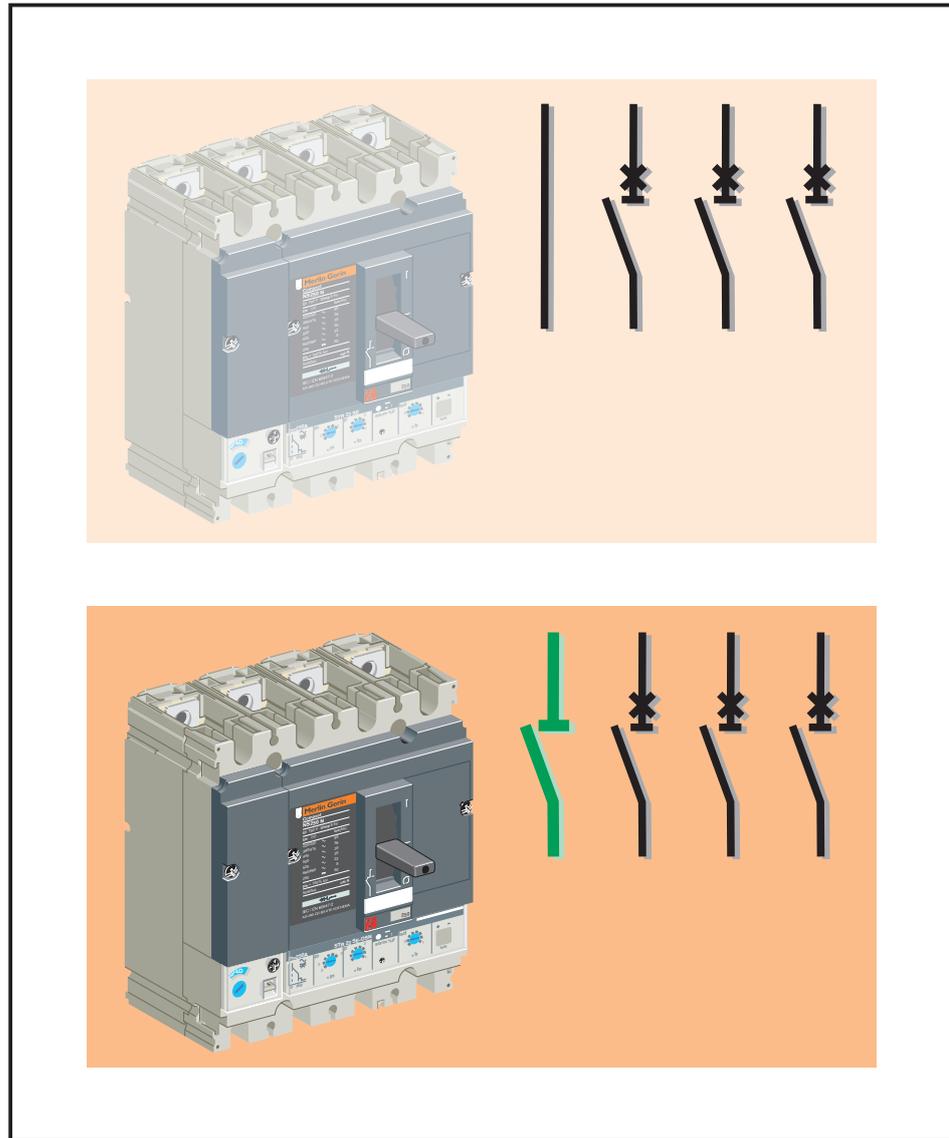


Protección de bienes y personas

Función y protección del neutro en una instalación BT



1. Introducción	2
Función del neutro en la distribución de BT	2
Objeto del artículo	2
2. La norma CEI 60364 y el conductor neutro	3
2.1 Protección del neutro contra las sobrecargas y los cortocircuitos	3
Sobrecargas y cortocircuitos	3
Conductor neutro y fases de igual sección	3
Corte omnipolar	4
Conclusión	5
2.1 Neutro y protección contra los fallos de aislamiento	5
Incidencia de los SLT	5
Esquema TT	6
Esquema TN-S (N y PE separados)	7
Esquema TN-C (PEN)	8
Esquema IT (neutro aislado)	9
3. Evolución de la norma CEI 60364: los armónicos	10
Influencia de las corrientes de armónicos	10
3.1 Los armónicos y la protección del neutro	11
Equipo para instalar	12
Corrientes de armónicos creadas por el alumbrado	13
3.2 Los armónicos y los esquemas de enlaces a tierra (SLT) ..	15
Evitar el TN-C en presencia de armónicos	15
En TN-S en presencia de armónicos, cuidado con los acoplamientos de las fuentes	15
4. Conclusiones	17

1. Introducción

Función del neutro en la distribución de BT

El neutro en BT, cuando está distribuido, se utiliza principalmente para disponer de una tensión monofásica de 230 V, para alimentar circuitos tales como el alumbrado o los auxiliares de control, además de la tensión trifásica de 400 V.

En una instalación trifásica bien realizada, si se exceptúan los circuitos de distribución terminal monofásica, el conductor de neutro no lleva o lleva poca corriente (menos del 15% de la corriente de fase). Su potencial con respecto a la tierra es también a menudo nulo.

En la práctica, este conductor es en muy raras ocasiones “neutro” y puede ser la causa de perturbaciones perjudiciales para el encargado de la explotación si no se toma ninguna precaución.

Objeto del artículo

El objeto de este artículo es tratar principalmente del conductor neutro en una distribución trifásica aguas arriba, sin abordar los requisitos particulares de la distribución monofásica terminal.

En particular, se definen:

- los requisitos de protección térmica intrínseca de este conductor, es decir:
 - protección contra las sobrecargas y los cortocircuitos del conductor neutro,
 - corte eventual del conductor neutro y forma de realizarlo;
- la incidencia en estos requisitos de la función concreta del neutro en los SLT (esquemas de las conexiones a tierra), es decir, la función del conductor neutro para garantizar:
 - el correcto funcionamiento de la instalación (seguridad en tensión),
 - la correcta protección de las personas al contacto con las partes sin tensión de la instalación (seguridad sin tensión).

Para ello, las reglas de instalación establecidas en la norma CEI 60364 definen perfectamente los requisitos.

Estos requisitos se traducen por la necesidad (o no) de proteger, cortar o seccionar este conductor.

Por último, la evolución de los receptores hacia una multiplicación de las cargas no lineales conlleva la circulación de corrientes de armónicos.

La consideración de estas corrientes nos e ha integrado aún completamente desde el punto de vista de la normalización CEI 60364, pero se está estudiando en cuanto a la sección 444. Asimismo, se presentará la incidencia de estos fenómenos en los esquemas TN-C y TN-S.

En conclusión, el balance de estos diferentes requisitos mostrará que un disyuntor tetrapolar que integra un corte omnipolar brusco garantiza el correcto funcionamiento de las instalaciones.

2. La norma CEI 60364 y el conductor neutro

2.1 Protección del neutro contra las sobrecargas y los cortocircuitos

Sobrecargas y cortocircuitos

En caso de producirse sobrecargas en el neutro o cortocircuitos fase-neutro, la misma intensidad de defecto I_d recorre los conductores. Por lo tanto, deben considerarse 2 casos:

Conductor neutro y fases de igual sección

Si $S_n = S_{ph}$, el conductor neutro está protegido en caso de fallo fase-neutro por la protección de sobreintensidad de fase.

La norma CEI 60364 § 431.2.1 establece en tal caso lo siguiente:

“a) Cuando la sección del conductor neutro S_n es al menos equivalente a la de los conductores de fase S_{ph} , no es necesario establecer la detección de sobreintensidad en el conductor neutro ni ningún dispositivo de corte en el conductor neutro.”

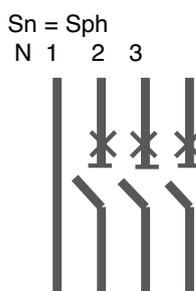


Fig.1: $S_n = S_{ph}$

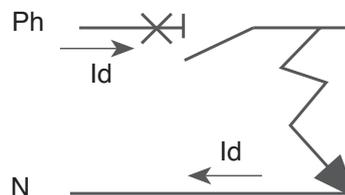


Fig.2: Protección por la fase en caso de fallo fase-neutro

Conductor neutro de sección inferior a las fases

El conductor neutro lleva en raras ocasiones corrientes. Sólo ocurre en caso de desequilibrios importantes; estas corrientes superan raramente el 10% de la corriente de fase en las instalaciones bien diseñadas. Por este motivo resulta tentador reducir su sección, pues es económicamente interesante. Se utiliza por lo general una sección $S_n = S_{ph} / 2$.

Así, si $S_n = S_{ph} / 2$, el conductor neutro debe protegerse en caso de fallo fase-neutro por una protección de sobreintensidad específica. Si dicha protección actúa directamente en las fases, la protección del neutro queda garantizada sin necesidad de corte.

La norma CEI 60364 § 431.2.1 establece en tal caso lo siguiente:

«b) Cuando la sección del conductor neutro S_n es inferior a la de los conductores de fase S_{ph} , no es necesario establecer la detección de sobreintensidad en el conductor neutro, adecuada a la sección de dicho conductor: esta detección debe conllevar el corte de los conductores de fases, pero no necesariamente la del conductor neutro.»

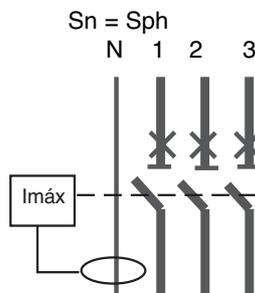


Fig.3: $S_n < S_{ph}$

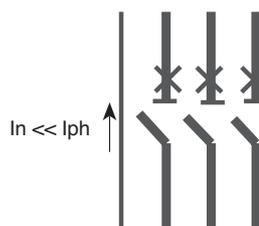


Fig. 4: El corte del neutro no es obligatoria

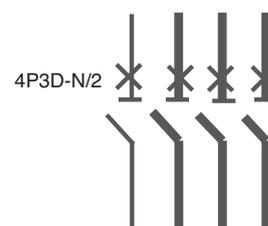


Fig. 5: Sin embargo, la protección mediante disyuntor 4P 3D-N/2 es una solución óptima

De hecho, este tipo de protecciones no se puede realizar siempre de forma fiable y económica. La utilización de disyuntores tetrapolares 4P 3D-N/2 («neutro mitad») es una solución perfecta que asocia, además, el corte a menudo recomendado del conductor neutro.

No obstante, la norma CEI 60364 admite lo siguiente:

- si la corriente que circula normalmente por el conductor neutro es baja (del orden del 10% de la corriente de fase), lo que corresponde a la falta de riesgo de sobrecarga para dicho conductor,
- la protección de sobreintensidad de las fases garantiza también la protección del conductor neutro. Éste no debe protegerse específicamente. Debido a la existencia de corrientes de armónicos, esta condición difícilmente se puede realizar con un SLT de tipo TN.

Corte omnipolar

El conductor neutro sirve para alimentar cargas monofásicas. Por este motivo, su corte aguas arriba debe realizarse simultáneamente con el de las fases.

Necesidad de la continuidad del neutro respecto a las cargas monofásicas

En efecto, si el neutro se corta pero no así las fases, ya no puede cumplir su función original, que es permitir el retorno de la corriente a la fuente y una alimentación de 230 V de las cargas monofásicas. Este corte accidental puede tener consecuencias importantes en los receptores. A efectos de simplificación, consideremos el esquema de la figura 6, que conlleva 2 cargas monofásicas de impedancias diferentes en 2 fases.

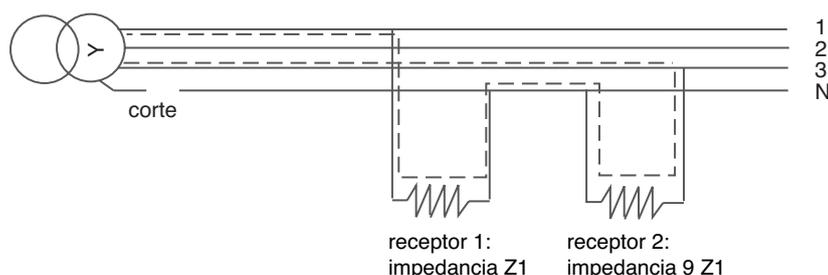


Fig. 6: Corte del neutro con receptores monofásicos

La corriente suministrada por la fase 1 en el receptor 1 y por la fase 3 en el receptor 2 no puede volver a la alimentación por el neutro. Pasa por lo tanto de una fase a otra a través de los dos receptores y el neutro. El conjunto equivale al divisor de tensión de la figura 7.

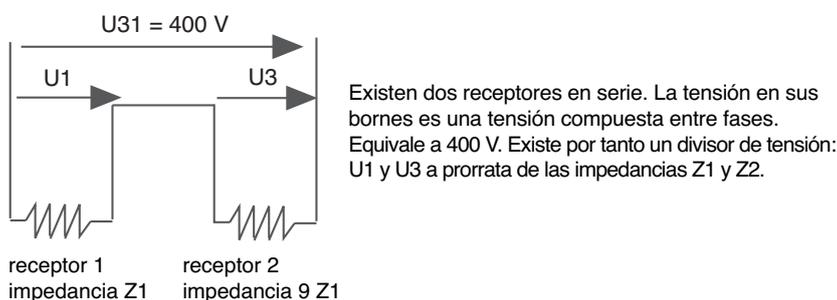


Fig. 7: esquema equivalente al de la figura 6

Por ejemplo, tomando los valores de las impedancias de la figura 7, corresponde a un desplazamiento del potencial del punto neutro. El potencial de la fase 1 con respecto al neutro pasa de 230 a 40 V, el de la fase 3 de 230 a 360 V, y por consiguiente el de la fase 2 a 347 V. Así, la fase más cargada está en subtensión y la menos cargada en sobretensión. Por este motivo, es necesario cortar las fases simultáneamente con el corte del conductor neutro.

2. La norma CEI 60364 y el conductor neutro (continuación)

Prevención de problemas relativos a los receptores monofásicos

Para evitar estos problemas, la norma CEI 60364 § 431.3 establece lo siguiente:

«Cuando el corte del conductor neutro sea obligatorio, el corte y el cierre del mismo deben ser tales que nunca se corte antes que los conductores de fase y que se cierre al mismo tiempo o antes que los conductores de fase.»

Así, para el conductor neutro:

- el corte debe realizarse al mismo tiempo o después que el de las fases.
- el cierre debe realizarse al mismo tiempo o antes que el de las fases.

Conclusión

La protección del conductor neutro se realiza:

- mediante los dispositivos de protección contra los cortocircuitos (DPCC) de los conductores de fase si las secciones del neutro y las fases son idénticos;
- mediante una protección “neutro-mitad” desde el momento en el que la sección de las fases es más baja.

En la práctica:

Protección mediante fusibles

Se debe utilizar un equipo con fusibles obligatoriamente con percutor en el neutro. Estos equipos funcionan de tal manera que si el fusible del conductor neutro se funde, el percutor dispara un sistema de corte omnipolar. Esta solución es, no obstante, compleja, costosa y de grandes dimensiones. Además, necesita disponer siempre de fusibles con percutor de repuesto de todos los calibres.

Protección mediante disyuntores

El artículo 530.3.1 de la norma NF C 15-100 de acuerdo con el artículo 530.3.1 de la norma CEI 60364 establecen lo siguiente:

“Todos los contactos móviles de todos los polos de los aparatos multipolares deben estar acoplados mecánicamente de forma que se abran o se cierren prácticamente juntos.”

En tal caso, es preciso utilizar un disyuntor tetrapolar que realice la apertura y el cierre simultáneos de las fases y el neutro.

En este caso, se obtiene un corte omnipolar y un cierre de ruptura brusca necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de las cargas monofásicas aguas abajo.

2.2 Neutro y protección contra los fallos de aislamiento

Incidencia de los SLT

La norma CEI 60364 establece reglas de instalación para garantizar la prevención de los riesgos de choques eléctricos para las personas relativos a la instalación de esquemas de conexiones a tierra (SLT) normalizadas de tipo TT, TN o IT.

El SLT define el modo de conexión a tierra:

- del **neutro** del secundario del transformador HT/BT, que se puede conectar a tierra (directamente o mediante una impedancia) o aislado de la tierra
- de las **masas** de la instalación, que están siempre conectadas a la tierra del edificio en el que están instaladas, bien directamente, bien mediante el conductor de neutro.

Las funciones del conductor neutro y su tratamiento dependen del SLT de la instalación. Cuando el neutro está distribuido es necesario comprobar:

- **en tensión**, la incidencia del SLT en:

- su **protección**
- su **corte**

en caso de fallo de aislamiento

- **sin tensión**, que la instalación o la parte de la instalación sin tensión es y permanecerá segura. Se debe tener en cuenta que un fallo en la media tensión no crea ninguna situación peligrosa en la parte BT sin tensión. Si el neutro es un conductor activo, es necesario garantizar:

- su **seccionamiento**.

Esquema TT

Características

- el neutro (N) está conectado directamente a la tierra en el transformador (toma de tierra del neutro)
- las masas de la instalación están conectadas mediante un conductor de protección (PE) a una toma de tierra distinta o no de dicha toma.
- este esquema impone la detección de los fallos de aislamiento mediante un DDR (Dispositivo Diferencial Residual), que provoca el corte de las protecciones de sobrecorriente. En efecto, estos fallos son por lo general demasiado bajos para dispararles directamente pero crean una tensión de contacto (U_c) peligrosa.

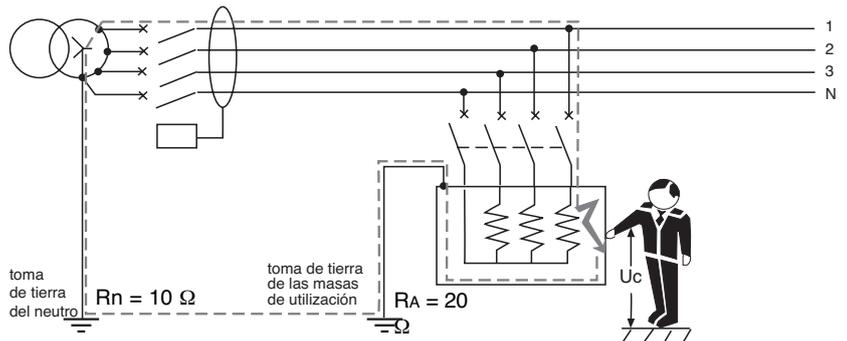


Figura 8: ejemplo TT

Ventaja

Intensidad de defecto poco elevada (limitada por las resistencias de tierra) y por lo tanto poco efecto nocivo.

Incidencia en el conductor neutro:

- instalación en tensión
- protección: sin incidencia, ya que la intensidad de defecto de aislamiento (baja) no pasa a través de este conductor.
- corte del neutro: sin incidencia por el mismo motivo
- instalación sin tensión
- \seccionamiento: obligatorio según la norma CEI 60364 § 536.2.

En efecto, en caso de sobretensión en la MT (fallo o descarga del transformador) el potencial del neutro aumenta y por lo tanto aparece un potencial muy peligroso (algunos cientos de voltios) entre el neutro y la tierra de utilización (fig. 9).

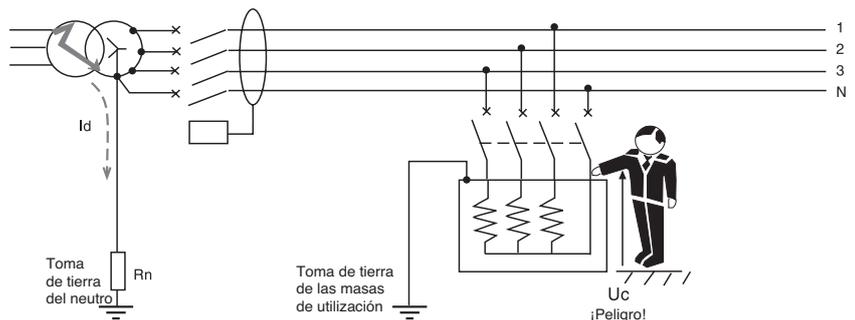


Figura 9: efectos de un fallo en la MT: riesgo de contacto peligroso

Por este motivo, una persona que interviene en la máquina (mantenimiento, etc.) puede en este caso estar en contacto directo con el conductor neutro en esa tensión elevada, de lo que se deriva un riesgo máximo. Las normas de instalación, en concreto la CEI 60364 § 536.2, tienen en cuenta este riesgo imponiendo un seccionamiento sin tensión del conductor neutro. Si este seccionamiento queda garantizado por una función de corte omnipolar, que realiza a la vez el corte simultáneo y el seccionamiento de las fases y el neutro, aumenta la seguridad de las intervenciones sin tensión.

Se debe por lo tanto efectuar el seccionamiento. Un disyuntor tetrapolar que permite el corte omnipolar y el seccionamiento responde naturalmente a todas las prescripciones de la norma CEI 60364.

2. La norma CEI 60364 y el conductor neutro (continuación)

Esquema TN-S (N y PE separados)

Características

- el neutro (N) y el conductor de protección (PE) están conectados directamente a la tierra en el transformador (toma de tierra del neutro)
- el neutro (N) y el conductor de protección (PE) son distintos
- este esquema obliga, en caso de fallo de aislamiento, a cortar las protecciones de sobrecorriente, lo que supone el control de las impedancias de bucle de fallos (ABCDE) para asegurarse de la acción de los disyuntores
- en caso de fallo de aislamiento, la intensidad de defecto es muy importante y por lo tanto perjudicial.

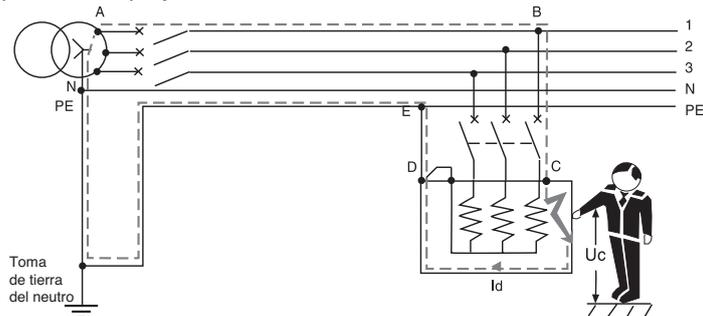


Figura 10: esquema TN-S.

Ventaja

No es necesario asociar ningún equipo adicional. La protección se realiza directamente a través de los DPCC (si se cumple la condición de longitud máxima del cable para garantizar una impedancia de bucle que permita el disparo).

Incidencia en el conductor neutro

- instalación en tensión
- protección: sin incidencia, ya que la intensidad de defecto no pasa a través de este conductor
- corte: sin incidencia por el mismo motivo
- instalación sin tensión
- seccionamiento: la norma CEI 60364 § 536.2 recomienda el seccionamiento, algunos países obligan a ello argumentado que, como en TT, no es posible garantizar el potencial de este conductor. Los 2 ejemplos siguientes resaltan estos problemas.

Ejemplo 1: Si una onda de descarga (frecuencia del orden de 1 MHz) llega a la MT, no se detendrá por la puesta a tierra del transformador (ya que el componente inductivo $L\omega$ de conexión neutro a tierra es preponderante sobre estas frecuencias porque $\omega = 2\pi f$) y el potencial (peligroso) se transmite automáticamente al conductor neutro.

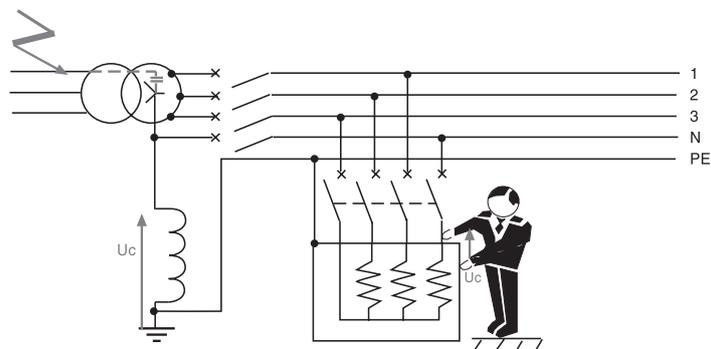


Figura 11: repercusión de una descarga de MT.

En este caso, el encargado de mantenimiento estará en contacto directo con esta sobretensión. Se recomienda firmemente realizar el seccionamiento en TN-S y por lo tanto el corte del neutro.

Ejemplo 2 - Edificios de gran altura (IGH)

En los pisos de un IGH, es más difícil garantizar la calidad de las conexiones a tierra. El potencial de las masas se aleja del potencial de la tierra en el fondo de búsqueda, debido a la gran longitud del cableado. Con el fin de no crear situaciones peligrosas, se recomienda cortar el neutro.

Esquema TN-C (PEN)

Características

- el neutro está conectado directamente a la tierra en el transformador (toma de tierra del neutro)
- el neutro (N) y el conductor de protección (PE) se unen en un solo conductor (PEN)
- este esquema impone, en caso de fallo de aislamiento, al igual que para el TN-S, el corte de las protecciones de sobrecorriente, que supone el control de las impedancias de bucle de fallos (ej.: ABCDE) para asegurarse de la acción de los disparadores
- en caso de fallo de aislamiento, la intensidad de defecto es muy importante y por lo tanto perjudicial.

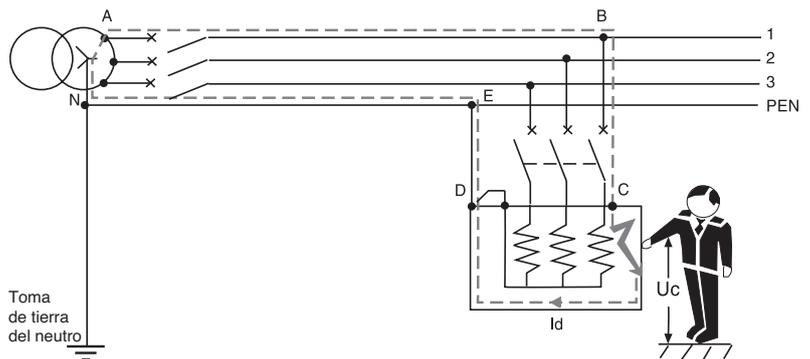


Figura 12: esquema TN-C

Ventaja

No es necesario asociar equipos adicionales; distribución con 4 conductores en lugar de 5. La protección se realiza directamente a través de los DPCC (si se cumple la condición de longitud máxima de cable para garantizar una impedancia de bucle que permita el disparo).

Incidencia en el conductor neutro:

- instalación en tensión

Puesto que el neutro y el PE están unidos:

=> las intensidades de defecto recorren el neutro

=> las corrientes habituales del neutro recorren el PE.

Esto va a generar algunos problemas (ver el capítulo siguiente).

□ protección: no autorizada ya que el PEN, en tanto que conductor de protección PE, debe soportar todas las corrientes normales y anómalas (CEI 60364 § 543.1.)

□ corte ⁽¹⁾: no autorizado ya que el PEN, en tanto que conductor de protección, no debe nunca cortarse

- instalación sin tensión

□ seccionamiento: no autorizado por el mismo motivo que el corte. Ello obliga a una puesta a tierra sistemática y múltiple del conductor PEN para asegurarse de que se conserva la equipotencialidad.

(1) el PEN debe tener una resistencia "mecánica" (para evitar su ruptura); su sección es de al menos 10 mm² en Cu y 16 mm² en alu (CEI 60364 § 543.1.).

2. La norma CEI 60364 y el conductor neutro (continuación)

Esquema IT (neutro aislado)

Características

- el neutro (N) está aislado de la tierra (conectado por una impedancia de fuga capacitiva debida a los cables del orden de $3.500 \Omega/\text{km}$)
- las masas de la instalación están conectadas mediante un conductor de protección (PE) a una toma de tierra
- este esquema, a diferencia de los dos anteriores, sólo obliga a cortar la alimentación en caso de doble fallo de aislamiento, ya que el primer fallo, limitado por las resistencias de tierra, no conlleva peligro para las personas, pero se debe localizar y eliminar.

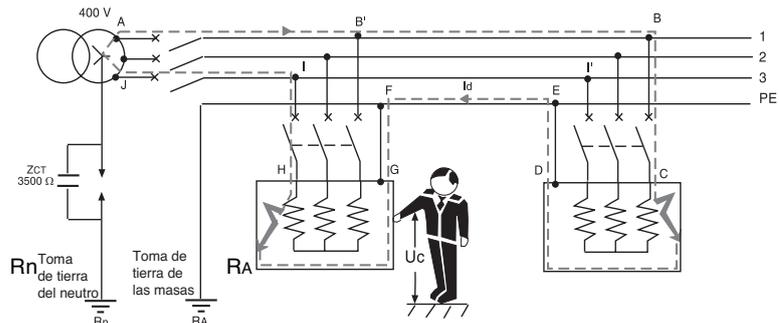


Figura 13: esquema IT en situación de 1er fallo.

Ventaja

Continuidad de servicio en el primer fallo; sin embargo, para conservar esta ventaja, se deben utilizar CPI (recomendado por la norma CEI 60364 e impuesta por algunas normas nacionales) y dispositivos de localización de fallos (DLD).

Incidencia en el conductor neutro

- instalación en tensión

Se recomienda no distribuir el neutro.

En caso de doble fallo, uno de ellos relativo al conductor neutro, puede sufrir una sobrecarga independientemente de la corriente que circula por las fases (ver fig. 14)

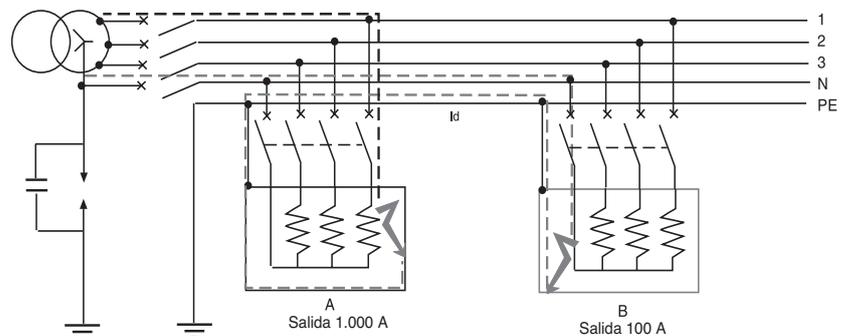


Figura 14: esquema IT en situación de doble fallo.

El neutro de B está dimensionado para 100 A. La fase de A, dimensionada en 1.000 A, no lo protegerá, por lo tanto:

- protección: obligatoria
- corte: obligatorio (omnipolar)
- instalación sin tensión
- seccionamiento.

Puesto que el neutro no está conectado a la tierra, las incidencias de las sobretensiones de MT aumentan con respecto a un SLT TN/TT: el seccionamiento es obligatorio (CEI 60364 § 431.2.2).

Conclusión

La incidencia de los SLT en un conductor neutro se traduce de 2 formas:

- de manera general, solicitando el seccionamiento desde que se corta
- de manera particular, en el esquema IT, para el que la protección del conductor neutro debe realizarse independientemente de la de las fases.

3. Evolución de la norma CEI 60364: los armónicos

Influencia de las corrientes de armónicos

Efectos de los armónicos de nivel 3 y múltiplos de 3

Los armónicos se generan por las cargas no lineales de la instalación (ordenadores, alumbrado con reactancia, rectificadores, selectores electrónicos de potencia...) y pueden generar corrientes importantes en el neutro.

En particular, los armónicos de nivel 3 o múltiplos de 3 de las tres fases se suman en el neutro. En efecto:

- las corrientes fundamentales están desfasadas de $2\pi/3$ de tal forma que su suma es nula
- por el contrario, los armónicos de nivel 3 de las tres fases están siempre situados de la misma forma respecto a su propio fundamental y están en fase entre sí (fig. 15).

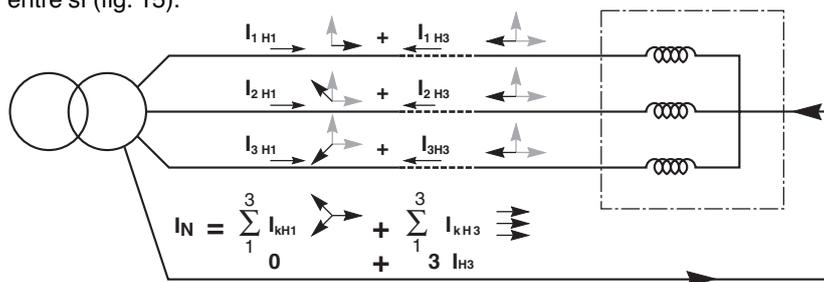


Figura 15: los armónicos 3 están en fase y se suman al neutro.

Estos generadores de armónicos de nivel 3 son cada vez más numerosos y la CEI estudia la consideración de este problema. A falta de normas, las recomendaciones son las siguientes:

Gestión de la corriente de armónicos en el conductor neutro

Las reglas de instalación, en particular la CEI 60364, tienen en cuenta la valoración de la corriente de armónico H3 en el conductor neutro para el correcto dimensionamiento de los conductores activos; está en función del $THDi_{H3}$ en las fases:

$THDi_{H3} < 15\%$: se puede considerar que no hay ningún valor significativo de corriente H3. Sin protección ni dimensionamiento particulares del conductor neutro

$15\% < THDi_{H3} < 33\%$ la corriente H3 es significativa, lo que implica 2 requisitos:

- corrientes permanentes en los 4 conductores: consideración en el dimensionamiento térmico de los cables (generalmente desclasificación del orden de 0,85)
- dimensionamiento del conductor neutro al menos equivalente al de la fase y ajuste de la protección del conductor neutro equivalente al de la fase.

$33\% > THDi_{H3}$ la corriente H3 es muy importante: los 2 requisitos anteriormente mencionados pasan a ser:

- dimensionamiento térmico de los conductores de fases sin modificar (misma desclasificación del orden de 0,85)
- dimensionamiento del conductor considerando la corriente de neutro máxima (1,7 veces la de las fases) teniendo en cuenta la desclasificación térmica de las fases, es decir $1,7 \times 0,85 = 1,45$ y protección específica del conductor neutro (a 1,45 la de la fase).

Consecuencias de los problemas para la distribución eléctrica

La influencia de las cargas no lineal que genera corrientes H3 en el neutro es especialmente importante en cuanto a la agrupación de las cargas monofásicas.

- Aguas abajo, en distribución terminal, los conductores que alimentan estas cargas monofásicas no necesitan ninguna disposición especial de dimensionamiento excesivo.
- Aguas arriba, en distribución de potencia, las cargas lineales trifásicas alimentadas en paralelo conllevan generalmente una valoración de baja a muy baja de la corriente H3 respecto a la corriente de fase, por lo que no se requieren precauciones específicas (corriente en el neutro del orden del 50% de la corriente de fase).

Por este motivo, estos problemas son significativos más especialmente en una zona de valores de intensidades de 100 A y 630 A, es decir, la **Distribución de Media Potencia**.

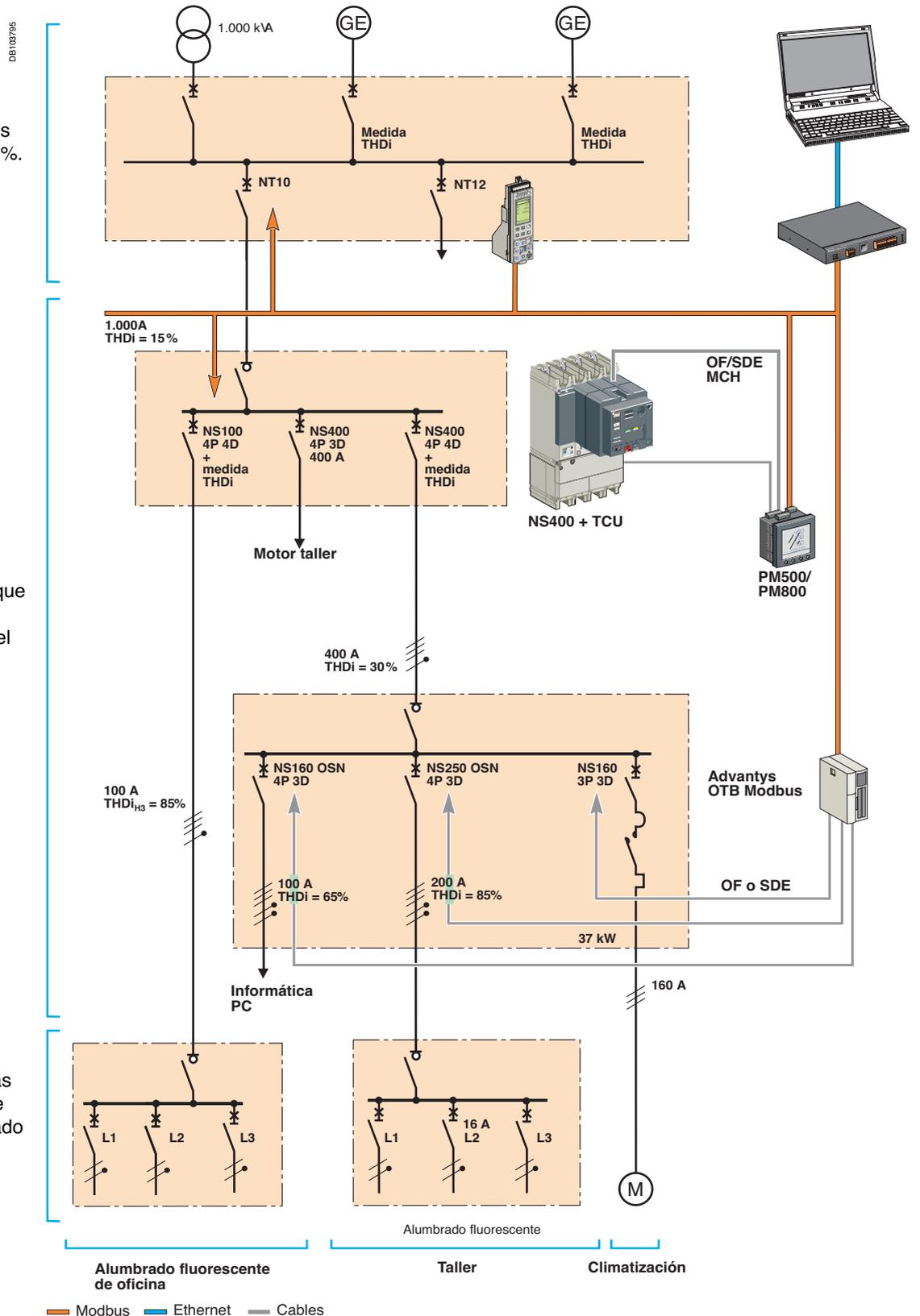
3.1 Los armónicos y la protección del neutro

Agua arriba
TGBT y **Distribución de Potencia**: el THDi medio es generalmente inferior al 15%.

En el nivel intermedio
Distribución de Media Potencia: en las salidas que agrupan las cargas monofásicas no lineales el THDi puede ser muy elevado (> 50%).

Agua abajo

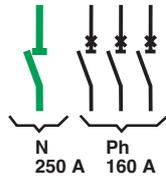
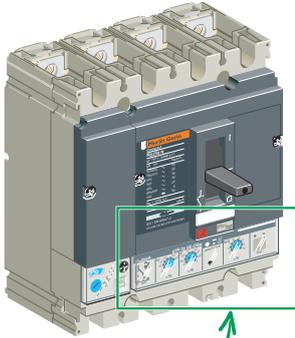
Distribución Terminal: el dimensionamiento de las salidas monofásicas no se ve específicamente afectado por el THDi.



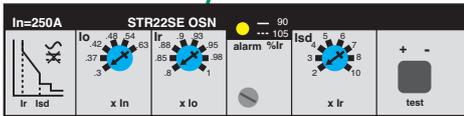
Esquema típico de una instalación con agrupación de cargas monofásicas no lineales en los cuadros divisionarios.

DB103796

Compact NS250 4P



STR22SE OSN



DB103803



Equipo para instalar

Protección en caso de nivel de armónico H3 elevado (del 15% a > 33%) Equipo para instalar.

THDi > 33%

La corriente que circula por el conductor neutro es superior a la de los conductores de fase (1,7 como máximo).

Para la protección de la salida de corriente elevada H3, debe instalarse una oferta de tipo Compact NS OSN (OverSized Neutral).

Consiste en instalar un disyuntor Compact NS:

- dimensionado en calibre para la corriente del neutro (es decir, en 1,6 veces la corriente de corriente de fase)
- cuya protección de fases esté ajustada para la corriente de las fases
- y (eventualmente) la protección del neutro está ajustada específicamente en 1,6 veces la protección de las fases.

La tabla adjunta indica las diferentes posibilidades.

Compact NS OSN	I fase de la salida					
	25 A	63 A a 63 A	100 A a 100 A	160 A a 160 A	200 A a 250 A	400 A a 400 A
NS100 OSN		■				
NS160 OSN		□	■			
NS250 OSN			□	■		
NS400 OSN				□	■	
NS630 OSN					□	■

□ posible

■ recomendado

THDi del orden del 33% pero desconocido

Las reglas de instalación permiten 2 soluciones

- dimensionar el conjunto de los conductores para el esfuerzo máximo: seguro pero costoso y totalmente improbable
- dimensionar normalmente la instalación y paliar los riesgos de producir sobrecargas del conductor neutro, es decir:
 - prever la protección del neutro Compact NS 4P, 4D
 - vigilar el THDi (en particular para el armónico 3) de la red.

Para la protección de la salida, instalar un Compact NS 4P 4D dimensionado para las características de salida que se van a considerar equipado con un módulo de comunicación. Este módulo permite recuperar directamente la información de THDi en un módulo de medida PM o centralmente en un concentrador de datos. Está disponible un software dedicado para la explotación de estos datos en un PC.

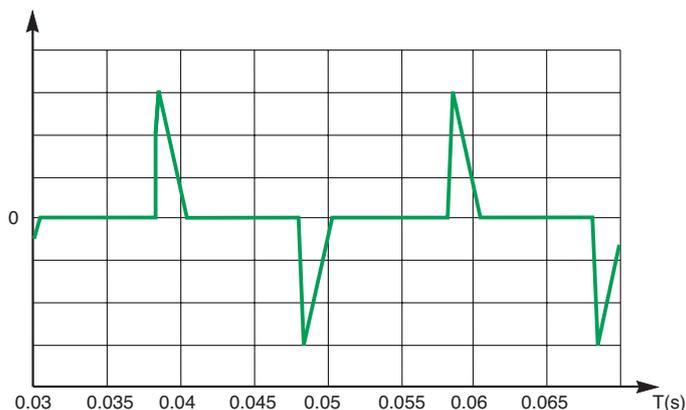
3. Evolución de la norma CEI 60364: los armónicos

(continuación)

Corrientes de armónicos creadas por el alumbrado

El principio de una reactancia electrónica es alimentar el tubo fluorescente con una tensión alterna de alta frecuencia. Se compone de un convertidor c.a.-c.c. (rectificador) asociado a un convertidor c.c. que genera la tensión de alta frecuencia (20 a 60 kHz).

Para lámparas de baja potencia (en particular, lámparas fluocompactas) el rectificador absorbe en la red una corriente muy deformada cuya velocidad típica se representa a continuación:



El índice de armónico 3 puede alcanzar el 85%.

Para dispositivos de potencia más fuerte (> 25 W), el rectificador está dotado de un dispositivo de filtrado o de corrección del factor de potencia (Power Factor Correction, PFC), que permite reducir el índice de armónico 3 a menos del 30%.

Armónicos H3 creados por alumbrados

Tipo de lámpara	Potencia típico	Modo de ajuste	THDi _{H3} típico
Lámpara incandescente con variador	100 W	Variador de luz	5 al 85%
Lámpara halógena TBT	25 W	Transformador TBT electrónico	5%
Tubo fluorescente	100 W	Reactancia magnética	10%
	< 25 W	Reactancia electrónica	85%
	> 25 W	+ PFC	30%
Lámpara de descarga	100 W	Reactancia magnética	10%
		Reactancia eléctrica	30%

Ejemplo de distribución de las cargas y las corrientes H3 en locales de oficinas

Tipo de carga	Número	Corriente unitaria absorbida (A)	Corriente total (A)	Índice armónico 3 (%)	Corriente armónico 3 total (A)
PC	10	0,5	5	85	4,25
PC + impresora	5	1,45	7,3	35	2,55
Fotocopiadora	2	0,32	0,64	65	0,42
Tubos fluorescentes	20	0,2	4	25	1
Calefacción		10	10	0	0
Total			27		8,2

El cálculo del $THDi_{H3}$ proporciona:

$$i_{H3} (\%) = 100 \cdot \frac{8,2}{27} = 0,30$$

El nivel de H3 se reduce por lo tanto en gran medida: el sobredimensionamiento del conductor neutro es por lo general excepcional y normalmente específico de las aplicaciones particulares (salas de informática, invernaderos...).

3. Evolución de la norma CEI 60364: los armónicos

(continuación)

3.2 Los armónicos y los esquemas de enlaces a tierra (SLT)

Evitar el TN-C en presencia de armónicos

El neutro y el PE se confunden en un PEN conectado siempre que sea posible a la estructura metálica del edificio con el fin de garantizar su equipotencialidad. Esto genera dos tipos de problemas:

- radiación electromagnética de corrientes incontroladas

Las corrientes que deben circular por el PEN, concretamente los armónicos de nivel 3 k, pueden recorrer trayectorias no controladas (masas de cables de materiales de comunicación, distintos elementos conductores). Por ello, en las trayectorias de cables (3Ph + PEN), la suma vectorial de las corrientes ya no es nula. Por lo tanto, hay radiación electromagnética. El mismo fenómeno se produce también en las estructuras conductoras.

A modo de ejemplo, un tubo catódico (T.V., microordenador) se perturba debido a un campo magnético de 0,7 A/m: es el campo que genera una corriente de 10 A a 2 m de distancia. Este valor se puede alcanzar fácilmente.

El esquema TN-C está por lo tanto mal adaptado a los requisitos modernos de la Compatibilidad Electromagnética (CEM).

- caída de tensión en el PEN

La circulación de las corrientes en las masas y estructuras y las corrientes de desequilibrio derivadas de las cargas monofásicas crean caídas de potencial en el PEN y afectan a su equipotencialidad.

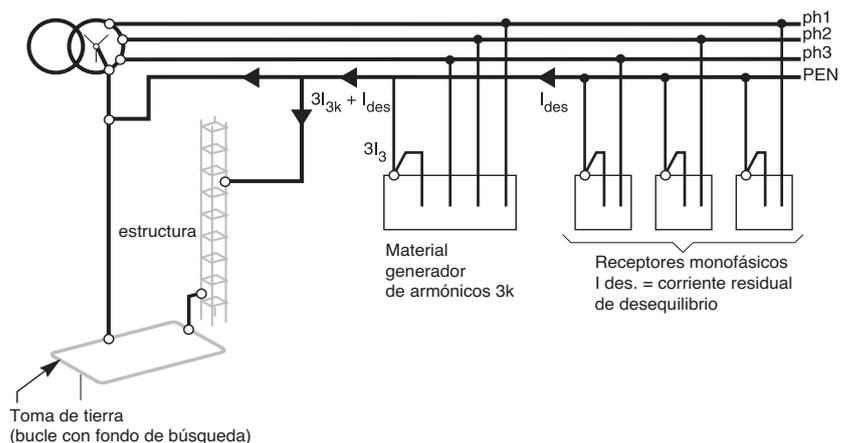


Figura 16: circulación de las corrientes en el PEN y las estructuras metálicas en TN-C

En TN-S en presencia de armónicos, cuidado con los acoplamientos de las fuentes

Las figuras 17 y 18 representan el esquema de una distribución eléctrica alimentada por 2 fuentes normalmente independientes (acoplamiento normalmente aguas arriba), con puesta a tierra de cada una de las fuentes en esquema TN-S. Esta distribución puede alimentar 2 redes privadas independientes. La protección contra incendios se realiza con equipos de tipo GFP (Ground Fault Protection).

- problema general relativo al acoplamiento de las fuentes en caso de fallo de aislamiento y de neutro no cortado

Cuando dos fuentes S1 y S2 se acoplan en TN-S sin cortar el neutro (fig. 17), en caso de fallo de aislamiento, una parte de la intensidad de defecto (I_{d1}) vuelve normalmente a la fuente por el PE, pero otra parte (I_{d2}) puede volver a la fuente a través de las estructuras metálicas.

Esta corriente I_{d2} se observa por la protección de tierra (GFP - Ground Fault Protection) de la fuente S2.

Según la distribución de las corrientes se puede obtener una falta de disparo de la protección de la fuente S1 relativa a este fallo, ya que el umbral de sensibilidad ya no se alcanza. La corriente I_{d2} puede, por el contrario, afectar al GFP y provocar un disparo intempestivo si su umbral es más bajo, del interruptor de acoplamiento.

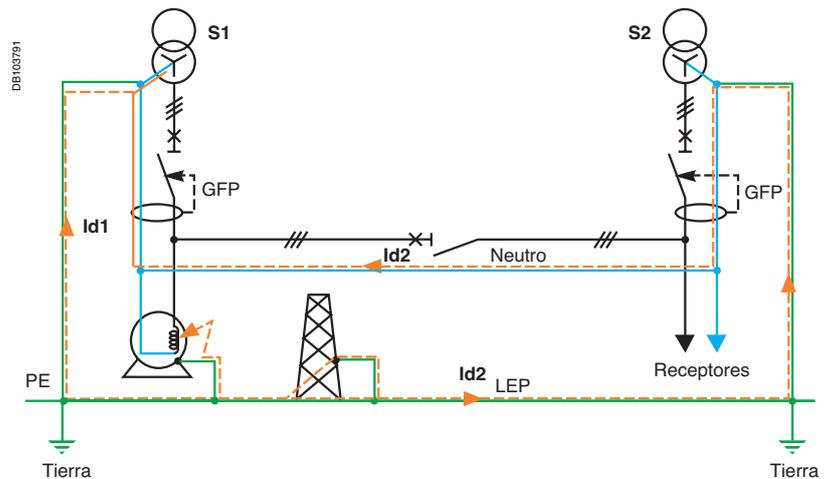


Figura 17: fallo de aislamiento con neutro sin cortar

■ **problema relativo al acoplamiento de las fuentes en presencia de armónicos**

Consideremos ahora las dos fuentes S1 y S2 siempre acopladas en T N-S sin corte de neutro esta vez a falta de fallo de aislamiento pero en presencia de armónicos de nivel 3 k (fig. 18).

Estos armónicos se añaden al neutro que lleva una corriente relevante. Debido a las conexiones del neutro con las masas metálicas, esta corriente puede volver a realizar otro bucle en la fuente S1 a través del conductor neutro y el PE de la instalación. Por este motivo, una corriente relevante puede circular por la estructuras incluso si las 2 redes son independientes. Esta contaminación natural de S2 puede ser importante y grave si los equipos alimentados son sensibles.

Por ejemplo, si para la figura 18 se considera una distribución de 3.000 A, con el 5% de armónicos 3 acumulados en el neutro proporcionan la circulación de $3 \times 3.000 \times 5\% = 450$ A. Con el 10% de la corriente de retorno por el acoplamiento, esto proporciona una corriente de 45 A en el PE y las estructuras, corriente homopolar, y por lo tanto una radiación electromagnética.

Así, el corte omnipolar del interruptor de acoplamiento permite eliminar esta contaminación. Además, si este corte se realiza en los 2 disyuntores de origen, esto garantiza un correcto funcionamiento en todos los casos de figuras.

El corte tetrapolar en el inversor de fuente está recomendado por la CEI 60364 § 444.4.9.

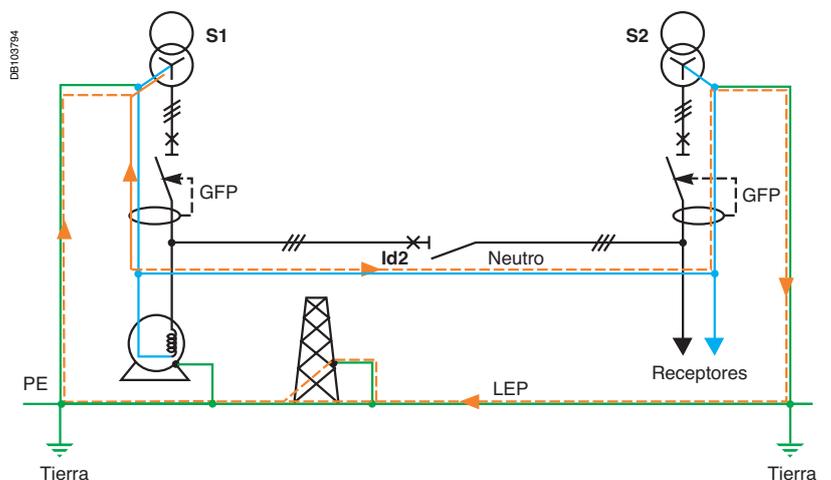


Figura 18: corriente de armónicos sin fallo de aislamiento con neutro sin cortar

4. Conclusiones

Este estudio resumido muestra que en una distribución trifásica cualquiera:

El esquema **TN-C** exige una **continuidad de neutro**, ya que también es conductor de protección PE. Este SLT no está recomendado e incluso está prohibido si los equipos alimentados generan corrientes de armónicos, lo que es cada vez más frecuente.

Para los demás **SLT**, la protección específica, el corte o el seccionamiento del conductor neutro pueden no ser necesarios. No obstante, por motivos:

- de seguridad sin tensión, el seccionamiento está recomendado, véase exigido;

- de un correcto funcionamiento, el corte omnipolar está recomendado.

Por todo ello, una protección de los circuitos mediante disyuntor seccionador tetrapolar garantiza la calidad de la alimentación eléctrica en funcionamiento y la seguridad sin tensión.

- se deben considerar el dimensionamiento del conductor neutro y su protección en presencia de corrientes de armónicos 3.