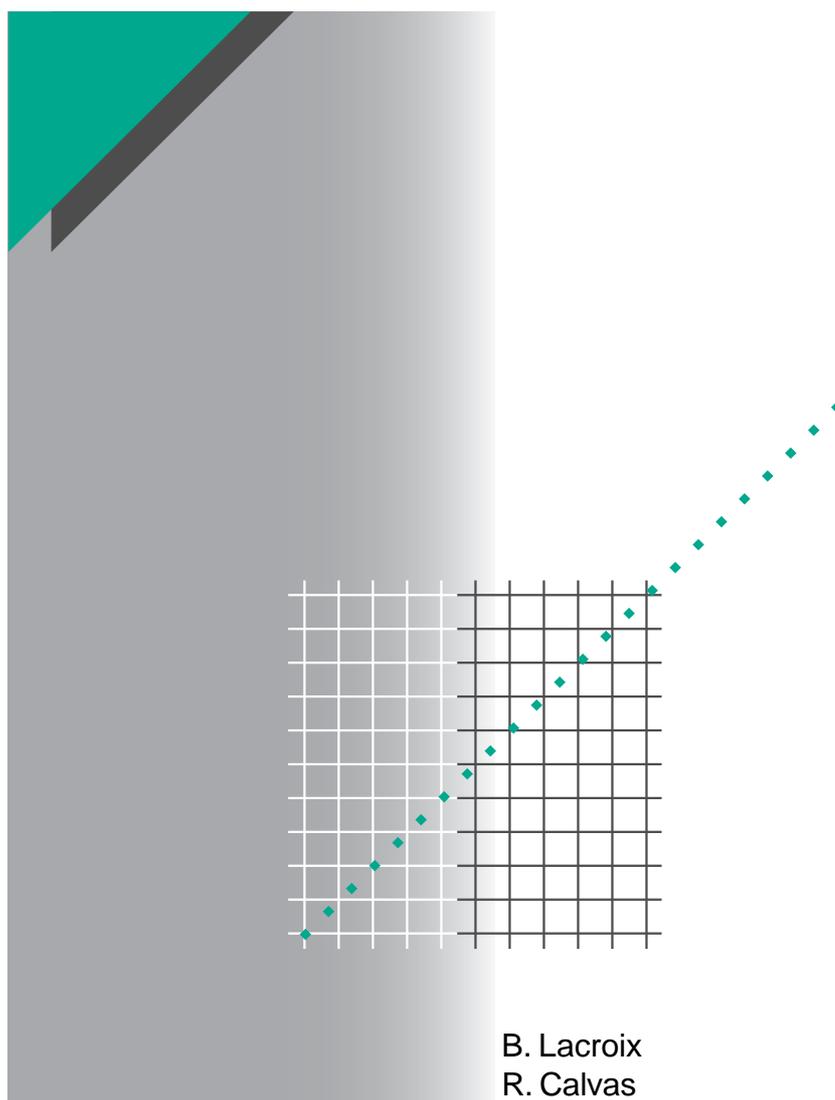


Cuaderno Técnico nº 173

Los esquemas de las conexiones a tierra en el mundo y su evolución



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 complementen 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» de **Schneider Electric España S.A.**

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 173 de Schneider Electric».

Cuaderno Técnico nº 173

Los esquemas de las conexiones a tierra en el mundo y su evolución



Bernard Lacroix

Ingeniero ESPCI (Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle de Paris) ha trabajado durante 5 años en Jeumont Schneider donde ha participado, entre otros, en el desarrollo del variador de velocidad con troceador del TGV.

Entró en Merlin Gerin en 1981. Ha sido técnico comercial del sector de onduladores (SAI) y después responsable comercial del área de protección de personas.

Desde 1991 tiene la responsabilidad de la prescripción en el campo de la distribución de potencia BT.



Roland Calvas

Ingeniero ENSERG 1964 (Ecole National Supérieure d'Electronique et Radioelectricité de Grenoble) y Diplomado por el Institut d'Administration des Entreprises, entró en Merlin Gerin en 1966.

A lo largo de su actividad profesional, ha sido responsable comercial y después responsable de marketing del sector de la protección de personas.

Actualmente, está dedicado a la comunicación técnica del Groupe Schneider.

Trad.: Juan Antonio Pérez

Original francés: setiembre 1 998

Versión española: octubre 2 000



Terminología

CEM: Compatibilidad Electromagnética.

CPI: Controlador Permanente de Aislamiento.

CR: Protección Corto Retardo, (protección contra las sobrentensidades de cortocircuito por disyuntor con disparador rápido).

DDR: Dispositivo Diferencial Residual.

DLD: Detector Localización de Defecto.

DPCC: Dispositivo de Protección contra los Cortocircuitos (disyuntores o fusibles).

ECT: Esquema de Conexiones a Tierra.

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

Electrocución: Electrización que causa la muerte.

GTB: Gestión Técnica de los Edificios.

GTE: Gestión Técnica de la distribución de Energía eléctrica .

GTP: Gestión Técnica del Proceso (automatización de...).

I Δ n: Umbral de funcionamiento de un DDR.

U_L: Tensión límite convencional (tensión de contacto máxima admisible) o de seguridad.

MT/AT(A): Media Tensión: 1 a 35 kV según CENELEC.

Alta Tensión de clase A: 1 a 50 kV .

Los esquemas de las conexiones a tierra en el mundo y su evolución

Tras una introducción histórica sobre el nacimiento de los **Esquemas de las Conexiones a Tierra –ECT–**, el lector encontrará en este Cuaderno Técnico información sobre las prácticas de algunos países en el ámbito de la media tensión, de cabinas MT/BT, pero sobre todo en distribución BT pública, industrial y terciaria.

Las instalaciones eléctricas evolucionan, la electrónica está presente por todos lados; ello nos lleva a echar una nueva mirada a los ECT (regímenes de neutro) utilizados en BT; y, por qué no, a predecir una evolución que deberá aproximar los esquemas TN-S y TT.

Los criterios de elección de los ECT han cambiado... aconsejamos a aquellas personas que conocen poco los ECT normalizados por la CEI 60364 que lean antes el Cuaderno Técnico nº 172.

Terminología

1 Repaso de los ECT normalizados	1.1 Histórico	p. 6
	1.2 Aparición de los regímenes de neutro	p. 8
	1.3 Los ECT de la CEI 60364	p. 10
2 Esquemas de las conexiones a tierra en el mundo	2.1 Generalidades	p. 12
	2.2 Influencia del ECT en MT	p. 12
	2.3 ECT en BT	p. 14
	2.4 Los ECT de redes BT privadas, en algunos países	p. 16
3 Evolución y elección de los ECT	3.1 Evolución de las instalaciones eléctricas	p. 20
	3.2 ECT y perturbaciones de sistemas electrónicos	p. 20
	3.3 Evolución de los ECT	p. 22
	3.4 Elección del ECT	p. 26
4 Conclusión		p. 29
Anexo: La Norma CEI 60364		p. 30
Bibliografía		p. 32

1 Repaso de los ECT normalizados

La utilización de la energía eléctrica se inicia prácticamente en 1900. Hoy en día las normas de instalación eléctrica están muy desarrolladas y tratan todos los aspectos importantes para la realización de una instalación correcta.

En BT, la norma de referencia es la CEI 60364, (anexo), y el reglamento de BT. Los normalizadores han puesto una especial atención en las disposiciones a aplicar para asegurar la protección de personas y bienes.

Esta preocupación ha conducido a la normalización de tres Esquemas de Conexión a Tierra –ECT– aún llamados regímenes de neutro.

Antes de repasar lo que son estos tres esquemas, es interesante hacer un pequeño repaso histórico.

1.1 Histórico

Riesgo eléctrico y protección de personas

■ En el siglo XVIII, la electricidad estática producida por el frotamiento de ciertos cuerpos aislantes es una distracción «científica» que

sobresaltan a los experimentadores ... en los salones.

Algunas experiencias peligrosas muestran la naturaleza eléctrica del rayo.



Fig. 1: Instalación de M. Desprez en el palacio de la Exposición de Munich.

Y en 1780, por azar, una «máquina electrostática» hace que se agiten las patas de una rana. Galvani observa la contracción de los músculos por la electricidad.

■ **En 1880**, para transportar la electricidad a varios kilómetros, la tensión continua deja el orden de los 100 V, (necesarios para el funcionamiento de las lámparas de arco) para subir a 1300 V (exposición de Munich de 1882) (**figura 1**), y después a 3000 V (conexión Grenoble-Vizille) en 1883.

Los defectos de aislamiento provocan fugas y cortocircuitos.

La tensión de 100 V CC puede, se dice, ser tocada sin peligro.

■ **En 1886**, primera instalación de distribución en corriente alterna en USA: alternador 12 A/500V CA y 16 pequeños transformadores que suministran los 100 V CA a los primeros abonados.

■ **En 1889**, en América del Norte es la guerra entre la corriente continua y la alterna:

□ Edison defiende la corriente continua, describe los peligros de la corriente alterna para las personas y hace ensayos con perros y caballos,

□ Westinghouse es partidario de la corriente alterna.

Edison propone un duelo a Westinghouse: cada uno será sometido a tensiones idénticas de 100, 150, 200 V, en corriente continua para Edison y en corriente alterna para Westinghouse; predicción: a 200 VCA Westinghouse ¡habrá muerto!

El duelo no tuvo lugar. Un telegrafista subido a un poste se electrocutó y ardió durante una media hora en pleno centro de New York.

■ **En 1890**, Kremler sube a la silla eléctrica y es electrocutado con..... corriente alterna.

Así, al final del siglo XIX, quedaba claro para la comunidad tecno-científica que la corriente eléctrica era peligrosa... para las personas, y la alterna más peligrosa que la continua.

1.2 Aparición de los regímenes de neutro

Son el resultado de una larga evolución guiada por la búsqueda de la mejor protección de las personas.

Desde 1880 a 1920, el transporte y la distribución de la electricidad se realizan en «neutro aislado», líneas desnudas, puestas fuera de alcance, soportadas por aisladores; ningún punto de la red está puesto voluntariamente a tierra. En viviendas, la tensión es de 100/110 V CA.

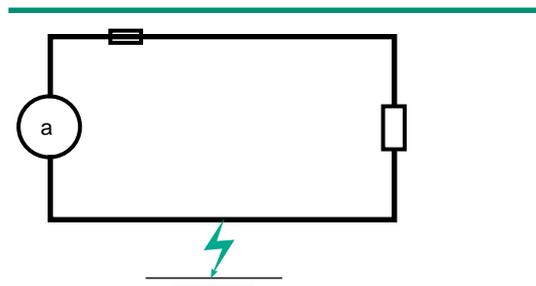
■ **En 1882**, una recomendación de la Société Britannique des Ingénieurs Télégraphistes et Electriciens, indica que, en las viviendas, si la tensión es > 60 V CA habrá que instalar aparata y conductores de manera que no haya riesgo de electrización.

En todo este periodo, los fusibles se funden y las personas «se electrizan» (figura 2), pero, teniendo en cuenta el nivel de tensión de distribución, hay pocas electrocuciones.

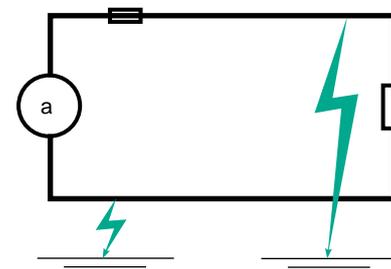
■ **En 1923**, en Francia, una «norma» relativa a las instalaciones eléctricas «impone» la puesta a tierra de las masas:

- carcasas fijas y móviles de motores, susceptibles de estar afectadas de un entorno no aislado, en instalaciones de corriente alterna de tensión superior a 150 V,
- aparatos electrodomésticos fijos y portátiles de potencia superior a 4 kW,
- cubiertas de calentadores de baño eléctricos instalados en cuartos de baño,
- piezas metálicas situadas en locales impregnados de líquidos conductores y que, tras un defecto de aislamiento, pudieran encontrarse en tensión.

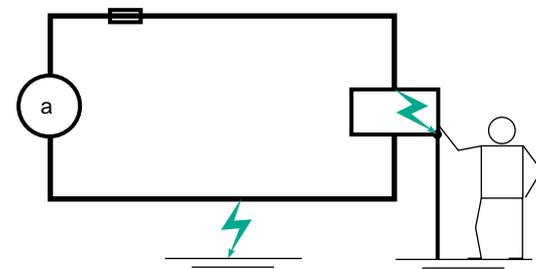
La norma no da ninguna indicación sobre las condiciones de puesta a tierra, ni sobre el valor de la resistencia de toma de tierra y no prevé ningún dispositivo de protección. Aunque incluye algunas reglas concernientes a los cortocircuitos, se trata únicamente de condiciones de instalación.



1^{er} defecto, no pasa nada



Defecto doble: el fusible funde si se producen defectos francos



Puesta a tierra de las masas de los receptores (1923) para evitar la electrización por «contacto indirecto»

Fig. 2: Inicialmente, la aparición del neutro aislado.

Para evitar la fusión de los fusibles en doble defecto de aislamiento, es deseable la advertencia rápida de la presencia del primer defecto. Este es el motivo por el que se instaló el primer controlador de aislamiento de seguridad positiva en las instalaciones industriales (**figura 3**). Si se apaga una lámpara es que hay un defecto entre la fase correspondiente y tierra.

Así nació el primer esquema de conexión a tierra: el neutro aislado.

Nota: el controlador permanente de aislamiento (CPI), de tres lámparas (en trifásico), es utilizado hasta 1955.

En 1951, los primeros CPI de inyección de corriente continua, se instalan en las minas: se controla el aislamiento de fases y del neutro.

En 1962, se fabrican los primeros CPI de transistores (Vigilhom TA) y en 1972 los primeros CPI de inyección de corriente alterna de baja frecuencia.

En 1927 un decreto obliga, en Francia, a la puesta a tierra del neutro del transformador en distribución pública (tensión mayor o igual a 150 V CA).

En esta época, la producción de electricidad en Francia es de unos 350 kWh/habitante/año, (siendo de 7 en 1900); la décima parte de esta producción es distribución en BT.

Las empresas eléctricas «alimentan» a varios abonados por cada transformador. Ahora bien, en neutro aislado, dos defectos a tierra en dos abonados diferentes no siempre provocan la fusión de los fusibles y existe realmente riesgo de «incendio», (existe el riesgo «contacto indirecto», pero se ignora).

Así, la aplicación del decreto de 1923 permite la puesta fuera de tensión más segura del abonado en defecto y tener así una red «saneada».

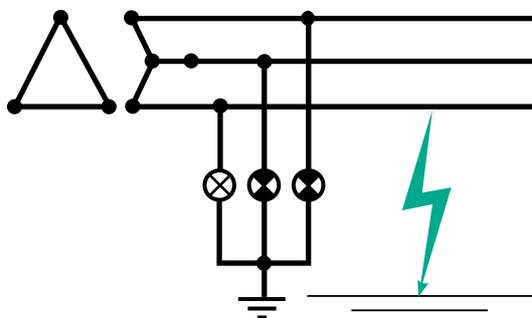


Fig. 3: Controlador de aislamiento, de lámparas, en la industria.

En 1935, el decreto sobre la protección de los trabajadores y la norma C 310, (utilizada por la norma C 11 de 1946) empieza a hablar del riesgo inherente al defecto de aislamiento. En este momento aparece la asociación «puesta a tierra de receptores y dispositivos de corte automático». Estos últimos pueden ser fusibles, «diferenciales» o relés voltimétricos de tensión masa/tierra (**figura 4**).

Es importante resaltar que los dispositivos de protección de umbral inferior a 30 A mejoran la seguridad.

Los primeros interruptores automáticos diferenciales se fabrican en 1954. Además de la protección de personas y de la desconexión de abonados, permiten luchar contra las conexiones «salvajes» (corriente entre fase y tierra en el momento de pasar de 127 V monofásica a 220 bifásica (un único devanado de medida de la corriente en el contador).

Así nació, en Francia, el neutro a tierra, pero se deberá esperar al decreto de 14.11.62 sobre la protección de los trabajadores y a la norma NF C15100 azul del 28.11.62 para que sea definida con precisión la impedancia del bucle de defecto, las tomas de tierra, en función del calibre de los fusibles o del umbral de los DDR, entonces fijado por la norma NF C62-410 como: 450 ± 200 mA.

La norma NFC 15 100 de 1962 oficializa así el neutro aislado y el neutro a tierra (medida B1) así como la puesta a neutro (medida B3).

Distingue entre contactos directos e indirectos. Lista las medidas de protección primarias (A) y los medios de protección por dispositivos de corte automático (B) sin dar, sin embargo, indicación de tiempos de funcionamiento.

Paralelamente a la norma, el decreto del 14.11.62 legaliza el neutro aislado y el neutro a tierra.

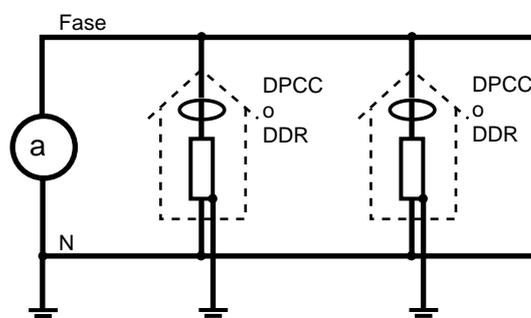


Fig. 4: Neutro a tierra en distribución monofásica.

En 1973, un decreto del Ministerio de Trabajo autoriza la puesta al neutro en Francia.

Entre 1962 y 1973 cada régimen de neutro tiene sus partidarios tanto en Francia como en otros países.

La puesta al neutro tiene la ventaja de basarse en principios sencillos; son los DPCC quienes desconectan los receptores (o abonados BT) que tienen un defecto de aislamiento.

La puesta al neutro (esquema TN) es empleada en ciertos países (no en Francia) en distribución pública. (Figura 5).

Su empleo, tratándose de protección de personas contra contactos indirectos, exige un control riguroso de las impedancias de bucle (sea cual sea el punto de defecto) para estar seguros del funcionamiento del DPCC que debe desconectar la parte en defecto en los tiempos otorgados.

La definición de estos tiempos por los expertos de la CEI en los años 70, en función de la impedancia del cuerpo humano y de los efectos fisiopatológicos, ha autorizado su empleo.

Conviene hacer notar que transformar un defecto de aislamiento en cortocircuito aumenta el riesgo de deterioro de los materiales y los riesgos de incendio. Al respecto recordemos que la protección está basada en la hipótesis de la evolución rápida de un defecto de aislamiento hacia el estado de defecto franco entre fase y neutro.

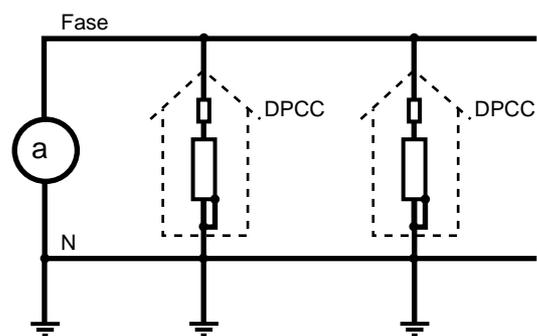


Fig. 5: Esquema TN-C en distribución pública monofásica.

1.3 Los ECT de la CEI 60364

Los tres ECT normalizados a nivel internacional se tratan actualmente en un buen número de normas nacionales: en Francia, por la norma de instalación BT NF C 15-100.

Estos tres regímenes de neutro se estudian con detalle en el Cuaderno Técnico nº 172, incluyendo para cada uno la presentación de riesgos y la aparatamenta de protección asociada.

No obstante conviene recordar sucintamente sus principios de protección.

El esquema TN (figura 6)

- el neutro del transformador está puesto a tierra,
- las masas de los receptores eléctricos están conectadas al neutro.

El defecto de aislamiento se transforma en cortocircuito y la parte en defecto es desconectada mediante la protección contra los cortocircuitos (DPCC).

La tensión de defecto U_d entre masa y tierra profunda, conocida como de «contacto directo» es aproximadamente igual a $U_0/2$ si la impedancia del circuito «ida» es igual a la del circuito «retorno». Superior a la tensión límite convencional (U_L), cuyo valor es, generalmente, de 50 V; necesita una desconexión tanto más rápida como mayor sea U_d frente a U_L .

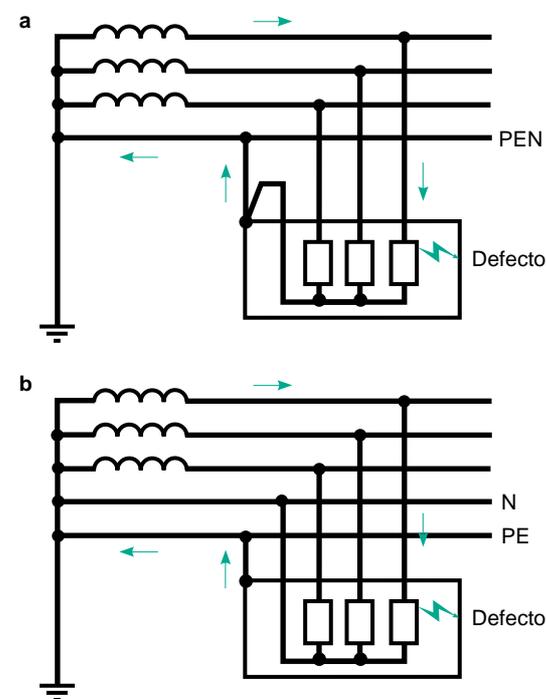


Fig. 6: Esquemas TN-C (a) y TN-S (b).

El esquema TT (figura 7)

- el neutro del transformador está puesto a tierra,
- las masas de los receptores eléctricos también están conectadas a una toma de tierra.

La corriente de defecto de aislamiento está limitada por la impedancia de las tomas de tierra y la parte en defecto está desconectada por medio de un Dispositivo Diferencial Residual (DDR).

La tensión de defecto es:

$$U_c = U_0 \frac{R_A}{R_B + R_A}$$

superior a la tensión U_L , el DDR entra en

acción a partir de que $I_d \geq \frac{U_L}{R_A}$

El esquema IT

- El neutro del transformador no está conectado a tierra.

Teóricamente está aislado; de hecho, está conectado a tierra por las capacidades parásitas de la red y /o por una impedancia de alto valor $\approx 1500 \Omega$ (neutro impedante).

- Las masas de los receptores eléctricos están conectadas a tierra.

Si se produce un defecto de aislamiento, se desarrolla una pequeña corriente debida a las

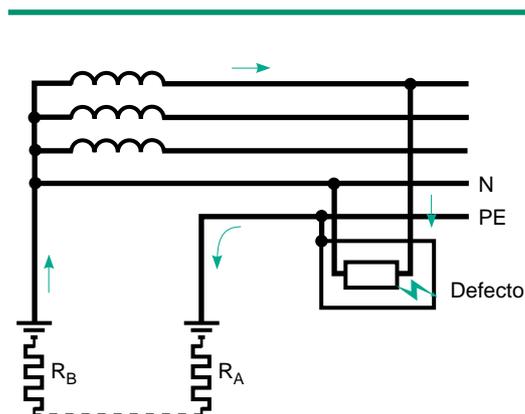


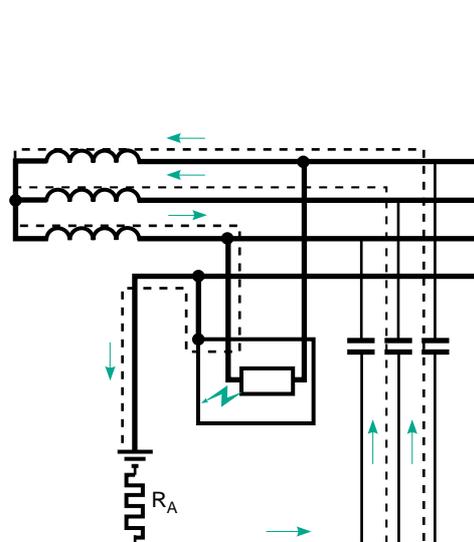
Fig. 7: Esquema TT.

capacidades parásitas de la red (figura 8a). La tensión desarrollada en la toma de tierra de las masas (a lo sumo algunos voltios) no presenta peligro.

Si aparece un segundo defecto (figura 8b) cuando el primer defecto no ha sido aún eliminado, se produce un cortocircuito y serán los DPCC quienes aseguran la protección necesaria.

Las masas de los receptores implicados se llevan al potencial desarrollado por la corriente de defecto en su conductor de protección (PE).

a - 1^{er} defecto



b - Defecto doble

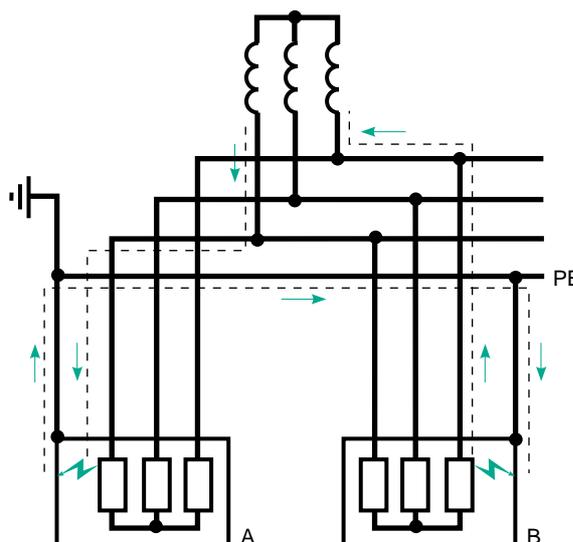


Fig. 8: Esquema IT.

2 Esquemas de las conexiones a tierra en el mundo

2.1 Generalidades

En todos los países industrializados, las redes y receptores BT está puestos a tierra por razones de seguridad frente al peligro que representa la corriente eléctrica para las personas.

Los objetivos son siempre los mismos:

- fijar el potencial de los conductores activos respecto a la tierra, en funcionamiento normal,

- limitar la tensión entre las masas de los materiales eléctricos y tierra, en caso de defecto de aislamiento,

- instalar dispositivos de protección que eliminen el riesgo de electrización, incluso de electrocución de las personas,

- limitar los incrementos de potencial debidos a los defectos de origen MT.

2.2 Influencia del ECT MT

Si los tres primeros objetivos anteriormente citados pertenecen al campo de los ECT BT, el cuarto hace hincapié en que la AT puede tener incidencias no despreciables en la seguridad de las personas y de los bienes en BT. Así, a nivel de estaciones MT/BT, un defecto fase MT/masa, o entre los arrollamientos MT y BT, puede suponer un peligro para los materiales y usuarios de una red BT.

En MT pública o industrial, salvo en casos especiales, el neutro no está distribuido y no hay conductor de protección (PE) entre las estaciones o entre estación y receptor MT. Así, un defecto fase / tierra se traduce en una corriente de cortocircuito monofásica limitada por la resistencia de las tomas de tierra y la presencia eventual de impedancias de limitación (generador homopolar).

La tendencia actual, en los diferentes países, va orientada hacia la limitación de las

corrientes de defecto homopolares de las redes MT; que permite:

- tener una mejor continuidad de servicio (disponibilidad de electricidad) autorizando el no corte tras defecto temporal,

- conectar o no las masas de la estación MT/BT y las del neutro BT para evitar riesgos a los usuarios y a los materiales BT.

La CEI 60364-4-42 indica que el esquema de las conexiones a tierra en una estación MT/BT debe ser tal que la instalación BT no esté sometida a una tensión, respecto a tierra, de:

- $U_0 + 250$ V: más de 5 segundos,

- $U_0 + 1200$ V: durante menos de 5 segundos, ($U_0 (U_0\sqrt{3}$ en IT). Esto significa que los

diversos equipos conectados a la red BT deberán poder soportar esta condición (figura 9a). La misma norma indica que si $R_P > 1\Omega$, la

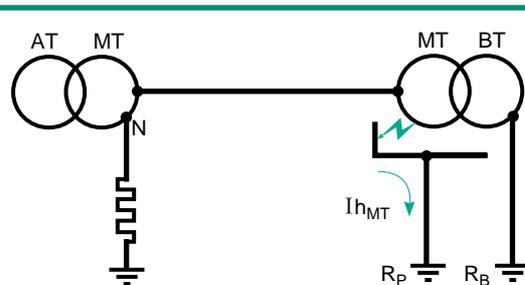


Fig. 9a: Si R_P y R_B están conectadas, la corriente de defecto hace elevar el potencial de las redes BT respecto a tierra.

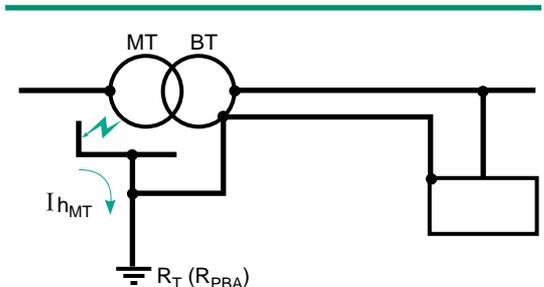


Fig. 9b: Las masas de los receptores BT son llevadas al potencial $I_{h_{MT}} \cdot R_T$.

tensión $R_p \cdot h_{MT}$ debe ser eliminada, por ejemplo:

- en menos de 500 ms para 100 V,
- en menos de 100 ms para 500 V.

Si este no es el caso, R_p y R_N deben ser distintas, sea el que sea el ECT BT. Esta regla, no siempre respetada en algunos países, lleva normalmente a la separación de las dos tomas de tierra (para redes MT que tengan una elevada corriente de defecto homopolar). Si todas las tomas de tierra (estación-neutro-utilizaciones) sólo forman una, se observa un aumento del potencial de las masas BT que puede ser peligroso (figura 9b).

La tabla de la figura 10 da algunos ejemplos relativos a la distribución pública en el mundo.

Muestra que, en muchos países, las tomas de tierra de la estación y del neutro deben ser separadas si su resultante no es inferior a 1Ω .

Para las redes MT industriales, el ECT IT impedante es el que se emplea más corrientemente. El «generador homopolar» suministra una corriente resistiva del orden de 2 veces la corriente capacitiva de la red (Cuaderno Técnico nº 62), y permite la utilización de DDR para asegurar la protección por desconexión del ramal en defecto.

País	ECT MT de las masas	Conexiones	Observaciones
Alemania 10 y 20 kV	aislado o compensado $I_d < 60 \text{ A}$	conectados si $I_d \times R_T < 250 \text{ V}$	$R_p < 2 \Omega$ ó 5Ω
Australia 11 y 12 kV	directo a tierra $I_d =$ algunos kA	separadas excepto si $R_T < 1 \Omega$	$R_p < 10 \Omega$
Bélgica 6,3 y 11 kV	impedancia de limitación $I_d < 500 \text{ A}$	separadas $d \geq 15 \text{ m}$	$R_p < 5 \Omega$
Francia 20 kV	impedancia de limitación	separadas excepto si R_T	
aéreo	$I_d \leq 300 \text{ A}$	$< 3 \Omega$	$R_p < 30 \Omega$
subterráneo	$I_d \leq 1000 \text{ A}$	$< 1 \Omega$	$R_p < 1 \Omega$
Gran Bretaña 11 kV	directo o impedancia de limitación, $I_d < 1000 \text{ A}$	separadas excepto si $R_T < 1 \Omega$	$R_p < 25 \Omega$
Italia 10-15 y 20 kV	aislado $I_d \leq 60 \text{ A}$ (más en realidad)	separadas	$R_p < 20 \Omega$
Irlanda 10 y 38 kV	aislado en 10 kV compensado en 38 kV $I_d < 10 \text{ A}$	separadas excepto si $R_T < 10 \Omega$	obliga la manera de realizar R_p
Japón 6,6 kV	aislado $I_d < 20 \text{ A}$	conectadas $R_T < 65 \Omega$	
Portugal 10 a 30 kV	impedancia de limitación	separadas excepto si $R_T < 1 \Omega$	$R_p < 20 \Omega$
aéreo	$I_d \leq 300 \text{ A}$		
subterráneo	$I_d \leq 1000 \text{ A}$		
USA 4 a 25 kV	directo a tierra o por baja impedancia $I_d =$ algunos kA	conectadas	las tierras de la estación fuente, de la MT/BT y del neutro BT están conectadas

Fig. 10: Ejemplos relativos a la distribución pública - ECT MT.

2.3 ECT en BT

Los transformadores utilizados son, por regla general, Dy 11 (triángulo/estrella); sin embargo hay que señalar que para la distribución pública en USA y en Japón se emplea la distribución monofásica con punto medio (figura 11).

La gran mayoría de los países aplican o se inspiran en la norma CEI 60364 que define los ECT TN, IT y TT así como las condiciones de protección; lo mismo para la distribución pública como privada.

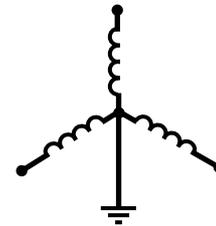
En distribución pública

Los regímenes más empleados son el TT y el TN; algunos países ,principalmente Noruega, utilizan el régimen IT.

La tabla de la figura 12 expone algunos ejemplos relativos a la distribución pública (abonados BT). En dicha tabla se muestra que los países anglosajones utilizan sobre todo el TN-C, mientras que el resto del mundo emplea el TT.

El TN-C precisa una costosa búsqueda de la equipotencialidad:

a - Trifásico estrella



b - Monofásico en punto medio

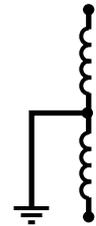


Fig. 11: Acoplamiento de los devanados secundarios del transformador MT/BT.

- Para el repartidor
- en USA, instalación suplementaria de un conductor a lo largo de toda la distribución MT y BT con puesta a tierra cada 400 m,
- en Gran Bretaña, se instalan múltiples tomas de tierra en el neutro de la red BT pública, lo que permite al abonado no tener su propia toma de tierra,

País	ECT BT	Observaciones
Alemania 230/400 V	TN-C y TT	El TN es el más empleado; R_T debe ser $< 2 \Omega$ toma de tierra en casa del abonado, igual en TN
Bélgica 230/400 V	TT	$R_u < 100 \Omega$ DDR 30 mA para las tomas de corriente
España 230/400 V	TT	$R_u < 800 \Omega$ con DDR 30 mA en cabecera de la instalación
Francia 230/400 V	TT	$R_u < 50 \Omega$, (100 Ω aproximadamente) DDR 30 mA para las tomas de corriente
Gran Bretaña 240/415 V	TN-C y TT	Nuevas instalaciones en TN-C (el 15 % de ellas en TN-C), la toma de tierra ($< 10 \Omega$) del neutro la suministrada por el distribuidor
Italia 230/400 V	TT	DDR con $I\Delta n$ función de R_u ($I\Delta n < 50/R_u$) Para abonados sin toma de tierra: DDR 30 mA
Japón 100/200 V	TT	$R_u < 100 \Omega$, empleo extendido de DDR 30 mA no se busca la equipotencialidad
Noruega 230/400 V	IT	Locales en materiales aislantes y malas tomas de tierra explican esta elección; empleo de DDR 30 mA en señalización y disparo del disyuntor de conexión si hay 2 defectos
Portugal 230/400 V	TT	$R_u < 50 \Omega$ (100 Ω a partir de 1995)
USA 120/240 V	TN-C	Puesta del neutro a tierra en casa del abonado BT (todas les tomas de tierra están conectadas hasta la estación fuente)

Fig. 12: Ejemplos relativos a la distribución pública - ECT MT.

□ en Alemania, aguas arriba de la conexión del abonado se realiza una toma de tierra para el neutro.

■ Para el abonado

□ en general, conexión al conductor de protección de la estructura metálica del edificio y de todas las canalizaciones metálicas.

En distribución BT industrial y terciaria

Los 3 ECT se emplean en diversos grados en todos los países:

■ El esquema TN-C es empleado sobre todo en los países anglosajones para las instalaciones estudiadas y realizadas con cuidado (adecuación DPCC/impedancias de bucle) correspondientes a inmuebles modernos donde todo lo que es metálico está conectado al conductor de protección y para los que los riesgos de explosión y de incendio son muy bajos (NFC15100). Actualmente se desaconseja en los locales equipados con sistemas electrónicos comunicantes (redes informáticas, GTC, GTP o GTB) dado que las corrientes en el neutro (PE) hacen variar las referencias de potencial.

Recordemos que el TN-C no se puede utilizar en cuanto la sección de los conductores activos sea $\leq 10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

■ El esquema TN-S también se utiliza en los países anglosajones y su empleo es cada vez más frecuente en Francia, especialmente en el terciario. Precisa de un conductor suplementario y de unos estudios y una realización esmerados, pero es de empleo más flexible; utiliza DDR para la protección de personas (en el caso de cables de gran longitud), para la protección de incendios así como para las extensiones sin cálculo de la impedancia de bucle.

Quedan corrientes de defecto de aislamiento, que son corrientes de cortocircuito, que pueden, si el PE está conectado en la distribución a las estructuras metálicas, crear perturbaciones electromagnéticas perjudiciales para el buen funcionamiento de los equipos electrónicos (suma no nula de corrientes en el cable y corrientes «vagabundas», Cuaderno Técnico nº 187).

En ciertos países, no estando protegido el neutro (disposición autorizada por la norma CEI 60364)...., puede deteriorarse por sobreintensidad especialmente cuando la red alimenta receptores que generan corrientes armónicas de rango 3 y múltiplos.

En ciertos casos, esta conducta lleva a duplicar la sección del neutro (USA)... En el futuro, la normalización internacional debería prescribir la protección sistemática del neutro, es decir, la protección (sin corte) del PEN en TN-C.

■ En el esquema IT, la vigilancia permanente de aislamiento permite la predicción del defecto, hoy en día facilitada por sistemas numéricos que pueden seguir a lo largo del tiempo la evolución del aislamiento derivación a derivación. Necesita la búsqueda y la eliminación del defecto y, por ello, sería deseable la presencia de electricistas «in situ».

En casi todos los países, el neutro aislado es empleado cada vez que es importante la continuidad de servicio o que esté en juego la vida de las personas (hospitales, por ejemplo).

■ El esquema TT es el más fácil de aplicar, las corrientes de defecto de aislamiento son 1000 veces más bajas que en TN o IT (2º defecto), de aquí su interés en referencia a los riesgos de incendio, explosión, desgaste de materiales y perturbaciones electromagnéticas.

Su punto débil es el riesgo de descarga en retorno tras un defecto de aislamiento en la estación lado MT si la corriente de defecto homopolar es importante y si las masas de la estación y del neutro BT están conectadas.

No existen estadísticas sobre el empleo de los ECT en el mundo, pero el ECT TT es, de largo, el más empleado.

Es, por otro lado, el régimen que ciertamente se adapta mejor a los países en vías de desarrollo (simplicidad).

Tras estas consideraciones sobre los tres ECT oficiales, es importante examinar su aplicación particular en algunos países.

2.4 Los ECT de redes BT privadas, en algunos países

En USA

Se utilizan los siguientes ECT: el TN-S (figura 13) es el más empleado, pero el IT y el IT impedante se emplean en fábricas de procesos.

■ En la aplicación del TN-S hay que observar dos consideraciones importantes:

□ El neutro no está protegido y tampoco cortado, lo que puede representar riesgos para las personas o bienes:

- el potencial del neutro respecto a tierra puede ser elevado en caso de defecto que tenga su origen en el nivel de la MT, lo que resulta peligroso,
- las corrientes armónicas de rango 3 y múltiplos de 3 se suman en el neutro y pueden provocar recalentamientos inadmisibles.

□ El conductor de protección normalmente está formado por las canaletas de los cables y los tubos metálicos que llevan los conductores activos:

- la impedancia de este PE es difícil de controlar y por ello la NEC § 230-95 (National Electric Code) considera que los DPCC no garantizan siempre la seguridad en caso de defecto de aislamiento,
- como que el PE no está ligado mecánicamente al conductor activo en fallo (cables sobre la canaleta que sirve de PE) los esfuerzos electrodinámicos debidos a la elevada corriente de defecto separan el cable de su soporte (las redes BT americanas son muy potentes). Esto puede provocar un defecto intermitente con el consiguiente riesgo de no funcionamiento del DPCC y un aumento del riesgo de incendio.

A destacar que cuando el PE es un conductor repartido, la puesta a tierra del neutro del transformador es, a veces, realizada a través de una baja impedancia, para limitar los I^2t en el punto de defecto ($I_d \leq 1000 \text{ A}$).

■ Protecciones utilizadas en TN-S

Para los americanos, las «protecciones de tierra» (GFP) utilizadas tienen esencialmente como objetivo la protección de bienes y la limitación del riesgo de incendio.

En este campo, el NEC impone el mínimo, es decir, la utilización de protecciones diferenciales en las instalaciones BT cuando se dan las 3 condiciones siguientes:

- neutro directamente puesto a tierra,
- tensión simple superior a 150 V e inferior a 600 V,

- intensidad nominal del aparato de cabecera superior a 1000 A.

□ Instalación de los DDR

Esta protección se puede efectuar de 3 maneras distintas:

- «Residual Sensing» (detección de corriente residual por adición vectorial de corrientes en los conductores activos) (figura 14). Este montaje, conocido como de «Nicolson», necesita de la instalación de un transformador de corriente en el neutro, estando éste en USA no protegido y no cortado.

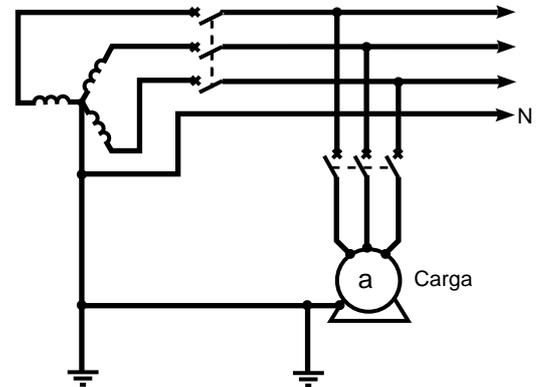


Fig. 13: Esquema del ECT TN-S en USA.

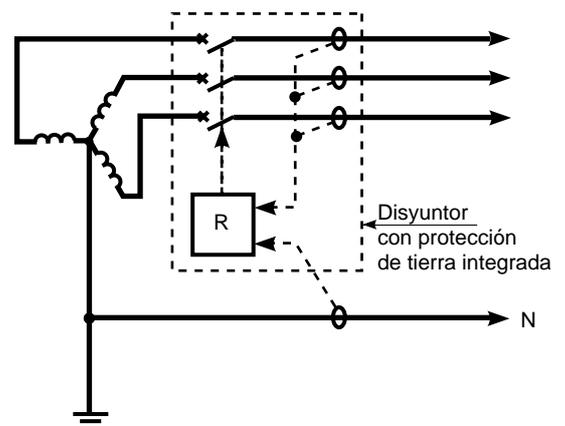


Fig. 14: Residual sensing.

– «Source Ground Return» (dispositivo diferencial residual situado en la conexión neutro-tierra) utilizable únicamente en cabecera de la instalación; permite poner en paralelo unas fuentes (figura 15).

– «Zero Sequence» (DDR clásico); permite detectar pequeñas corrientes y se puede emplear en diferentes niveles de la instalación para realizar una protección selectiva (figura 16).

□ Regulaciones del dispositivo de cabecera:

- umbral máximo: 1200 A,
- tiempo de disparo: no debe ser superior a 1 s para una corriente de defecto de 3000 A.

Nota

La NEC no precisa tiempos de disparo a 1200 A, pero usualmente se instalan protecciones con umbrales lo más bajos y lo más instantáneos posible.

■ Selectividad de las protecciones diferenciales

La NEC § 230-95 no obliga a la protección de tierra más que para el aparato de cabecera. Evidentemente es preciso instalar también esta protección aguas abajo a fin de evitar la puesta fuera de servicio de la instalación completa en caso de defecto a tierra. Entonces es necesario también asegurar la selectividad entre las diferentes protecciones. Este problema se puede regular de dos maneras:

□ Entre las protecciones tierra con una selectividad:

- cronométrica por temporización de 0 a 1 s,
- lógica o «Zone Selective Interlocking» recomendada en USA, permite no tener que emplear temporizaciones largas (reducción de la I^2t que la atraviesa) y realizar fácilmente la selectividad a 3 niveles o más.

□ Entre protección tierra y magnetotérmico

La selectividad se determinará por comparación del umbral de reglaje de la protección tierra aguas arriba con la curva $I = f(t)$ del reglaje magnetotérmico de la protección aguas abajo (figura 17).

El ahorro de empleo de protecciones de tierra en las divisiones se efectúa en detrimento del umbral de funcionamiento de las protecciones y, por ello, de riesgos de deterioro más importantes.

En la República Sudafricana

En la RSA, las instalaciones eléctricas industriales y terciarias son realizadas según las normas CEI. Se emplean los tres regímenes de neutro, en especial el TN-S.

País minero, la RSA utiliza en sus minas de oro, por ejemplo, un ECT mi-TN-S, mi-TT (figura 18), siendo los DDR las protecciones aplicadas.

Características de este ECT:

- el conductor de protección está repartido,
- las masas de los receptores se conectan al PE, que está puesto a tierra a nivel de estación MT/BT,
- una resistencia situada entre el neutro del transformador y la toma de tierra limita la corriente de defecto de aislamiento a menos de 20 A.

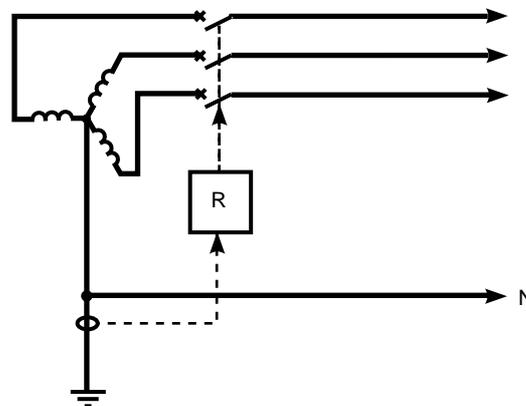


Fig. 15: Source ground return.

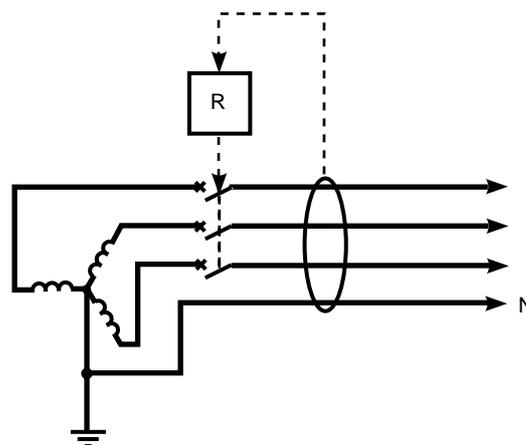


Fig. 16: Zero sequence.

Este esquema tiene sus ventajas e inconvenientes:

■ Ventajas

□ una tensión de contacto baja a pesar del empleo de una tensión de red 525/900 V,

$$\frac{U_0 \cdot R_{PE}}{R_{PE} + R_{Ph} + 27\Omega}$$

□ una pequeña corriente de defecto y por tanto una gran limitación del riesgo de incendio y de los daños para los receptores con defecto,

□ una protección selectiva por DDR con empleo de selectividad cronométrica.

El empleo de los DDR es tanto más interesante cuanto que la topología de la red BT está en perpetua evolución (¡impedancia de bucle!).

■ Inconvenientes

En caso de descarga MT/BT en el transformador, hay riesgo de elevación del potencial de los conductores activos de la red BT respecto a tierra y a las masas ($I_{hMT} \cdot R$); un limitador de sobretensión reduce este riesgo. Por otra parte, un relé diferencial situado en el circuito neutro/tierra, provoca la apertura instantánea del disyuntor MT si detecta una corriente de defecto superior a 20 A.

■ Disposición complementaria

La resistencia de limitación está vigilada por un relé ohmico:

□ si la resistencia está cortada, el ECT pasa a ser IT; la explotación puede continuar pero se produce la apertura por DDR de una ramificación (salida) en caso de defecto doble,

□ si la resistencia está en cortocircuito, el ECT pasa a ser TN-S y el primer defecto de aislamiento provoca la apertura de un disyuntor BT, a menos que el equipo de mantenimiento eléctrico haya actuado a tiempo.

Comparativamente al esquema TT o TN-S clásico, este ECT es mejor cuando la tensión U_0 es superior a 400 V (este es el caso de las minas) porque limita la tensión de contacto.

La preocupación por limitar las corrientes de defecto de aislamiento es bastante general, con diversas motivaciones:

- importante potencia de cortocircuito: USA,
- incierta impedancia de bucle: minas, canteras...

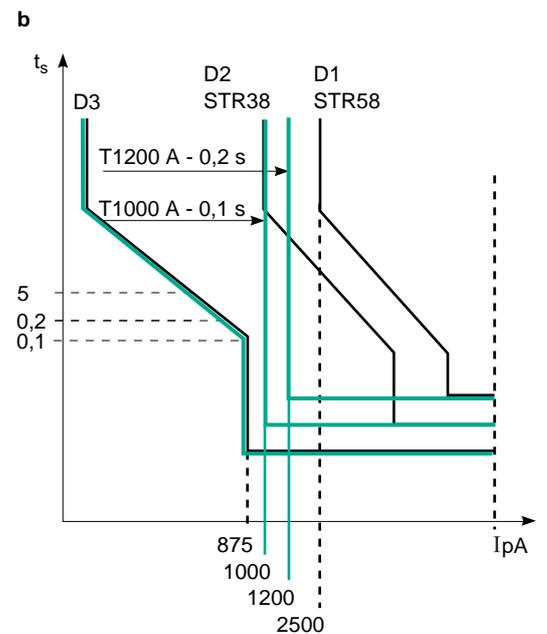
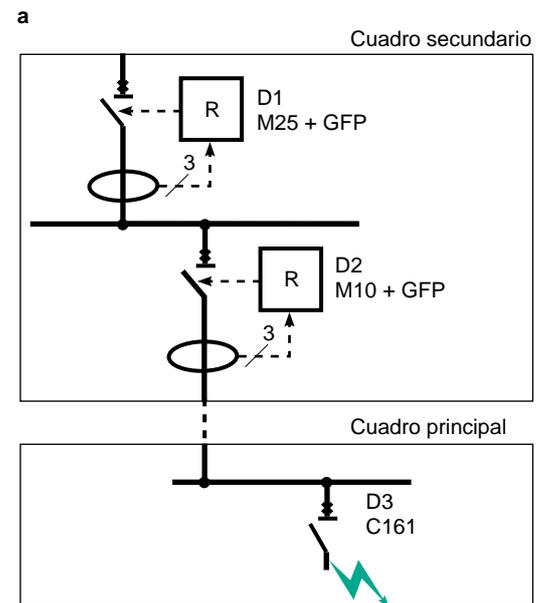


Fig. 17: Selectividad entre protección contra los cortocircuitos aguas abajo (D3) y protecciones de tierra (GFP) aguas arriba, en verde.

- limitación de desgastes y/o riesgos de incendio: procesos - minas - petroquímicas (British Petroleum -BP- realiza todas sus instalaciones en el mundo utilizando el TN-S impedante (ídem **figura 18**) con una resistencia de 3Ω en BT y 30Ω en 3,2 kV).

En China

¡China despierta! Pero durante mucho tiempo ha estado bajo la influencia técnica de la URSS, que es miembro de la CEI (el ruso es una de las lenguas oficiales de la CEI con el inglés y el francés). Por ello se conocen los tres ECT y son empleados en diversos grados:

- el IT se emplea cuando la continuidad de servicio es importante y cuando el riesgo para las personas es real (hospitales),
- el TT utilizado en distribución pública y en los sectores terciario e industrial, aunque cada vez menos posiblemente a causa de la poca utilización de la selectividad cronométrica,

- el TN-C, originario de la URSS, no es del todo empleado,
- el TN-S es el elegido cada vez más por los «Design Institutes» para grandes proyectos.

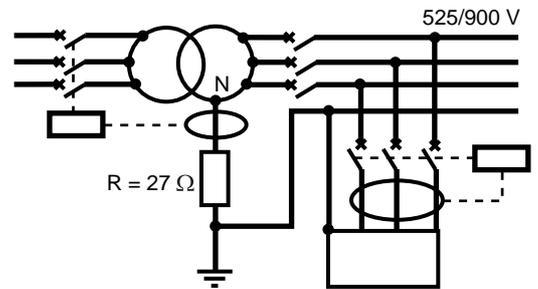


Fig. 18: ECT utilizado en RSA.

3 Evolución y elección de los ECT

3.1 Evolución de las instalaciones eléctricas

En **1960**, el sector terciario estaba muy poco desarrollado; las fábricas, generalmente importantes, normalmente estaban instaladas en las proximidades de las estaciones fuente. Los industriales tenían como principal objetivo el funcionamiento de los procesos; teniendo un servicio eléctrico competente, habían sido seducidos por el neutro aislado (el decreto del 14 de noviembre de 1962 participó grandemente en su promoción).

Poco a poco, la seguridad que aporta este régimen ha hecho que el legislador lo aplique en instalaciones terciarias donde la seguridad es primordial (por ejemplo en hospitales).

En **1990**, la energía eléctrica hace funcionar todo en las viviendas, el terciario y la industria. La distribución pública ha experimentado grandes progresos en cuanto a la disponibilidad de la energía eléctrica, aunque no siempre es suficiente, de ahí la utilización de grupos electrógenos y de las alimentaciones sin interrupción:

- el sector de la vivienda no acepta los cortes de corriente,
- el terciario es un importante consumidor de informática,
- la industria se instala en zonas rurales, es gran consumidora de automatismos y cada vez utiliza más convertidores estáticos; por ejemplo, los motores se controlan mediante variadores de velocidad y van conectados a un autómata.

Cada vez más y en todos los edificios, hay aparatos «inteligentes» controlados por sistemas de gestión técnica (proceso-

distribución eléctrica-utilidades del edificio). Estos sistemas numéricos, incluyendo la informática repartida, suponen que han de cohabitar débiles y elevadas corrientes; en otros términos, es indispensable la compatibilidad electromagnética (CEM).

Es el choque entre dos culturas tecnológicas:

- el electricista está incómodo por los armónicos generados por los convertidores estáticos. Dichos armónicos provocan el recalentamiento de los transformadores, la destrucción de los condensadores, corrientes anormales en el neutro,
- el electrónico pone filtros delante de sus productos, pero no siempre resisten a las sobretensiones y hacen bajar el aislamiento de las redes,
- el fabricante de lámparas ignora los problemas que pueden ocasionar las corrientes de puesta en tensión, los armónicos, las altas frecuencias generadas por ciertos balastos electrónicos,
- el informático (ídem para los proyectistas de sistemas de inteligencia repartida) se inquieta por la equipotencialidad de las masas y de los parásitos conducidos y radiados.

A dichos especialistas les resulta a veces difícil hacerse comprender, no disponen necesariamente de exposiciones coherentes... y son muy pocos los que conocen los ECT, sus ventajas y sus inconvenientes acerca de la evolución de las tecnologías anteriormente mencionadas.

3.2 ECT y perturbaciones de sistemas electrónicos

Las perturbaciones electromagnéticas son de naturaleza muy variada, pueden ser:

- permanentes u ocasionales,
- baja o alta frecuencia,
- conducidas o radiadas,
- de modo común o diferencial,

- de origen externo o interno a la red BT.

La elección del ECT se hace en base a:

- la sensibilidad ante las perturbaciones,
- la generación de las perturbaciones,
- los efectos sobre los sistemas de pequeñas corrientes.

Para el lector que desee mejorar sus conocimientos en este tema, señalamos los siguientes Cuadernos Técnicos:

- nº 149 - La Compatibilidad Electromagnética - CEM -,
- nº 141- Las perturbaciones eléctricas en BT,
- nº 177 - Los ECT y las perturbaciones electromagnéticas,
- nº 187 - Coexistencia entre corrientes elevadas - pequeñas corrientes.

Aquí sólo repasamos lo esencial, sin entrar en el comportamiento de los ECT frente a los defectos (50 Hz) con origen en la MT.

Frente a los armónicos

El TN-C se debe evitar ya que los armónicos de rango 3 y múltiplos de 3 circulan por el PEN (además de la corriente del neutro) y hacen que no pueda ser utilizado como referencia de potencial por los sistemas electrónicos comunicantes (sistemas de inteligencia repartida).

Además, si el PEN está conectado a las estructuras metálicas, éstas y los cables eléctricos se comportan como perturbadores electromagnéticos.

Nota

También se debe evitar el régimen TNC-S (TN-S aguas debajo de un TN-C) aunque los riesgos sean muy pequeños.

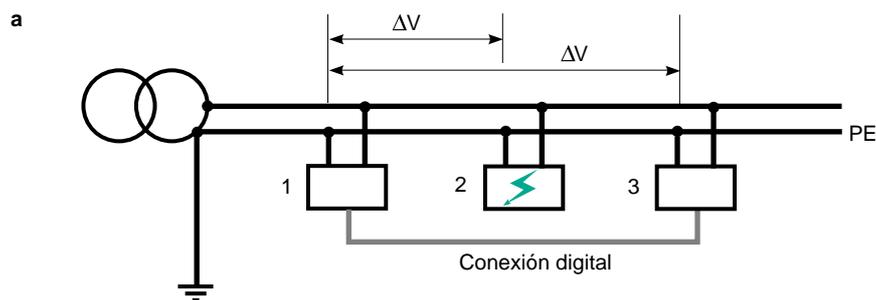
Frente a las corrientes de defecto

■ Cortocircuitos

Evitar separar los conductores activos, si no la I_{CC} crea, por el bucle así realizado, un impulso electromagnético;

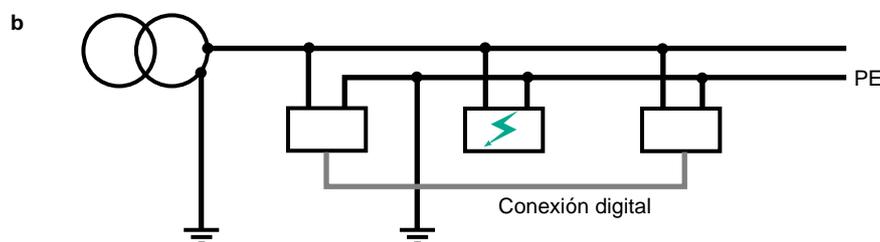
■ Defecto a masa eléctrica

El PE debe seguir lo más cerca posible a los conductores activos, o mejor, estar en el mismo cable multiconductores, si no aparecerá el efecto de bucle emisor. Este efecto es tanto o más importante cuanto más elevada sea la corriente de defecto; como ventaja frente al ECT



En TN: tras un defecto de aislamiento, la caída de tensión en el PE hace variar el potencial de referencia de los aparatos comunicantes.

Las masas de los aparatos 2, 3, ... están al potencial $\approx \frac{U_0}{2}$ mientras que los aparatos cercanos a la fuente están al potencial de tierra.



En TT: con una única toma de tierra de las masas de los receptores, todas las masas están al mismo potencial, también durante un defecto; no hay perturbaciones en las comunicaciones vía bus.

Fig. 19: Equipotencialidad del PE cuando hay un defecto de aislamiento.

TT, los ECT TN e IT (2º defecto) pueden desarrollar corrientes 1000 veces más importantes.

En TN y en IT hay que evitar conectar el PE a las masas metálicas en diferentes sitios en el edificio ya que las corrientes de retorno pueden tomar caminos variados y transformarse en antena emisora. En lo que hace referencia a la equipotencialidad de las masas, el TN y el IT (al 2º defecto) son equivalentes ya que el potencial de la masa en el punto de defecto sube brutalmente hasta $\approx U_0/2$ mientras que en el origen de la instalación queda a 0 V.

Todo esto conduce a algunos especialistas a prescribir en TN y en IT la realización de un circuito de masa baja corriente separado del circuito de tierra (PE), estando ambos conectados a la toma de tierra en el origen de la instalación BT.

El TT con PE distribuido en toda la instalación es el mejor desde este punto de vista (Id pequeña y misma referencia de potencial para todos los equipos comunicantes), (figura 19).

Frente a las sobretensiones de rayo y de maniobra

Estas sobretensiones, de modo común o de modo diferencial y de frecuencia de 1 kHz a 1 Mhz pueden estropear ciertos aparatos electrónicos si su alimentación no incluye un transformador de aislamiento de bajo acoplamiento capacitivo primario/secundario.

Frente a las sobretensiones de modo diferencial, todos los ECT son equivalentes, la solución consiste en:

- instalar reductores de sobretensión a nivel de los elementos perturbadores (por ejemplo, RC sobre bobina de contactor),
- proteger los materiales sensibles instalando directamente en sus bornes un limitador de sobretensión (varistancia, pararrayos ZnO).

Frente a las sobretensiones de modo común (rayo) conviene instalar pararrayos ZnO en el origen de la instalación BT con conexiones a tierra lo más cortas posibles. Aquí los ECT TN y TT pueden ser mejores que el IT pero las sobretensiones llegan también a las fases BT; en efecto, a las frecuencias consideradas, la impedancia fase/neutro de los devanados BT es muy elevada (las fases están «al aire» respecto a la tierra, aunque el neutro está conectado a ella).

Frente a las perturbaciones HF

Todos los ECT son equivalentes.

Para minimizar los efectos de las perturbaciones HF, sería deseable:

- utilizar el efecto caja de Faraday para el edificio (estructuras metálicas y plataformas de mallas) o para ciertos locales del edificio reservados a equipos sensibles,
- desconectar la red de masas (de estructura y funcionales) de la red de tierra (PE),
- evitar los bucles que pueden formar los circuitos corrientes elevadas y pequeñas de los aparatos comunicantes o situar en «efecto reductor» las conexiones de pequeñas corrientes (superficie de masas-envolventes/pantallas metálicas-masas de acompañamiento),
- evitar hacerlas ir en proximidad de cables de potencia y cruzamientos a 90º,
- utilizar cables trenzados o mejor trenzados blindados.

En este tema son escasas las normas existentes y normalmente están redactadas por electrónicos (normas CEM). La norma de instalación CEI 60364 (secciones 444 y 548) da, además, recomendaciones.

3.3 Evolución de los ECT

Evolución del TN

Este régimen de neutro se enfoca inicialmente hacia la simplicidad, la eficacia y el mínimo coste de instalación (p.e: el TN-S americano donde el neutro no está protegido).

La seguridad de las personas está asegurada y, en menor medida los bienes (incendio, deterioro de materiales eléctricos). La proliferación de la electrónica de potencia y de pequeñas corrientes aumenta y también lo hace la complejidad de su instalación.

Inspirado en el TT de los años 20, el TN ha sido la solución para controlar el valor de las corrientes de defecto y para asegurarse que cualquier defecto de aislamiento pueda ser eliminado por un DPCC.

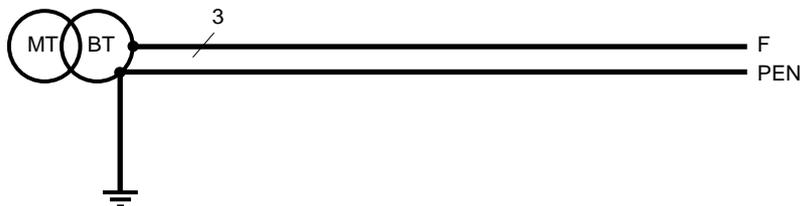
Se desarrolló en los países anglosajones donde el rigor de los proyectistas de instalaciones y de las empresas explotadoras es alto.

La evolución lógica es TN-C → TN-C-S → TN-S → TN-S con limitación de corriente de defecto

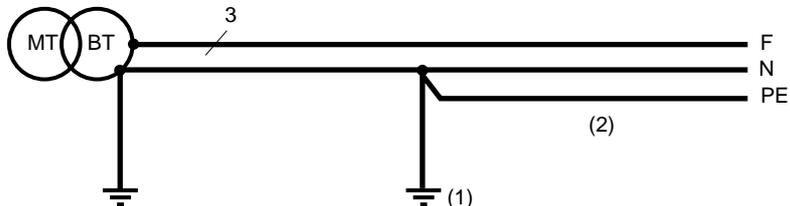
para limitar los riesgos de incendio, el deterioro de los receptores y los disfuncionamientos debidos a la generalización de la electrónica distribuida (figura 20).

Una encuesta realizada en Alemania en 1990 muestra que el 28% de los problemas eléctricos (electrónica) fueron debidos a la CEM.

a - ECT TN-C



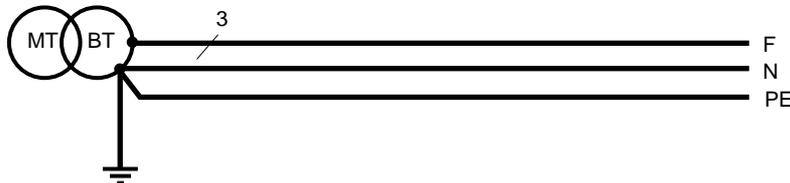
b - ECT TN-C-S



(1) Nueva toma de tierra deseable si el transformador está alejado (distribución pública), mejora la equipotencialidad local respecto a tierra; solución utilizada en Alemania y en pruebas en Francia (en DP).

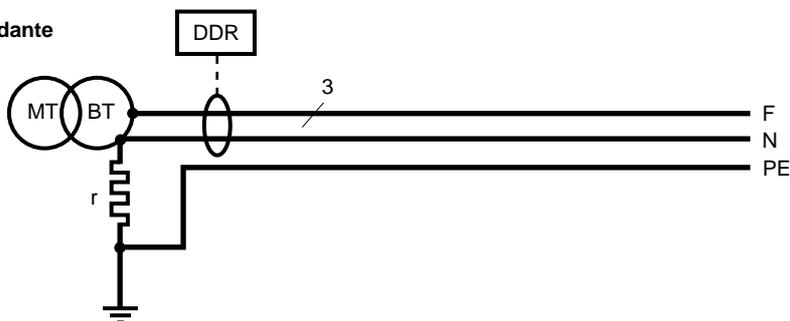
(2) En Francia, la norma C15-100 exige el paso a TN-S cuando la sección de los conductores es $\leq 10\text{mm}^2$ Cu.

c - ECT TN-S



Evita las perturbaciones de la equipotencialidad debidas a la circulación de la corriente de neutro y de los armónicos 3K en el PEN.

d - ECT TN-S impedante



Solución utilizada en USA (I_d del orden de 500 A), en RSA ($I_d \approx 20$ A); limitación del riesgo de incendio, del deterioro y de los problemas de referencia de potencial para la electrónica distribuida.

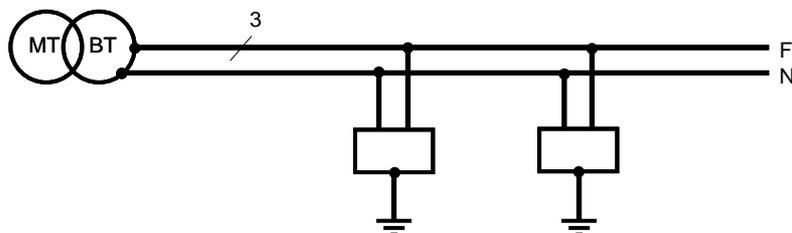
Este régimen de neutro se acerca al ECT TT y precisa emplear DDR.

Fig. 20: Evolución del TN.

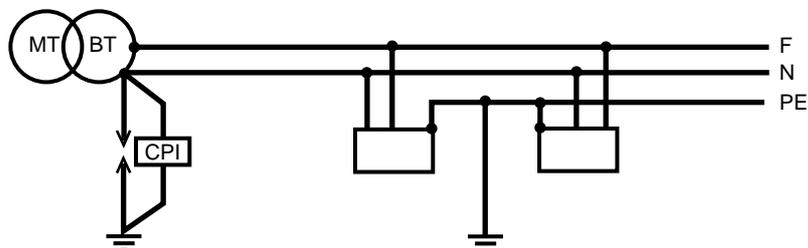
En el apartado de la protección, el régimen TN normalmente utiliza fusibles, apurados por un tiempo de corte demasiado elevado cuando la tensión límite de seguridad U_L es de 25 V; aún

lo estarán más a largo plazo si se desarrollan las redes BT de tensión superior a 230/400 V. El empleo de DDR (TN-S impedante) resuelve el problema.

a - inicialmente

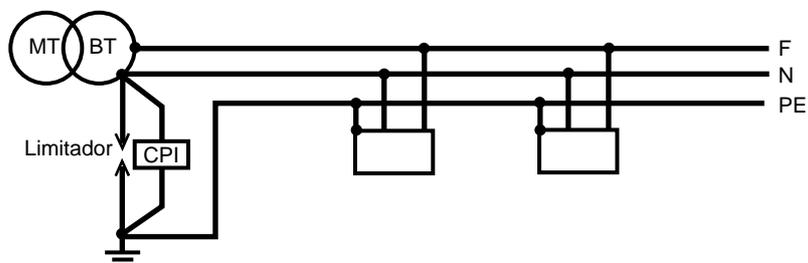


b - 1960



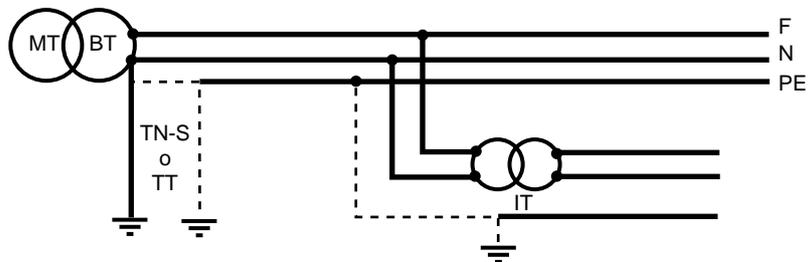
Limitación del número de tomas de tierra e interconexión de las masas o empleo de DDR para controlar el doble efecto.

c - 1990



Comparación con el TN-S (PE distribuido, cálculo de las impedancias de bucle).

d - 2000



El IT es utilizado mayormente en pequeñas redes o partes de las redes aguas abajo de los regímenes TN o TT.

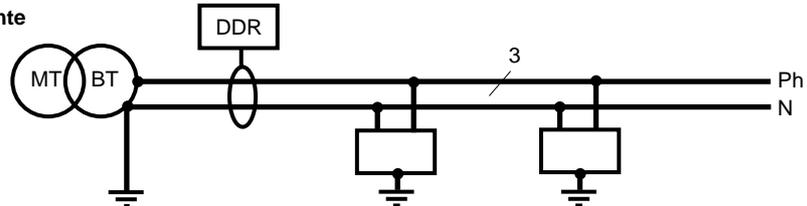
Fig. 21: Evolución del régimen IT.

Evolución del IT

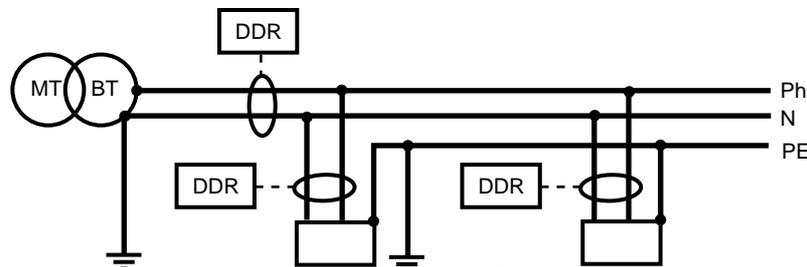
Las primeras instalaciones eléctricas (1920) estaban realizadas en IT, pero rápidamente los defectos dobles le han desacreditado (no controla las impedancias de bucle).

La normalización lo oficializó en los años 60 para hacer frente a los imperativos de continuidad de la alimentación en industrias de procesos y de seguridad en las minas.

a - inicialmente

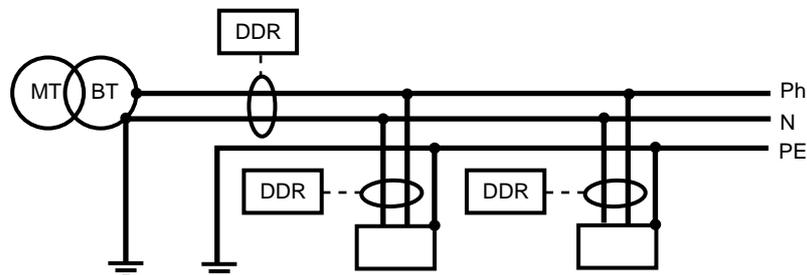


b - 1960



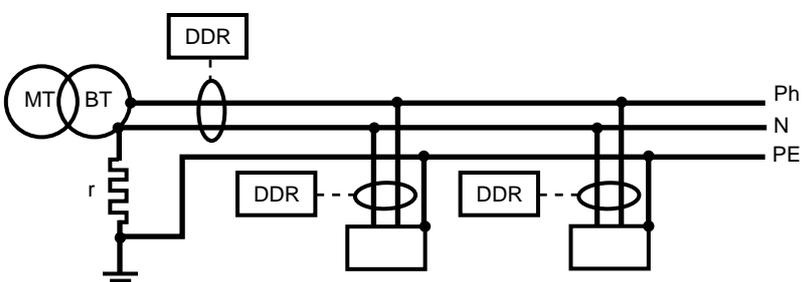
Múltiples DDR con selectividad cronométrica, equipotencialidades locales y minimización del número de tomas de tierra.

c - 1990



Misma utilización de los DDR. PE distribuido como en TN-S e IT. En algunas instalaciones, las dos tomas de tierra están interconectadas... es del TN-S sin cálculo de impedancia, visto el empleo de los DDR.

d - 2000



Para conservar la ventaja de la pequeña corriente de defecto (averías y CEM) aparición de un TT impedante ($r \approx 12 \Omega / I_d = 20 \text{ A}$) con una única toma de tierra. Este esquema requiere utilizar un limitador de sobretensión si la corriente homopolar rebasa $\approx 80 \text{ A}$. Misma utilización de los DDR (selectividad cronométrica).

Fig. 22: Evolución del régimen TT.

Hoy día, el régimen IT está muy próximo al TN-S en términos de instalación (un limitador de sobretensión y además un controlador de aislamiento).

Es el campeón de la continuidad de explotación y de la seguridad al primer defecto, si se busca y elimina rápidamente.

Tras la generalización del PE distribuido en toda la instalación (como en el TN) este régimen, para el que la corriente del segundo defecto no puede ser limitada, no debería evolucionar más que a nivel de técnicas de búsqueda rápida del defecto. Dado que la probabilidad de defecto doble aumenta con el número de cargas y la longitud de la instalación, debería reservarse su empleo a partes de la red, a los circuitos de mando y control utilizando transformadores de aislamiento (**figura 21**).

Sobre estos circuitos, poco empleados, la utilización del IT impedante permite el empleo de DDR en señalización para localizar defectos.

Evolución del TT

Inicialmente, la distribución eléctrica en Francia se hacía en 110 V monofásica, después fue en 220 V bifásica. La puesta a tierra de las masas, asociada a la aplicación de DDR, tiene como objetivo dejar fuera de tensión a los abonados que tengan un defecto de aislamiento y a los defraudadores. El interés de proteger a las personas contra los contactos indirectos va junto al desarrollo del gran electrodoméstico. La protección contra los contactos indirectos por DDR con tiempos de funcionamiento normalizados se ha oficializado desde los años 60.

En la actualidad, la tendencia es (como en los casos del TN y del IT) distribuir el PE en toda la instalación y para ello utilizar sólo una toma de tierra para las utilizaciones.

Dicha tendencia debería conseguirse mediante la utilización de una única toma de tierra del neutro BT (como en TN y en IT) pero conservando la ventaja (averías, incendio, CEM) de una pequeña corriente de defecto de aislamiento. (**Figura 22**).

3.4 Elección del ECT

La elección del ECT deberá verse influenciada por los usuarios de energía eléctrica y por los explotadores de la red (el servicio eléctrico). La experiencia indica que la elección la hace sobre todo la oficina de proyectos, diseñadora de la instalación.

Para el usuario y el explotador

El usuario y el explotador exigen la SEGURIDAD total, la energía eléctrica debe estar siempre disponible y no presentar ningún riesgo, o sea, «olvidarse de ella».

Los componentes de la seguridad de la instalación son:

- la seguridad,
- la disponibilidad,
- la mantenibilidad debiendo ser óptimas.

Además, y esto es nuevo, la electricidad no debe perturbar a los numerosos equipos de pequeñas corrientes.

Éstos son los criterios que permiten hacer la mejor elección en función:

- del tipo de edificio,
- de la actividad que se desarrolla en él,
- de la presencia o no de un servicio eléctrico.

En términos de seguridad, el mejor es el TT.

En términos de disponibilidad, el mejor adaptado es el IT.

En términos de mantenibilidad, la localización del defecto es rápida en TN (acción del DPCC) pero el tiempo de reparación es normalmente elevado. A la inversa, en IT la localización del primer defecto puede ser más difícil pero la reparación más rápida y más barata. El TT es una buena elección.

En términos de fiabilidad, los materiales de protección aplicados son fiables, pero la fiabilidad de la instalación y de los receptores puede verse afectada:

- en TN-C por el hecho de que el PEN, no protegido, puede estropearse por las corrientes armónicas;
- en TN-C y TN-S:
 - por la falta de rigor tras extensiones,
 - por la aplicación de fuentes de sustitución de baja potencia de cortocircuito,
 - por los efectos de los esfuerzos electrodinámicos (ICC).
- en IT, en caso de doble defecto, también se dan los riesgos propios del TN expresados anteriormente, pero si la localización y la eliminación del primer defecto se hace rápidamente, la fiabilidad de la instalación es muy buena,

	TN-C	TN-S	TT	IT(1)	IT(2)	Observaciones
Seguridad						
■ de personas	+	+	+	++	-	Uc # 0 al 1 ^{er} defecto en IT
■ incendio	- -	-	+	++	-	TN-C desaconsejado
■ explosiones	- -	-	+	++	-	TN-C prohibido
Disponibilidad (tras 1 ^{er} defecto)	+	+	+	++	+	función de la selectividad de DPCC o de DDR (más fácil de aplicar)
Mantenibilidad	-	-	+	++	-	IT permite el mantenimiento preventivo, ver predictivo
Fiabilidad	-	+	++	++	+	ventaja a Id bajas (averías de la instalación - esfuerzos electrodinámicos)
Perturbaciones						
■ emisión de radiación EM	-	-	+	++	-	ventaja a Id bajas
■ equipotencialidad del PE	- -	+	++	+	+	atención a los armónicos en TN-C

(1): 1^{er} defecto de aislamiento

(2): 2^o defecto

Fig. 23: Comparación de los ECT.

■ en TT, por la descarga en el retorno de los receptores debida a un defecto en el transformador MT/BT, pero la posibilidad de aparición (ocurrencia) de este defecto es muy baja y se dan muestras de conexión y valor de las tomas de tierra.

En términos de perturbaciones, el TT es preferible frente al TN-S, en el que las elevadas corrientes de defecto pueden ser perturbadoras.

La tabla de la **figura 23** repasa los puntos fuertes y débiles de cada ECT.

Para el proyectista de la instalación

El estudio es más sencillo en TT, ídem tras una ampliación (sin cálculo); es de una complejidad equivalente tanto en TN-S como en IT.

En el terreno de costes:

■ la instalación del TN-S es la más barata; por ejemplo, si el neutro ni está cortado ni protegido, pero cuidado con el coste del mantenimiento-reparación,

■ la instalación del IT es un poco más cara (material de control de aislamiento y localización de defecto). La búsqueda de la mejor disponibilidad de la energía eléctrica exige tener un electricista para minimizar la reparación,

■ la instalación del TT es un poco más cara que la del IT, sobre todo si se instalan en número suficiente DDR selectivos, pero la localización del defecto es sencilla y la reparación menos costosa que en TN.

En términos de coste total en 10 ó 20 años, los tres ECT son equivalentes.

La correcta elección

En cierto número de países, para algunos edificios o parte de ellos, la elección la impone el legislador o el normalizador, por ejemplo: hospitales, escuelas, marina, minas, canteras, ...

En otros casos, hay ECT que están prohibidos; por ejemplo, el TN-C en locales con riesgo de explosión.

Exceptuando estas «imposiciones», los objetivos encaminados hacia la SEGURIDAD (seguridad, disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad y buen funcionamiento de los sistemas comunicantes de bajas corrientes) son los que permitirán determinar cuál es el ECT idóneo para un determinado tipo de edificio.

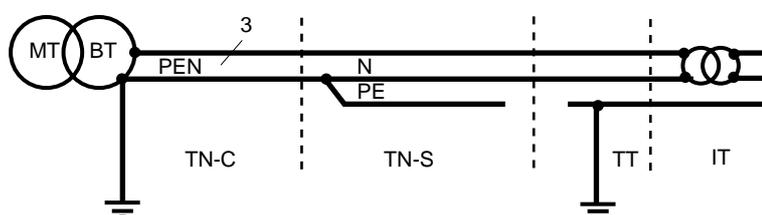
El nivel de desarrollo de un país también es un criterio a tener en cuenta, así como las costumbres nacionales, el clima... Si se traza

un eje norte-sur, en lo que hace referencia a la distribución pública, se encuentra el ECT IT en Noruega, TN-C en Alemania, TT en Francia y en la mayor parte de los países de Africa.

En los países templados e industriales, los tres ECT se utilizan en las instalaciones privadas.

Por último, hay que resaltar que es posible mezclar los ECT (en serie o en antena) y además deseable. (Figura 24).

a - Asociación «serie» de los ECT



b - Asociación «antena» de los ECT

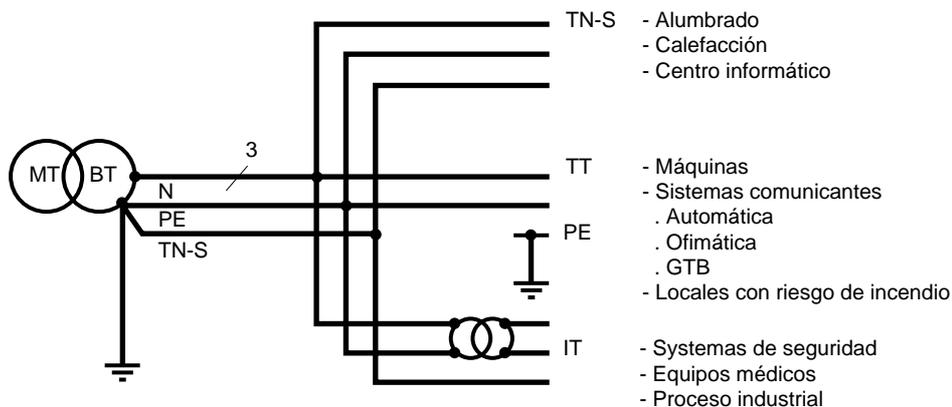


Fig. 24: Coexistencia de varios ECT en una instalación BT.

4 Conclusión

Los tres ECT (TN,TT,IT) están bien definidos, así como su instalación, por medio de las normas (CEI 60364, NFC 15100) .

Son empleados en función de los países:

- mayoría de TN en países anglosajones,
- TT normalmente utilizado en el resto,
- IT utilizado cuando se le da la máxima importancia a la seguridad de las personas y de bienes y a la continuidad de servicio.

Los tres aseguran la protección de personas.

Cambios importantes tienen una gran influencia sobre la elección del ECT:

- la búsqueda de la mejor continuidad de servicio,
- la proliferación de aparatos electrónicos de elevada corriente (perturbadores) y corrientes pequeñas (perturbadas), que se erigen cada vez más en sistemas comunicantes.

Así, la tendencia generalizada a nivel de los ECT es, tanto en MT como en BT, limitar las corrientes de defecto de aislamiento.

Hoy en día, los valores típicos de las corrientes de defecto de los ECT BT tradicionales son:

- IT (1^{er} defecto): $I_d \approx 1 \text{ A}$,
- TT: $I_d \approx 20 \text{ A}$,
- TN: $I_d \approx 20 \text{ kA}$,
- IT (2^o defecto): $I_d \approx 20 \text{ kA}$.

Limitar las corrientes de defecto:

- facilita la mantenibilidad de la instalación eléctrica y por ello mejora la disponibilidad,
- minimiza el riesgo de incendio,
- puede reducir la tensión de contacto,
- y, para los sistemas sensibles minimiza las perturbaciones por radiación electromagnética e impedancia común.

Dada la proliferación de sistemas numéricos comunicantes (informática, video, automática, GTB, etc.) es esencial que los ECT procuren una referencia de potencial no perturbado por las elevadas corrientes de defecto y los armónicos.

Así, la evolución debería favorecer a los ECT que generan corrientes de defecto que no rebasen algunas decenas de amperios.

Se debería emplear cada vez más el ECT TT.

Anexo: la norma CEI 60 364

Esta norma, cuyo título es: «Instalaciones eléctricas de los edificios», consta de diferentes capítulos y subcapítulos, de los que los más importantes son:

■ **364-1** - 1992

1ª parte: **Campo de aplicación, objetivo y definiciones fundamentales**

■ **364-2-2-1** - 1993

2ª parte: **Definiciones** - Capítulo 21 - Guía para los términos generales.

■ **364-3** - 1993

3ª parte: **Determinación de las características generales**

■ **364-4**

4ª parte: **Protección para asegurar la seguridad**

□ **364-4-41** - 1992

Capítulo 41: Protección contra los choques eléctricos.

□ **364-4-42** - 1980

Capítulo 42: Protección contra los efectos térmicos.

□ **364-4-43** - 1977

Capítulo 43: Protección contra las sobretensiones.

□ **364-4-45** - 1984

Capítulo 45: Protección contra las caídas de tensión.

□ **364-4-46** - 1981

Capítulo 46: Seccionamiento y mando.

□ **364-4-47** - 1981

Capítulo 47: Aplicación de medidas de protección para asegurar la seguridad - Sección 470: Generalidades- Sección 471: Medidas de protección contra choques eléctricos.

□ **364-4-442** - 1993

Capítulo 44: Protección contra sobretensiones - Sección 442: Protección de las instalaciones a baja tensión contra los defectos a tierra en las instalaciones a alta tensión.

□ **364-4-443** - 1993

Capítulo 44: Protección contra las sobretensiones - Sección 443: Protección contra las sobretensiones de origen atmosférico o debidas a maniobras.

□ **364-4-473** - 1977

Capítulo 47: Aplicación de medidas de protección para asegurar la seguridad- Sección 473: Medidas de protección contra las sobretensiones.

□ **364-4-481** - 1993

Capítulo 48: Elección de medidas de protección en función de influencias externas - Sección 481: Elección de medidas de protección contra los choques eléctricos en función de las influencias externas.

□ **364-4-482** - 1982

Capítulo 48: Elección de medidas de protección en función de influencias externas - Sección 482: Protección contra incendio.

■ **364-5**

5ª parte: **Elección y aplicación de materiales eléctricos**

□ **364-5-51** - 1979

Capítulo 51: Reglas comunes.

□ **364-5-51** - 1 - 1982

Modificación de la publicación 364-5-51- 1979.

□ **364-5-53** - 2 - 1993

Modificación de la publicación 364-5-51 - 1979.

□ **364-5-53** - 1986

Capítulo 53: Aparamenta.

□ **364-5-53** - 2- 1992

Modificación de la publicación 364-5-53-1986 (mod. 1-1988 incorporada).

□ **364-5-54** - 1980

Capítulo 54: Puestas a tierra y conductores de protección.

□ **364-5-54** - 1- 1982

Modificación de la publicación 364-5-54 - 1980.

□ **364-5-56** - 1980

Capítulo 56: Servicios de seguridad.

□ **364-5-523** - 1983

Capítulo 52: Canalizaciones - Sección 523: Corrientes admisibles.

□ **364-5-537** - 1981

Capítulo 53: Aparamenta - Capítulo 537: Dispositivos de seccionamiento y de mando.

□ **364-5-537** - 1- 1989

Modificación de la publicación 364-5-537-1981.

■ **364-6**

6ª parte: **Verificación.**

□ **364-6-61** - 1986

Capítulo 61: Verificación en la puesta en servicio.

□ **364-6-61** - 1993

Modificación de la publicación 364-6-61 - 1986.

■ **364-7**

7ª parte: **Reglas para emplazamientos especiales.**

□ **364-7-701** - 1984

Sección 701: Locales que contienen bañeras o ducha.

□ **364-7-702** - 1983

Sección 702: Piscinas.

□ **364-7- 703** - 1984

Sección 703: Locales que contienen radiadores para saunas.

□ **364-7- 704** - 1989

Sección 704: Instalaciones en obras.

□ **364-7- 705** - 1984

Sección 705: Instalaciones eléctricas en establecimientos agrícolas y hortícolas.

□ **364-7- 706** - 1983

Sección 706: Recintos conductores exiguos.

□ **364-7- 707** - 1984

Sección 707: Puestas a tierra de instalaciones de material de tratamiento de la información.

□ **364-708** - 1988

Sección 708: Instalaciones eléctricas de parques de caravanas y de las caravanas.

Bibliografía

Normas

- CEI 60241: Cortocircuito de fusibles para usos domésticos o análogos.
- CEI 60269: Fusibles BT.
- CEI 60364: Instalaciones eléctricas en edificios.
- CEI 60479: Efectos de la corriente al pasar por el cuerpo humano.
- CEI 60947-2: Aparatación BT- 2ª parte: Disyuntores.
- CEI 60755: Reglas generales para los dispositivos de protección a corriente diferencial residual.

Cuadernos Técnicos

- Puesta a tierra del neutro en una red industrial AT.
F. SAUTRIAU, Cuaderno Técnico nº 62.
- Los dispositivos diferenciales residuales
R. CALVAS, Cuaderno Técnico nº 114.
- Protección de personas y alimentación ininterrumpida.
J.N. FIORINA, Cuaderno Técnico nº 129.
- Las perturbaciones eléctricas en BT.
R. CALVAS, Cuaderno Técnico nº 141.
- Introducción a la concepción de seguridad.
P. BONNEFOI, Cuaderno Técnico nº 144.

- El rayo y las instalaciones eléctricas AT.
B. DE METZ NOBLAT, Cuaderno Técnico nº 168.
- Conocimiento y empleo del ECT neutro aislado.
E. TISON y I. HERITIER, Cuaderno Técnico nº 178.
- Perturbaciones eléctricas en las instalaciones eléctricas BT y esquemas de conexión a tierra.
R. CALVAS, Cuaderno Técnico nº 177.
- Coexistencia corrientes elevadas - corrientes bajas.
R. CALVAS y J. DELABALLE, Cuaderno Técnico nº 187.

Obras diversas

- Guía de la instalación eléctrica (parte G)
Ed. FRANCE IMPRESSION CONSEIL 1991.
- Guide de l'ingénierie électrique.
Ed. ELECTRA 1986.
- Electrical Review.
Novembre 1991 - octobre 1992.
- La protección diferencial.
Cuaderno Técnico J3E - 02/90.