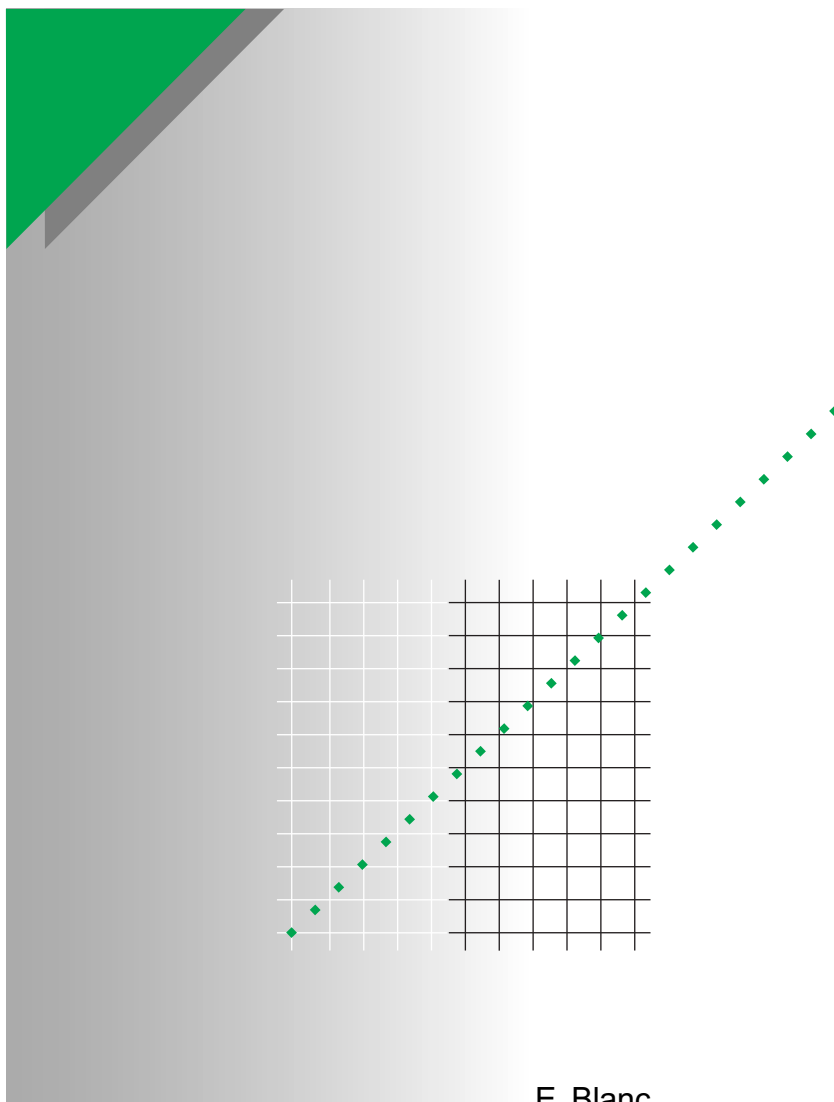


Cuaderno Técnico nº 150

Evolución de los interruptores automáticos de BT con la norma CEI 947-2



E. Blanc

Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

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

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

Puede accederse a estas publicaciones en Internet:
<http://www.schneiderelectric.es>

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

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

Telf. (93) 285 35 80
Fax: (93) 219 64 40
e-mail: formacion@schneiderelectric.es

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

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 150 de Schneider Electric».



Etienne Blanc

Diplomado ingeniero IEG en 1968, entra en Merlin Gerin en 1970. Después de tres años en «Información - Promoción de ventas» donde es responsable de la documentación técnica BT, pasa a la Dirección técnica y se dedica al estudio de las redes (estabilidad dinámica, protección, selectividad, armónicos, seguridad...). En 1983 alcanza la Dirección técnica del Departamento de «interruptores automáticos industriales» donde es gerente de productos.

cuaderno técnico nº 150

Evolución de los interruptores automáticos de BT con la norma CEI 947-2

Por : Etienne Blanc

Trad.: E. Milà

Edición francesa: septiembre 1 997

Versión española: marzo 1 998

Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

Evolución de los interruptores automáticos de BT con la norma CEI 947-2

Índice

1 Introducción	La publicación CEI 947-2	p. 5
	Etapas de su aplicación	p. 7
	Sus novedades principales	p. 7
2 El interruptor automático, un aparato de seguridad multifuncional	Características y nuevos ensayos para asegurar mejor la protección contra las sobreintensidades	p. 8
	La resistencia a las sobretensiones para la «coordinación del aislamiento»	p. 10
	La introducción de la electrónica en los interruptores automáticos industriales	p. 11
	Seccionamiento y protección diferencial: dos funciones complementarias ahora reconocidas	p. 12
3 Una norma con ensayos que reproducen la realidad	Ensayos agrupados en secuencias	p. 14
	Un muestreo de interruptores automáticos muy extenso	p. 14
4 Consecuencias prácticas para el diseñador de una instalación	Los criterios fundamentales de elección de un interruptor automático no han cambiado	p. 16
	Utilidad de la «capacidad de ruptura en servicio» Ics	p. 16
	Dos aparatos en uno: el interruptor automático-seccionador	p. 16
	Un seguro a todo riesgo: la conformidad con la CEI 947-2	p. 17
Anexo 1: Principales diferencias entre las normas CEI 157-1 y CEI 947-2		p. 18
Anexo 2: Definiciones y símbolos según la CEI 947-2		p. 19
Anexo 3: Ejemplos de cálculo de Icc probables		p. 20
Anexo 4: La norma CEI 898 para los interruptores automáticos de uso doméstico		p. 22

La evolución de la necesidad de seguridad y de las tecnologías ha llevado a una revisión significativa de las exigencias normativas para los interruptores automáticos industriales (instalación reservada a profesionales electricistas).

Hoy en día, la conformidad a la norma CEI 947-2 de 1989, reeditada y completada en 1995, puede considerarse como un seguro a todo riesgo en cuanto a las prestaciones de los interruptores automáticos.

Es digno de especial mención el que todos los países hayan aprobado esta norma; el último, Japón, deberá hacerlo próximamente.

Este Cuaderno Técnico explica la mayor parte de esta norma, comparándola con la antigua CEI 157-1 y detalla los numerosos ensayos que estos aparatos de corte han de sufrir. Además, estos ensayos reproducen muy fielmente los esfuerzos que se presentan en las instalaciones eléctricas reales.

1 Introducción

Como todos los materiales eléctricos, los interruptores automáticos industriales de BT se diseñan, fabrican y verifican conforme a reglas que se agrupan en normas, llamadas «normas de productos» (figura 1).

Cada país tiene sus propias normas (UNE en España, UTE en Francia, BS en Inglaterra, VDE en Alemania, etc.) normalmente derivadas de las publicaciones de la CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) que le sirven de referencia.

Según esto, actualmente, las normas que se refieren a los interruptores automáticos industriales BT están basadas, en Europa como en otro gran número de países, en la norma CEI 947-2, que sustituye desde 1989 la norma CEI 157-1, publicada en 1973 (figura 2).

La publicación CEI 947-2

Un paso más hacia un estándar internacional

La voluntad de conseguir un reconocimiento todavía más internacional de las recomendaciones CEI, así como los avances técnicos y tecnológicos conseguidos por los fabricantes desde 1973 obligaron al subcomité 17B de la CEI a trabajar en la revisión de la publicación 157-1.

Los trabajos de estos expertos internacionales, entre los que había tres ingenieros de Schneider, se concretaron en la publicación de 1989 de la primera edición de la norma CEI 947-2.

Esta norma obtuvo en la votación de su aprobación un gran acuerdo mundial (Europa, Estados Unidos, Canadá, Australia, África del Sur, ...). Japón fue la única excepción, pero deberá reconocer oficialmente esta norma en 1997 ó 1998 (figura 3).

En el mundo de la electrotecnia, hay dos tipos de normas que todos los implicados deben de respetar:

1. las « normas productos »

Hay una norma de éstas para cada uno de los elementos de una instalación eléctrica. La conformidad de un producto con estas normas es, para el usuario, un seguro de calidad y fiabilidad.

2. las normas de instalación

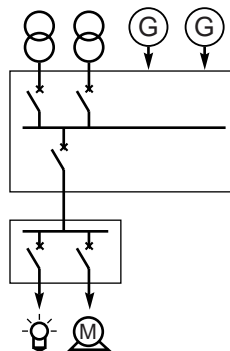
Agrupan el conjunto de reglas que hay que respetar en el diseño, instalación y uso de una instalación eléctrica para asegurar:

- condiciones idóneas en la alimentación de los receptores (tensión, frecuencia, continuidad del suministro, ...),
- la seguridad de las personas y los bienes,
- ... y el que estas características se mantengan a lo largo del tiempo.

En España, la norma UNE 20.460 es de esta categoría.

Ejemplos de componentes a los que se refieren las «normas productos»:

- sistemas de alimentación de energía,
- cuadro principal de distribución (envolvente y apareamiento),
- cables,
- cuadros secundarios de distribución (envolvente y apareamiento),
- cables,
- receptores.



Principales parámetros que definen o tienen en cuenta las «normas de instalación»:

- esquema de conexión a tierra,
- corriente a transportar,
- intensidad de cortocircuito,
- intensidad de defecto de aislamiento,
- temperatura,
- tipo y forma de instalar los cables,
- caída de tensión máxima admisible,
- riesgos especiales (incendio, desgarga, explosión),
- selectividad,
- exigencias especiales de explotación,
- etc.

Fig. 1: Las «normas productos» y las normas de instalación.

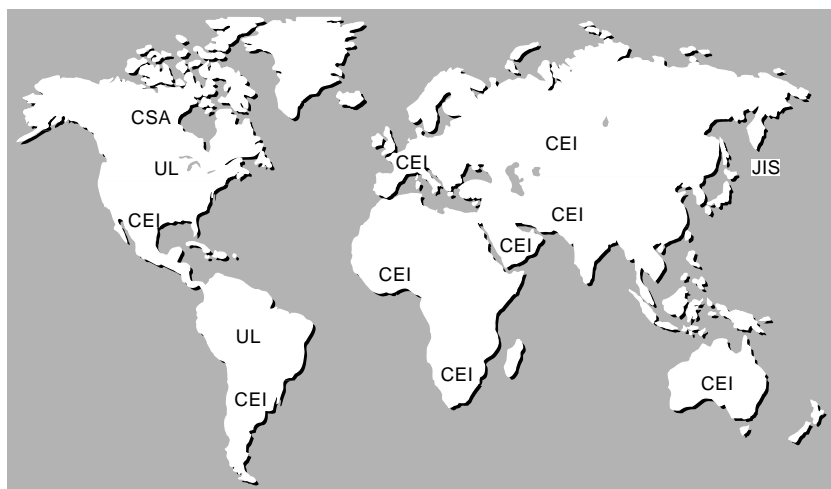


Fig. 2: Mapa de las influencias normativas.

La CEI 947-2 es una parte de un trabajo mucho más amplio: la CEI 947

Esta obra abarca 7 documentos que constituyen las normas CEI para el conjunto de la aparatación eléctrica de BT utilizable en el campo industrial:

- CEI 947-1: Reglas generales, 2ª edición, (publicada en septiembre de 1996),
- CEI 947-2: Interruptores automáticos, 2ª edición (publicada en diciembre de 1995),
- CEI 947-3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y seccionadores-fusibles (antes, CEI 408) (publicada en 1990),
- CEI 947-4.1: Contactores y arrancadores de motores (antes, CEI 158-1 y CEI 292) (publicada en mayo de 1996),
- CEI 947-4.2: Reguladores y arrancadores con semiconductores para motores de corriente alterna (publicada en 1995),
- CEI 947-5.1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando (antes, CEI 337) (publicada en marzo de 1990),
- CEI 947-5.2: Detectores de proximidad (publicada en julio de 1992),
- CEI 947-6.1: Materiales de conexión de transferencia automática (publicada en 1989),

■ CEI 947-6.2: Aparatos de conexión de mando de protecciones (ACP) (publicada en agosto de 1992),

■ CEI 947-7.1: Bloques de conexión para conductores de cobre (publicada en 1989).

Toda esta estructura ha permitido homogeneizar el vocabulario y las reglas generales entre las diferentes familias de productos; pero, para determinar la totalidad de las reglas relativas a una categoría de aparatos, es necesario consultar dos documentos más:

■ las «Reglas generales» (CEI 947-1) que agrupan las definiciones, prescripciones y ensayos comunes a todo el material industrial BT,

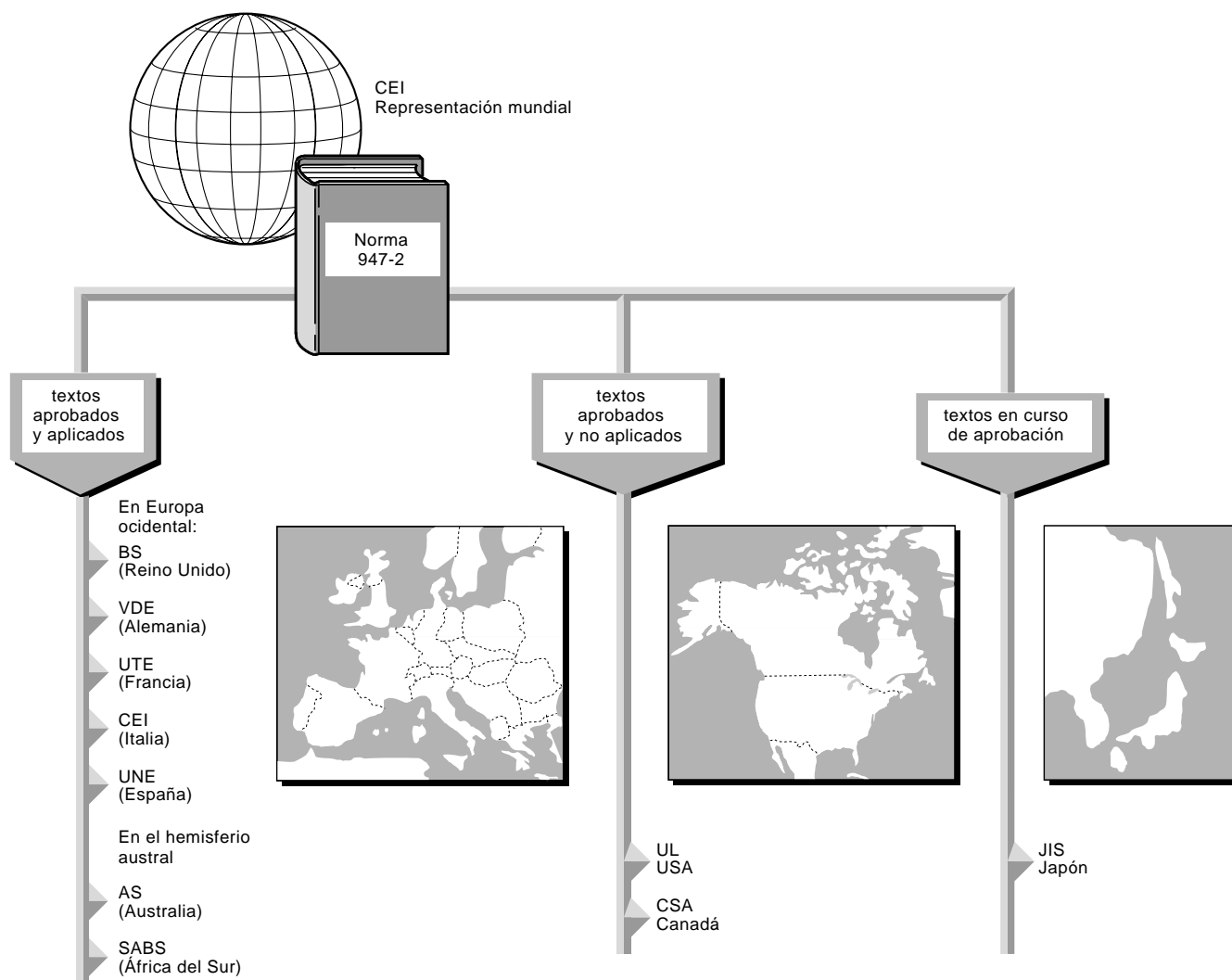


Fig. 3: Representación mundial de la CEI 947-2.

■ las «normas productos» (CEI 947-2 a la 7) que tratan de las prescripciones y ensayos específicos del producto concreto al que se refieren. Así, los textos que se aplican a los interruptores automáticos BT industriales son las CEI 947-1 y CEI 947-2.

Etapas de su aplicación

En Europa

Los textos de la CEI 947 se estudian ante todo a nivel del **Comité Europeo de Normalización ELECTrotécnica** (CENELEC) que agrupa diez y ocho países de Europa Occidental.

A partir de estos textos básicos, el CENELEC establece:

■ bien una norma europea «EN xxx» que a continuación se ratifica como norma nacional para todos los países miembros;

■ o, en caso de divergencias técnicas, un documento de armonización «HD ...» que a continuación se convierte en norma nacional con la integración de los puntos específicos de cada país.

En lo que se refiere a las publicaciones CEI 947-1 y 2, no ha

aparecido hasta este momento ninguna divergencia importante. Así, el CENELEC publicó en 1991 dos normas europeas, EN 60 947-1 y EN 60 947-2, que se encuentran desde 1992 entre las normas nacionales de los diferentes países miembros.

En USA y Canadá

Aunque estos países hayan emitido un dictamen favorable, sus normas (UL en USA, CSA en Canadá) actualmente en vigor son muy diferentes de la CEI 947-2. A pesar de una cierta aproximación en algunos detalles, se puede pensar que estos dos países conservarán todavía mucho tiempo sus normas específicas.

En Japón

Japón es el único país que ha votado negativamente. Por tanto, no ha adoptado los textos CEI y conserva sus propias normas JIS. Mientras tanto, bajo la presión internacional, las fronteras de estos países se abren progresivamente y las CEI 947 deberán servir de base a una nueva norma JIS.

En los otros países del mundo

Cada país, después de estudiarlo, puede ratificar el texto CEI como norma nacional aplicándole las

modificaciones que considere oportunas.

Habiendo obtenido un acuerdo prácticamente unánime, la norma CEI 947-2 ha sido adoptada con muy pocas modificaciones por la mayoría de países.

Sus novedades principales

Es imprescindible señalar que los nuevos textos no modifican los criterios fundamentales de elección de un interruptor automático que afectan a su poder de ruptura y su corriente nominal o asignada.

Sin embargo, proporcionan al usuario mejores garantías en cuanto a calidad y prestaciones, introduciendo ensayos y exigencias adicionales que se aproximan más a las condiciones reales de funcionamiento de un interruptor automático en su utilización (**anexo 1**).

Esta norma tiene también en cuenta la capacidad de los interruptores automáticos de asegurar, además de sus funciones habituales de protección contra sobrecorrientes, otras, como el seccionamiento o la protección de personas, añadiéndoles un dispositivo diferencial.

2 El interruptor automático, un aparato de seguridad multifuncional

Características y nuevos ensayos para asegurar mejor la protección contra las sobreintensidades

Lo que espera ante todo un usuario de un interruptor automático es que cumpla, sin ningún problema, su papel principal: proteger en cualquier circunstancia y con toda seguridad las instalaciones eléctricas contra las sobreintensidades, sean los que sean sus valores, siempre que estén comprendidos entre la intensidad nominal del aparato y la correspondiente a su poder de ruptura.

Frente a esta necesidad, la CEI 947-2 no sólo mantiene las características principales de un interruptor automático, (poder de ruptura, corriente nominal, tensión de empleo o nominal, etc.) clarificándolas y completándolas con nuevas nociones y prestaciones (**anexo 2**), sino que también obliga a hacer toda una serie de pruebas cuyo rigor constituye la garantía de su capacidad de abrir un circuito sea el que sea el valor de su corriente.

Aclaración sobre el poder de corte —PdC—

En la CEI 157-1 coexistían, para un mismo interruptor automático, dos poderes de ruptura, denominados «P1» y «P2», diferenciados a la vez por el ciclo de ensayos y las exigencias de después de la ruptura.

La CEI 947-2 elimina totalmente esta ambigüedad: en lo sucesivo, ningún interruptor podrá tener más que un único poder de corte, llamado Icu (poder de corte final) expresado en kA. Icu corresponde, prácticamente, al poder de ruptura P1 de la norma anterior y está definido de la misma forma: Icu (CEI 947-2) = PdC P1 (CEI 157-1).

Desde que se empieza el diseño de una instalación hay que comparar esta característica con el valor de la corriente de cortocircuito trifásico en el punto donde se instala el interruptor automático, de modo que siempre: Icu (del aparato) \geq Icc trifásico (de la red).

La característica de corte en servicio: Ics

Los cálculos de corrientes de cortocircuito presuntas se hacen habitualmente con hipótesis maximalistas buscando siempre la máxima seguridad, en concreto:

- el cortocircuito es trifásico,
- el fenómeno se realiza cortando sin que aparezca el arco,
- no se tienen en cuenta las resistencias de las conexiones,
- se considera que el cortocircuito se produce en bornes de salida del interruptor automático, sin añadir ningún tramo de cable,
- las resistencias de las conexiones se consideran a la temperatura normal de funcionamiento de los cables (en realidad, cuando hay una sobreintensidad, estas resistencias son mayores porque aumentan al calentarse los cables).

Por todo lo anterior resulta que, cuando se produce un cortocircuito (hecho en sí excepcional), el valor de la corriente real es bastante inferior (y en los circuitos finales, mucho menor todavía) a la Icc calculada.

Por el contrario, es importante que estas corrientes, de probabilidad más elevada, sean interrumpidas en las mejores condiciones, para asegurar que, una vez eliminada la causa del defecto, se consiga un retorno del servicio inmediato y con la mejor seguridad posible para la instalación.

Por esta razón, la CEI 947-2 introduce una nueva característica Ics, llamada «poder de corte de servicio», que generalmente se expresa en % de Icu (valor a escoger por el fabricante entre el 25, 50, 75 ó 100%) y que se establece de la manera siguiente:

- el interruptor automático efectúa tres cortes sucesivos de la corriente Ics,
- inmediatamente se prueba el aparato y se hacen una serie de medidas y maniobras para comprobar que mantiene todas sus

características (calentamiento con In, capacidad de cortar su corriente nominal efectuando el 5 % de su endurance eléctrica, rigidez dieléctrica, funcionamiento de los relés y mecanismos de disparo...).

Esto hace que la Ics sea una característica que no podemos considerar como un simple poder de ruptura (como era el poder de corte P2 en la CEI 157-1) sino como la aptitud de un interruptor automático para asegurar un servicio completamente normal, incluso después de haber interrumpido varias corrientes de cortocircuito (abierto; cerrado/abierto; cerrado/abierto).

La corriente de corta duración admisible Icw (para los interruptores automáticos de categoría B)

La norma CEI 947-2 define dos categorías de interruptores automáticos:

- los de categoría A no prevén, en su funcionamiento, ningún retardo en la desconexión por cortocircuito. Es el caso general de interruptores automáticos en caja moldeada, como el Compact NS. Esta exigencia no es sinónimo de no selectividad en la desconexión (ver Cuaderno Técnico nº 167);
- los de la categoría B, para poder realizar una selectividad cronológica, pueden retardar su disparo ante un cortocircuito de valor inferior a Icw. Es normalmente el caso de los interruptores automáticos abiertos (tipo Masterpact) y de ciertos aparatos de caja moldeada de calibres altos, como el Compact C1251N.

Para estos últimos, la nueva CEI obliga a hacer un ensayo adicional de verificación de su capacidad para soportar, tanto desde el punto de vista térmico como electrodinámico (sin repulsión de contactos, lo que provocaría un desgaste prematuro) el paso de la corriente Icw durante el tiempo de retardo añadido. (**Figura 4**).

	corriente de corta duración admisible I_{cw}		retardo asociado Δt
	$I_n \leq 2500 \text{ A}$	$I_n > 2500 \text{ A}$	
valores según CEI 947.2	$I_{cw} \leq 12 I_n$ (con mini 5 kA)	$I_{cw} \leq 30 \text{ kA}$	0,05 s (valor mínimo) 0,1 s 0,25 s (valores preferentes) 0,5 s 1 s
ejemplo Masterpact M20 H2	$I_{cw} = 75 \text{ kA}$		1 s

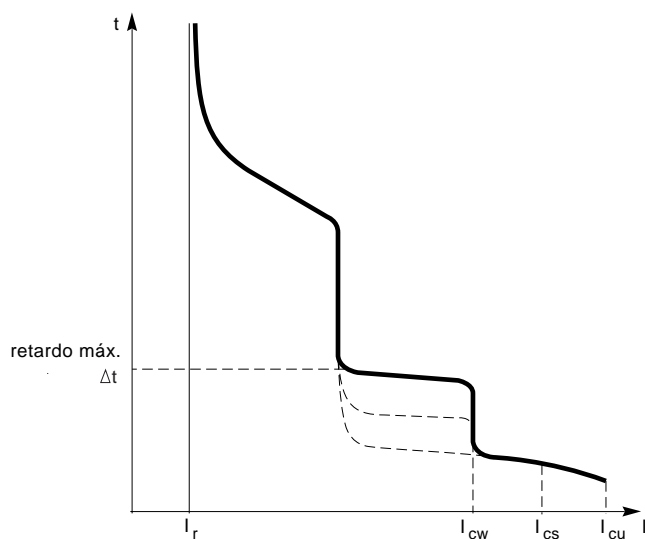


Fig. 4: Prueba adicional para los interruptores automáticos de la categoría B.

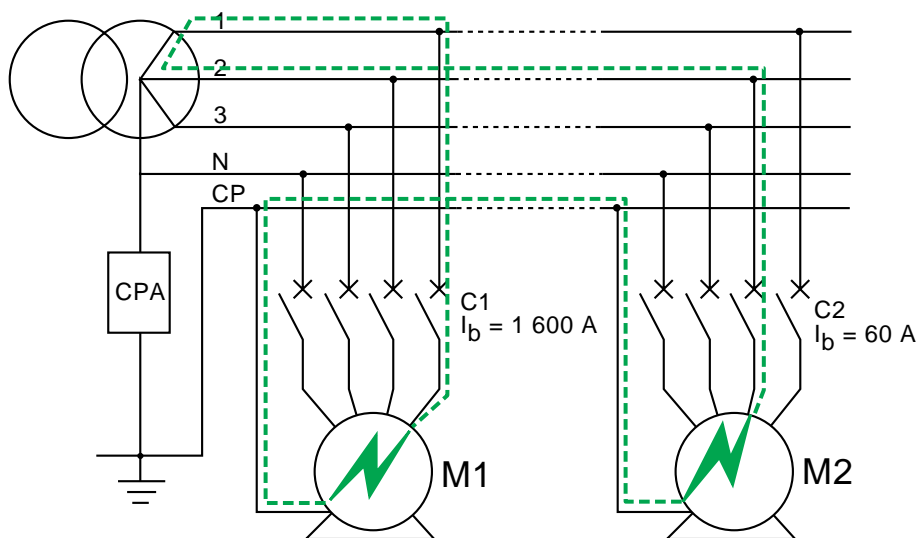


Fig. 5: Ejemplo de corte de una corriente de «defecto doble» en una instalación con esquema IT. Debido a la diferencia de calibre entre los dos interruptores automáticos (C1 y C2) es posible que solamente uno de los dos, el C2, tenga la posibilidad de eliminar el defecto con un solo polo a la tensión compuesta (fase-fase).

El corte en el esquema IT

En el esquema IT, los interruptores automáticos pueden tener que cortar con un solo polo una corriente de «defecto doble» con la tensión entre fases. (Figura 5).

El anexo H de la CEI 947-2 tiene en cuenta este tipo de corte y obliga a que los interruptores automáticos que se utilicen con el esquema IT sufran una prueba de corte específico.

Los aparatos que no hayan superado esta prueba, no se tienen que utilizar con el esquema IT y han de marcarse con el símbolo \otimes .

La coordinación entre interruptores automáticos

El término «coordinación» se refiere al comportamiento de dos aparatos, C1 y C2, instalados en serie en una distribución eléctrica, al aparecer un cortocircuito aguas abajo de C2. (Figura 6).

Recordemos dos conceptos:

■ uno, muy conocido, la selectividad, cada vez más buscada en las instalaciones de distribución eléctrica de baja tensión,

■ otro, menos conocido (pero reconocido y aceptado en todas las normas de instalación), llamado «filiación», «cascading», «series rating» o «protección de acompañamiento». La filiación consiste en instalar un aparato C2, cuyo poder de ruptura I_{cu2} es inferior a la corriente de cortocircuito trifásico en sus bornes I_{cc2} y que está

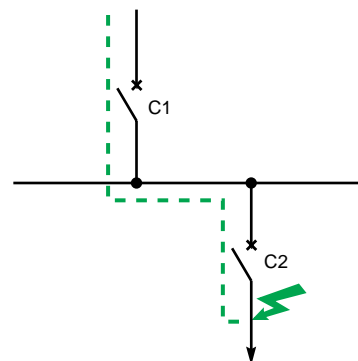


Fig.6: Dos interruptores automáticos C1 y C2 puestos en serie en un circuito.

protegido o «ayudado» por otro aparato, el C1, ante los cortocircuitos de corriente comprendida entre I_{cu2} e I_{cc2} (Figura 7). La ventaja principal de esta técnica es el poder instalar en el punto C2 un aparato de menores prestaciones y, por ello, más económico, sin el menor riesgo sobre la seguridad de la instalación.

Para determinar y garantizar la coordinación entre dos interruptores automáticos, es necesario efectuar una primera aproximación teórica de las características, que deben de confirmarse mediante ensayos elegidos cuidadosamente. Este es el procedimiento que siempre ha usado Merlin Gerin para poder establecer las tablas de selectividad y filiación que actualmente están completamente de acuerdo con las del anexo A de la CEI 947-2.

Las aproximaciones o métodos teóricos previos consisten en:

- para la selectividad, la comparación de las características de limitación del interruptor situado aguas abajo con las características de no-desconexión del aparato situado aguas arriba. (Figura 8). El método es muy exacto y no necesita muchos ensayos de confirmación;
- para la filiación, se comparan las características de limitación del aparato colocado aguas arriba con los esfuerzos máximos que puede soportar el aparato a emplazar aguas abajo. (Figura 9). Este método es mucho menos preciso que el anterior y, también en este caso, la CEI 947-2 exige que los resultados se verifiquen con un número mayor de ensayos.

La resistencia a las sobretensiones para «la coordinación de aislamiento»

¿Qué es la coordinación de aislamiento?

Cualquier instalación eléctrica puede verse sometida a sobretensiones ocasionales producidas por muy diversas causas, como:

- sobretensiones atmosféricas,
- sobretensiones de maniobra,
- sobretensiones causadas por un defecto,
- sobretensiones debidas a una conexión MT/BT,
- etc.

El estudio de estas sobretensiones (origen, valor, localización...) y las reglas a aplicar para protegerse de ellas es lo que se conoce con el nombre de «coordinación de aislamiento» (Cuadernos Técnicos n° 151 y 179).

En las redes industriales de baja tensión, la protección contra las sobretensiones se considera realizada cuando los materiales utilizados soportan, sin problemas, los dos tipos de ensayos siguientes:

- ensayos de rigidez dieléctrica a 50 Hz, ya bien conocidos, por ejemplo, la rigidez con $(2 U_i + 1\,000)$ V, durante 1 minuto, que simulan el riesgo de un defecto de las instalaciones con tensión más elevada;

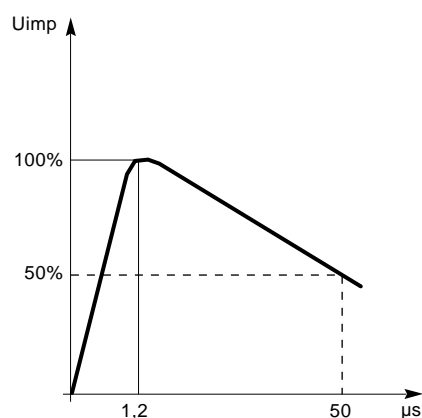


Fig.10: Onda de choque para los interruptores automáticos industriales 1,2/50 μ s.

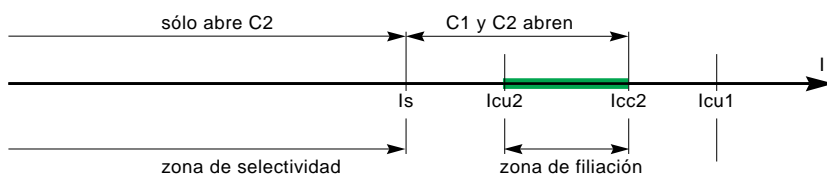
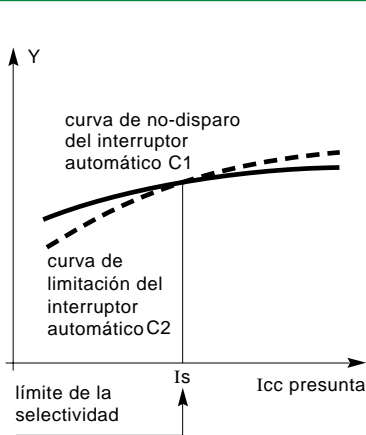


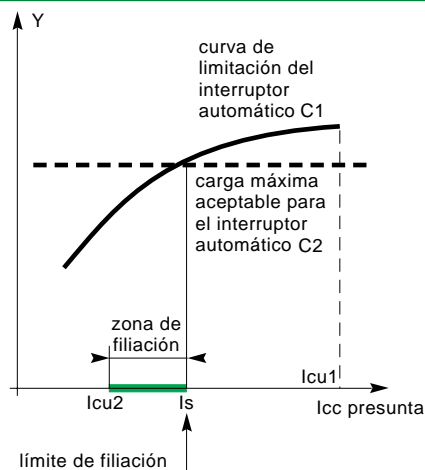
Fig.7: Principio de filiación de dos interruptores automáticos: el aparato C2, cuyo poder de corte I_{cu2} es inferior a la corriente de cortocircuito trifásico en sus bornes (I_{cc2}), está protegido o "ayudado" por el aparato C1.



Según el tipo de relé del interruptor automático C1, Y se expresa en:

- $A^2 \cdot s$ (esfuerzo térmico) para un relé magnetotérmico,
- kA pico para un relé electrónico.

Fig.8: Determinación teórica del límite de selectividad entre dos interruptores automáticos.



En todos los casos esta verificación debe de hacerse con las curvas (Y), expresadas en $A^2 \cdot s$ (esfuerzo térmico) y en kA de pico.

Fig.9: Determinación teórica del límite de filiación entre dos interruptores automáticos.

■ ensayos de rigidez a las ondas de tensión de choque (onda de 1,2/50 µs: **(figura 10)** con valor Uimp (imp = de impulso o cresta) variable según el punto de la instalación; es una novedad que añadan la rigidez dieléctrica a las sobretensiones de origen atmosférico y de maniobra. La característica Uimp que debe de tener un aparato se define en las

normas de instalación según la tabla de la **figura 11**.
Ensayos de resistencia a las ondas de tensión de choque
 Las publicaciones CEI 947 tienen en cuenta las reglas de «coordinación de los aislamiento» y exigen que los ensayos de resistencia a las ondas de choque se hagan sobre la aparamenta.

En la tabla de la **figura 12** se detallan los ensayos que deben de soportar los interruptores automáticos de uso industrial con la característica Uimp = 8 kV.
 Destaquemos en esta tabla:
 ■ que el valor Uimp deberá ser válido hasta 2 000 m de altitud. Puesto que los ensayos se realizan normalmente a nivel del mar, hay que incrementar hasta el 23 % el valor de Uimp,
 ■ que hay que hacer un ensayo específico para los aparatos en los que la superficie frontal es de clase II, según CEI 1140 (antes, CEI 536). Esta característica constructiva, además de que aumenta la seguridad para los operarios, permite realizar instalaciones en clase II dejando accesible la manecilla de mando manual del aparato **(figura 13)**. Así, por ejemplo, todos los interruptores automáticos Compact y Masterpact de Merlin Gerin tienen su parte frontal de clase II.

La introducción de la electrónica en los interruptores automáticos industriales

La miniaturización, la disminución de costos y las posibilidades nuevas que ofrece la electrónica han llevado recientemente a todos los fabricantes a sustituir una parte de los relés magnetotérmicos por relés electrónicos.

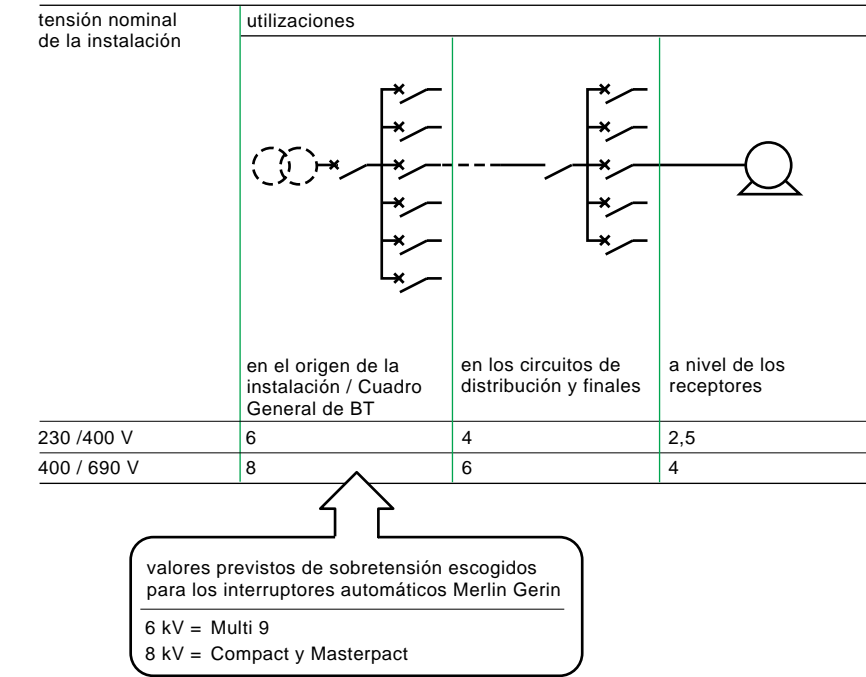


Fig. 11: Niveles previstos de sobretensiones transitorias (según la publicación 38 de la CEI y NFC 15 100, edición de 1990, para una altitud de 2 000 m).

Como que el valor de Uimp debe de ser válido hasta 2 000 metros de altura y como que los ensayos suelen realizarse normalmente a nivel del mar, estos ensayos se deberán de efectuar con un valor de tensión un 23 % mayor (por ejemplo, 9,8 kV para una Uimp de 8 kV).

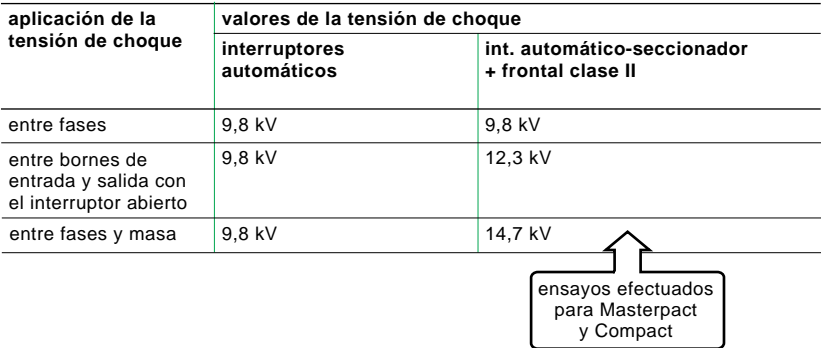


Fig. 12: Prueba de rigidez a las ondas de choque para los interruptores industriales. Durante los diversos ensayos, no debe de producirse ninguna descarga entre fases, entre contactos abiertos o entre fase y masa.

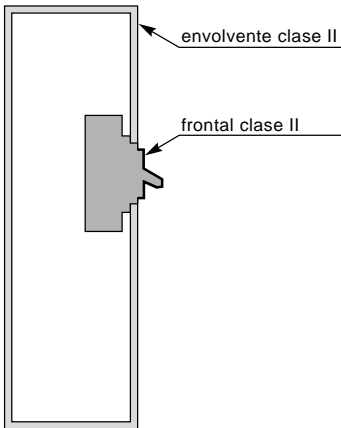


Fig. 13: Equipo de clase II, con un interruptor automático de clase II en el frontal.

La aparición de esta tecnología, utilizada en entornos severos (grandes corrientes, armónicos, temperaturas, choques mecánicos, etc), ha requerido la publicación de los anexos F y J de la CEI 947-2, para que definieran las prescripciones adicionales para los interruptores automáticos con protección electrónica. Describen especialmente los diferentes ensayos de compatibilidad electromagnética (CEM) que deben de pasar estos aparatos.

■ ensayos de inmunidad a:

- los armónicos (CEI 1000-4.13) (**figura 14**),
- bajadas y cortes de corriente (EN 50 160),
- variaciones de frecuencia (EN 50 160),
- transitorios conducidos (CEI 1000-4.4),
- perturbaciones de AF (CEI 1000-4.4),
- campos electromagnéticos (CEI 1000-4.8.9.10),
- perturbaciones electroestáticas (CEI 1000-4.2).

■ los ensayos para la limitación de las emisiones radiadas a frecuencia de radio.

Prevén también los ensayos de calor seco, calor húmedo (**figura 15**) y las variaciones rápidas de temperatura.

Seccionamiento y protección diferencial: dos funciones complementarias ahora reconocidas

Hace ya muchos años que algunos constructores, entre ellos Merlin Gerin, se imponen importantes esfuerzos para proponer a la aprobación interruptores automáticos válidos para el seccionamiento.

Del mismo modo, en los años 60, Merlin Gerin ha sido el primer constructor que ha propuesto interruptores automáticos diferenciales constituidos por un interruptor automático y un bloque adicional o «bloque Vigi» que garantiza la protección de personas ante defectos de aislamiento producidos en la red aguas abajo.

Estas dos funciones ahora las contempla la CEI 947-2.

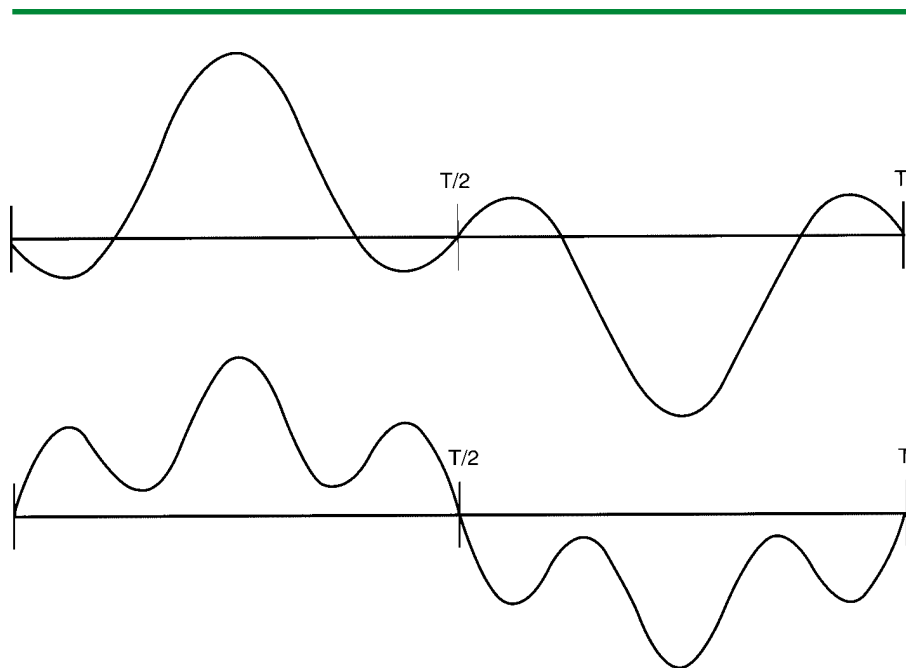


Fig.14: Formas de ondas aplicadas a los aparatos para el ensayo de inmunidad a los armónicos.

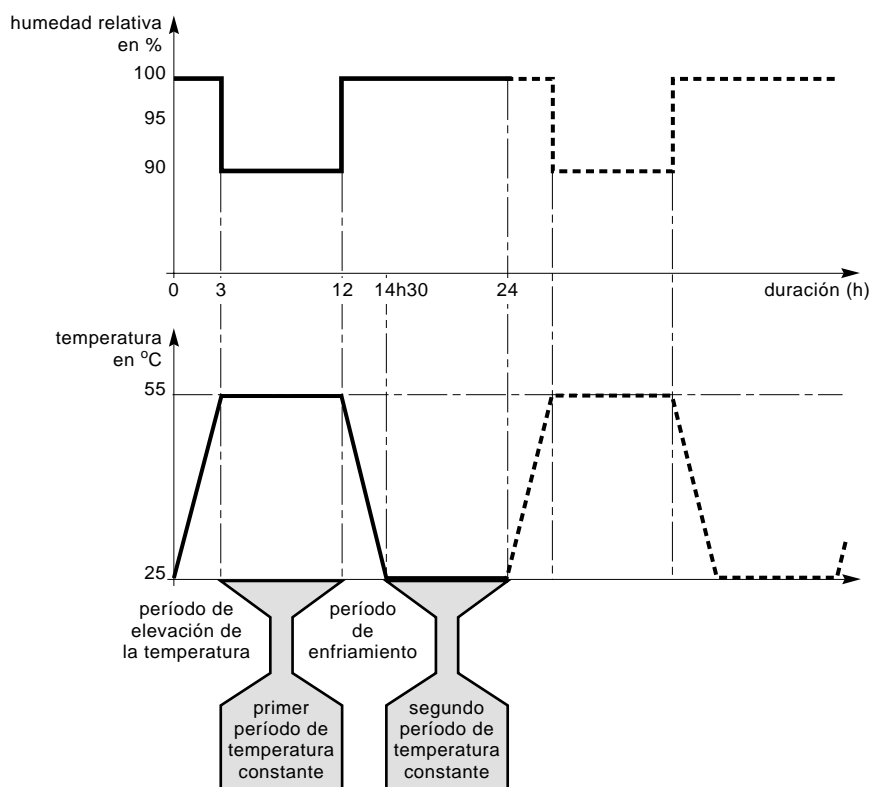


Fig.15: Ciclo de ensayo en calor húmedo, repetido durante 28 días consecutivos.

Interruptor automático-seccionador

Un interruptor automático podrá considerarse «apto para el seccionamiento» si supera con éxito la serie de ensayos descritos en la tabla de la figura 16. El aparato llevará entonces, visible en su cara delantera, el símbolo de interruptor automático-seccionador. (Figuras 17 y 18).

Interruptor automático-diferencial

Son muchos los constructores de aparata que han adoptado la tecnología de Merlin Gerin. (Figura 19). Actualmente, el interruptor automático diferencial es un aparato muy empleado pero sobre el que no existe ninguna norma específica de construcción, por lo que la calidad puede variar notablemente entre unos fabricantes y otros.

A petición de la representación francesa y basado en un proyecto realizado en Francia, la CEI 947-2 ha introducido un anexo (ver anexo B) para este producto.

Entre los puntos importantes, cabe destacar los ensayos siguientes:

- no degradación de las unidades de protección diferencial (bloques Vigi) después de disparos con Icu e Ics,
- ausencia de desconexión intempestiva en caso de:
 - sobreintensidad con $6 I_n$,
 - onda de corriente 8/20 μs ,
 - carga de capacidades de red,
- funcionamiento en condiciones de entornos severos (ciclo 28 días de calor húmedo). (Figura 15).

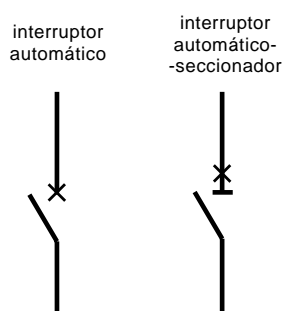


Fig. 17: Símbolos.

1.- Ensayo de medida de corrientes de fuga.

Tiene por misión el asegurar que un interruptor automático en posición «abierto» no deja pasar corrientes de fuga que puedan representar peligro alguno para el usuario.

- se realizan cuatro ensayos con un 110 % de la tensión máxima de utilización:
 - con un aparato nuevo, la corriente de fuga no debe de ser superior a 0,5 mA por polo,
 - después del ensayo de corte de corriente Ics, no debe de ser superior a 2 mA por polo,
 - después del ensayo de endurancia, no debe de ser superior a 2 mA por polo,
 - después del ensayo de corriente Icu, no debe de ser superior a 6 mA por polo.
- en este último caso, el aparato está al final de su vida y se puede decir que estos ensayos garantizan al usuario que un interruptor automático-seccionador no tendrá nunca una corriente de fuga superior a 6 mA (corriente extraordinariamente débil y que no representa ningún peligro).

2.- Rigidez dieléctrica reforzada a las tensiones de choque.

Para un interruptor automático declarado «no-apto» para el seccionamiento, el ensayo consiste en aplicar una tensión de choque Uimp entre fases y después entre fase y masa del aparato.

Para un interruptor declarado «apto» para el seccionamiento, se hace un tercer ensayo entre las entradas y las salidas del aparato en posición «abierto» con una tensión de choque mayor (fig. 12). Así, para un aparato declarado «apto para el seccionamiento» y probado con Uimp = 8kV, el ensayo de tensión de choque a nivel del mar entre la entrada y la salida del aparato abierto se hará con 12,3 kV en lugar de 9,8 kV.

3.- Ensayo de resistencia mecánica.

Este ensayo, frecuentemente llamado «prueba de soldadura de los contactos» consiste en mantener un contacto cerrado y aplicarle, durante 10 segundos, un esfuerzo tres veces mayor que el esfuerzo normal de su órgano de maniobra.

A lo largo de este ensayo, el indicador de posición no debe de indicar «abierto» y no debe de poderse poner ningún dispositivo del sistema de cierre con llave.

Fig. 16: Los tres ensayos de aptitud de un interruptor automático al seccionamiento.



Fig. 18: Interruptor automático-seccionador Compact (Merlin Gerin).



Fig. 19: Vigicompact, interruptor automático diferencial industrial (Merlin Gerin).

3 Una norma con ensayos que reproducen la realidad

La vida de un interruptor automático en una instalación eléctrica soporta un cierto número de situaciones difíciles, por ejemplo:

- maniobras de apertura/cierre manual (a distancia con un mando eléctrico), en vacío, con corrientes menores o iguales que I_n , o, más raramente, con sobrecargas,
- desconexión por la acción de las bobinas de tensión mínima o la de emisión de corriente,
- sobretensiones de choque (atmosféricas o de maniobra),
- desconexión con sobrecarga,
- excepcionalmente, desconexión con cortocircuito o defecto de aislamiento,
- enclavamiento en posición «abierto» para poder trabajar en el circuito...

Por tanto, es normal que una norma de ensayos que se refiere a la aparata de protección, como los interruptores automáticos, no sólo garantice el conjunto de prestaciones anunciadas, sino que también simule de la mejor forma posible los esfuerzos sucesivos a los que puedan verse sometidos durante su utilización.

Siguiendo esta filosofía, los «ensayos tipo» exigidos en la CEI 947-2 se han agrupado en secuencia y deben de repetirse sobre un número específico de aparatos.

Ensayos agrupados en secuencias

Según la CEI 157-1, cada ensayo preceptivo se realizaba sobre un aparato que no hubiera sufrido ningún otro ensayo.

De ahora en adelante, con la CEI 947-2, un mismo aparato se ve sometido a una sucesión de ensayos acumulativos, agrupados en secuencias.

Así, se han definido cinco secuencias y cada tipo de interruptor automático ha de soportar, según sus características, dos, tres o cuatro de estas secuencias (**figura 20**). Una de las secuencias más significativa es, sin duda, la secuencia 1: esta secuencia deja perfectamente claro que los aparatos así probados se someten a esfuerzos excepcionales.

Un muestreo de interruptores automáticos muy extenso

Para combinar todas las posibilidades citadas, estas secuencias se repiten sobre varios interruptores automáticos del mismo tipo pero con configuraciones diferentes (**figura 21**):

- en tripolar y en tetrapolar,
- equipados con diversos relés,
- con tensiones diferentes,
- con varias regulaciones o ajustes,
- con alimentación por los bornes superiores e inferiores, si se indica que el aparato lo ha de soportar,
- con y sin protección diferencial, si es que está prevista, etc.

De este modo, los informes de homologación cubren el conjunto de prestaciones anunciadas y garantizan al usuario que el aparato cumplirá correctamente su función, cualesquiera que sean:

- las características de la red,
- los accesorios del interruptor automático,
- las regulaciones efectuadas.

■ Muestra 1:

Ensayo I_{cs} = 100 kA, con U_e mínima, 240 V, sobre un aparato equipado con el relé de mayor calibre, el TM 160 D, ajustado al máximo, o sea, a 160 A. Alimentación por los bornes superiores.

■ Muestra 2:

El mismo ensayo con un aparato equipado con un relé del calibre más pequeño, el TM 16 D, ajustado al mínimo, o sea, a 112 A. Alimentación por los bornes superiores.

■ Muestra 3:

Ensayo I_{cs} = 70 kA, con U_e media, 415 V, con un aparato equipado con el relé de mayor calibre, el TM 160 D, regulado al máximo, o sea, 160 A. Alimentación por los bornes superiores.

■ Muestra 4:

Ensayo I_{cs} = 10 kA, con U_e máxima, 690 V, con un aparato equipado con el relé de calibre mayor, el TM 160 D, ajustado al máximo, o sea, a 160 A. Alimentación por los bornes inferiores.

■ Muestras: 5, 6, 7 y 8:

Igual que las 1, 2, 3 y 4, pero con un dispositivo de protección de corriente diferencial residual, bloque Vigi, asociado al interruptor automático.

Fig. 21: La secuencia de ensayos de poder de corte de servicio I_{cs} , aplicada a un interruptor automático Vigicompact NS 160H, por ejemplo, debe de repetirse sobre 8 aparatos.

Secuencias de ensayo	Tipo de interruptor automático				Ensayos a realizar sucesivamente sobre un mismo interruptor automático	Ensayos adicionales para interruptores automáticos declarados aptos para el seccionamiento
	Cat.A	Cat.B	Icw = Ics	Icw = Ics = Icu		
		Icw < Ics				
Secuencia 1 Características generales de funcionamiento	X	X	X	X	1 Verificación de los umbrales de desconexión 2 Propiedades dieléctricas, ensayos: Uimp entre fases Uimp entre fase y masa Uimp entre terminales entrada/salida 3 Endurancia mecánica 4 Endurancia eléctrica 5 Funcionamiento con sobrecarga a 6 In 6 Rigidez dieléctrica con 2 Ui (50 Hz -1 mm) 7 Calentamiento con In 8 Verificación de no-deriva de los relés de sobrecarga	1 ídem 2 propiedades dieléctricas ídem ídem Uimp + 25 % entre E/S + pruebas de corriente de fuga (≤ 0,5 mA por polo, con 110 % Ue) 3 ídem 4 ídem 5 ídem 6 ídem + prueba de corriente de fuga (≤ 2 mA por polo, con 110 % Ue) 7 ídem 8 ídem
Secuencia 2 Prestaciones de corte en servicio Ics	X	X			1 Tres rupturas sucesivas de corriente Ics, según el ciclo A - 3 mm - CA - 3 mm - CA (1) 2 Verificación de aptitud para el funcionamiento (5 % de la endurancia eléctrica) 3 Rigidez dieléctrica con 2 Ui (50 Hz - 1 mm) 4 Calentamiento con In 5 Verificación de no-deriva de relés de sobregarga	1 ídem 2 ídem 3 ídem + ensayo de corriente de fuga (≤ 2mA por polo con 110 % Ue) 4 ídem 5 ídem
Secuencia 3 Poder de corte corte último Icu	X (2)	X (2)	X (2)		1 Verificación de los relés de sobrecarga con 2 Ir 2 Dos cortes sucesivos de corriente Icu siguiendo el ciclo A - 3 mm - CA 3 Rigidez dieléctrica con 2 Ue (50 Hz, 1 mm) 4 Verificación de no-deriva de los relés de sobrecarga	1 ídem 2 ídem 3 ídem + ensayo de corriente de fuga (≤ 6 mA por polo con 110 % Ue) 4 ídem
Secuencia 4 Corriente asignada de corta duración admisible Icw		X			1 Verificación de los relés de sobrecarga con 2 Ir 2 Ensayo de rigidez dieléctrica del aparato con la corriente asignada de corta duración admisible durante el tiempo indicado por el fabricante 3 Calentamiento con In 4 Dos rupturas sucesivas con la tensión máxima de la corriente Icw, con el ciclo A - 3 mm - CA 5 Rigidez dieléctrica con 2 Ui (50 Hz, 1 mm) 6 Verificación de no-deriva de los relés de sobrecarga	1 ídem 2 ídem 3 ídem 4 ídem 5 ídem 6 ídem
Secuencia de ensayos combinados			X	X	1 Verificación de los relés de sobrecarga con 2 Ir 2 Ensayo de rigidez dieléctrica del aparato con la corriente asignada de corta duración admisible durante el tiempo indicado por el fabricante 3 Tres rupturas sucesivas de corriente Ics, siguiendo el ciclo A - 3 mm - CA - 3 mm - CA 4 Verificación de la aptitud para el funcionamiento (5 % de la endurancia eléctrica) 5 Rigidez dieléctrica con 2 Ui (50 Hz - 1 mm) 6 Calentamiento con In 7 Verificación de no-deriva de los relés de sobrecarga	1 ídem 2 ídem 3 ídem 4 ídem 5 ídem + ensayo de corriente de fuga (≤ 2 mA por polo, con 110 % Ue) 6 ídem 7 ídem

(1) C= cerrado; A = abierto. (2) si Icu = Ics no es necesaria esta secuencia.

Fig. 20: Los ensayos agrupados en secuencia, según la norma CEI 947-2.

4 Consecuencias prácticas para el diseñador de una instalación

Los criterios fundamentales de elección de un interruptor automático no han cambiado

Para definir el interruptor automático que hay que instalar en un punto de una instalación eléctrica, es preciso conocer los dos parámetros siguientes:

- la corriente a transportar I_B ,
- el valor de la corriente de cortocircuito trifásico (I_{cc} prevista) en ese punto de la instalación.

La elección del interruptor automático se realiza, como siempre, comparando su intensidad de regulación I_r con I_B , y su poder de corte I_{cu} con I_{cc} prevista (figura 22). Estas dos comparaciones o reglas básicas se describen en la norma de instalación UNE 20 460 y permanecen sin cambio.

Utilidad de la «capacidad de ruptura en servicio» I_{cs}

Por las razones explicadas en el capítulo 2, la CEI 947-2 ha definido la nueva característica I_{cs} , capacidad de ruptura en servicio, como la aptitud de un aparato para asegurar un servicio completamente normal, después de cortar un cortocircuito de valor «probable».

Aunque no había todavía ninguna regla en las normas de instalación (UNE 20 460, CEI 364 o NF C 15-100) que correspondiera a la utilización de la característica I_{cs} , es importante y prudente, en beneficio de una óptima continuidad del servicio, elegir un aparato cuya característica I_{cs} sea tal que: $I_{cs} \geq I_{cs \text{ probable}}$.

a) Interruptores automáticos instalados cerca de una fuente de energía:

Nos referimos a los aparatos instalados en la cabecera o acometida

general, en acoplamiento de cuadros o a la salida del «cuadro general de BT», que, debido a su proximidad con los transformadores, deben de asegurar la protección contra defectos con muy poca impedancia. Así sucede que los defectos monofásicos fase/neutro o fase/CP son del mismo orden de magnitud que los I_{cc} trifásicos, debido a que son muy bajas:

- las impedancias homopolares de las fuentes,
- las resistencias de conexión,
- la impedancia de conexión entre la fuente y el aparato de protección.

En estas condiciones las corrientes de cortocircuito probables están próximas al valor teórico I_{cc} previsto (ver el ejemplo de cálculo del [anexo 3](#)).

Por tanto, es importante escoger los aparatos cuya característica I_{cs} esté próxima o iguale a I_{cu} .

Las gamas Masterpact y Compact NS (Merlin Gerin), pensadas para utilizarlas en este punto de la instalación, tienen, lógicamente, un $I_{cs} = 100 \% I_{cu}$.

b) Interruptores automáticos de calibre menor utilizados lejos de las fuentes de energía:

Estos aparatos, instalados generalmente en los cuadros de distribución, protegen los cables de unión entre cuadros o entre cuadros y receptores.

En este caso, los cortocircuitos probables se ven muy atenuados ya que, de producirse, son casi siempre monofásicos o bifásicos y situados al final de cables protegidos.

Puede estimarse que su valor llegará, como máximo, al 80% de la I_{cc} bifásica calculada en el inicio de la canalización.

Los cálculos demuestran que la corriente de cortocircuito probable es, en la mayor parte de los casos, inferior al 50% de la I_{cc} prevista ([anexo 3](#)).

Sin que ésta sea una regla de instalación desde el punto de vista estricto de las normas, utilizar en este caso interruptores automáticos cuya I_{cs} sea $\geq 50\%$ es una norma de precaución para la longevidad de la instalación.

Todos los aparatos de la gama Multi 9 (Merlin Gerin) se utilizan, normalmente, en este nivel de la distribución y tienen un poder de corte de servicio al menos igual al 50% de I_{cu} .

Dos aparatos en uno: el interruptor automático-seccionador

Teniendo en cuenta las cualidades exigidas a una instalación eléctrica, hay una que adquiere una importancia capital para la explotación: es la posibilidad de efectuar una intervención en que no se «castigue» más que al mínimo posible de la instalación. En este caso, «castigar» = seccionar + enclavar en posición «seccionado» (con candado o cerradura) + comprobar la ausencia de tensión en el punto de intervención.

Evidentemente que la solución más flexible sería el poder disponer de dispositivos de seccionamiento/castigo en todos los niveles de la distribución. Una respuesta práctica, y sin coste adicional, lo aportan los interruptores automáticos-seccionadores.

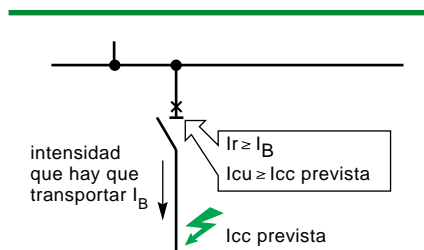


Fig. 22: Parámetro que sirve de base para elegir un interruptor automático de protección de una salida.

Precisamente por esto, todos los interruptores automáticos industriales Compact y Masterpact (Merlin Gerin) son interruptores automáticos seccionadores con candados (figura 23) y/o bloqueables con cerradura (figura 24).

Un seguro a todo riesgo: la conformidad con la CEI 947-2

La conformidad de un interruptor automático con la norma CEI 947-2 o con las normas nacionales que de ella se derivan, constituye, para el diseñador de la instalación eléctrica la mejor garantía de calidad y de que no se degraden paulatinamente las redes de BT.

Esta garantía es el resultado, no sólo de que las normas tengan en cuenta los progresos tecnológicos conseguidos por los principales grandes constructores, sino también de un conjunto de ensayos muy completo y lo más parecido posible a las condiciones reales de explotación.

La conformidad con la CEI 947-2 la comprueban los laboratorios acreditados y la certifican organismos tales como ASEFA, en Francia, y

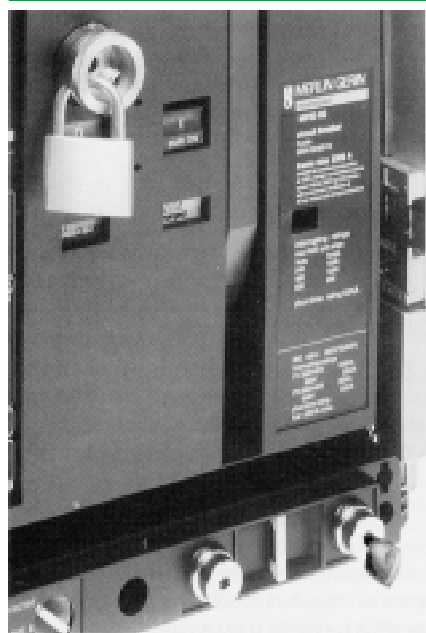


Fig. 24: Cerradura de un interruptor automático Masterpact (Merlin Gerin).

LOVAG a nivel europeo en el marco de un acuerdo internacional de Reconocimiento Mutuo.

La figura 25 muestra un ejemplo de certificado de conformidad.

Hay que destacar que los interruptores automáticos destinados a la distribución final, especialmente en el campo doméstico, deben de ser conformes a la norma CEI 898; pero para la utilización en las instalaciones industriales, algunos de ellos han de seguir la norma CEI 947-2 (anexo 4).



Fig. 23: Dispositivo de cierre con candado de un interruptor automático Compact (Merlin Gerin).



Certificate of Conformity

LOVAG-Certificate No. FR 95-019

Apparatus : THREE-POLE WITHDRAWABLE CIRCUIT-BREAKER, with releases STR23SE, STR53UE

Designation : NS 400 L (Merlin Gerin)

Manufacturer or responsible vendor

SCHNEIDER ELECTRIC S.A.
40 avenue A. Morizet
92100 BOULOGNE BILLANCOURT (FRANCE)
Tested for: SCHNEIDER ELECTRIC S.A.

Tested by: ASEFA platforms F01 and F15

The apparatus, constructed in accordance with the description mentioned in the Test Report listed on this Certificate has been subjected to the series of proving tests in accordance with IEC 947-2 (1989-1) and corrigenda (1990 and 1991) and amendment 2 (1993), EN 60 947-2 (1991), test sequences II and III.

The results are shown in the Test Report in accordance to LOVAG. The values obtained and the general performance are considered to comply with the above Standard(s) and to justify the characteristic assigned by the manufacturer as stated below.

U _i = 750 V - 50/60 Hz	In = 400 A
Utilization category : A	U _e = 240 V to 440 V
U _e = 240 V	415 V 440 V
I _{cm} = 330 kA	330 kA 286 kA
I _{cu} = 150 kA	150 kA 130 kA
I _{cs} = 150 kA	150 kA 130 kA

This document includes Report No.: F01.95.03, F15.95.29
Issue Date: 1995.04.13, 1995.03.23

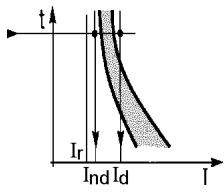
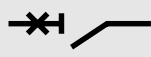
Responsible Certification Body

E. Beau
E. BEAU
Authorized Signature
Date: - 5 JUL 1995

ASEFA, 2, avenue du Général Leclerc - 92260 Fontenay-aux-Roses France
Telephone : 01 40 95 60 60 - Fax : 33 (1) 40 95 60 03

Fig. 25: Ejemplo de un certificado de conformidad, expedido por ASEFA.

Anexo 1: Principales diferencias entre las normas CEI 157-1 y CEI 947-2

CEI 157.1	CEI 947-2 (edición 1995 y enmienda de 1997)	Comentarios
Poder de corte, ciclo P1	Poder de corte último Icu (secuencia 3)	Característica equivalente
Poder de corte, ciclo P2	Característica de poder de corte en servicio Ics (secuencia 2)	La nueva característica Ics es obligatoria y más exigente que el ciclo P2 de la CEI 157-1, porque sus ensayos van seguidos (después del corte) por un control de funcionamiento con In
Cada ensayo se efectúa con un aparato nuevo (funcionamiento, endurancias, sobrecargas, poder de corte)	Los ensayos se agrupan en secuencias	Mucho más exigente por el hecho de la acumulación de ensayos con un mismo aparato, pero, a la vez, mucho más próxima a las condiciones reales de explotación
Verificación (con los 3 polos cargados) de dos asíntotas: I _{nd} = 1,05 I _r I _d = 1,35 I _r (≤ 63 A) I _d = 1,25 I _r (> 63 A)	Verificación (con los 3 polos cargados) de dos asíntotas: I _{nd} = 1,05 I _r I _d = 1,30 I _r	con: I = 1 h (≤ 63 A) o I = 2 h (> 63 A) 
Ninguna otra verificación de los relés de sobrecarga	Verificación de disparos: ■ polo a polo (secuencias 3, 4, 5); ■ todos los polos cargados (secuencia 2)	Mayor seguridad de funcionamiento de los relés
Nada	Definición de los ensayos de aptitud para el seccionamiento, con el símbolo asociado: 	Las normas de instalación reconocen el interruptor automático-seccionador para asegurar la función de seccionamiento
Nada	Prueba de ondas de tensión de choque. Características U _{imp}	Permite la coordinación del aislamiento de la instalación
Coordinación sólo entre el interruptor automático y el fusible	Implica un anexo de coordinación	Tener en cuenta dos interruptores automáticos en serie
Nada	Anexo B, dedicado a los interruptores automáticos equipados con una protección diferencial	Es la normalización de los interruptores automáticos diferenciales industriales
Nada	Anexo F, dedicado a los interruptores automáticos dotados de relés electrónicos	Define los ensayos adicionales específicos para el buen funcionamiento de los relés electrónicos
Nada	Anexo G, dedicado a la medida de las potencias disipadas por un interruptor automático	Normaliza el modo de medir las potencias disipadas
Nada	Anexo H, describe la secuencia de ensayos para que un interruptor utilizable en IT	Asegura al usuario que un aparato puede instalarse con esquema IT sin ninguna otra verificación

Anexo 2: Definiciones y símbolos según la CEI 947-2

Definiciones relativas a las tensiones

Ue : tensión(es) asignada(s) de servicio.

Ui : tensión asignada de aislamiento (> Ue máxima).

Uimp: tensión asignada de resistencia a la onda de choque.

Definiciones relativas a las corrientes

I_B: corriente de uso del circuito, según UNE 20460.

Icc: corriente de cortocircuito en un punto dado de una instalación.

Icm: poder asignado de cierre en cortocircuito.

Ics: poder asignado de corte de servicio, (expresado generalmente en % de Icu).

Icu: poder asignado de ruptura última en cortocircuito (expresado en kA).

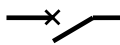
Icw: corriente asignada de corta duración admisible.


IΔn: corriente diferencial de funcionamiento asignada (a menudo denominada sensibilidad del diferencial).

In: corriente asignada = valor máximo de corriente a utilizar en los ensayos de calentamiento (por ejemplo: para un interruptor automático Compact NS250: In = 250 A).

Is: corriente límite de selectividad.

Definiciones y símbolos diversos:

 símbolo de interruptor,

 símbolo de interruptor automático-seccionador.

Cat A: categoría de los interruptores automáticos no temporizados a la apertura, en condiciones de cortocircuito.

Cat B: categoría de los interruptores automáticos con retardo a la apertura en condiciones de cortocircuito ($I_{cc} \leq I_{cw}$).

Anexo 3: Ejemplos de cálculo de lcc probables

1.- Aguas abajo de interruptor automático instalado en un Cuadro General de Baja Tensión -CGBT- (figura 26).

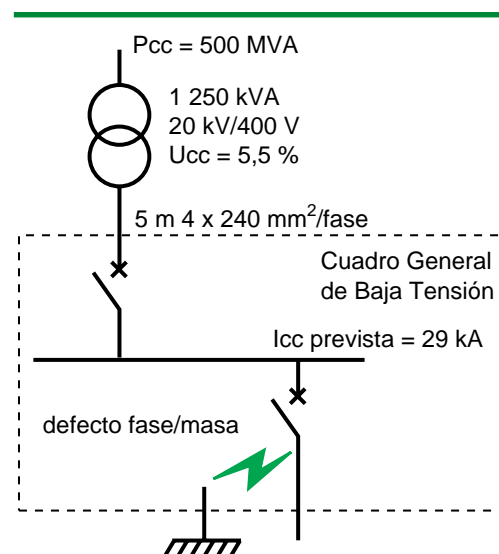


Fig. 26.

	Cálculo de la lcc supuesta máxima (cortocircuito trifásico en un punto de la instalación del interruptor automático)	Cálculo de la lcc más probable (cortocircuito fase/masa con un arco en el Cuadro General de BT)
Impedancia aguas arriba	$Z_a \approx X_a \approx \frac{400^2}{P_{cc}} = 0,32 \text{ m}\Omega$	$Z_a \approx X_a \approx \frac{400^2}{P_{cc}} = 0,32 \text{ m}\Omega$
Impedancia del transformador	$Z_t = Z_d = \frac{400^2}{P_n} \times U_{cc}$ $Z_t = 7,04 \text{ m}\Omega \text{ con } Z_t \approx X_t$	$Z_t = \frac{1}{3} (Z_d + Z_i + Z_h)^*$ $Z_t = \frac{2,4}{3} Z_d = 5,63 \text{ m}\Omega \text{ con } Z_t \approx X_t$
* Para un transformador con acoplamiento triángulo/zig zag, las impedancias directa Z_d e inversa Z_i son iguales, siendo la impedancia homopolar igual $0,4 Z_d$		
Impedancia del cable de conexión transformador-CGBT + impedancia del juego de barras ($\approx 5 \text{ m}$)	$R_{\text{fase}} = 22,5 \times \frac{10}{4 \times 240} = 0,234 \text{ m}\Omega$ $X_{\text{fase}} = 10 \times \frac{0,1}{4} = 0,25 \text{ m}\Omega$	$R_{\text{fase}} = 0,234 \text{ m}\Omega$ $X_{\text{fase}} = 0,25 \text{ m}\Omega$ $R_{\text{CP}} = 0,468 \text{ m}\Omega$ $X_{\text{CP}} = 0,25 \text{ m}\Omega$ (sección del CP = 1/2 de la sección de las fases)
$l_{cc \text{ pres.}} = \frac{230}{\sqrt{(0,32 + 7,04 + 0,25)^2 + (0,234)^2}} = 30,2 \text{ kA}$		
$l_{cc \text{ prob.}} = \frac{230 \times 0,8}{\sqrt{(0,32 + 5,63 + 0,25 + 0,25)^2 + (0,234 + 0,468)^2}}$		
$l_{cc \text{ prob}} = 28,4 \text{ kA}$ (el arco se tiene en cuenta aplicando el coeficiente 0,8)		
Conclusión:	Puesto que la lcc más probable está muy próxima a la lcc prevista máxima, es prudente instalar un aparato que tenga una lcs igual al 100 % de lcu, como por ejemplo un interruptor automático NS160N (Merlin Gerin).	

2.- Aguas abajo de interruptor automático instalado en un cuadro intermedio de distribución (figura 27).

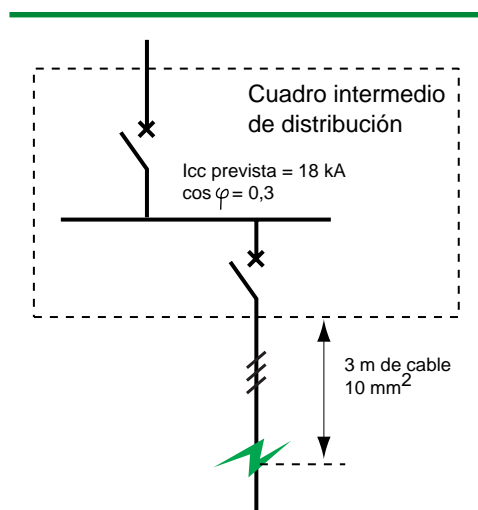


Fig.27.

Cálculo de la lcc probable

(cortocircuito bifásico, con arco, situado al menos a 3 m del cuadro)

Impedancia aguas arriba

$$Z_a = \frac{230}{18 \cdot 10^3} = 12,78 \text{ m}\Omega$$

$$R_a = 12,78 \times 0,3 = 3,83 \text{ m}\Omega$$

$$X_a = 12,19 \text{ m}\Omega$$

Impedancia del cable

$$R_{\text{fase}} = \frac{22,5 \times 3}{10} = 6,75 \text{ m}\Omega$$

$$X_{\text{fase}} = 3 \times 0,08 = 0,24 \text{ m}\Omega$$

Impedancia de las conexiones

$$R = 4 \text{ m}\Omega$$

$$X : \text{E}$$

Impedancia total por fase

$$\Sigma R = 14,58 \text{ m}\Omega$$

$$\Sigma X = 12,43 \text{ m}\Omega$$

$$Z_t = \sqrt{(14,58)^2 + (12,43)^2} = 19,16 \text{ m}\Omega$$

$$lcc \text{ prob} = 0,8 \times \frac{230 \times \sqrt{3}}{2 \times 19,16}$$

$$lcc \text{ prob} = 8,3 \text{ kA}$$

(el arco se tiene en cuenta al aplicar el coeficiente 0,8)

Conclusión:

La lcc probable es inferior al 50% de la lcc prevista (18 kA); por tanto es normal instalar un aparato que tenga un lcs del 50% de lcu, como por ejemplo, el interruptor automático C60L (Merlin Gerin).

Anexo 4: La norma CEI 898 para interruptores automáticos de uso doméstico

Los interruptores automáticos industriales que responden a la norma CEI 947-2 los eligen, instalan y utilizan profesionales expertos. No puede decirse lo mismo de los interruptores automáticos destinados a las instalaciones finales, especialmente de los que se utilizan en el ámbito doméstico (usuarios «no expertos»); de ahí la norma CEI 898.

Por esto mismo, los interruptores automáticos «CEI 898», son más fáciles de instalar (por ejemplo, no tienen posibilidad de regulación) para conseguir un alto nivel de seguridad. Su utilización por profesionales expertos hace que algunos de ellos se consideren también regidos por la norma CEI 947-2.

La CEI 898 es de 1987. Se ha transcrito como norma europea a mediados de 1990. Después, en los países miembros de CENELEC se han editado las normas nacionales de armonización con la norma europea (EN 60 898).

Hay diferencias notables entre las normas CEI 947-2 y EN 60 898. Es interesante conocerlas ya que, con frecuencia, se usan interruptores automáticos miniatura en la distribución final de las industrias.

	CEI 947.2	EN 60 898
Tensión Un (V)	<1000	<440
Corriente	(1)	$I_n \leq 125 \text{ A}$
Relé térmico	1,05 a 1,03 I_n	1,13 a 1,45 I_n
Relé magnético	(2)	«curvas B-C-D»
Poder de corte	I_{cu}	I_{cn} (3)
Poder de corte en servicio	I_{cs}	I_{cs} (3)
Seccionamiento	sí	en estudio

Nota 1:

La norma CEI 947-2 no prevé los límites inferior o superior. Los interruptores automáticos que siguen la CEI 947-2 se usan dentro del margen que va desde algunos amperios hasta algunos miles de amperios.

■ la norma EN 60 898 define los calibres (corriente asignada: I_n): 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 100 y 125 A.

Nota 2:

■ la norma 947-2 no fija límites de funcionamiento y deja precisar al constructor el umbral de disparo magnético, que debe de quedar dentro del margen del $\pm 20 \%$.

Para los interruptores automáticos Compact, de Merlin Gerin, con calibres superiores a 250 A, las regulaciones del disparo magnético son:

- tipo G, regulable de 2 a 5 I_{rth} ,
- tipo D, regulable de 5 a 10 I_{rth} ,
- tipo MA, regulable de 6,3 a 12,5 I_{rth} .

■ la norma EN 60 898 introduce nuevas curvas en sustitución de las curvas habituales utilizadas («curvas» L, U, D):

- curva B: 3 a 5 I_n
(2,6 a 3,85 para L),
- curva C: 5 a 10 I_n
(3,85 a 8,8 para U)
- curva D: 10 a 20 I_n
(10 a 14 para D y MA).

Nota 3:

■ la norma CEI 947-2 prevé un «poder de ruptura último» que corresponde a un ensayo abierto-cerrado/abierto y un «poder de corte de servicio» cuyo valor, porcentual de I_{cu} , lo fija el constructor y que corresponde a un ensayo A - CA - CA (tabla 1 de la figura 4).

■ la norma EN 60 898 prevé un poder de ruptura asignado I_{cn} que corresponde a un ensayo A - CA, y un poder de corte en servicio, cuyo valor, porcentual de I_{cn} lo fija la norma y corresponde a un ensayo A- CA - CA, con:

- $I_{cn} < 6 \text{ kA}$;
 $I_{cs} = I_{cn}$.
- $I_{cn} > 6 \text{ kA}$;
 $I_{cs} = 0,75 I_{cn}$ (mín. 6 kA).
- $I_{cn} < 10 \text{ kA}$;
 $I_{cs} = 0,75 I_{cn}$ (mín 6 kA).
- $I_{cn} > 10 \text{ kA}$;
 $I_{cs} = 0,5 I_{cn}$ (mín 7,5 kA).

Por otra parte, esta norma limita su campo de aplicación a los interruptores automáticos con un $PdC \leq 25 \text{ kA}$; este valor de corriente de cortocircuito es muy difícil de alcanzar en una instalación doméstica o similar (terciario).