares y no agrupados, el campo magnético que radian entonces los conductores activos (y el CP en TN

e IT), puede provocar funcionamientos intempestivos en los equipos electrónicos próximos a las canalizaciones eléctricas o con cables de entrada/salida de «corriente débil».

En la tabla de la **figura 4** se presenta un resumen de las perturbaciones y de sus efectos en función del ECT.

perturbaciones	efectos	
corriente de tierra	creación de una diferencia de potencial de BF entre dos tomas de tierra alejadas	TN : riesgo nulo para personas y circuitos electrónicos TT : riesgo nulo si hay una sola toma de tierra de utilización IT : ídem TT
descarga MT/BT en el transformador	tensión de modo común para redes de BT ($R_B \cdot I_{hMT}$)	TN : riesgo para personas si la equipotencialidad del edificio no es total TT : riesgo para los materiales IT : ídem TN cuando el limitador de sobretensión se
cortocircuítas		
rayo en MT	transmisión capacitativa a la red BT	TN : riesgo para el material en modo diferencial TT : ídem TN IT : ídem TN; el limitador sólo actúa en un conductor activo
corrientes armónicas en redes BT	corriente del 3 ^{er} armónico y múltiplos en el neutro	TN : no equipotencialidad del CPN en TN-C TT : sin problemas IT : sin problemas
corrientes de defecto comunicaciones	campo magnético de aislamiento	TN : riesgo para los materiales sensibles y/o de caída de tensión en CP TT : sin problemas IT : ídem que en TN, si hay defecto doble

Fig. 4: Principales perturbaciones y sus efectos, según el ECT.

4 La coexistencia de «corrientes fuertes» - «corrientes débiles»

Hoy en día, la electrónica está por todas partes: en los captadores, en los accionadores, en los sistemas de control y mando de los procesos, de los edificios y de la distribución eléctrica.

Todos estos equipamientos están alimentados por la red de BT y no deben de ser sensibles a las diversas perturbaciones antes citadas.

Los fabricantes «responsables» saben inmunizar muy bien los aparatos, en otras palabras, controlar su susceptibilidad a los fenómenos electromagnéticos. Para ello, toman como referencia las normas de compatibilidad electromagnética, por ejemplo, la CEI 61000 (Cuaderno Técnico nº 149).

Paralelamente, la normalización tiende a minimizar las perturbaciones emitidas por los perturbadores; citemos a título de ejemplo, la norma CISPR 11.

Por tanto, la coexistencia normalizada entre aparatos perturbadores y aparatos perturbados no está resuelta puesto que en el control eléctrico quedan cuestiones como:

- ¿cómo se comporta una instalación eléctrica como perturbadora?

... o sea, son determinantes tanto el modo de realizar las instalaciones como el ECT que se escoja.

- con este planteamiento ¿cómo atenuar las señales perturbadoras y sus efectos sobre los materiales sensibles (electrónicos)?

... Es el problema de la correcta coexistencia entre electrotecnia y electrónica, en otros términos, entre «corrientes fuertes» y «corrientes débiles». Para que esta coexistencia sea buena, hay que minimizar las perturbaciones de las fuentes perturbadoras y evitar los acoplamientos entre la fuente y la víctima potencial.

4.1 Limitación de las perturbaciones emitidas

Como hemos visto en los capítulos anteriores, hay varios tipos de perturbaciones y pueden ser de modo común o de modo diferencial, de baja o alta frecuencia, conducidas o radiadas (tabla de la **figura 5**). Para limitarlas hay varias soluciones posibles:

En MT:

- utilizar limitadores de sobretensiones de óxido de zinc y conectarlos con un cable lo más corto posible a una toma de tierra distinta de la del neutro BT, para limitar las sobretensiones de rayo,
- limitar las corrientes homopolares MT y reducir al mínimo la resistencia de la toma de tierra del neutro BT, para evitar las descargas de retorno, si hay varias tomas de tierra,

- utilizar transformadores MT/BT en los que el acoplamiento bloquee ciertas corrientes armónicas, para limitar las perturbaciones por armónicos.

En el origen de la red de BT:

- evitar conectar la toma de tierra del neutro con la del transformador y de los pararrayos (método utilizado en Francia para los centros de transformación aéreos, situados en postes, en distribución aérea rural),
- instalar limitadores de sobretensiones en el origen de la red BT, conectados de la forma más corta posible a la toma de tierra del neutro para limitar las sobretensiones de rayo que pasan a través del transformador,

	modo común	modo diferencial
perturbaciones BF	<ul style="list-style-type: none"> ■ subida de potencial de la red BT (descarga MT/BT) ■ fuerte corriente de defecto en el CP ■ armónicos de 3^{er} rango en el CPN ■ toma de tierra Ra de valor demasiado alto en TT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ corrientes y tensiones armónicas ■ corrientes de cortocircuito
perturbaciones AF	<ul style="list-style-type: none"> ■ sobretensión y corriente de rayo ■ sobretensión de maniobra AT 	<ul style="list-style-type: none"> ■ sobretensión y corriente de rayo ■ corte de una I_{cc} por un DPCC con gran tensión de arco

Fig. 5: Los diversos tipos de perturbaciones según el modo y la frecuencia.

- evitar el ECT TN-C porque el CPN transporta corrientes armónicas (tercer armónico y sus múltiplos) perturbando así la referencia de potencial, que es el CP, para los equipos electrónicos.

En la red BT:

Para minimizar los campos magnéticos radiados:

- evitar, tanto como se pueda, el empleo de cables unipolares que generan, en caso de cortocircuito, un campo magnético importante,
- no separar el CP de los conductores activos, o mejor, utilizar cables que integren el CP,
- no utilizar cables blindados cuya envolvente constituye el CP o cables situados en tubos de acero que sirve de conductor de protección, (el campo radiado por los conductores activos se bloquea y el CP genera un campo magnético),
- privilegiar los ECT que minimizan las corrientes de defecto de aislamiento (reducción de campo magnético),
- minimizar la corriente de conexión de condensadores (resistencias o autoinducciones de choque),

- en IT, si la red es corta, utilizar una impedancia (neutro impedante) para «fijar» el potencial de neutro a tierra,

■ colocar los cables de potencia en canalizaciones metálicas para cables vigilando la continuidad de este «plano de masa» y su conexión con la conexión equipotencial principal (con trazado horizontal y vertical); esto minimiza mucho la radiación electromagnética.

- «colocar trampas» a las sobretensiones:

□ poniendo circuitos RC en las bobinas de los contactores, relés...,

□ protegiendo los equipos sensibles con limitadores de sobretensión o descargadores.

A nivel de receptores

Todos los materiales eléctricos son objeto de normas que limitan la emisión de parásitos de AF y BF cuando están conectados a redes públicas de distribución BT.

Existen numerosas soluciones para minimizar las corrientes armónicas: filtros pasivos o activos, convertidores estáticos con muestra senoidal,...

4.2 Reducción de los acoplamientos

No todas las perturbaciones se pueden atenuar en la fuente de alimentación; para evitar fallos de funcionamiento de los equipos electrónicos, hay que minimizar la transferencia entre el emisor y su víctima. Existen numerosos tipos de acoplamiento posibles y para explicarlos tomemos el ejemplo de la corriente de rayo (figura 6b).

Cuando cae un rayo en una línea aérea de MT o BT, la corriente de cresta en el punto de entrega puede llegar a alcanzar varias decenas de kA. El di/dt y la $\int I^2 dt$ son muy importantes.

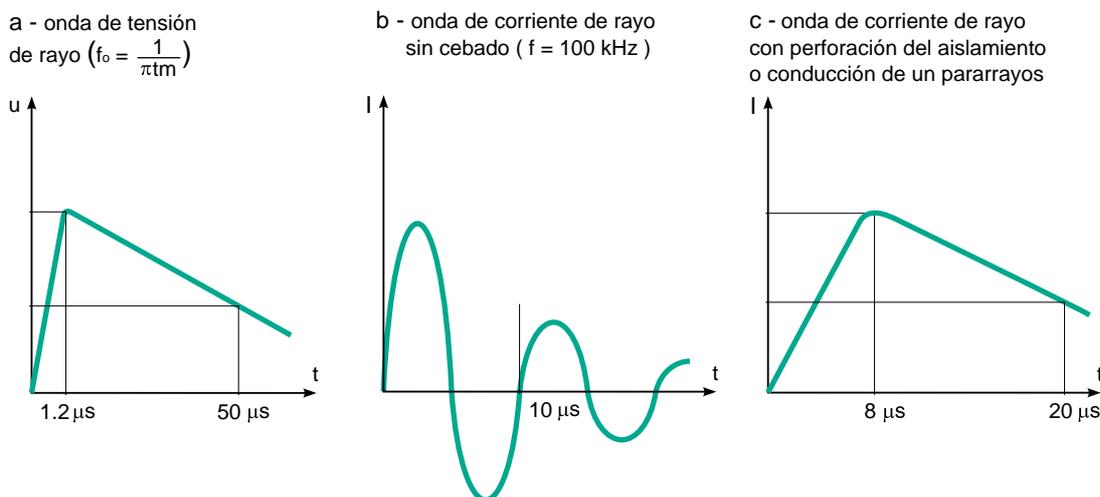


Fig. 6: Algunas ondas de rayo normalizadas.

Acoplamiento por impedancia común

Tomemos el ejemplo de un esquema TN, en el que todas las masas están conectadas (figura 7a), con

$\hat{I} = 25 \text{ kA}$,
 $di/dt = 25 \text{ kA}/8 \text{ } \mu\text{s}$,
 una conexión N-CP de 1 metro con una autoinducción lineal de $1 \text{ } \mu\text{H}/\text{m}$,
 la tensión ΔV desarrollada entre N y CP, es:

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = 10^{-6} \times \frac{25 \times 10^3}{8 \times 10^{-6}} = 3 \text{ kV}$$

¡Esta es la tensión que se va a aplicar entre neutro y masa de los equipos BT!

La solución consiste en realizar las conexiones en estrella a partir de una sola toma de tierra (figura 7b), mejor que utilizar dos tomas de tierra (figura 7c).

Normalmente, un conductor eléctrico recorrido por una corriente anormal (de defecto) genera entre sus extremos una diferencia de tensión que puede ser perturbadora: es el acoplamiento por impedancia común.

Fijémonos en otro ejemplo relacionado con la instalación de un pararrayos. Supongamos que las estructuras del suelo, en parte metálicas, estén conectadas a la bajada del pararrayos (figura 8), con:

$L = 0,5 \text{ mH}/\text{m}$ (conductor plano)
 longitud del conductor = 3 m

$\hat{I} = 50 \text{ kA}$
 el ΔV entre plantas, será:

$$\Delta V = L \frac{di}{dt} = 1,5 \times 10^{-6} \times \frac{50 \times 10^3}{8 \times 10^{-6}} = 9,4 \text{ kV}$$

¡Evidentemente, la equipotencialidad en el edificio es muy dudosa!

Una de las soluciones consiste en multiplicar los conductores de bajada y separarlos de todo circuito eléctrico, tendiendo a conseguir una «campana de Faraday» (figura 9).

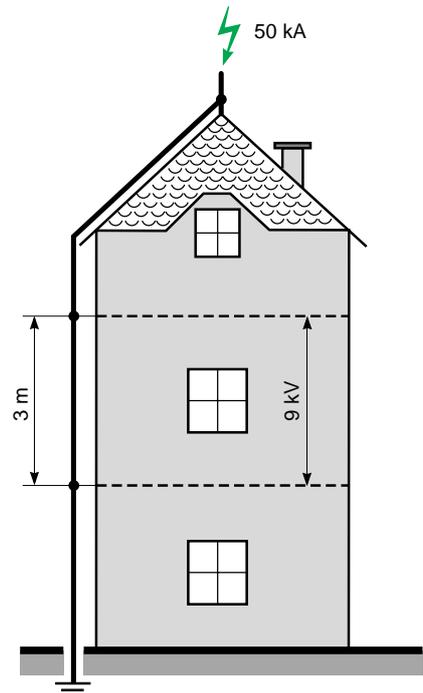


Fig. 8: Tensión «de modo común» generada entre dos plantas por una corriente de rayo de 50 kA.

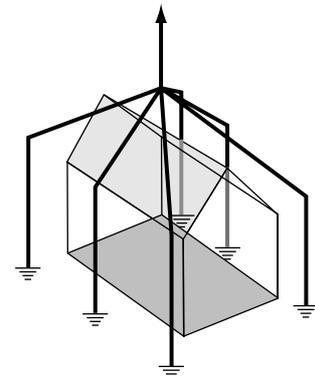


Fig. 9: Conductores de bajada dispuestos en «campana» de Faraday.

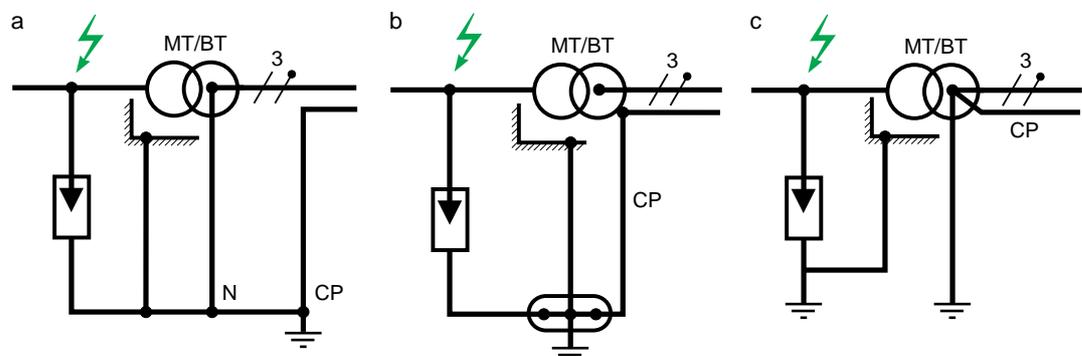


Fig.7: Evitar el acoplamiento por impedancia común frente a las perturbaciones con origen en MT.

Hay que destacar que para atenuar la penetración en el edificio de las ondas electromagnéticas resultantes de la descarga de rayo próxima, es necesario que la distancia entre los conductores que constituyen la caja sea inferior a la décima parte de la longitud de onda λ . Con un $t_m = 1 \mu s$:

$$f = \frac{0,35}{t_m} = 350 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$\frac{\lambda}{10} = \frac{1}{10} \times \frac{300 \times 10^6}{350 \times 10^3} = 85,7 \text{ m}$$

Acoplamiento capacitivo

El material de MT (24 kV) tiene una rigidez dieléctrica a la caída de rayo (onda 1,2/50 μs) de 125 kV. El coeficiente de transferencia capacitiva entre los 20 kV y los 400 V es generalmente de 0,04 a 0,1 (CEI 60071-2 indica que puede alcanzar 0,4).

Así, una onda de rayo de 100 kV, con un coeficiente de 0,07, transmite a la BT una onda homotética de 7 kV, en modo común.

Por este motivo:

- el material BT de un centro de transformación tiene generalmente un aislamiento reforzado (10 kV),
- los armarios eléctricos pueden soportar hasta 12 kV de la onda de choque (PRISMA y sus accesorios),
- y los interruptores automáticos de potencia tienen una resistencia dieléctrica de 8 kV en modo común, según la norma CEI 60947-2.

La transferencia capacitiva de perturbaciones es todavía más importante cuando la tensión y la frecuencia son elevadas.

Todo conductor «de potencia» transmite, por efecto capacitivo, una tensión parásita a los conductores «de corriente débil» que siguen el mismo recorrido a una distancia insuficiente.

Acoplamiento inductivo

Supongamos que un edificio esté equipado con un pararrayos y que tenga una línea «de corriente débil» larga, de unos 5 m de longitud y a unos 50 cm de distancia del cable de descenso del pararrayos (figura 10).

La superficie $S = L \times l$ (l = espacio que separa los dos conductores de «corriente débil» $\approx 5 \text{ mm}$) es de $5 \times 0,005 = 0,025 \text{ m}^2$.

Según el teorema de Ampère:

$$H = \frac{I}{2\pi R}; \quad \phi = B \cdot S \quad \text{y} \quad u = \frac{d\phi}{dt};$$

de donde:

$$\hat{u} = -\mu_0 S \frac{dH}{dt} = -\frac{\mu_0 S}{2\pi R} \frac{di}{dt}$$

o sea, con $di = 50 \text{ kA}$ y $dt = 8 \cdot 10^{-6} \text{ s}$, se tiene:

$$\hat{u} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0,025}{2\pi \times 0,5} \times \frac{50 \times 10^3}{8 \times 10^6} \approx 60 \text{ V}.$$

Esta tensión impulsional se sobrepone a la tensión útil (algunos voltios), interfiere en dicha línea e incluso llega a dañar los aparatos electrónicos comunicantes.

La solución es evitar los recorridos comunes y próximos entre los circuitos con gran di/dt y los circuitos de «corriente débil» y utilizar pares trenzados para la transmisión de información.

Los acoplamientos se deben sobre todo al modo de estar hechas las instalaciones. A título de ejemplo, se presentan, en el anexo 2, las medidas tomadas en un hospital para estar seguros de realizar los electroencefalogramas sin «parásitos».

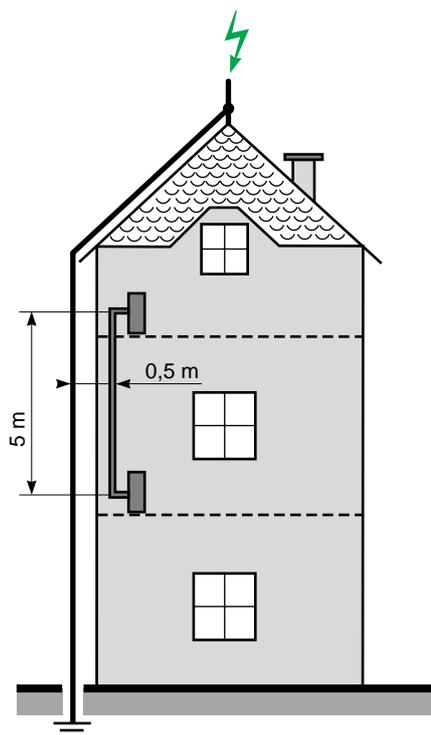


Fig. 10: El acoplamiento inductivo crea tensiones en modo diferencial en las líneas de señal.

4.3 Masas y tierras

Para facilitar la comprensión de los capítulos siguientes, damos algunas definiciones:

- tierra (profunda): masa conductora de la Tierra cuyo potencial eléctrico en cada punto se toma por convenio igual a cero,
- toma de tierra: cuerpo conductor o conjunto de cuerpos conductores en contacto íntimo con el suelo y que asegura una conexión eléctrica con él,
- red de tierra: conjunto de conductores de protección (CP o PE) conectado a la toma de tierra, cuyo objeto es evitar la aparición de una tensión peligrosa entre las masas eléctricas y la tierra en caso de defecto de aislamiento (contacto indirecto),
- masa eléctrica: parte conductora de un material eléctrico que puede quedar con tensión cuando se produce un defecto de aislamiento,
- masa de acompañamiento: estructura de masa o conductor, (plancha mallada, electrocanal metálico o blindaje...) que acompaña de principio a fin a un cable de «corriente débil» al que

protege para conseguir reducir los acoplamientos electromagnéticos (AF) o los acoplamientos por impedancia común,

- masa funcional: parte conductora de un material electrónico que tiene una misión de pantalla y, frecuentemente además, de referencia de potencial (0 voltios). Un material de clase II no tiene masa eléctrica, pero puede tener una masa funcional,

- redes de masas funcionales: conjunto de conductores de masa de acompañamiento y de estructuras conductoras de los edificios que tienen la misión de equipotencialidad y de pantalla de las perturbaciones.

Conviene destacar que un sistema de tierras tiene la misión de proteger a las personas de la distribución eléctrica (50 Hz) y que un sistema de masas tiene una misión funcional en la transmisión de informaciones y en la lucha contra las perturbaciones electromagnéticas (figura 11).

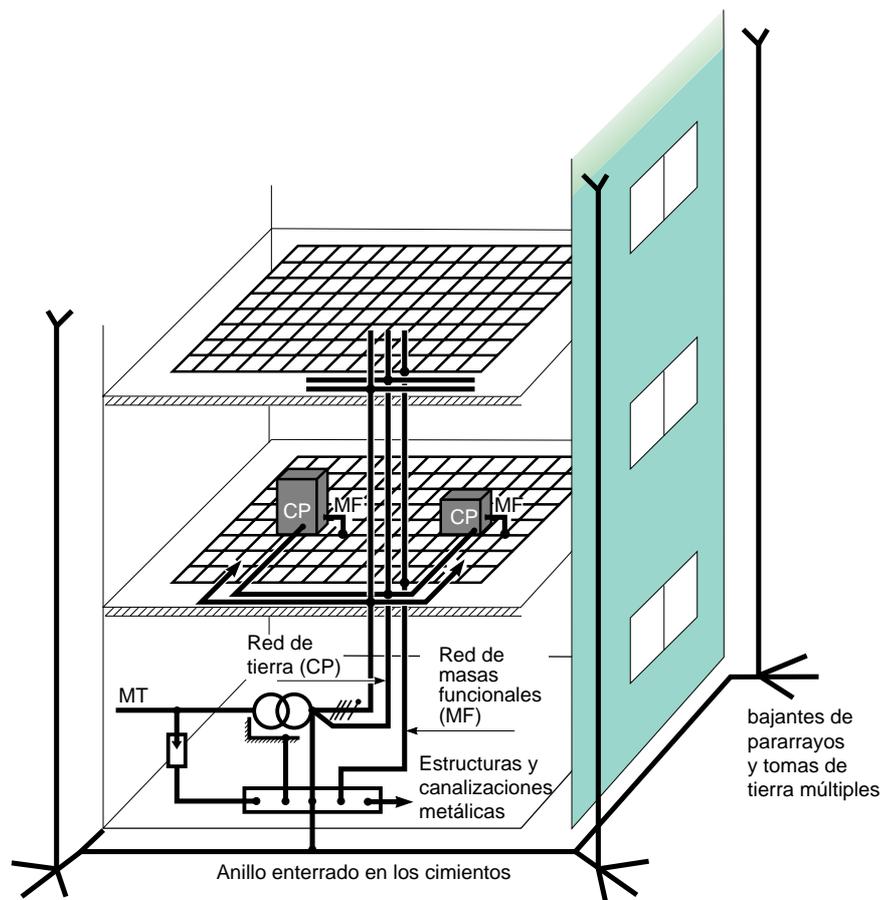


Fig.11: Ejemplo de sistema de tierra y masas.

4.4 Sistema ideal de tierra y de masa

El esquema de la **figura 11** es un ejemplo por los siguientes motivos:

- Las perturbaciones externas (de rayo, de maniobra o por descarga AT/masa) afectan mínimamente al equipamiento del edificio, porque:
 - hay muchos conductores de descenso del pararrayos y de tomas de tierra múltiples en forma radial,
 - las diferentes puestas a tierra «eléctricas» están conexionadas en estrella a una única toma de tierra.
- El conductor CP (sea el que sea el ECT) no afecta a las masas funcionales electrónicas, porque:
 - no hay acoplamiento por impedancia común porque la red de tierra -CP- está separada de la red de masas funcionales. En la práctica esta separación se realiza normalmente en las plantas, pero nunca para las columnas montantes,
 - su campo radiante puede reducirse mucho si está en el mismo cable que los conductores activos, colocado en una canal metálica con continuidad eléctrica que esté conectada, en el origen de la instalación, al CP.
- Todos los cables de «corriente débil» están colocados sobre una plancha mallada (efecto reductor) a cierta distancia de los circuitos de potencia (≥ 30 cm) para evitar los efectos del acoplamiento magnético. Sucede lo mismo para

atravesar el suelo (conexiones entre plantas) con los cables de «corriente débil» que circulan en una canalización metálica que sigue la conexión de «masas funcionales».

Nota

- Un conductor de masa de acompañamiento puede sustituir a un suelo mallado o completar su efecto para minimizar los efectos de bucles eventuales en AF.
- La red de tierra -CP- y la red de masas funcionales podrán constituir una misma y única red si se dan dos condiciones esenciales:

- ausencia de perturbaciones AF de gran dv/dt y gran di/dt , y
- que las corrientes de defecto en el CP o CPN sean pequeñas y sin armónicos.

Ciertos especialistas en CEM indican que, aunque no se cumplan completamente estas condiciones, las redes de masas y tierra pueden estar íntimamente conectadas. Pero con la condición de que los suelos, las estructuras, los conductos de cables estén **muy** mallados (búsqueda de la equipotencialidad total por división de corrientes y minimización de bucles).

Esta solución difícil de realizar a nivel de grandes obras (interconexión de los encofrados metálicos y de todos los herrajes) puede convenir para edificios muy especializados tales como centros informáticos y centrales telefónicas.

5 Los ECT y los sistemas electrónicos de comunicantes (SEC)

En el apartado anterior, hemos tratado de la coexistencia de las instalaciones electrotécnicas y los aparatos electrónicos. La situación se complica con el desarrollo de conexiones digitales que gobiernan los dispositivos electrónicos en los sistemas de comunicaciones de mando y control. En este tema, vamos a examinar más detalladamente los problemas que pueden plantear los ECT de las redes BT a los sistemas electrónicos comunicantes, pero recordemos que:

■ Antes del desarrollo de los microprocesadores, los sistemas comunicantes eran poco frecuentes y localizados (conexiones captador-aparato de medida). Utilizaban señales analógicas (0–10 V, 4–20 mA) de baja frecuencia, y eran sensibles a las perturbaciones de BF, de ahí la conexión de las masas en estrella para evitar los acoplamientos de modo común. Además, había pocas perturbaciones de AF y las tensiones inducidas eran fáciles de filtrar.

■ Hoy en día, las conexiones entre los dispositivos electrónicos son digitales (buses) a frecuencia elevada y con corrientes muy débiles. Estas conexiones son cada vez más numerosas y extensas (redes de ordenadores, captadores y accionadores «inteligentes», sistemas de gestión técnica, ...).

■ Según el ECT utilizado, la forma de conectar las masas funcionales y los recorridos relativos de las conexiones de «corriente débil» respecto a la distribución de potencia, se puede observar:

□ la existencia de perturbaciones por impedancia común debidas a corrientes de defecto en el CP,

□ la creación de bucles amplios (con conexiones digitales) y, por consiguiente, muy sensibles a las perturbaciones emitidas por los equipos emisores de señales (normales o parásitas) de alta frecuencia.

5.1 ECT, SEC y perturbaciones en baja frecuencia -BF-

Frecuentemente, teniendo los materiales electrónicos necesidad de una alimentación eléctrica, sus masas eléctrica y funcional se conectan a una red de tierra (CP) que sigue el camino arborescente de la red eléctrica.

Las perturbaciones BF aparecen en la red por acoplamiento de tipo impedancia común o por inducción (recorridos paralelos y próximos).

Acoplamiento por impedancia común

Según el esquema de la **figura 12**, cuando un defecto de aislamiento provoca la circulación de una corriente en el CP, entre los puntos de conexión de un aparato (1) y su captador (2), aparece una caída de tensión entre los puntos C y D. Esta tensión (u) aparece entre (1) y (2) y puede afectar a la transmisión de las señales.

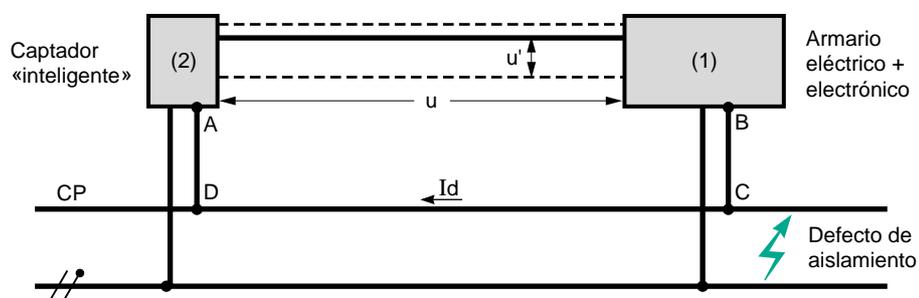


Fig.12: La caída de tensión en el CP, debida a la corriente de defecto, interfiere las líneas de los aparatos de comunicaciones (puede sobrepasar $U_0/2$ en el esquema TN, siendo $sección_{CP} < sección_{fase}$).

¡Si, por ejemplo, el cable es coaxial, la tensión (U) aplicada a la malla va a aparecer en modo diferencial (u') en la conexión! Este fenómeno aparece con más o menos importancia según el tipo de cable empleado y depende de su «impedancia de transferencia» en el dominio de la frecuencia considerada.

- En TN-C las corrientes que circulan por el neutro, y por tanto por el CPN, hacen variar mucho la referencia de potencial de los diferentes aparatos de un SEC. Este ECT no es conveniente; todavía menos si las corrientes armónicas circulan por el neutro, a menos que se separe totalmente el sistema de masas funcional y el sistema de tierra; lo que no es aconsejable para la equipotencialidad de la instalación.

- En TN-S pero también en TN-C, los defectos de aislamiento implican la circulación de corrientes de cortocircuito (con un gran di/dt) en el CP, que:

- modifican la referencia de potencial del SEC (ver ejemplo anterior),

- pueden provocar la circulación de corrientes perturbadoras en las estructuras metálicas de los edificios (de ahí la importancia de conectar las estructuras al borne principal de tierra más bien que a la red de tierras, en diversos puntos).

- En IT, al primer defecto, las corrientes de defecto son normalmente inferiores a un amperio y por tanto no perjudiciales. En caso de defecto doble, si el primer defecto no ha sido encontrado y eliminado, la situación es la misma que en el TN-S.

- En TT, es muy evidente que si los sistemas comunicantes están conectados a tomas de tierra diferentes, los problemas de equipotencialidad son tan importantes como en TN; por tanto, la existencia de sistemas comunicantes obliga a una única toma de tierra para todos los usos. En este caso, los defectos de aislamiento implican la circulación, por el CP, de corrientes de defecto de aproximadamente 20 A, poco perturbadoras (¡pero 20 kA en TN!).

Para evitar la aparición de estas perturbaciones entre aparatos comunicantes las soluciones son:

- evitar los ECT que hacen circular una gran corriente por el CP,

- aislar los 0 voltios electrónicos (masas funcionales) de las masas eléctricas (usando, por tanto, transformadores separadores, si es necesario); sin olvidar que los equipos de proceso de datos deben de llevar un transformador separador (CEI 60950) y que la NF C 15-100 § 707.545-2-1 exige que las masas funcionales de los aparatos de proceso de datos estén conectadas directamente al borne principal de tierra,

- utilizar materiales de clase II, lo que suprime la conexión al CP,

- evitar las tomas de tierra múltiples (en TT y en IT) si existe riesgo de corrientes erráticas por tierra.

Acoplamiento por inducción (diafonía inductiva)

Recordemos que, según las leyes del electromagnetismo, toda corriente que circule por un conductor genera un campo magnético. Si este campo es variable, provoca una variación de flujo, y por tanto, una tensión parásita en cualquier bucle próximo.

Para evitar la aparición de campo magnético:

- los conductores activos y el CP deben de estar en un mismo cable (los campos radiados por los diversos conductores se anulan).

Recordemos que las corrientes de defecto de aislamiento en TN pueden caracterizarse por $\Delta i \approx 50 \text{ kA}$ con $\Delta t \approx 5 \text{ ms}$,

- no es aconsejable permitir que las estructuras formen parte del circuito de retorno, porque si no, la suma vectorial de corrientes en el cable no es cero,

Y para limitar los acoplamientos, es necesario:

- evitar todos los recorridos paralelos y próximos entre conductores con gran di/dt (descenso de pararrayos, conductores de protección) y las líneas de «corriente débil»,

- utilizar para las líneas de «corriente débil» cables de pares trenzados (las tensiones desarrolladas en los bucles sucesivos se anulan).

5.2 ECT, SEC y perturbaciones en alta frecuencia -AF-

Los sistemas digitales repartidos en los edificios son muy sensibles a las perturbaciones de alta frecuencia permanentes o transitorias, radiadas o conducidas.

Las perturbaciones radiadas de AF

Estas perturbaciones son debidas a señales de frecuencia generalmente superior a 1 MHz.

Tienen por origen las soldaduras, los hornos de arco, los walkie talkies y otros emisores tales como los aparatos de corte de AT o los balastos electrónicos.

De hecho, existen muchas normas que limitan las emisiones de AF (CISPR 11 y EN 55011), pero no todos los aparatos las cumplen.

Si el «ruido» aportado por estas perturbaciones a los SEC es independiente del ECT, es absolutamente necesario evitar los bucles que las redes de «corriente débil» pueden formar con los circuitos eléctricos (**figura 13**).

En efecto, un campo electromagnético radiado induce una corriente en el bucle lo que genera tensiones parásitas en las transmisiones de

«corriente débil». Y cuanto mayor es el bucle, más importante es la perturbación.

El rayo, fenómeno natural, es el perturbador más importante; una descarga de rayo de 50 kA a 100 m de distancia puede producir una tensión de 100 V en un bucle abierto de 1 m² y, si el bucle está cerrado, una corriente mayor de 20 A.

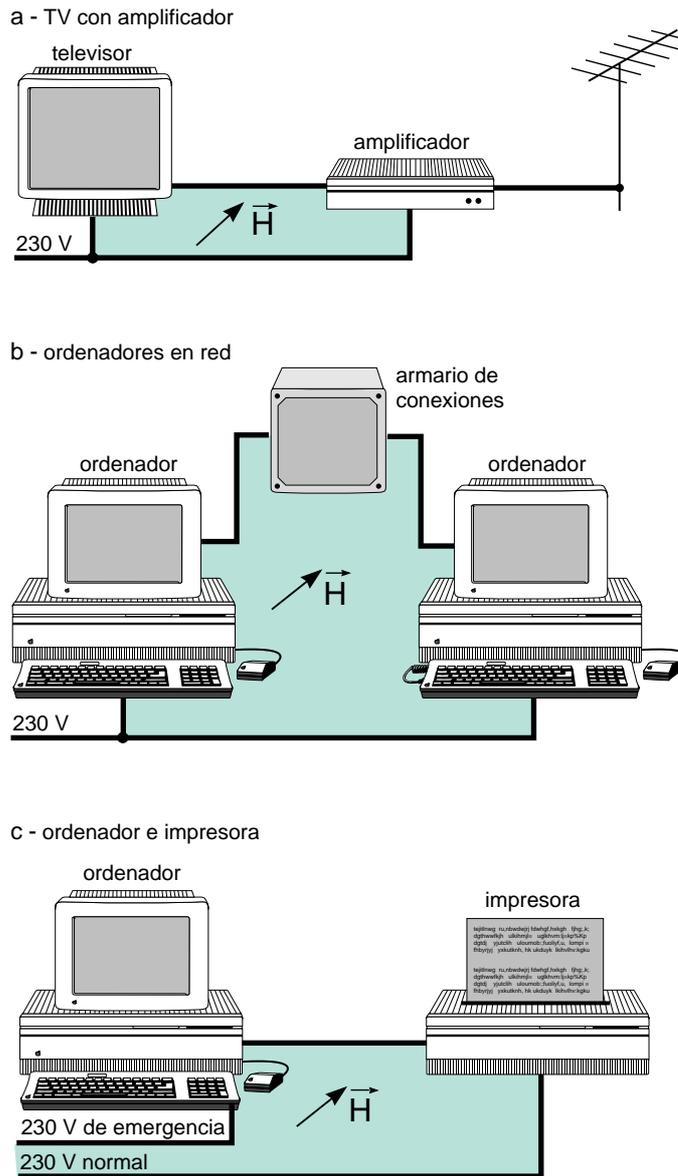


Fig.13: Ejemplos de bucles inductivos que provocan descargas en los sistemas electrónicos comunicantes.

En el esquema de la **figura 14**, si no hay conductor de acompañamiento, se desarrolla una tensión entre los dos extremos de la conexión de «corriente débil»; ésta es la que perturba las señales transmitidas.

El conductor de acompañamiento forma, con la línea de «corriente débil», un bucle inductivo de superficie mucho menor (S2) que la superficie inicial (S1+ S2), con lo que se consigue una gran reducción de la perturbación.

Se vislumbran varias soluciones según los materiales instalados:

- Utilizar un transformador-separador y evitar las capacidades parásitas entre los circuitos electrónicos y la masa eléctrica.

- Minimizar el área del bucle:

- sea haciendo seguir el mismo camino a los dos circuitos, el de «corriente débil» y el de alimentación, pero separados unos 30 cm (capítulo 4),

- sea añadiendo un conductor de acompañamiento si la conexión de «corriente débil» no está blindada.

Hay que destacar que los planos de masas tienen el mismo papel que el conductor de acompañamiento (canalizaciones metálicas, suelos finamente mallados).

- Utilizar para las conexiones digitales conductores trenzados (con reducción de la impedancia de transferencia) que estén puestos en una canaleta metálica que sirva como conductor de acompañamiento.

- En las situaciones difíciles prever un desacoplamiento entre los dos extremos de la conexión digital (entrada y salida) mediante optoacopladores o transformadores de impulsos y conectar el blindaje de la conexión digital a la masa electrónica (**figura 15**).

- Por último, en los ambientes muy perturbados, la solución es la transmisión por fibra óptica...

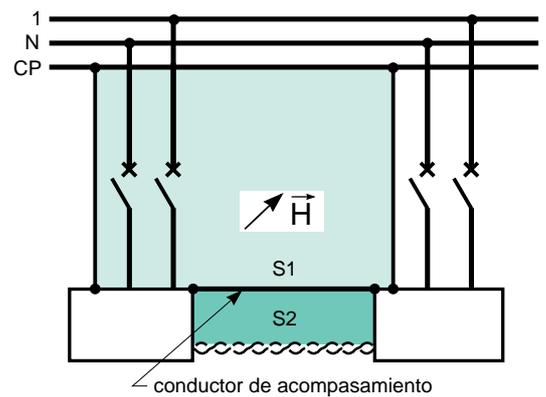


Fig.14: Reducción de la superficie del bucle por masa (o conductor) de acompañamiento (en este ejemplo las masas funcionales y el CP están conectados, lo que no es problema con el esquema TT).

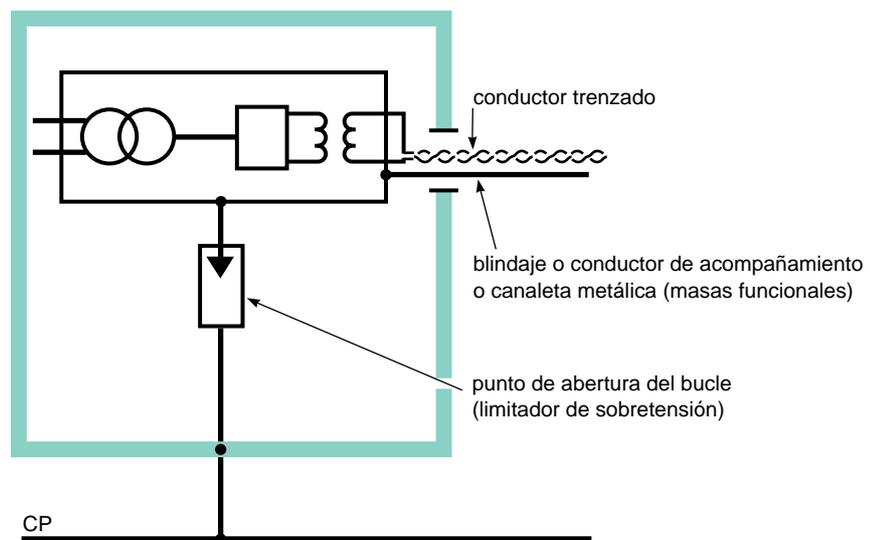


Fig.15: Ejemplo de formas de poner las conexiones para evitar las perturbaciones por efecto bucle en AF.

Las perturbaciones conducidas de AF

Estas perturbaciones son debidas a las señales de frecuencia típicamente comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz. Tienen por origen el rayo, las sobretensiones de maniobra y ciertas fuentes de alimentación conmutadas.

■ El rayo

En este caso el problema es idéntico, sea el que sea el sistema de ECT: la sobretensión de rayo que llega al origen de una instalación BT es esencialmente de modo común (afecta a todos los conductores activos). Queda atenuada por las capacidades parásitas conforme se aleja de la fuente. Así, cuando dos aparatos comunicantes se instalan a distancia -uno próximo y otro lejano a la fuente- aparece una ddp de AF entre las alimentaciones de estos dos aparatos, de ahí una posible perturbación de las comunicaciones digitales.

La respuesta más sencilla a este problema es instalar en el origen de la instalación de BT (cerca del transformador MT/BT) limitadores de sobretensiones entre cada conductor activo y tierra, excepto:

- en TN y TT, sobre el neutro porque el neutro está conectado a tierra (la sobretensión se deriva directamente a tierra); pero hay que estar atento a tener una conexión lo más corta posible entre la puesta a tierra del neutro y el CP (capítulo anterior),
- en IT, en el conductor al que está conectado el limitador de sobretensión (normalmente el neutro), porque este limitador elimina esta sobretensión.

Nota: En TN-S, IT y TT, puede ser necesario añadir en la instalación de BT pararrayos o limitadores de sobretensiones de tensión más baja, incluso sobre el neutro, debido al acoplamiento capacitivo entre conductores activos.

Para su instalación, ver el Cuaderno Técnico nº 179.

■ Las sobretensiones de maniobra (corte de corrientes inductivas)

Son, esencialmente, de modo diferencial. Todos los ECT quedan afectados de la misma forma. La única solución es atenuar estas sobretensiones en el momento en que se generan.

■ Las perturbaciones debidas a las fuentes de alimentación conmutadas

Ciertos equipos, tales como los balastos electrónicos de ciertas lámparas y tubos fluorescentes, los televisores, los ordenadores personales... utilizan alimentaciones con fuentes conmutadas (de modulación de ancho de impulso). Son generadores de corrientes

armónicas de AF que pueden perturbar los equipos sensibles.

Si éste es el caso, hay tres soluciones:

- Interponer un transformador de aislamiento con pantalla.
- Utilizar toroides de ferrita. Éstos, por efecto Joule, en los materiales magnéticos, atenúa las perturbaciones de hasta varias decenas de MHz (**figura 16**).
- Utilizar filtros, como por ejemplo, el de la **figura 17**: solución frecuentemente empleada por los fabricantes de aparatos sensibles.

El empleo de filtros tiene, sin embargo, ciertas dificultades que es importante conocer para ejecutar una instalación eléctrica y en especial para escoger el ECT.

Particularidades del uso de filtros

Los filtros tienen, generalmente, condensadores -Cy- cuyas características tecnológicas hacen que:

- los filtros estándar tienen, normalmente, una rigidez dieléctrica mucho menor que la de los equipos electrónicos.
- Estos filtros, por tanto, son más vulnerables a las sobretensiones en modo común: pueden

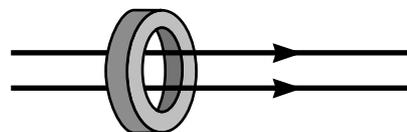


Fig.16: Un toroide de ferrita atenúa las interferencias en modo común.

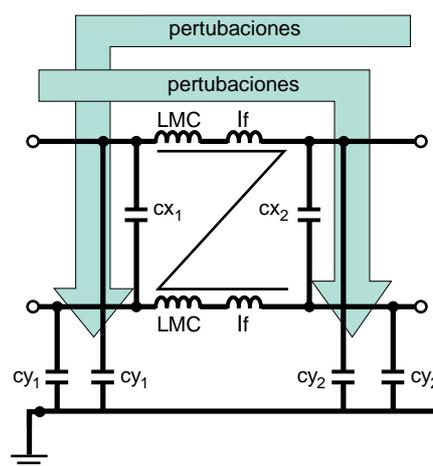


Fig.17: Filtro de alta frecuencia.

necesitar una protección proporcionada por un recortador de sobretensión (varistancia). Esto plantea de nuevo el problema de la coordinación de aislamientos en BT.

□ Estos filtros originan las corrientes de fuga a 50 Hz, que, aunque limitadas por las normas, deben de tenerse en cuenta para definir las protecciones que hay que instalar en una distribución eléctrica.

Estas corrientes de fuga varían en la práctica entre 0,2 y 1 mA para los aparatos enchufados a una toma de corriente, pero pueden ser mayores para los equipos fijos de potencia. Por ejemplo, existen filtros que tienen una corriente de fuga de 2,85 mA para una intensidad nominal de 50 A a 50 Hz. Sin embargo, ciertos equipos informáticos que cumplen la norma CEI 60950, (grandes ordenadores, equipos de cálculo que llevan la etiqueta «corriente de fuga elevada») pueden tener corrientes de fuga más importantes porque esta norma permite valores hasta el 5% de I_n , lo que explica la necesidad de aislar su distribución eléctrica, generalmente con el ECT-TN.

Influencia de los condensadores de filtro sobre los diferentes ECT

■ En régimen TN, no afectan a los interruptores automáticos ni a los fusibles, y por tanto, no afectan a las personas cuya protección aseguran estos aparatos.

■ En régimen IT, no afectan a los dispositivos de protección contra cortocircuitos. Pero, si los equipos electrónicos que llevan tales filtros son muy abundantes, pueden perjudicar el funcionamiento de los CPI a inyección de corriente de BF, por lo que puede ser mejor utilizar aparatos a inyección de corriente continua.

■ En régimen TT, las corrientes de fuga debidas a los filtros, cuando los equipamientos electrónicos son numerosos, pueden provocar el funcionamiento intempestivo de los DDR de alta sensibilidad (30 mA) y hasta casi los de media sensibilidad (0,3 A). Por este motivo las reglas del arte llevan, hoy en día, a no proteger más de 3 tomas de corriente con cada DDR de 30 mA.

Hay que destacar que los aparatos de protección han sido objeto de muchas mejoras.

Por ejemplo, actualmente los DDR:

□ son insensibles a las perturbaciones de frente abrupto y a las corrientes transitorias,

□ están inmunizados contra las corrientes unidireccionales pulsantes,

□ mediante un limitador de sobretensiones permiten derivar a tierra, sin disparar, las sobretensiones de rayo (diferencial ligeramente temporizado al disparo).

6 Conclusión

En cuanto a la protección de personas, los diversos ECT son equivalentes. Pero con el desarrollo de sistemas digitales de comunicantes y la proliferación de elementos perturbadores, el diseño de las instalaciones eléctricas exige prestar especial atención a la coexistencia de «corrientes débiles» y «corrientes fuertes», y por tanto, reconsiderar los modos de instalación y los sistemas de conexión a tierra.

A nivel de las instalaciones

En este aspecto, es necesario reducir al máximo las fuentes de perturbaciones (de potencia y radiantes) y la sensibilidad de los equipos, y especialmente las conexiones de «corriente débil».

Para esto:

- hace falta evitar conectar conductores de descenso de pararrayos y masas de media tensión a la toma de tierra del neutro (eliminación de sobretensiones de modo común resultante de la conexión por impedancia común),
- hace falta que el CP siga el recorrido de los conductores activos (reducción de los acoplamientos por inducción) y que sólo esté conectado, en la distribución, a las masas de los receptores eléctricos, sobre todo en TN,
- hace falta utilizar canalizaciones de cables metálicas equipotenciales respecto a la conexión equipotencial principal (reducción de la radiación de los cables eléctricos de potencia y efecto de conductor de acompañamiento y plano de masas para los circuitos sensibles).
- hace falta separar completamente las conexiones de «corrientes débiles» de los cables de potencia si están en el mismo soporte, o mejor, que estén colocados en canalizaciones separadas pero próximas.

En realidad, las conexiones de «corrientes fuertes» - «corrientes débiles» tienen frecuentemente trayectos diferentes. Por esto, hay que utilizar un conductor de acompañamiento (o similar) para los circuitos de «corrientes débiles», y por tanto, crear una red de masas funcionales.

A nivel de las ECT

El esquema TN-C, ya prohibido en los lugares de riesgo de incendio y de explosión, hay que desterrarlo porque las corrientes de neutro que circulan en el CPN afectan a la equipotencialidad.

Por otra parte, si una parte de las corrientes de neutro y de defecto circulan por las estructuras metálicas del edificio, estas corrientes «erráticas», así como el cable fase-CPN se convierten en generadores de campos magnéticos perturbadores.

Para el esquema TN-S, visto que tiene grandes corrientes de defecto perturbadoras, es aconsejable crear un circuito de masas funcionales, separado del circuito de tierra (CP) y, por tanto, realmente equipotencial (figura 10). Esto va a constituir, junto con los suelos conductores y las estructuras, un efectivo plano de masas derivador y caja de Faraday.

El esquema IT permite obtener la mejor continuidad del servicio y un valor de perturbación muy bajo; pero, teniendo en cuenta la posibilidad de un doble defecto, las prescripciones son las mismas que en TN-S.

El esquema TT es el que genera el menor nivel de perturbaciones en caso de defecto de aislamiento; permite continuar uniendo íntimamente las masas funcionales y las masas eléctricas y utilizar la estructura y la equipotencialidad.

En definitiva, de cara al nuevo problema de los sistemas comunicantes con líneas digitales, lo que hay que plantear es la equipotencialidad, en BF y AF, de todas las masas en toda la instalación.

La respuesta, en cuanto a los ECT a instalar, es:

- para todos los ECT: crear un plano de masas (suelos, canalizaciones metálicas para cables), interconectarlos y evitar los bucles de «corrientes fuertes» - «corrientes débiles»,
- para los ECT TN-S y IT (segundo defecto) separar las redes de tierra (CP) de la red de masa, o mallar muy bien todas las masas para dividir las corrientes de defecto de 50 Hz y las corrientes perturbadoras AF.

Una solución defendida generalmente por los anglosajones es conectar íntimamente todo lo que es metálico; no es aplicable más que en los edificios con estructura metálica y cuya construcción se haya controlado.

■ El esquema TT es el que responde mejor al problema propuesto debido a la proliferación de líneas digitales en los edificios; tiene como condición el que las tomas de tierra de los receptores estén interconectadas por el CP.

Anexo 1: Los ECT según la CEI 60364

Los tres ECT normalizados a nivel internacional están hoy en día regidos por un gran número de normas nacionales.

Estos tres esquemas de conexión se estudian con detalle en el Cuaderno Técnico 172, en el

que se explican, para cada uno de ellos, los riesgos que presentan y la aparatada de protección asociada.

De todos modos, conviene recordar de forma resumida el principio de funcionamiento de cada uno.

El esquema TN (figura 18)

- El neutro de transformador está puesto a tierra.
- Las masas de los receptores eléctricos están conectadas al neutro.

El defecto de aislamiento se convierte en un cortocircuito actuando la protección contra cortocircuitos que desconecta la parte del circuito que tiene el defecto (DPCC).

La tensión de defecto (masa/tierra profunda, llamada «contacto indirecto») es $\approx U_0 / 2$ si la impedancia del circuito de «ida» es igual a la del circuito de «retorno». Si es superior a la tensión límite convencional (U_L) que es normalmente de 50 V, necesita una desconexión tanto más rápida cuanto mayor se U_d que U_L .

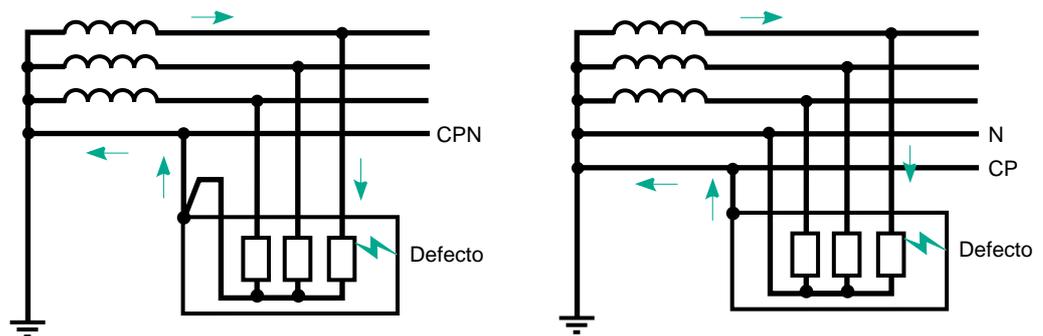


Fig. 18: Esquemas TN-C (a) y TN-S (b).

El esquema TT (figura 19)

- El neutro del transformador está conectado a tierra.
- Las masas de los receptores eléctricos están también conectadas a una toma de tierra.

La corriente de defecto de aislamiento está limitada por la impedancia de la toma de tierra.

La parte con el defecto la desconecta un dispositivo diferencial residual –DDR–.

La tensión de defecto es:

$$U_c = U_0 \frac{R_A}{R_B + R_A}, \text{ superior a la tensión } U_L; \text{ el}$$

$$\text{DDR actúa desde que } I_d \geq \frac{U_L}{R_A} .$$

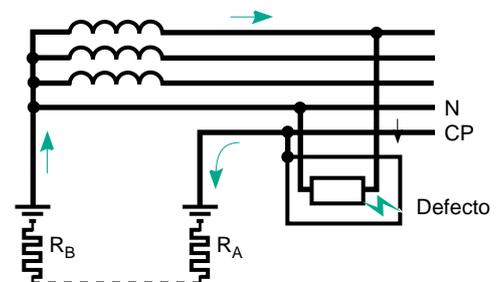


Fig. 19: Esquema TT.

El esquema IT (figura 20)

■ El neutro del transformador no está conectado a tierra. Teóricamente está aislado, pero, de hecho, está conectado a tierra a través de las capacidades parásitas de la red y/o por una impedancia elevada, de un valor $\approx 1\,500\ \Omega$ (neutro impedante).

■ Las masas de receptores eléctricos están conectadas a tierra.

Si se produce un defecto de aislamiento, de hecho circula una pequeña corriente a través de las capacidades parásitas de la red (1^{er} defecto en la figura 20).

La tensión desarrollada en las tomas de tierra de las masas (de unos pocos voltios) no es peligrosa.

Si se presenta un segundo defecto (figura 20), cuando el primer defecto no ha sido eliminado, hay una corriente de cortocircuito y son los DPCC los que aseguran la protección necesaria. Las masas de los receptores afectados pasan a tener aplicado el potencial creado por la corriente de defecto en sus conductores de protección (CP).

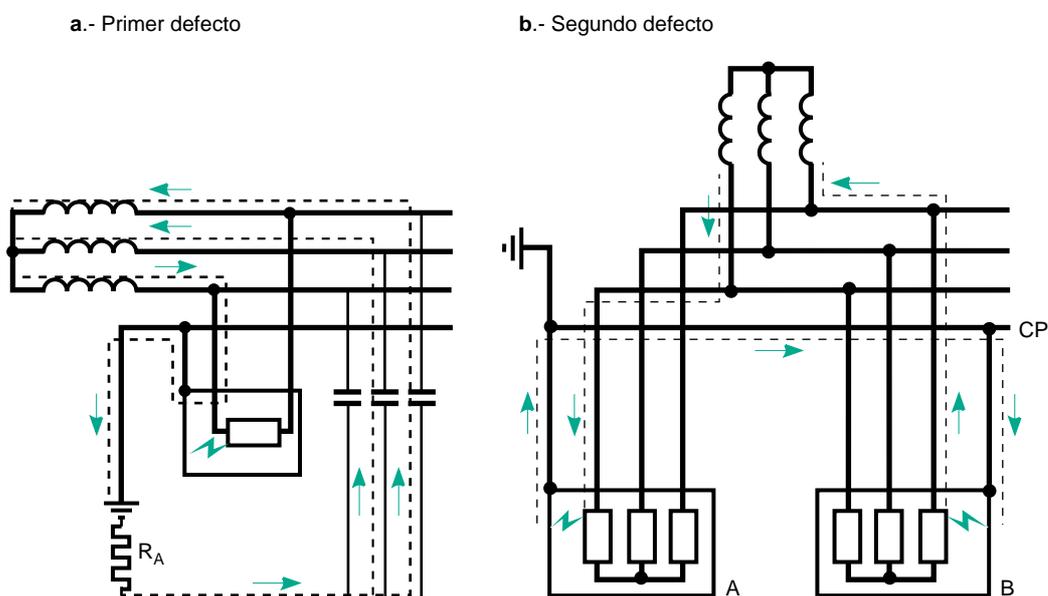


Fig. 20: Esquema IT.

Anexo 2: Ejemplo de preparación de un local libre de perturbaciones electromagnéticas

Se trata de una sala en la que se realizan electroencefalogramas.

Los aparatos utilizados para estos registros detectan tensiones de algunos μV , siendo por tanto especialmente sensibles a las perturbaciones electromagnéticas.

Algunos datos previos

In situ, se ha visto que:

- se detectan tensiones entre la camilla del paciente y la masa del monitor,
- se detectan tensiones entre las masas de los diversos componentes del sistema de medida, y entre éstas y las masas metálicas situadas alrededor del paciente,
- las medidas de campo entre las diferentes partes del local han sido:
 - campos eléctricos desde algunos mV/m hasta 150 mV/m ,

□ campos magnéticos de AF desde algunos mA hasta unos 10 mA (presencia de un scanner en las proximidades y un emisor de radiodifusión a cierta distancia),

- existen importantes campos magnéticos de BF,
- las conexiones monitor-captador forman bucles y antenas.

Los trabajos a realizar deben por tanto reducir, y hasta suprimir, a la vez los campos eléctricos, los campos magnéticos y las variaciones de tensión constatadas.

Lucha contra los campos eléctricos

- construcción de una «caja de Faraday» (faradización) colocando una rejilla en las paredes, el suelo y el techo (y una moqueta antiestática en el suelo),
- sustitución de los tubos fluorescentes por lámparas de incandescencia,

- sustitución de los reguladores con triacs por autotransformadores variables,
- antiparasitado de los interruptores.

Lucha contra los campos magnéticos

- desviación de una canalización de gran intensidad, con esquema TN-C que pasaba por el local,
- realización de un blindaje de las canalizaciones entre estancias que contenga las

canalizaciones eléctricas de gran potencia (la suma de corrientes no es nula en el cable, debido al hecho de que la corriente de neutro vuelve a la fuente, en parte, a través de las masas metálicas del edificio).

Lucha contra las variaciones de potencial de las masas y el CP de la estancia

- conexión a la caja de Faraday de los radiadores de calefacción central aislados del resto de la instalación por manguitos aislantes,
- desplazamiento fuera de la estancia de las tuberías de gas medicinal,
- desacoplamiento de la red de distribución eléctrica, mediante filtro de AF y transformador BT/BT con pantalla, de todas las tomas de corriente (anteriormente estas tomas de corriente estaban alimentadas desde diversos circuitos, de ahí el riesgo de creación de bucles),
- desacoplamiento, mediante autoinducciones o self, de todas las masas y del CP local (solución

más económica que volver a llevar el CP a la toma de tierra del edificio para realizar una «tierra sin ruido»).

La red eléctrica de esta estancia especializada se ha pasado del esquema TN-C al esquema TT impedante, con riesgo nulo frente a los contactos indirectos (Z_L sustituye a R_B).

En este ejemplo (figura 21), que corresponde a un caso real, la acción de un especialista cualificado ha permitido aplicar la mayoría de las soluciones que permiten evitar cualquier perturbación de los equipos electrónicos sensibles; esto es lo que se hizo en este caso.

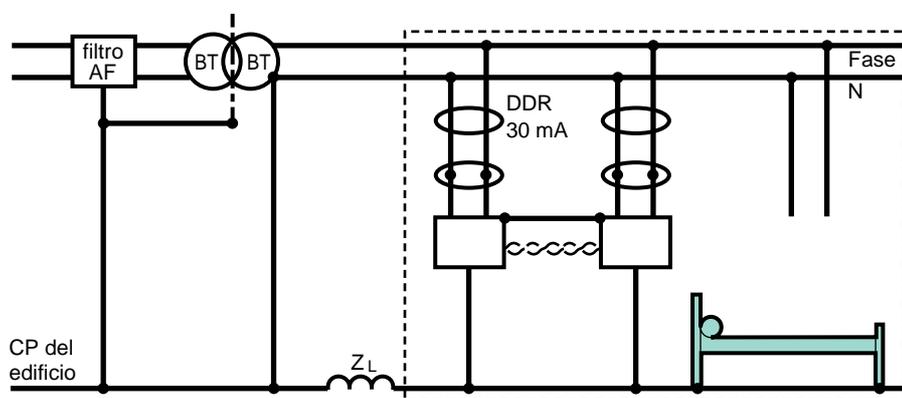


Fig. 21: Alimentación de un local sin interferencias electromagnéticas.

Bibliografía

Normas y decretos

- CEI 60071-2: Coordinación del aislamiento - 2ª parte: Guía de aplicación.
- CEI 60146-4: Convertidores con semiconductores - 4ª parte: Método de especificación de prestaciones y métodos de ensayo de las alimentaciones sin interrupción.
- CEI 60364: Instalaciones eléctricas en edificios.
- CEI 60947-2: Aparata de baja tensión - 2ª parte: interruptores automáticos.
- CEI 60950: Seguridad de los equipos de proceso de datos, incluidos los equipos de ofimática.
- Serie CEI 61000: Compatibilidad electromagnética.
- CISPR 11: Límites y métodos de medida de las características de las perturbaciones electrónicas de los aparatos industriales científicos y médicos a frecuencia radioeléctrica.
- NF C 15-100: Installations électriques à basse tension.

Cuadernos Técnicos Merlin Gerin

- La compatibilidad electromagnética. J. DELABALLE. Cuaderno Técnico nº 149.
- Las perturbaciones por armónicos en las redes industriales y su tratamiento. P. ROCCIA, N. QUILLON. Cuaderno Técnico nº 152.
- Armónicos aguas arriba de los rectificadores de los SAI. J.N. FIORINA. Cuaderno Técnico nº 160.
- El rayo y las instalaciones eléctricas de AT. B. de METZ NOBLAT. Cuaderno Técnico nº 168.
- Los esquemas de conexión a tierra en BT (regímenes de neutro). B. LACROIX, R. CALVAS. Cuaderno Técnico nº 172.
- Evolución y situación mundial de los esquemas de conexión a tierra. B. LACROIX, R. CALVAS. Cuaderno Técnico nº 173.
- Sobretensiones de rayo en BT: coordinación del aislamiento. CH. SERAUDIE. Cuaderno Técnico nº 179.