

Manual técnico de
instalaciones eléctricas
Aparatos de protección y maniobra
La instalación eléctrica

Primera edición en inglés Abril 2003
Segunda edición en inglés Febrero 2004

Primera edición en español Octubre 2004
Segunda edición en español Octubre 2007

*Publicado por ABB SACE
via Baioni, 35 - 24123 Bergamo (Italia)*

Reservados todos los derechos

Manual Técnico de instalaciones eléctricas

Tomo 1

Aparatos de protección y maniobra

1



Índice

| | |
|---|-----|
| Introducción | 6 |
| 1 Normas | |
| 1.1 Aspectos generales | 7 |
| 1.2 Normas IEC para instalaciones eléctricas | 19 |
| 2 Aparatos de protección y maniobra | |
| 2.1 Siglas de los interruptores | 26 |
| 2.2 Definiciones principales | 28 |
| 2.3 Tipos de relés | 32 |
| 3 Características generales | |
| 3.1 Características eléctricas de los interruptores automáticos | 44 |
| 3.2 Curvas de intervención o actuación | 51 |
| 3.3 Curvas de limitación | 122 |
| 3.4 Curvas de energía específica pasante | 157 |
| 3.5 Desclasificación por temperatura | 190 |
| 3.6 Desclasificación por altitud | 211 |
| 3.7 Características eléctricas de los interruptores de maniobra-seccionadores | 212 |
| 4 Coordinación de las protecciones | |
| 4.1 Coordinación de las protecciones | 218 |
| 4.2 Tablas de selectividad | 227 |
| 4.3 Tablas de back-up | 252 |
| 4.4 Tablas de coordinación entre interruptores automáticos y seccionadores | 256 |
| 5 Aplicaciones particulares | |
| 5.1 Redes en corriente continua | 260 |
| 5.2 Redes con frecuencias particulares: 400 Hz y 16 2/3 Hz | 271 |
| 5.3 Redes de 1000 Vcc y 1000 Vca | 288 |
| 5.4 ATS - Sistemas de conmutación automática | 300 |
| 6 Cuadros eléctricos | |
| 6.1 El cuadro eléctrico | 309 |
| 6.2 Cuadros MNS | 317 |
| 6.3 Cuadros de distribución ArTu | 318 |
| Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT | 321 |
| Anexo B: Cálculo de las sobretensiones según la norma IEC 60890 | 329 |
| Anexo C: Ejemplos de aplicación: Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P | 343 |

Introducción

Alcance y objetivos

El objetivo de este manual técnico es facilitar al proyectista y al usuario de instalaciones eléctricas un instrumento de trabajo de consulta rápida y de utilización inmediata. Dicho manual técnico no pretende ser ni una exposición teórica ni un catálogo técnico sino que, además de eso, tiene como finalidad ayudar a la correcta definición de la aparamenta en numerosas situaciones de instalación comunes en la práctica.

El dimensionamiento de una instalación eléctrica requiere el conocimiento de numerosos factores relativos, por ejemplo, a los equipos instalados, a los conductores eléctricos y a otros componentes; dichos conocimientos implican la consulta, por parte del proyectista, de numerosos documentos y catálogos técnicos. Por el contrario, con este manual técnico se pretende ofrecer, en un único documento, las tablas para la definición rápida de los principales parámetros de los componentes de la instalación eléctrica, así como la selección de los interruptores automáticos de protección en las distintas aplicaciones de instalaciones. Para facilitar la comprensión de las tablas de selección también se incluyen ejemplos de aplicación.

Destinatarios del manual técnico

El manual técnico constituye un instrumento adecuado para todos aquellos que se ocupan de instalaciones eléctricas: sirve de ayuda tanto a los técnicos de instalación o de mantenimiento, mediante breves pero importantes referencias electrotécnicas, así como a los técnicos comerciales mediante tablas de selección rápida.

Validez del manual técnico

Algunas tablas muestran valores aproximados debido a la generalización del proceso de selección, por ejemplo en lo que respecta a las características constructivas de la maquinaria eléctrica. En cada caso, y en la medida de lo posible, aparecen indicados factores correctivos para remitirse a condiciones reales distintas de las supuestas. Las tablas siempre se han redactado de forma conservadora, en favor de la seguridad; para un cálculo más exacto se aconseja utilizar el software DOCWin para el dimensionamiento de las instalaciones eléctricas.

1 Normas

1.1 Aspectos generales

En cualquier ámbito técnico, y de modo particular en el sector eléctrico, para realizar una instalación que satisfaga las exigencias del cliente y de la comunidad, es condición suficiente –aunque no siempre necesaria– respetar todas las normas jurídicas y técnicas sobre la materia.

El conocimiento de las normas es, entonces, la premisa fundamental para resolver todos los aspectos de una instalación a fin de conseguir un **nivel de seguridad aceptable**, ya que no es posible alcanzar una seguridad absoluta.

Normas jurídicas

Disposiciones que reglamentan el comportamiento de las personas que están bajo la soberanía de un Estado.

Normas técnicas

Conjunto de prescripciones con arreglo a las cuales deben diseñarse, fabricarse y ensayarse los equipos, materiales, máquinas e instalaciones para garantizar un funcionamiento correcto y seguro.

Las normas técnicas, publicadas por organismos nacionales e internacionales, están redactadas de modo muy detallado y pueden adquirir relevancia jurídica cuando ésta les es atribuida por una disposición legislativa

| | Campo de aplicación | | |
|-------------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| | Electrotécnica y electrónica | Telecomunicaciones | Mecánica, ergonomía y seguridad |
| Organismo internacional | IEC | ITU | ISO |
| Organismo europeo | CENELEC | ETSI | CEN |

En este manual técnico se consideran solamente los organismos específicos para los sectores eléctrico y electrónico.

IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)

Este organismo, creado en 1906 y formado por Comités Nacionales de más de cuarenta países, se propone favorecer la cooperación internacional en materia de normalización y certificación para los sectores eléctrico y electrónico.

IEC publica normas internacionales, guías e informes técnicos que constituyen la base o una importante referencia para las actividades normativas de la Unión Europea y de sus países miembros.

Las normas IEC se redactan generalmente en dos idiomas: inglés y francés.

En 1991, IEC suscribió convenios de colaboración con CENELEC (organismo normalizador europeo) para la planificación común de nuevas actividades normativas y para el voto paralelo sobre los proyectos de normas.

1 Normas

CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica)

Fundado en 1973, tiene la representación de veintisiete países (Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza) y la colaboración de otros ocho afiliados (Albania, Bosnia Herzegovina, Bulgaria, Chipre, Croacia, Rumanía, Turquía y Ucrania) que primero adjuntaron las normas EN de CENELEC a los documentos nacionales y después sustituyeron éstos por los Documentos Armonizados (HD).

La diferencia entre las normas EN y los Documentos Armonizados radica en que las primeras deben ser recogidas por los diversos países de manera idéntica y sin ningún agregado o modificación, mientras que los segundos pueden tener diferencias y condiciones nacionales particulares.

Las normas EN se presentan generalmente en tres idiomas: inglés, francés y alemán.

Desde 1991, CENELEC colabora con IEC para acelerar la elaboración de las normas.

CENELEC considera asuntos específicos, para los cuales existe una particular urgencia de normalización.

En el caso de que IEC ya haya comenzado a estudiar un tema, CENELEC puede decidir sobre su adopción o, si es necesario, sobre la adaptación de los trabajos ya realizados por la comisión internacional.

DIRECTIVAS COMUNITARIAS

La Comunidad Europea tiene entre sus funciones institucionales la de promulgar directivas que los países miembros deben transponer a sus respectivas legislaciones.

Una vez recogidas en los diversos países, estas directivas adquieren plena validez jurídica y se convierten tanto en referencias técnicas como en normas de obligado cumplimiento para fabricantes, instaladores y comerciantes.

Las directivas se fundan en los siguientes principios:

- La armonización se limita a los requisitos esenciales.
- Sólo los productos que respetan los requisitos esenciales pueden lanzarse al mercado y ponerse en servicio.
- Las normas armonizadas, cuyos números de referencia se publican en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas, y que son transpuestas a los ordenamientos nacionales, se consideran conformes a los correspondientes requisitos esenciales.
- La aplicación de las normas armonizadas o de otras especificaciones técnicas es facultativa y los fabricantes son libres de escoger otras soluciones técnicas que garanticen el cumplimiento de los requisitos esenciales.
- Los fabricantes pueden elegir entre los distintos procedimientos de valoración de la conformidad considerados por la directiva aplicable.

La finalidad de la directiva es que los fabricantes adopten las medidas necesarias para que el producto no perjudique a personas, animales o bienes materiales.

1 Normas

Directiva Baja Tensión 73/23/CEE – 93/68/CEE

La Directiva de Baja Tensión concierne a todo el material eléctrico que deba utilizarse con una tensión asignada comprendida entre 50 V y 1000 V con corriente alterna, y entre 75 V y 1500 V con corriente continua.

En particular, se aplica a todos los dispositivos utilizados para la producción, conversión, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, como máquinas, transformadores, equipos, instrumentos de medición, aparatos de protección y materiales de conexión.

No se incluyen en el campo de aplicación de esta Directiva las siguientes categorías de productos:

- materiales eléctricos para utilizar en ambientes con peligro de explosión;
- materiales eléctricos para radiología y uso clínico;
- partes eléctricas de ascensores y montacargas;
- contadores eléctricos;
- enchufes (tomas de corriente y clavijas) para uso doméstico;
- dispositivos de alimentación de recintos eléctricos;
- perturbaciones radioeléctricas;
- materiales eléctricos especiales destinados al uso en navíos, aviones o ferrocarriles, conformes a las disposiciones de seguridad establecidas por organismos internacionales en los cuales participen los países miembros.

Directiva CEM 89/336/CEE (Compatibilidad Electromagnética)

La Directiva de Compatibilidad Electromagnética concierne a todos los aparatos eléctricos y electrónicos, así como a los equipos e instalaciones que contienen componentes eléctricos o electrónicos. En particular, los dispositivos reglamentados por la Directiva se dividen de acuerdo con sus características en las siguientes categorías:

- receptores de radiodifusión y televisión privados;
- equipos industriales;
- equipos radiomóviles;
- equipos radiomóviles y radiotelefónicos comerciales;
- equipos médicos y científicos;
- equipos de tecnología de la información (ETI);
- aparatos electrodomésticos y electrónicos para uso doméstico;
- aparatos de radio para la aeronáutica y la marina;
- aparatos didácticos electrónicos;
- redes y aparatos de telecomunicación;
- emisoras de radio y distribución por cable;
- iluminación y lámparas fluorescentes.

Los equipos deben fabricarse de modo que:

- a) las perturbaciones electromagnéticas generadas se limiten a un nivel que permita a los aparatos de radio y telecomunicación, y a otros aparatos en general, funcionar de modo conforme a su destino de uso;
- b) los aparatos tengan un adecuado nivel de inmunidad intrínseca a las perturbaciones electromagnéticas, que les permita funcionar de modo conforme a su destino de uso.

Se considera que un dispositivo satisface los requisitos a) y b) cuando cumple las normas armonizadas específicas para su familia de productos o, en su defecto, las normas genéricas.

1 Normas

Marcado CE

El marcado CE atestigua el cumplimiento de todas las obligaciones impuestas a los fabricantes, con respecto a sus productos, por las directivas comunitarias correspondientes.



La marca CE constituye una declaración de la persona física o jurídica que la ha aplicado o que es responsable de hacerlo, y certifica que el producto cumple todas las disposiciones aplicables sobre la materia y se ha sometido a los procedimientos de valoración de dicha conformidad. Los países miembros no pueden limitar la introducción en el mercado y la puesta en servicio de productos con la marca CE, salvo que se haya demostrado la no conformidad de los mismos.

Diagrama de flujo para los procedimientos de valoración de la conformidad establecidos en la Directiva 73/23/CEE sobre material eléctrico destinado a ser utilizado dentro de límites específicos de tensión:



ASDC008045FC201

Homologaciones navales

Las condiciones ambientales marinas suelen diferir de las que existen en una industria normal en tierra. En las aplicaciones marinas, es posible que los interruptores automáticos deban instalarse en:

- ambientes con temperatura y humedad elevadas e incluso con alta concentración de sal en el aire (ambiente cálido, húmedo y salino);
- ambientes a bordo de naves, como la sala de máquinas, donde se generan vibraciones de amplitud y duración considerables.

Para garantizar el funcionamiento correcto en tales condiciones, los registros exigen que los aparatos se sometan a ensayos específicos de homologación, sobre todo en lo que respecta a la resistencia a vibraciones, inclinación, humedad y calor seco.

1 Normas

Los interruptores automáticos ABB SACE (Isomax-Tmax-Emax) están homologados por los siguientes registros navales:

| | | |
|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| • RINA | Registro Italiano Navale | registro naval italiano |
| • DNV | Det Norske Veritas | registro naval noruego |
| • BV | Bureau Veritas | registro naval francés |
| • GL | Germanischer Lloyd | registro naval alemán |
| • LRs | Lloyd's Register of Shipping | registro naval inglés |
| • ABS | American Bureau of Shipping | registro naval estadounidense |

Se recomienda consultar siempre con ABB SACE por los tipos y las prestaciones de los interruptores homologados, o ver la sección Certificados de la página web <http://bol.it.abb.com>.

Marcas de conformidad a las respectivas normas nacionales e internacionales

En la tabla siguiente se indican las marcas de conformidad internacionales y de algunos países en particular.

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-----------|---|---------------------------|--|
| EUROPA |  | – | Marca de conformidad a las normas europeas armonizadas incluida en el Acuerdo ENEC |
| AUSTRALIA |  | Marca AS | Productos eléctricos y no eléctricos. Certifica el cumplimiento de las normas SAA (Standard Association of Australia). |
| AUSTRALIA |  | Marca S.A.A. | Standards Association of Australia (S.A.A.) The Electricity Authority of New South Wales Sidney Australia |
| AUSTRIA |  | Marca de prueba austriaca | Aparatos y material de instalación |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|--------------------|---|----------------------------|--|
| AUSTRIA |  | Distintivo OVE | Cables |
| BÉLGICA |  | Marca CEBEC | Material de instalación y equipos eléctricos |
| BÉLGICA |  | Marca CEBEC | Tubos, conductores y cables flexibles |
| BÉLGICA |  | Certificado de conformidad | Material de instalación y equipos eléctricos (en ausencia de una norma nacional o de criterios equivalentes) |
| CANADÁ |  | Marca CSA | Productos eléctricos y no eléctricos. Certifica el cumplimiento de las normas CSA (Canadian Standard Association). |
| CHINA |  | Marca CCEE | Great Wall Mark Commission for Certification of Electrical Equipment |
| República Checa |  | Marca EZU | Electrotechnical Testing Institute |
| República Eslovaca |  | Marca EVPU | Electrotechnical Research and Design Institute |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-----------|---------------|---|--|
| CROACIA | | KONKAR | Electrical Engineering Institute |
| DINAMARCA | | Marca de aprobación DEMKO | Material de baja tensión. Certifica la conformidad a las prescripciones (seguridad) de las Heavy Current Regulations. |
| FINLANDIA | | Marca de aprobación de seguridad de la Inspección Eléctrica | Material de baja tensión. Certifica la conformidad a las prescripciones (seguridad) de las Heavy Current Regulations. |
| FRANCIA | | Marca ESC | Aparatos electrodomésticos |
| FRANCIA | | Marca NF | Conductores y cables - Tubos - Material de instalación |
| FRANCIA | | Distintivo NF | Cables |
| FRANCIA | | Marca NF | Herramientas de motor portátiles |
| FRANCIA | | Marca NF | Aparatos electrodomésticos |

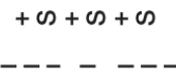
1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|----------|---|------------------------------------|---|
| ALEMANIA |  | Marca VDE | Para accesorios de instalación, como tomas de corriente, clavijas, fusibles, hilos y cables, y otros componentes como condensadores, sistemas de puesta a tierra, portalámparas y equipos electrónicos. |
| ALEMANIA |  | Distintivo VDE | Cables y conductores |
| ALEMANIA |  | Marca VDE para cables | Cables, conductores aislados, conductos y canales de instalación |
| ALEMANIA |  | Marca VDE-GS para equipos técnicos | Marca de seguridad para equipos técnicos controlados y aprobados por el Laboratorio VDE de Offenbach; la marca de conformidad es la VDE, que puede utilizarse sola o junto a la GS. |
| HUNGRÍA |  | MEEI | Hungarian Institute for Testing and Certification of Electrical Equipment |
| JAPÓN |  | JIS Mark | Marca que garantiza la conformidad a las normas industriales japonesas |
| IRLANDA |  | IIRS Mark | Productos eléctricos |
| IRLANDA |  | IIRS Mark | Productos eléctricos |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-----------|---|------------------------------|---|
| ITALIA |  | Marca IMQ | Marca para material eléctrico destinado a usuarios genéricos; certifica el cumplimiento de las normas europeas. |
| NORUEGA |  | Marca de aprobación noruega | Aprobación obligatoria de seguridad para el material y los aparatos de baja tensión |
| HOLANDA |  | KEMA-KEUR | Para todos los equipos en general |
| POLONIA |  | KWE | Productos eléctricos |
| RUSIA |  | Certificación de conformidad | GOSSTANDART |
| SINGAPUR |  | SISIR | Productos eléctricos y no eléctricos |
| ESLOVENIA |  | SIQ | Slovenian Institute of Quality and Metrology |
| ESPAÑA |  | AEE | Productos eléctricos. Se aplica bajo el control de la Asociación Electrotécnica Española. |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-------------|---|---------------------------|---|
| ESPAÑA |  | AENOR | Asociación Española de Normalización y Certificación |
| SUECIA |  | Marca de aprobación SEMKO | Aprobación obligatoria de seguridad para el material y los aparatos de baja tensión |
| SUIZA |  | Marca de seguridad | Material de baja tensión suizo sujeto a aprobación obligatoria (seguridad) |
| SUIZA |  | - | Cables sujetos a aprobación obligatoria |
| SUIZA |  | Marca de calidad SEV | Material de baja tensión sujeto a aprobación obligatoria |
| REINO UNIDO |  | Marca ASTA | Conformidad a las normas británicas respectivas |
| REINO UNIDO |  | Marca BASEC | Conformidad a las normas británicas para conductores, cables y productos auxiliares |
| REINO UNIDO |  | DistintivoBASEC | Cables |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-------------|---|---|--|
| REINO UNIDO |  | BEAB marca de seguridad | Conformidad a las normas británicas para aparatos electrodomésticos |
| REINO UNIDO |  | BSI marca de seguridad | Conformidad a las normas británicas |
| REINO UNIDO |  | BEAB Kitemark | Conformidad a las normas británicas concernientes a seguridad o prestaciones |
| EE.UU |  | Marca UL (UNDERWRITERS LABORATORIES) | Productos eléctricos y no eléctricos |
| EE.UU |  | Marca UL (UNDERWRITERS LABORATORIES) | Productos eléctricos y no eléctricos |
| EE.UU |  | Reconocimiento UL | Productos eléctricos y no eléctricos |
| CEN |  | Marca CEN | Marca del Comité Europeo de Normalización (CEN); certifica el cumplimiento de las normas europeas. |
| CENELEC |  | Marca para cables | Cables |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|---------|---|------------------------|--|
| CENELEC |  | Distintivo para cables | Certifica la conformidad del cable a las normas armonizadas CENELEC |
| EC |  | Marca Ex EUROPEA | Certifica el cumplimiento de las normas europeas por parte de los productos destinados a ser utilizados en lugares con peligro de explosión. |
| CEEel |  | Marca CEEel | Aplicable sólo a algunos electrodomésticos (afeitadoras, relojes eléctricos, aparatos de masaje, etc.) |

Declaración de conformidad

La declaración CE de conformidad es una atestación del fabricante, quien, bajo su responsabilidad, declara que los equipos, procedimientos o servicios cumplen determinadas directivas u otros documentos normativos.

La Declaración CE debe contener los siguientes elementos:

- nombre y dirección del fabricante o de su mandatario establecido en la Comunidad Europea;
- descripción del producto;
- referencia a las normas armonizadas y a las directivas concernientes;
- si corresponde, referencia a las especificaciones a las cuales se declara la conformidad;
- últimos dos dígitos del año en que se aplicó el marcado CE;
- identificación del firmante.

El fabricante o su mandatario deben conservar una copia de la declaración CE de conformidad junto a la documentación técnica del producto.

1 Normas

1.2 Normas IEC para instalaciones eléctricas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|------------------|------|---|
| IEC 60027-1 | 1992 | Símbolos literales utilizados en electrotecnia. Parte 1: Generalidades |
| IEC 60034-1 | 2004 | Máquinas eléctricas rotativas. Parte 1: especificaciones y funcionamiento |
| IEC 60617-DB-12M | 2001 | Símbolos gráficos empleados en diagramas. Suscripción de 12 meses a la base de datos online; incluye las partes 2 a 11 de IEC 60617 |
| IEC 61082-1 | 1991 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia. Parte 1: requisitos generales |
| IEC 61082-2 | 1993 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia. Parte 2: diagramas de las funciones |
| IEC 61082-3 | 1993 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia. Parte 3: diagramas de conexiones, tablas y listados |
| IEC 61082-4 | 1996 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia. Parte 4: documentos de localización e instalación |
| IEC 60038 | 2002 | Tensión de red según IEC |
| IEC 60664-1 | 2002 | Coordinación del aislamiento para equipos con sistemas de baja tensión. Parte 1: principios básicos, requisitos y pruebas |
| IEC 60909-0 | 2001 | Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente. Parte 0: cálculo de corrientes |
| IEC 60865-1 | 1993 | Corrientes de cortocircuito. Cálculo de efectos. Parte 1: definiciones y métodos de cálculo |
| IEC 60781 | 1989 | Guía de aplicación para el cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas radiales de baja tensión |
| IEC 60076-1 | 2000 | Transformadores de potencia. Parte 1: generalidades |
| IEC 60076-2 | 1993 | Transformadores de potencia. Parte 2: aumento de temperatura |
| IEC 60076-3 | 2000 | Transformadores de potencia. Parte 3: niveles de aislamiento, pruebas dieléctricas y agentes externos en el aire |
| IEC 60076-5 | 2006 | Transformadores de potencia. Parte 5: capacidad de resistencia a cortocircuito |
| IEC/TR 60616 | 1978 | Marcas de terminales y tomas de los transformadores de potencia |
| IEC 60076-11 | 2004 | Transformadores de potencia. Parte 11: transformadores de tipo seco |
| IEC 60445 | 1999 | Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, marcas e identificación. Identificación de los terminales del equipo y de las terminaciones de determinados conductores, incluidas las normas generales del sistema alfanumérico |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|---------------|------|--|
| IEC 60073 | 2002 | Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, marcas e identificación. Codificación de dispositivos de indicación y accionadores |
| IEC 60446 | 1999 | Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, marcas e identificación. Identificación de conductores por colores o números |
| IEC 60447 | 2004 | Interfaz hombre-máquina (MMI). Principios de maniobra |
| IEC 60947-1 | 2004 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 1: normas generales |
| IEC 60947-2 | 2003 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 2: interruptores automáticos |
| IEC 60947-3 | 2005 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 3: interruptores, seccionadores, interruptor-seccionador y unidades de combinación de fusibles |
| IEC 60947-4-1 | 2002 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 4-1: contactores y arrancadores de motor. Contactores electromecánicos y arrancadores de motor |
| IEC 60947-4-2 | 2002 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 4-2: contactores y arrancadores de motor. Controladores de motor semiconductores CA y arrancadores |
| IEC 60947-4-3 | 1999 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 4-3: contactores y arrancadores de motor. Controladores semiconductores CA y contactores para cargas sin motor |
| IEC 60947-5-1 | 2003 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 5-1: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Dispositivos de circuito de control electromecánicos |
| IEC 60947-5-2 | 2004 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 5-2: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Interruptores de proximidad |
| IEC 60947-5-3 | 2005 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 5-3: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Requisitos de los dispositivos de proximidad con régimen definido en condiciones de fallo |
| IEC 60947-5-4 | 2002 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 5: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Apartado 4: método de evaluación del rendimiento de los contactos de baja energía. Pruebas especiales |
| IEC 60947-5-5 | 2005 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 5-5: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Dispositivo eléctrico de parada de emergencia con función de bloqueo mecánica |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|---------------|------|---|
| IEC 60947-5-6 | 1999 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 5-6: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Interfaz CC para sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (NAMUR) |
| IEC 60947-6-1 | 2005 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 6-1: equipos de funciones múltiples. Equipo de conmutación de transferencia automática |
| IEC 60947-6-2 | 2002 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 6-2: equipos de funciones múltiples. Dispositivos (o equipos) de conmutación de control y protección (CPS) |
| IEC 60947-7-1 | 2002 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 7: equipo auxiliar. Apartado 1: bloques de terminales para conductores de cobre |
| IEC 60947-7-2 | 2002 | Interruptores de baja tensión y de control. Parte 7: equipo auxiliar. Apartado 2: bloques de terminales de conductor protector para conductores de cobre |
| IEC 60439-1 | 2004 | Conjuntos de interruptores de baja tensión y de control. Parte 1: conjuntos de tipo probado y de tipo parcialmente probado |
| IEC 60439-2 | 2005 | Conjuntos de interruptores de baja tensión y de control. Parte 2: requisitos particulares para sistemas de canalización prefabricada (conductos para barras colectoras) |
| IEC 60439-3 | 2001 | Conjuntos de interruptores de baja tensión y de control. Parte 3: requisitos particulares para conjuntos de interruptores de baja tensión y de control que se van a instalar en lugares a los que tienen acceso personas que no tienen los conocimientos necesarios. Placas de distribución |
| IEC 60439-4 | 2004 | Conjuntos de interruptores de baja tensión y de control. Parte 4: requisitos particulares para conjuntos destinados a lugares de construcción (ACS) |
| IEC 60439-5 | 1998 | Conjuntos de interruptores de baja tensión y de control. Parte 5: requisitos particulares para conjuntos que se van a instalar en el exterior en lugares públicos. Armarios de distribución de cables (CDCs) para la distribución de potencia en las redes |
| IEC 61095 | 2000 | Contactores electromecánicos para aplicaciones domésticas y análogas |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|----------------|------|--|
| IEC 60890 | 1987 | Método de evaluación por extrapolación del calentamiento de los conjuntos parcialmente probados (PTTA) de interruptores de baja tensión y de control |
| IEC 61117 | 1992 | Método de evaluación de resistencia a cortocircuito de los conjuntos parcialmente probados (PTTA) |
| IEC 60092-303 | 1980 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 303: equipo. Transformadores de potencia e iluminación |
| IEC 60092-301 | 1980 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 301: equipo. Generadores y motores |
| IEC 60092-101 | 2002 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 101: definiciones y requisitos generales |
| IEC 60092-401 | 1980 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 401: instalación y prueba de la instalación completa |
| IEC 60092-201 | 1994 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 201: diseño del sistema. Generalidades |
| IEC 60092-202 | 1994 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. - Parte 202: diseño del sistema. Protección |
| IEC 60092-302 | 1997 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 302: Conjuntos de interruptores de baja tensión y de control. |
| IEC 60092-350 | 2001 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 350: cables de potencia en embarcaciones. Estructura general y requisitos de pruebas |
| IEC 60092-352 | 2005 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 352: elección e instalación de los cables para sistemas de baja tensión |
| IEC 60364-5-52 | 2001 | Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5-52: selección y montaje del equipo eléctrico. Sistemas de conexión |
| IEC 60227 | | Cables aislados con policloruro de vinilo de tensiones asignadas inferiores o iguales a 450/750 V |
| | 1998 | Parte 1: requisitos generales |
| | 2003 | Parte 2: métodos de prueba |
| | 1997 | Parte 3: cables no blindados para conexiones fijas |
| | 1997 | Parte 4: cables blindados para conexiones fijas |
| | 2003 | Parte 5: cables flexibles (conductores flexibles) |
| | 2001 | Parte 6: cables de suspensión y cables para conexiones flexibles |
| | 2003 | Parte 7: cables flexibles apantallados y no apantallados con dos o más conductores |
| IEC 60228 | 2004 | Conductores de cables aislados |
| IEC 60245 | | Cables aislados con goma. Tensiones asignadas inferiores o iguales a 450/750 V |
| | 2003 | Parte 1: Generalidades |
| | 1998 | Parte 2: Métodos de prueba |
| | 1994 | Parte 3: Cables aislados con silicona resistentes al calor |
| | 1994 | Parte 4: Conductores y cables flexibles |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|---------------|------|---|
| | 2004 | Parte 4: conductores y cables flexibles |
| | 1994 | Parte 5: cables de suspensión |
| | 1994 | Parte 6: cables de soldadura por arco eléctrico |
| | 1994 | Parte 7: cables resistentes al calor aislados con goma de acetato de etileno-vinilo |
| | 2004 | Parte 8: cables para aplicaciones que requieren una alta flexibilidad |
| IEC 60309-2 | 2005 | Enchufes, bases de tomas de corriente y acopladores para instalaciones industriales. Parte 2: requisitos de intercambiabilidad dimensionales para accesorios de patilla y tubo de contacto |
| IEC 61008-1 | 2002 | Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCCBs). Parte 1: normas generales |
| IEC 61008-2-1 | 1990 | Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCCBs). Parte 2-1: aplicabilidad de las normas generales a RCCB desde el punto de vista funcional, independientemente de la tensión de la línea |
| IEC 61008-2-2 | 1990 | Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCCBs). Parte 2-2: aplicabilidad de las normas generales a RCCB desde el punto de vista funcional dependiendo de la tensión de la línea |
| IEC 61009-1 | 2003 | Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCBOs). Parte 1: normas generales |
| IEC 61009-2-1 | 1991 | Interruptores automáticos por corriente residual con protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCBOs) Parte 2-1: aplicabilidad de las normas generales a RCBO desde el punto de vista funcional, independientemente de la tensión de la línea |
| IEC 61009-2-2 | 1991 | Interruptores automáticos por corriente residual con protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCBOs). Parte 2-2: aplicabilidad de las normas generales a RCBO desde el punto de vista funcional dependiendo de la tensión de la línea |
| IEC 60670-1 | 2002 | Cajones y armarios para accesorios eléctricos para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas. Parte 1: requisitos generales |
| IEC 60669-2-1 | 2002 | Interruptores para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas. Parte 2-1: requisitos especiales. Interruptores electrónicos |
| IEC 60669-2-2 | 2002 | Interruptores para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas. Parte 2: requisitos especiales. Apartado 2: Interruptores de control remoto (RCS) |
| IEC 60669-2-3 | 1997 | Interruptores para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas. Parte 2-3: requisitos especiales, interruptores de retardo (TDS) |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|----------------|------|---|
| IEC 60079-10 | 2002 | Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: clasificación de emplazamientos peligrosos |
| IEC 60079-14 | 2002 | Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 14: instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (excepto las minas) |
| IEC 60079-17 | 2002 | Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 17: inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (excepto las minas) |
| IEC 60269-1 | 2005 | Fusibles de baja tensión. Parte 1: requisitos generales |
| IEC 60269-2 | 1986 | Fusibles de baja tensión. Parte 2: requisitos adicionales de los fusibles para su uso por personas autorizadas (fusibles utilizados principalmente para aplicaciones industriales) |
| IEC 60269-3-1 | 2004 | Fusibles de baja tensión. Parte 3-1: requisitos adicionales de los fusibles para su uso por personas no especializadas (fusibles utilizados principalmente para aplicaciones domésticas y análogas). Apartados I a IV: Ejemplos de fusibles homologados |
| IEC 60127-1/10 | | Fusibles miniatura |
| | 2003 | Parte 1: definiciones de fusibles miniatura y requisitos generales de los fusibles miniatura |
| | 2003 | Parte 2: cartuchos fusibles |
| | 1988 | Parte 3: fusibles subminiatura |
| | 2005 | Parte 4: fusibles modulares universales (UMF) en perforaciones y montados en superficie |
| | 1988 | Parte 5: directrices para evaluar la calidad de los fusibles miniatura |
| | 1994 | Parte 6: conjunto portador para cartuchos fusibles miniatura |
| | 2001 | Parte 10: guía de usuario para fusibles miniatura |
| IEC 60730-2-7 | 1990 | Controles eléctricos automáticos para aplicaciones domésticas y análogas. Parte 2: requisitos especiales para temporizadores e interruptores de tiempo |
| IEC 60364-1 | 2005 | Instalaciones eléctricas de baja tensión Parte 1: principios básicos, evaluación de las características generales, definiciones |
| IEC 60364-4-41 | 2005 | Instalaciones eléctricas de baja tensión Parte 4-41: protección para garantizar la seguridad. Protección contra descargas eléctricas |
| IEC 60364-4-42 | 2001 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 4-42: protección para garantizar la seguridad. Protección contra efectos térmicos |
| IEC 60364-4-43 | 2001 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 4-43: protección para garantizar la seguridad. Protección contra sobrintensidades |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|----------------|-------------|---|
| IEC 60364-4-44 | 2003 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 4-44: protección para garantizar la seguridad. Protección contra perturbaciones de tensión y perturbaciones electromagnéticas |
| IEC 60364-5-51 | 2005 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-51: selección y montaje del equipo eléctrico. Normas comunes |
| IEC 60364-5-52 | 2001 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-52: selección y montaje del equipo eléctrico. Sistemas de conexiones |
| IEC 60364-5-53 | 2002 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-53: selección y montaje del equipo eléctrico. Aislamiento, conmutación y control |
| IEC 60364-5-54 | 2002 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-54: selección y montaje del equipo eléctrico. Disposiciones de puesta a tierra, conductores de protección y conductores de conexión de protección |
| IEC 60364-5-55 | 2002 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-55: selección y montaje del equipo eléctrico. Otros equipos |
| IEC 60364-6-61 | 2001 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 6-61: verificación. Verificación inicial |
| IEC 60364-7 | 1984...2005 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 7: requisitos para instalaciones o emplazamientos especiales |
| IEC 60529 | 2001 | Grados de protección de los armarios (según códigos IP) |
| IEC 61032 | 1997 | Protección de los armarios para personas y equipos. Pruebas de verificación |
| IEC 61000-1-1 | 1992 | Compatibilidad electromagnética (EMC). Parte 1: generalidades. Apartado 1: aplicación e interpretación de las definiciones y los términos fundamentales |
| IEC 61000-1-2 | 2001 | Compatibilidad electromagnética (EMC). Parte 1-2: generalidades. Métodos para lograr la seguridad funcional de los equipos eléctricos y electrónicos en lo que respecta a los fenómenos electromagnéticos |
| IEC 61000-1-3 | 2002 | Compatibilidad electromagnética (EMC). Parte 1-3: generalidades. Efectos de la altitud elevada EMP (HEMP) en equipos y sistemas civiles |

2 Aparatos de protección y maniobra

2.1 Siglas de los interruptores

Interruptor automático en caja moldeada: Tmax

| SIGLA INTERRUPTOR AUTOMATICO | | | |
|------------------------------|----------|--|--------------------------------|
| Serie T | Tamaño | Poder asignado de corte último en cortocircuito a 415 V c.a. | Intensidad asignada permanente |
| | 1 | B = 16 kA | 160 A |
| | 2 | C = 25 kA | 250 A |
| | 3 | N = 36 kA | 320 A |
| | 4 | S = 50 kA | 400 A |
| | 5 | L = 85 kA (for T2) | 630 A |
| | 6 | L = 120 kA (for T4-T5) | 800 A |
| | 7 | L = 100 kA (for T6) | 1000 A |
| | | V = 150 kA (for T7) | 1250 A |
| | | V = 200 kA | 1600 A |

| Tmax T2L 160 | Iu=160A | Ue=690V | Ui=800V | Uimp=8kV | IEC 60947-2 | | | |
|--------------|-----------|---------|------------------------------------|----------|-------------|-----|-----|------------------------------|
| Ue (V) | 230 | 400/415 | 440 | 500 | 690 | 250 | 500 | Made in Italy by ABB SACE |
| Icu (kA) | 150 | 85 | 75 | 50 | 10 | 85 | 85 | |
| Ics (% Icu) | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | |
| Cat A | ~ 50-60Hz | | 2 P $\frac{1}{2}$ 3 P in series | | CE | | | |

Intensidad asignada permanente **Iu**

Tensión asignada de empleo **Ue**

Tensión asignada de aislamiento **Ui**: máximo valor eficaz de una tensión, a la frecuencia de empleo, que puede soportar el interruptor en condiciones de ensayo.

Tensión asignada soportada a impulso **Uimp**: valor de cresta de una tensión de impulso que puede soportar el interruptor en las condiciones de ensayo especificadas

Poder asignado de corte último (**Icu**) y de servicio (**Ics**) para distintos valores de tensión

Según las normas internacionales IEC 60947-2, los interruptores automáticos son de Categoría **A** si no tienen un valor de intensidad admisible de corta duración asignado, o de Categoría **B** si tienen un valor de corriente admisible de corta duración asignado.

La marca **CE** aplicada en los interruptores ABB certifica la conformidad a las directivas CE: Baja Tensión 73/23 CEE Compatibilidad Electromagnética (CEM) 89/336 CEE.

Conformidad a las normas internacionales **IEC 60947-2**: "Low-Voltage switchgear and controlgear – Circuit-breakers".

ASDC008046F0701

2 Aparatos de protección y maniobra

Interruptor automático abierto: Emax

SIGLA INTERRUPTOR AUTOMATICO

| | | | |
|--------------------------------|--|---|--|
| Serie E X1 | Tamaño 1 2 3 4 6 | Poder asignado de corte último en cortocircuito a 415 V c.a. B = 42 kA N = 65 kA (50 kA E1) S = 75 kA (85 kA E2) H = 100 kA L = 130 kA (150 kA X1) V = 150 kA (130 kA E3) | Intensidad asignada permanente 06 ⇒ 630 A 08 ⇒ 800 A 10 ⇒ 1000 A 12 ⇒ 1250 A 16 ⇒ 1600 A 20 ⇒ 2000 A 25 ⇒ 2500 A 32 ⇒ 3200 A 40 ⇒ 4000 A 50 ⇒ 5000 A 63 ⇒ 6300 A |
|--------------------------------|--|---|--|

Intensidad asignada permanente **I_u**

Tensión asignada de empleo **U_e**

Intensidad asignada admisible de corta duración **I_{cu}**, o sea, intensidad máxima que el interruptor puede soportar durante un tiempo determinado.

SACE E3N 32 I_u=3200A U_e=690V
I_{cu}=65kA x 1

| | | | | | |
|----------------------|---|-----------------------------|---|-----|--------------|
| Cat B | ↔ | 50-60 Hz | ↔ | 250 | CEI EN 60947 |
| U _e (V) | | 230 415 440 500 690 | | | IEC 947-2 |
| I _{cu} (kA) | | 65 65 65 65 65 | | | CE |
| I _{cs} (kA) | | 65 65 65 65 65 | | | |

Según las normas internacionales IEC 60947-2, los interruptores automáticos son de Categoría **A** si no tienen un valor de intensidad admisible de corta duración asignado, o de Categoría **B** si tienen un valor de corriente admisible de corta duración asignado.

Poder asignado de corte último (**I_{cu}**) y de servicio (**I_{cs}**) para distintos valores de tensión

La marca **CE** aplicada en los interruptores ABB certifica la conformidad a las directivas CE: Baja Tensión 73/23 CEE Compatibilidad Electromagnética (CEM) 89/336 CEE

Conformidad a las normas nacionales e internacionales de producto

ASDC008048F0701

ABB - Aparatos de protección y maniobra

27

2 Aparatos de protección y maniobra

2.2 Definiciones principales

Las principales definiciones de los aparatos de protección y maniobra figuran en las normas internacionales IEC 60947-1, IEC 60947-2 e IEC 60947-3.

Características generales de los aparatos

Interruptor automático

Aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en las condiciones normales del circuito, así como de soportar durante un tiempo determinado e interrumpir corrientes en condiciones anormales especificadas del circuito tales como las de cortocircuito.

Interruptor automático limitador de corriente

Interruptor automático con un tiempo de interrupción lo suficientemente corto para evitar que la intensidad de cortocircuito llegue al valor de cresta que alcanzaría de otro modo.

Interruptor automático enchufable

Interruptor automático que, además de los contactos utilizados para la interrupción, posee otros que permiten desenchufarlo.

Interruptor automático extraíble

Interruptor automático que, además de los contactos utilizados para la interrupción, posee contactos de seccionamiento que permiten desconectarlo del circuito principal en posición de extraído y obtener la distancia de seccionamiento prescrita.

Interruptor automático en caja moldeada

Interruptor automático alojado en una caja de material aislante moldeado que forma parte integrante del propio aparato.

Seccionador

Aparato mecánico de maniobra que asegura, en posición de abierto, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones especificadas.

Relé

Dispositivo conectado mecánicamente a un aparato mecánico de maniobra, que libera los órganos de retención permitiendo la apertura o el cierre del aparato.

2 Aparatos de protección y maniobra

Tipos y corrientes de defecto

Sobrecarga

Condición de funcionamiento en un circuito eléctricamente correcto que causa una sobreintensidad.

Cortocircuito

Conexión accidental o intencional, de dos o más puntos de un circuito que normalmente están a distinto potencial, mediante una resistencia o impedancia de valor relativamente bajo.

Intensidad diferencial (I_{Δ})

Valor eficaz de la suma vectorial de las intensidades que circulan por el circuito principal del interruptor diferencial.

2 Aparatos de protección y maniobra

Prestaciones asignadas

Tensiones y frecuencias

Tensión asignada de empleo (U_e)

La tensión asignada de empleo de un aparato es un valor que, junto con la intensidad asignada de empleo, determina el uso de dicho aparato y se toma como referencia para definir los ensayos aplicables y la categoría de utilización.

Tensión asignada de aislamiento (U_i)

Es la tensión a la cual se refieren los ensayos dieléctricos y las distancias de aislamiento superficial. El valor máximo de la tensión nominal de empleo no puede sobrepasar en ningún caso la tensión nominal de aislamiento.

Tensión asignada soportada a impulso (U_{imp})

Valor de cresta de una tensión a impulsos, de forma y polaridad determinadas, que el aparato puede soportar sin dañarse en condiciones especificadas de ensayo. Se toma como referencia para determinar las distancias de aislamiento al aire.

Frecuencia asignada

Frecuencia de alimentación para la cual está diseñado el aparato y a la cual corresponden los otros valores característicos.

Intensidades

Intensidad asignada permanente (I_u)

La intensidad nominal permanente de un aparato es la intensidad, asignada por el fabricante, que dicho aparato puede soportar en el servicio continuo.

Intensidad asignada diferencial de disparo ($I_{\Delta r}$)

Valor eficaz de la corriente senoidal diferencial de disparo, asignado por el fabricante al interruptor diferencial, al que debe dispararse en condiciones especificadas.

Prestaciones en condiciones de cortocircuito

Poder asignado de cierre

El poder asignado de cierre de un aparato de maniobra es la intensidad, asignada por el fabricante, a la que dicho aparato puede cerrarse correctamente en las condiciones de cierre especificadas.

Poder asignado de corte

El poder nominal de corte de un aparato de maniobra es la intensidad, asignada por el fabricante, a la que dicho aparato puede abrirse sin sufrir daños en las condiciones de corte especificadas.

2 Aparatos de protección y maniobra

Poder asignado de corte último en cortocircuito (I_{cu})

El poder asignado de corte último en cortocircuito de un interruptor automático es la máxima intensidad de cortocircuito que dicho interruptor puede cortar dos veces, con un ciclo de operación O-t-CO (apertura, pausa, cierre-apertura), a la tensión de empleo correspondiente. Tras el ciclo de apertura y cierre, no se requiere que el interruptor automático conduzca permanentemente su corriente asignada.

Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito (I_{cs})

El poder asignado de corte de servicio en cortocircuito de un interruptor automático es la intensidad que dicho interruptor puede cortar tres veces, con un ciclo de operación O-t-CO-t-CO (apertura, pausa, cierre-apertura, pausa, cierre-apertura), a una determinada tensión de servicio (U_n) y con un factor de potencia dado. Después del ciclo, el interruptor automático debe poder conducir su corriente asignada.

Intensidad asignada de corta duración (I_{cw})

La intensidad asignada admisible de corta duración es aquella que el interruptor automático puede soportar en la posición de cerrado durante un tiempo corto en condiciones de empleo y comportamiento especificados. El interruptor automático debe poder soportar dicha intensidad durante todo el tiempo de retardo previsto para garantizar la selectividad entre los interruptores automáticos conectados en serie.

Poder asignado de cierre en cortocircuito (I_{cm})

El poder asignado de cierre en cortocircuito de un aparato es la máxima intensidad de cortocircuito, asignada por el fabricante, a la que dicho interruptor automático es capaz de cerrar a la tensión asignada de empleo, con la frecuencia asignada y con un factor de potencia especificado en corriente alterna.

Categoría de utilización

La categoría de utilización de un interruptor automático se establece en función de que el aparato, en condiciones de cortocircuito, tenga o no tenga que desconectar de forma selectiva, mediante un retardo intencional, respecto a otros dispositivos montados en serie aguas abajo (Tabla 4 IEC 60947-2).

Categoría A – Interruptores automáticos que no están específicamente destinados a desconectar de forma selectiva, frente a un cortocircuito, respecto a otros dispositivos de protección montados en serie aguas abajo; es decir, sin retardo intencional aplicable en condiciones de cortocircuito y, por lo tanto, sin especificación de intensidad asignada de corta duración.

Categoría B – Interruptores automáticos que están específicamente destinados a desconectar de forma selectiva, frente a un cortocircuito, respecto a otros dispositivos de protección montados en serie aguas abajo; es decir, con un retardo intencional aplicable en condiciones de cortocircuito. Para estos interruptores automáticos se especifica la intensidad asignada de corta duración admisible.

2 Aparatos de protección y maniobra

Un interruptor automático se considera de categoría B cuando su intensidad admisible de corta duración admisible es superior (Tabla 3 IEC 60947-2):

| | | |
|----------------------|--------------|------------------|
| al mayor valor entre | 12 In y 5 kA | para In ≤ 2500 A |
| a | 30 kA | para In > 2500 A |

Durabilidad mecánica y eléctrica

Durabilidad mecánica

La durabilidad mecánica se expresa como el número de ciclos (un ciclo está formado por una operación de cierre, y otra de apertura) sin carga que el aparato puede realizar sin revisión o sustitución de partes mecánicas (se admite el mantenimiento ordinario).

Durabilidad eléctrica

La durabilidad eléctrica también se expresa en número de ciclos y define la resistencia de los contactos al desgaste eléctrico durante el funcionamiento en carga y en las condiciones especificadas por las normas respectivas.

2.3 Tipos de relés

El interruptor automático debe controlar y proteger, en caso de fallo o malfuncionamiento, los elementos de la instalación conectados a él. Para realizar esta función, el relé, una vez detectada la anomalía, reacciona en un tiempo definido provocando la apertura del mecanismo de interrupción.

Los relés de protección incorporados en los interruptores automáticos en caja

| Interruptor autom. T. magnético | In [A] | → | 1 | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6.3 | 8 | 8.5 | 10 | 11 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | |
|------------------------------------|-------------|---|----|---------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|-------|-----|------|--------|----------|-------|-------|---------|-------|---------|-----|
| | Térmico [A] | → | - | 1.1-1.6 | 1.4-2 | 1.8-2.5 | 2.2-3.2 | 2.8-4 | 3.5-5 | 4.4-6.3 | 5.6-8 | - | 7-10 | - | 8.8-12.5 | 11-16 | 14-20 | 18-25 | 22-32 | 28-40 | |
| T1 TMD 10xIn | I3 [A] | | | | | | | | | | | | | | | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | |
| T2 TMD 10xIn | | | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | | | 100 | | 125 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| TMG 3xIn | | | | | | | | | | | | | | | | 160 | | 160 | | | 200 |
| MF 13xIn | | | 13 | 21 | 26 | 33 | 42 | 52 | 65 | 84 | | 110 | | | 145 | 163 | | | | | |
| MA 6-12xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | 120-240 | | 192-384 | |
| T3 TMD 10xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TMG 3xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MA 6-12xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T4 TMD 10xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | 320 | | | 320 |
| TMA 5-10xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MA 6-14xIn | | | | | | | | | | | | | | 60-140 | | | | | | 150-350 | |
| T5 TMA 5-10xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TMG 2.5-5xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T6 TMA 5-10xIn | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- *Nota: TMD Relé magnetotérmico con umbral ajustable térmico y umbral fijo magnético
 TMA Relé magnetotérmico con umbral ajustable térmico y umbral magnético
 TMG Relé magnetotérmico para la protección de generadores
 MA Relés ajustables sólo magnéticos
 MF Relés fijos sólo magnéticos

2 Aparatos de protección y maniobra

Por ejemplo, un interruptor T2 con intensidad asignada I_n de 2,5 A se presenta en dos versiones:

- magnetotérmico con disparo térmico regulable I_1 de 1,8 a 2,5 A y disparo magnético fijo I_3 a 25 A;
- sólo magnético (MO) con disparo magnético fijo I_3 a 33 A.

2.3.2 RELÉS ELECTRÓNICOS

Estos relés se conectan a transformadores de corriente (tres o cuatro según el número de conductores que deban proteger) situados dentro del interruptor automático, que tienen la doble función de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento correcto del relé (autoalimentación) y detectar la intensidad de corriente que transportan los conductores activos. Por ello, sólo pueden instalarse en redes de corriente alterna.

La señal procedente de los transformadores y de las bobinas de Rogowsky se elabora mediante un microprocesador electrónico, que la compara con los umbrales prefijados. Si la señal es superior a los umbrales, un solenoide de apertura por desmagnetización actúa directamente sobre el grupo de mando del interruptor y lo desconecta.

Si hay una alimentación auxiliar además de la autoalimentación, la tensión debe tener un valor de 24 Vcc $\pm 20\%$.

| Corriente asignada I_n [A] | 10 | 25 | 63 | 100 | 160 | 200 | |
|------------------------------|-------------|--------|--------|--------|----------|----------|-----------|
| Función L | PR221 | 4-10 | 10-25 | 25-63 | 40-100 | 64-160 | |
| | PR222 | | | | 40-100 | 64-160 | |
| | PR223 | | | | 18-100 | 28.8-160 | |
| | PR231 | | | | | | |
| | PR232 | | | | | | |
| | PR331 | | | | | | |
| | PR332 | | | | | | |
| | PR211/PR212 | | | | | | |
| | PR222/MP | | | | 40-100 | 64-160 | 80-200 |
| PR212/MP | | | | | | | |
| Función S | PR221 | 10-100 | 25-250 | 63-630 | 100-1000 | 160-1600 | |
| | PR222 | | | | 60-1000 | 96-1600 | |
| | PR223 | | | | 60-1000 | 96-1600 | |
| | PR231 | | | | | | |
| | PR232 | | | | | | |
| | PR331 | | | | | | |
| | PR332 | | | | | | |
| | PR211/PR212 | | | | | | |
| Función I | PR221 | 10-100 | 25-250 | 63-630 | 100-1000 | 160-1600 | |
| | PR222 | | | | 150-1200 | 240-1920 | |
| | PR223 | | | | 150-1200 | 240-1920 | |
| | PR231 | | | | | | |
| | PR232 | | | | | | |
| | PR331 | | | | | | |
| | PR332 | | | | | | |
| | PR211/PR212 | | | | | | |
| | PR222/MP | | | | 600-1300 | 960-2080 | 1200-2600 |
| PR212/MP | | | | | | | |

2 Aparatos de protección y maniobra

Además de las funciones normales de protección, los relés permiten:

- medir la corriente (PR222, PR232, PR331, PR121);
- medir la corriente, tensión, frecuencia, potencia, energía, factor de potencia (PR223, PR332, PR122) y en PR333 y PR123, también es posible medir las distorsiones armónicas;
- establecer una comunicación en serie con control remoto para efectuar un control total de la planta (PR212, PR222, PR223, PR232, PR331, PR332, PR333, PR121, PR122, PR123).

CALIBRE DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

| Corriente asignada In [A] → | 10 | 25 | 63 | 100 | 160 | 250 | 320 | 400 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 |
|------------------------------|------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Interruptor automático Iu[A] | | | | | | | | | | | | | |
| T2 | 160 | | | | | | | | | | | | |
| T4 | 250 | | | | | | | | | | | | |
| | 320 | | | | | | | | | | | | |
| T5 | 400 | | | | | | | | | | | | |
| | 630 | | | | | | | | | | | | |
| T6 | 630 | | | | | | | | | | | | |
| | 800 | | | | | | | | | | | | |
| | 1000 | | | | | | | | | | | | |
| T7 | 800 | | | | | | | | | | | | |
| | 1000 | | | | | | | | | | | | |
| | 1250 | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | |
| S7 | 1250 | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | |

| 250 | 320 | 400 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 |
|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 100-250 | 128-320 | 160-400 | 252-630 | 320-800 | 400-1000 | | |
| 100-250 | 128-320 | 160-400 | 252-630 | 320-800 | 400-1000 | | |
| 45-250 | 57.6-320 | 72-400 | 113.4-630 | 144-800 | 180-1000 | | |
| | | 160-400 | 252-630 | 320-800 | 400-1000 | 500-1250 | 640-1600 |
| | | 160-400 | 252-630 | 320-800 | 400-1000 | 500-1250 | 640-1600 |
| | | 160-400 | 252-630 | 320-800 | 400-1000 | 500-1250 | 640-1600 |
| | | 160-400 | 252-630 | 320-800 | 400-1000 | 500-1250 | 640-1600 |
| | | | | | 400-1000 | 500-1250 | 640-1600 |
| | 128-320 | 160-400 | 252-630 | | | | |
| | | | | | 400-1000 | | |
| 250-2500 | 320-3200 | 400-4000 | 630-6300 | 800-8000 | 1000-10000 | | |
| 150-2500 | 192-3200 | 240-4000 | 378-6300 | 480-8000 | 600-10000 | | |
| 150-2500 | 192-3200 | 240-4000 | 378-6300 | 480-8000 | 600-10000 | | |
| | | 400-4000 | 630-6300 | 800-8000 | 1000-10000 | 1250-12500 | 1600-16000 |
| | | 240-4000 | 378-6300 | 480-8000 | 600-10000 | 750-12500 | 960-16000 |
| | | 240-4000 | 378-6300 | 480-8000 | 600-10000 | 750-12500 | 960-16000 |
| | | 240-4000 | 378-6300 | 480-8000 | 600-10000 | 750-12500 | 960-16000 |
| | | | | | 1000-10000 | 1250-12500 | 1600-16000 |
| 250-2500 | 320-3200 | 400-4000 | 630-6300 | 800-8000 | 1000-10000 | | |
| 375-3000 | 480-3840 | 600-4800 | 945-7560 | 1200-9600 | 1500-12000 | | |
| 375-3000 | 480-3840 | 600-4800 | 945-7560 | 1200-9600 | 1500-12000 | | |
| | | 400-4800 | 630-7560 | 800-9600 | 1000-12000 | 1250-15000 | 1600-19200 |
| | | 600-4800 | 945-7560 | 1200-9600 | 1500-12000 | 1875-15000 | 2400-19200 |
| | | 600-6000 | 945-9450 | 1200-12000 | 1500-15000 | 1875-15000 | 2400-19200 |
| | | 600-6000 | 945-9450 | 1200-12000 | 1500-15000 | 1875-15000 | 2400-19200 |
| | | | | | | 2875-15000 | 2400-19200 |
| | 1920-4160 | 2400-5200 | 3780-8190 | | 6000-13000 | | |
| | | | | | 6000-13000 | | |

2 Aparatos de protección y maniobra

CALIBRE DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Tomas asignadas

| Tipo de interruptor | Corriente asignada L | In [A] | 400 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3200 | 4000 | 5000 | 6300 |
|---------------------|----------------------|--------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| X1B - X1N | 630 | | | | | | | | | | | | | |
| | 800 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1250 | | | | | | | | | | | | | |
| X1L | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| | 630 | | | | | | | | | | | | | |
| | 800 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1000 | | | | | | | | | | | | | |
| E1B | 1250 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2000 | | | | | | | | | | | | | |
| E1N | 1000-1250 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| E2B | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2000 | | | | | | | | | | | | | |
| E2N | 1000-1250 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2000 | | | | | | | | | | | | | |
| E2S | 800 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1000-1250 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2000 | | | | | | | | | | | | | |
| E2L | 1250 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| E3N | 2500 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3200 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1000-1250 | | | | | | | | | | | | | |
| E3S | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2500 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3200 | | | | | | | | | | | | | |
| | 800 | | | | | | | | | | | | | |
| E3H | 1000-1250 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2500 | | | | | | | | | | | | | |
| | 3200 | | | | | | | | | | | | | |
| E3V | 800 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1250 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1600 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2500 | | | | | | | | | | | | | |
| E3L | 3200 | | | | | | | | | | | | | |
| | 2000 | | | | | | | | | | | | | |
| E4S, E4S/f | 2500 | | | | | | | | | | | | | |
| | 4000 | | | | | | | | | | | | | |
| E4H, E4H/f | 3200 | | | | | | | | | | | | | |
| | 4000 | | | | | | | | | | | | | |
| E4V | 3200 | | | | | | | | | | | | | |
| | 4000 | | | | | | | | | | | | | |
| E6H, E6H/f | 4000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 5000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 6300 | | | | | | | | | | | | | |
| E6V | 3200 | | | | | | | | | | | | | |
| | 4000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 5000 | | | | | | | | | | | | | |
| | 6300 | | | | | | | | | | | | | |

| Corriente asignada In [A] → | | 400 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
|-----------------------------|-------------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| L | PR121/PR122/PR123 | | | | | |
| Función | PR331/PR332/PR333 | 160÷400 | 252÷630 | 320÷800 | 400÷1000 | 500÷1250 |
| S | PR121 | | | | | |
| Función | PR122/PR123 | 400÷4000 | 630÷6300 | 800÷8000 | 1000÷10000 | 1250÷12500 |
| | PR331/PR332/PR333 | 240÷4000 | 378÷6300 | 480÷8000 | 600÷10000 | 750÷12500 |
| I | PR121/PR122/PR123 | | | | | |
| Función | PR331/PR332/PR333 | 600÷6000 | 945÷9450 | 1200÷12000 | 1500÷15000 | 1875÷18750 |

2 Aparatos de protección y maniobra

2.3.2.1 FUNCIONES DE PROTECCIÓN DE LOS RELÉS ELECTRÓNICOS

Los relés electrónicos efectúan las siguientes funciones de protección:

L - Protección contra sobrecarga con retardo a tiempo largo inverso
Función de protección contra sobrecargas con **retardo a tiempo largo inverso** y con energía específica constante; no excluible.

L - Protección contra sobrecarga según IEC 60255-3
Función de protección contra sobrecargas con **retardo a tiempo largo inverso** y curvas de actuación conforme a la norma IEC 60255-3. Se utilizan para la coordinación con fusibles y con protecciones de media tensión.

S - Protección contra cortocircuito con retardo regulable
Función de protección contra corrientes de cortocircuito **con retardo regulable**; gracias al retardo regulable, esta protección es especialmente útil si se deben realizar coordinaciones selectivas entre varios dispositivos.

S₂- Doble S

Esta función permite programar dos umbrales de la función de protección S y activarlos simultáneamente; se puede alcanzar una selectividad incluso en condiciones sumamente críticas.

D - Protección contra cortocircuito direccional con retardo regulable
La **protección direccional**, similar a la función S, puede actuar de distinto modo según la dirección de la corriente de cortocircuito. Es especialmente apropiada para redes malladas o si existen líneas de alimentación múltiples en paralelo.

I - Protección contra cortocircuito con activación instantánea

Función de protección instantánea contra cortocircuitos.

EFDP - Detección de fallo y prevención anticipadas

Gracias a esta función, el relé puede aislar un fallo en un periodo de tiempo más corto que la selectividad de zona actualmente disponible en el mercado.

Rc - Protección contra corriente residual

Esta función es especialmente apropiada en aquellos casos en que se precisa protección contra corriente residual de baja sensibilidad, y en aplicaciones de alta sensibilidad, para proteger a las personas contra un contacto indirecto.

G - Protección contra defecto a tierra con retardo regulable

Función que protege a la instalación contra los defectos a tierra.

U - Protección contra el desequilibrio de fases

Función de protección que actúa si se detecta un desequilibrio excesivo entre las corrientes de las diversas fases protegidas por el interruptor automático.

| 1600 | 2000 | 2500 | 3200 | 4000 | 5000 | 6300 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 640÷1600 | 800÷2000 | 1000÷2500 | 1280÷3200 | 1600÷4000 | 2000÷5000 | 2520÷6300 |
| 1600÷16000 | 2000÷20000 | 2500÷25000 | 3200÷32000 | 4000÷40000 | 5000÷50000 | 6300÷63000 |
| 960÷16000 | 1200÷20000 | 1500÷25000 | 1920÷32000 | 2400÷40000 | 3000÷50000 | 3780÷63000 |
| 2400÷24000 | 3000÷30000 | 3750÷37500 | 4800÷48000 | 6000÷60000 | 7500÷75000 | 9450÷94500 |

2 Aparatos de protección y maniobra

OT - Autoprotección contra sobretemperaturas

Función de protección que controla la apertura del interruptor automático cuando la temperatura en el interior del relé puede hacer peligrar su funcionamiento.

UV - Protección contra tensión mínima

Función de protección que actúa cuando la tensión de la fase es inferior al umbral especificado.

OV - Protección contra sobretensión

Función de protección que actúa cuando la tensión de la fase supera el umbral especificado.

RV - Protección contra tensión residual

Protección que detecta tensiones anómalas en el conductor neutro.

RP - Protección contra retorno de potencia

Protección que actúa cuando la dirección de la potencia activa es opuesta a su sentido normal de flujo.

UF - Protección contra frecuencia mínima

Esta protección de la frecuencia detecta la disminución de la frecuencia de red por encima del umbral regulable, y activa una alarma o abre el circuito.

OF - Protección contra frecuencia máxima

Esta protección de la frecuencia detecta el aumento de la frecuencia de red por encima del umbral regulable, y activa una alarma o abre el circuito.

M - Memoria térmica

Gracias a esta función es posible controlar el calentamiento de un componente, de modo que la conexión es más rápida cuanto menos tiempo haya transcurrido desde la conexión anterior.

R - Protección contra el bloqueo del rotor

Función que actúa en cuanto se detecta un estado que podría bloquear el rotor del motor protegido durante su funcionamiento.

Inst - Protección instantánea de gran rapidez contra cortocircuito

Esta función en particular tiene el objetivo de mantener la integridad del interruptor automático y de la instalación en caso de corrientes elevadas que requieran retardos inferiores a los que ofrece la protección contra cortocircuito instantáneo. Esta protección debe ser ajustada exclusivamente por personal de ABB SACE, y no se puede excluir.

Doble configuración de protecciones

Con esta función es posible programar dos conjuntos diferentes de parámetros (LSIG) y, a través de una orden externa, cambiar de un conjunto a otro.

K - Control de carga

Gracias a esta función, existe la posibilidad de conectar/desconectar cargas individuales en la parte de la carga antes de que se active la protección contra sobrecarga L.

2 Aparatos de protección y maniobra

En la siguiente tabla aparecen los tipos de relés electrónicos y sus funciones:

| | | | | | | | | | | PR211 | Relés |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------------------|--|
| | | | | | | | | | | PR212 | |
| | | | | | | | | | | PR221 | |
| | | | | | | | | | | PR222 | |
| | | | | | | | | | | PR223 | |
| | | | | | | | | | | PR231 | |
| | | | | | | | | | | PR232 | |
| | | | | | | | | | | PR331 | |
| | | | | | | | | | | PR332 | |
| | | | | | | | | | | PR333 | |
| | | | | | | | | | | PR121 | |
| | | | | | | | | | | PR122 | |
| | | | | | | | | | | PR123 | |
| | | | | | | | | | | Funciones de protección | |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | L (t=k/I ²) | Protección contra sobrecarga |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | S1 (t=k) | Protección contra cortocircuito con retardo de tiempo |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | S1 (t=k/I ²) | Protección contra cortocircuito con retardo de tiempo |
| | | | | | | ■ | | | | S2 (t=k) | Protección contra cortocircuito con retardo de tiempo |
| | | | | | | | ■ | | | D (t=k) | Protección contra cortocircuito direccional |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | I (t=k) | Protección contra cortocircuito instantáneo |
| | | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | G (t=k) | Protección contra fallo a tierra con retardo regulable |
| ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | G (t=k/I ²) | Protección contra fallo a tierra con retardo regulable |
| | | | | | | ■ | ■ | ■ | | Gext (t=k) | Protección contra fallo a tierra con retardo regulable |
| | | | | | | ■ | ■ | ■ | | Gext (t=k/I ²) | Protección contra fallo a tierra con retardo regulable |
| | | | | | | ■ | ■ | ■ | | Gext (I _{dn}) | Protección contra fallo a tierra con retardo regulable |
| | | | | | ○ | ■ | ○ | ■ | | Rc (t=k) | Protección contra corriente residual |
| | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | U (t=k) | Protección contra desequilibrio de la fase |
| | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | OT | Protección contra superación límites de temperatura |
| | | | | | ○ | ■ | ○ | ■ | | UV (t=k) | Protección contra tensión mínima |
| | | | | | ○ | ■ | ○ | ■ | | OV (t=k) | Protección contra sobreintensidad |
| | | | | | ○ | ■ | ○ | ■ | | RV (t=k) | Protección contra tensión residual |
| | | | | | ○ | ■ | ○ | ■ | | RP (t=k) | Protección contra potencia activa inversa |
| | | | | | ○ | ■ | ○ | ■ | | UF | Protección contra frecuencia mínima |
| | | | | | ○ | ■ | ○ | ■ | | OF | Protección contra frecuencia máxima |
| | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | Iinst | Autoprotección instantánea |
| | | | | | ■ | | | | | EF | Detección y prevención anticipada de fallos |

○ Sólo con PR120/V para Emax y PR330/V para X1

2 Aparatos de protección y maniobra

2.3.3 RELÉS DIFERENCIALES

Los relés diferenciales se combinan con un interruptor automático para conseguir, con un solo dispositivo, dos funciones:

- protección contra sobrecargas y cortocircuitos;
- protección contra contactos indirectos (aparición de tensión en las masas a causa de un defecto de aislamiento).

Adicionalmente, pueden proteger contra el riesgo de incendio resultante de la evolución de pequeñas corrientes de defecto o de dispersión no detectables por las protecciones usuales contra sobrecargas.

Los relés diferenciales con intensidad diferencial asignada no superior a 30 mA también se utilizan como protección adicional contra contactos indirectos en caso de que fallen los dispositivos de protección correspondientes.

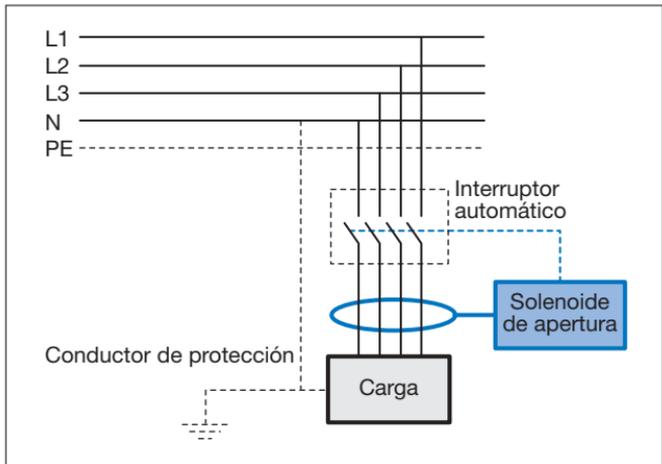
Su funcionamiento se basa en la medición de la suma vectorial de las intensidades de la línea mediante un toroide interno o externo.

Dicha suma es igual a cero en condiciones de funcionamiento normal, e igual a la corriente de defecto a tierra (ID) cuando hay una derivación a tierra.

Cuando el relé diferencial detecta una intensidad diferencial distinta de cero, acciona la apertura del interruptor automático mediante un solenoide de apertura.

Como se aprecia en la figura, el conductor de protección o el conductor equipotencial deben instalarse fuera del posible toroide externo.

Sistema de distribución genérico (IT, TT, TN)



El principio de funcionamiento del relé diferencial permite utilizarlo en los sistemas de distribución TT, IT (en estos casos con particular atención) y TN-S, pero no en los sistemas TN-C. En estos sistemas el neutro se utiliza también como conductor de protección y, dado que pasa por dentro del toroide, no sería posible medir la intensidad diferencial porque la suma vectorial de las intensidades sería siempre igual a cero.

Una de las características principales de los relés diferenciales es la intensidad diferencial asignada mínima $I_{\Delta n}$, que representa el grado de sensibilidad del relé.

2 Aparatos de protección y maniobra

Los interruptores diferenciales se clasifican de acuerdo con su sensibilidad ante la corriente de defecto, como:

- Tipo AC: dispositivo diferencial cuya actuación se garantiza para corrientes alternas sinusoidales diferenciales, sin componente continua, aplicadas de bruscamente o gradualmente crecientes.
- Tipo A: dispositivo diferencial cuya actuación se garantiza para corrientes alternas sinusoidales diferenciales, en presencia de determinadas corrientes diferenciales continuas pulsantes aplicadas de bruscamente o gradualmente crecientes.
- Tipo B: dispositivo diferencial cuya actuación se garantiza para corrientes alternas sinusoidales diferenciales, en presencia de determinadas corrientes diferenciales continuas pulsantes aplicadas de bruscamente o gradualmente crecientes, y para corrientes diferenciales continuas que pueden derivar de circuitos rectificadores.

| | Formas de corriente diferencial | Funcionamiento correcto de los dispositivos diferenciales | | |
|-------------------|---|---|---|---|
| | | Tipo | | |
| Senoidal alterna |  aplicado bruscamente | AC | A | B |
| |  gradualmente creciente | + | + | + |
| Pulsante continua |  aplicado bruscamente con o sin \uparrow (max. 0,006A) | | + | + |
| |  gradualmente creciente | | | |
| Alisada continua |  | | | + |

ASDC008003F0701

En presencia de equipos eléctricos con componentes electrónicos (ordenadores, fotocopiadoras, faxes, etc.), la corriente de defecto a tierra puede no tener forma sinusoidal sino la de una corriente continua pulsante unidireccional. En estos casos se ha de utilizar un relé diferencial de tipo A.

En presencia de circuitos rectificadores (por ejemplo puente monofásico con carga capacitiva que produce corriente continua alisada, media onda trifásico o puente trifásico), la corriente de defecto a tierra puede tener forma de onda unidireccional continua.

En estos casos es necesario utilizar un relé diferencial clasificado como tipo B.

2 Aparatos de protección y maniobra

En la tabla siguiente se indican las características principales de los relés diferenciales ABB SACE. Estos relés pueden instalarse en interruptores automáticos o en interruptores de maniobra seccionadores (en caso de intensidades de defecto a tierra inferiores al poder de corte del aparato). Son de tipo A y no necesitan alimentación auxiliar porque se autoalimentan.

| | RC221 | | RC222 | |
|---|---------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | T1-T2-T3 T1D-T3D | T1-T2-T3 T1D-T3D | T4 T4D | T5 T5D |
| Instalables en interruptores | | | | |
| Tensión primaria de funcionamiento | [V] | 85-500 | 85-500 | 85-500 |
| Intensidad asignada de empleo | [A] | 250 | 250 | 400 |
| Umbrales de actuación regulables $I_{\Delta n}$ | [A] | 0.03-0.1-0.3-0.5-1-3 | 0.03-0.05-0.1-0.3-0.5-1 3-5-10 | 0.03-0.05-0.1-0.3-0.5-1 3-5-10 |
| Tiempo límite de no actuación (at $2x I_{\Delta n}$) | [s] | instantáneo | Inst.-0.1-0.2-0.3-0.5-1-2-3 | Inst.-0.1-0.2-0.3-0.5-1-2-3 |
| Tolerancia en los tiempos de actuación | [%] | | ± 20 | ± 20 |

Nota: para información más detallada, consulte los catálogos técnicos respectivos.

Los interruptores automáticos abiertos Emax se pueden equipar con un toroide integrado en la parte trasera del interruptor automático para garantizar la protección contra fallos a tierra. Los tipos de relés electrónicos en concreto que pueden realizar esta función son:

- PR122/P LSIRc-PR332/P LSIRc con toroide homopolar
- PR122/P LSIG-PR332/P LSIG con "módulo de medición" y toroide homopolar
- PR123/P LSIG-PR333/P LSIG con toroide homopolar

Todos se pueden utilizar con los siguientes tipos de interruptores automáticos: X1-E2 y E3, tanto en la versión de tres como de cuatro polos, y E4 (versión con tres polos).

Además de la familia de relés diferenciales anteriormente mencionada, ABB SACE está desarrollando el relé diferencial RC223 (tipo B), que únicamente se puede combinar con el interruptor automático tetrapolar Tmax T4 en la versión fija o enchufable. Se presenta con los mismos tipos de referencias que el relé RC222 (tipo S y AE), pero también puede responder al tipo B, que garantiza sensibilidad a corrientes diferenciales de fuga con componentes de corriente alterna, alterna pulsante y corriente continua.

Además de las señalizaciones y los regulaciones típicas del relé diferencial RC222, el RC223 permite también seleccionar el umbral máximo de sensibilidad a la frecuencia diferencial de fuga (3 pasos: 400 – 700 – 1000 Hz). Por lo tanto, es posible adaptar el dispositivo diferencial a los diferentes requisitos de la instalación industrial según las posibles frecuencias de fuga generadas en la parte de la carga del relé.

2 Aparatos de protección y maniobra

Los interruptores automáticos ABB SACE en caja moldeada de las series Isomax¹ y Tmax, y los interruptores automáticos abiertos Emax¹ se puede combinar con el relé diferencial para cuadro RCQ tipo A, con toroide separado (que se instala externamente en los conductores de la línea).

¹ hasta corrientes asignadas de 2000 A

| | | RCQ | |
|---|----|------------|--|
| Tensión de alimentación | ac | [V] | 80 ÷ 500 |
| | dc | [V] | 48 ÷ 125 |
| Regulación del umbral de actuación $I_{\Delta n}$ | | | |
| 1ª gama de regulaciones | | [A] | 0.03 - 0.05 - 0.1 - 0.3 - 0.5 |
| 2ª gama de regulaciones | | [A] | 1 - 3 - 5 - 10 - 30 |
| Regulación del tiempo de activación | | | |
| | | [s] | 0 - 0.1 - 0.2 - 0.3 - 0.5 - 0.7 - 1 - 2 - 3 - 5 |
| Tolerancia en los tiempos de actuación | | [%] | ± 20 |

Nota: para información más detallada, consulte los catálogos técnicos respectivos.

Las versiones con tiempo de actuación regulable permiten realizar sistemas de protección diferencial coordinados para conseguir selectividad desde el cuadro principal hasta último punto de utilización.

3 Características generales

3.1 Características eléctricas de los interruptores automáticos Interruptores automáticos Tmax en caja moldeada

| | | Tmax T1 1 P | Tmax T1 | Tmax T2 |
|--|-------------------------------|---------------|--------------------|----------------------------|
| Corriente permanente asignada, Iu | [A] | 160 | 160 | 160 |
| Polos | [Nr] | 1 | 3/4 | 3/4 |
| Tensión asignada de servicio, Ue | (AC) 50-60 Hz [V] (DC) [V] | 240 125 | 690 500 | 690 500 |
| Tensión asignada soportada a impulso, Uimp | [kV] | 8 | 8 | 8 |
| Tensión asignada de aislamiento, Ui | [V] | 500 | 800 | 800 |
| Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min. | [V] | 3000 | 3000 | 3000 |
| Poder asignado de corte último en cortocircuito, Icu | | B | B C N | N S H L |
| (AC) 50-60 Hz 220/230 V | [kA] | 25* | 25 40 50 | 65 85 100 120 |
| (AC) 50-60 Hz 380/415 V | [kA] | – | 16 25 36 | 36 50 70 85 |
| (AC) 50-60 Hz 440 V | [kA] | – | 10 15 22 | 30 45 55 75 |
| (AC) 50-60 Hz 500 V | [kA] | – | 8 10 15 | 25 30 36 50 |
| (AC) 50-60 Hz 690 V | [kA] | – | 3 4 6 | 6 7 8 10 |
| (DC) 250 V - 2 polos en serie | [kA] | 25 (at 125 V) | 16 25 36 | 36 50 70 85 |
| (DC) 250 V - 3 polos en serie | [kA] | – | 20 30 40 | 40 55 85 100 |
| (DC) 500 V - 2 polos en serie | [kA] | – | – | – |
| (DC) 500 V - 3 polos en serie | [kA] | – | 16 25 36 | 36 50 70 85 |
| (DC) 750 V - 3 polos en serie | [kA] | – | – | – |
| Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito, Ics | | | | |
| (AC) 50-60 Hz 220/230 V | [%Icu] | 75% | 100% 75% 75% | 100% 100% 100% 100% |
| (AC) 50-60 Hz 380/415 V | [%Icu] | – | 100% 100% 75% | 100% 100% 100% 75% (70 kA) |
| (AC) 50-60 Hz 440 V | [%Icu] | – | 100% 75% 50% | 100% 100% 100% 75% |
| (AC) 50-60 Hz 500 V | [%Icu] | – | 100% 75% 50% | 100% 100% 100% 75% |
| (AC) 50-60 Hz 690 V | [%Icu] | – | 100% 75% 50% | 100% 100% 100% 75% |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito, Icm | | | | |
| (AC) 50-60 Hz 220/230 V | [kA] | 62.5 | 62.5 84 105 | 143 187 220 264 |
| (AC) 50-60 Hz 380/415 V | [kA] | – | 32 52.5 75.6 | 75.6 105 154 187 |
| (AC) 50-60 Hz 440 V | [kA] | – | 17 30 46.2 | 63 94.5 121 165 |
| (AC) 50-60 Hz 500 V | [kA] | – | 13.6 17 30 | 62.5 63 75.6 105 |
| (AC) 50-60 Hz 690 V | [kA] | – | 4.3 5.9 9.2 | 9.2 11.9 13.6 17 |
| Tiempo de apertura (415 V) | [ms] | 7 | 7 6 5 | 3 3 3 3 |
| Categoría de uso (IEC 60947-2) | | A | A | A |
| Norma de referencia | | IEC 60947-2 | IEC 60947-2 | IEC 60947-2 |
| Aptitud al seccionamiento | | ■ | ■ | ■ |
| Relés termomagnéticos | | | | |
| T fija, M fija | TMF | ■ | – | – |
| T ajustable, M fija | TMD | – | ■ | ■ |
| T ajustable, M ajustable (5...10 x In) | TMA | – | – | ■ |
| T ajustable, M fija (3 x In) | TMG | – | – | ■ |
| T ajustable, M ajustable (2.5...5 x In) | TMG | – | – | ■ |
| electrónico | PR221DS | – | – | ■ |
| | PR222DS | – | – | – |
| | PR223DS | – | – | – |
| | PR231/P | – | – | – |
| | PR232/P | – | – | – |
| | PR331/P | – | – | – |
| | PR332/P | – | – | – |
| Intercambiabilidad | | – | – | – |
| Versiones | | F | F | F-P |
| Terminales fijo | | FC Cu | FC7Cu-EF-FC7CuA-HR | F-FC Cu-FC CuA-EF-ES-R |
| enchufable | | – | – | F-FC Cu-FC CuA-EF-ES-R |
| extraíble | | – | – | – |
| Fijación en perfil DIN | | – | DIN EN 50022 | DIN EN 50022 |
| Durabilidad mecánica | [Num. operaciones] | 25000 | 25000 | 25000 |
| | [Num. operaciones/hora] | 240 | 240 | 240 |
| Durabilidad eléctrica @ 415 V A C | [Num. operaciones] | 8000 | 8000 | 8000 |
| | [Num. operaciones/hora] | 120 | 120 | 120 |
| Dimensiones básicas - versión fija | W [mm] | 25.4 (1 pole) | 76 | 90 |
| | 4 polos W [mm] | – | 102 | 120 |
| | D [mm] | – | 70 | 70 |
| | H [mm] | 130 | 130 | 130 |
| Peso | fijo [kg] | 0.4 (1 pole) | 0.9/1.2 | 1.1/1.5 |
| | enchufable [kg] | – | – | 1.5/1.9 |
| | extraíble [kg] | – | – | – |

LEYENDA TERMINALES

F = Anteriores
 EF = Anteriores prolongados
 ES = Anteriores prolongados separados
 FC Cu = Anteriores para cables de cobre
 FC CuAl = Anteriores para cables de cobre y aluminio

R = Posterior orientado
 HR = Posterior plano horizontal
 VR = Posterior plano vertical
 HR/VR = Posterior plano orientado
 MC = Multicable

F = interruptores fijos
 P = interruptores enchufables
 W = interruptores extraíbles

El poder de corte para las regulaciones In=16 y In=20 A es de 16 kA

3 Características generales

Interruptores automáticos Tmax en caja moldeada para la protección de motores

| | | Tmax T2 | | | | Tmax T3 | |
|--|-------------------|---|----------|----------|-------------|---|-------------|
| Corriente permanente asignada, Iu | [A] | 160 | | | | 250 | |
| Corriente de servicio asignada, In | [A] | 1...100 | | | | 100...200 | |
| Polos | [N] | 3 | | | | 3 | |
| Tensión asignada de servicio, Ue | (AC) 50-60 Hz [V] | 690 | | | | 690 | |
| | (DC) [V] | 500 | | | | 500 | |
| Tensión asignada soportada a impulso, Uimp | [kV] | 8 | | | | 8 | |
| Tensión asignada de aislamiento, Uj | [V] | 800 | | | | 800 | |
| Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min. | [V] | 3000 | | | | 3000 | |
| Poder asignado de corte último en cortocircuito, Icu | | N | S | H | L | N | S |
| (AC) 50-60 Hz 220/230 V | [kA] | 65 | 85 | 100 | 120 | 50 | 85 |
| (AC) 50-60 Hz 380/415 V | [kA] | 36 | 50 | 70 | 85 | 36 | 50 |
| (AC) 50-60 Hz 440 V | [kA] | 30 | 45 | 55 | 75 | 25 | 40 |
| (AC) 50-60 Hz 500 V | [kA] | 25 | 30 | 36 | 50 | 20 | 30 |
| (AC) 50-60 Hz 690 V | [kA] | 6 | 7 | 8 | 10 | 5 | 8 |
| Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito, Ics | | | | | | | |
| (AC) 50-60 Hz 220/230 V | [%Icu] | 100% | 100% | 100% | 100% | 75% | 50% |
| (AC) 50-60 Hz 380/415 V | [%Icu] | 100% | 100% | 100% | 75% (70 kA) | 75% | 50% (27 kA) |
| (AC) 50-60 Hz 440 V | [%Icu] | 100% | 100% | 100% | 75% | 75% | 50% |
| (AC) 50-60 Hz 500 V | [%Icu] | 100% | 100% | 100% | 75% | 75% | 50% |
| (AC) 50-60 Hz 690 V | [%Icu] | 100% | 100% | 100% | 75% | 75% | 50% |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito, Icm | | | | | | | |
| (AC) 50-60 Hz 220/230 V | [kA] | 143 | 187 | 220 | 264 | 105 | 187 |
| (AC) 50-60 Hz 380/415 V | [kA] | 75,6 | 105 | 154 | 187 | 75,6 | 105 |
| (AC) 50-60 Hz 440 V | [kA] | 63 | 94,5 | 121 | 165 | 52,5 | 84 |
| (AC) 50-60 Hz 500 V | [kA] | 52,5 | 63 | 75,6 | 105 | 40 | 63 |
| (AC) 50-60 Hz 690 V | [kA] | 9,2 | 11,9 | 13,6 | 17 | 7,7 | 13,6 |
| Tiempo de apertura (415 V) | [ms] | 3 | 3 | 3 | 3 | 7 | 6 |
| Categoría de uso (IEC 60947-2) | | A | | | | A | |
| Aptitud al seccionamiento | | ■ | | | | ■ | |
| Norma de referencia | | IEC 60947-2 | | | | IEC 60947-2 | |
| Protección contra cortocircuito | | ■ (MF up to In 12,5 A) | | | | ■ | |
| Relé solo magnético MA | | - | | | | - | |
| Relé electrónico PR221DS-I | | - | | | | - | |
| PR231/P-I | | - | | | | - | |
| Protección integrada (IEC 60947-4-1) | | - | | | | - | |
| Relé electrónico PR222MP | | - | | | | - | |
| Intercambiabilidad | | F - P | | | | F - P | |
| Versiones | | F - P | | | | F - P | |
| Terminales fijo | | F - FC Cu - FC CuAl - EF - ES - R - FC CuAl | | | | F - FC Cu - FC CuAl - EF - ES - R - FC CuAl | |
| enchufable | | F - FC Cu - FC CuAl - EF - ES - R - FC CuAl | | | | F - FC Cu - FC CuAl - EF - ES - R - FC CuAl | |
| extraíble | | - | | | | - | |
| Fijación en perfil DIN | | DIN EN 50022 | | | | DIN EN 50022 | |
| Durabilidad mecánica [Num. operaciones] | | 25000 | | | | 25000 | |
| [Num. operaciones/hora] | | 240 | | | | 240 | |
| Durabilidad eléctrica @ 415 V AC [Num. operaciones] | | 8000 | | | | 8000 | |
| [Num. operaciones/hora] | | 120 | | | | 120 | |
| Dimensiones básicas - versión fija W [mm] | | 90 | | | | 105 | |
| D [mm] | | 70 | | | | 70 | |
| H [mm] | | 130 | | | | 150 | |
| Peso fijo [kg] | | 1,1 | | | | 1,5 | |
| enchufable [kg] | | - | | | | - | |
| extraíble [kg] | | 1,5 | | | | 2,7 | |

LEYENDA TERMINALES

F = Anteriores

EF = Anteriores prolongados

ES = Anteriores prolongados separados

FC Cu = Anteriores para cables de cobre

R = Posterior orientado

FC CuAl = Anteriores para cables de CuAl

MC = Multicable

HR = Posterior plano horizontal

VR = Posterior plano vertical

HR/VR = Posterior plano orientado

□ 75% para T5 630

□ 50% para T5 630

□ low = 5 kA

□ low = 10 kA

□ low = 20 kA (versiones S, H, L) - 15 A (versión V)

Notas: en la versión enchufable de T2,T3,T5 630 y en la versión extraíble de T5 630 la regulación está decaída del 10% a 40 IC

3 Características generales

Interruptores automáticos abiertos SACE Emax

Datos comunes

Tensiones

| | | |
|--|------|-------|
| Tensión asignada de empleo Ue | [V] | 690 ~ |
| Tensión asignada de aislamiento Ui | [V] | 1000 |
| Tensión asignada de resistencia a impulso Uimp | [kV] | 12 |

Temperatura de trabajo [°C] -25...+70

Temperatura de almacenamiento [°C] -40...+70

Frecuencia f [Hz] 50 - 60

Número de polos 3 - 4

Versión fija -extraíble

Niveles de rendimiento

| | |
|---|-------|
| Corriente permanente asignada (a 40°C) Iu | [A] |
| | [A] |
| Capacidad de corriente de polo neutro para CBs de 3 polos | [%Iu] |
| Poder asignado de corte último en cortocircuito Icu | [kA] |
| 220/230/380/400/415 V ~ | [kA] |
| 440 V ~ | [kA] |
| 500/525 V ~ | [kA] |
| 660/690 V ~ | [kA] |
| Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito Ics | [kA] |
| 220/230/380/400/415 V ~ | [kA] |
| 440 V ~ | [kA] |
| 500/525 V ~ | [kA] |
| 660/690 V ~ | [kA] |
| Corriente asignada admisible de corta duración Icw (1s) | [kA] |
| (3s) | [kA] |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito (valor de cresta) Icm | [kA] |
| 220/230/380/400/415 V ~ | [kA] |
| 440 V ~ | [kA] |
| 500/525 V ~ | [kA] |
| 660/690 V ~ | [kA] |
| Categoría de uso (según CEI EN 60947-2) | |
| Aptitud al seccionamiento (según CEI EN 60947-2) | |
| Protección contra sobretensión | |
| Relés electrónicos para aplicaciones de CA | |
| Tiempo de funcionamiento | |
| Tiempo de cierre (max) | [ms] |
| Tiempo de corte para I _c low (max) ⁽¹⁾ | [ms] |
| Tiempo de corte para I _b low (max) | [ms] |
| Dimensiones generales | |
| Fijo : H = 418 mm - D = 302 mm L (3/4 polos) | [mm] |
| Extraíble : H = 461 mm - D = 396.5 mm L (3/4 polos) | [mm] |
| Peso (interruptor automático con relés y CTs, incluidos los accesorios) | |
| Fijo 3/4 polos | [kg] |
| Extraíble 3/4 polos (incluida la parte fija) | [kg] |

(1) Sin retardos intencionales

(2) El rendimiento a 600 V s igual a 100 kA

Interruptores automáticos abiertos SACE Emax

| | |
|--|-------------------------------------|
| Corriente permanente asignada (a 40°C) Iu | [A] |
| Durabilidad mecánica con mantenimiento ordinario | [Num. operaciones x 1000] |
| Frecuencia de funcionamiento | [Operaciones/hora] |
| Durabilidad eléctrica | (440 V ~) [Num. operaciones x 1000] |
| | (690 V ~) [Num. operaciones x 1000] |
| Frecuencia de funcionamiento | [Operaciones/hora] |

| X1 | | | E1 B-N | | |
|------|------|------|--------|-----------|------|
| 800 | 1250 | 1600 | 800 | 1000-1250 | 1600 |
| 12.5 | 12.5 | 12.5 | 25 | 25 | 25 |
| 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 6 | 4 | 3 | 10 | 10 | 10 |
| 3 | 2 | 1 | 10 | 8 | 8 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |

3 Características generales

| X1 | | | E1 | | E2 | | | | E3 | | | | | E4 | | | E6 | |
|---------|------|------|---------|-------|-----------|-------|-------|-------|----------------|---------|-------------------|---------|---------|-----------|-------------------|---------|---------|---------|
| B | N | L | B | N | B | N | S | L | N | S | H | V | L | S | H | V | H | V |
| 630 | 630 | 630 | 800 | 800 | 1600 | 1000 | 800 | 1250 | 2500 | 1000 | 800 | 800 | 2000 | 4000 | 3200 | 3200 | 4000 | 3200 |
| 800 | 800 | 800 | 1000 | 1000 | 2000 | 1250 | 1000 | 1600 | 3200 | 1250 | 1000 | 1250 | 2500 | 4000 | 4000 | | 5000 | 4000 |
| 1000 | 1000 | 1000 | 1250 | 1250 | 1600 1250 | | | | 1600 1250 1600 | | | | | 6300 5000 | | | | |
| 1250 | 1250 | 1250 | 1600 | 1600 | 2000 1600 | | | | 2000 1600 2000 | | | | | 6300 | | | | |
| 1600 | 1600 | | | | 2000 | | | | 2500 2000 2500 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | 3200 | | 2500 | 3200 | | | | | | |
| | | | | | | | | | 3200 | | | | | | | | | |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 42 | 65 | 150 | 42 | 50 | 42 | 65 | 85 | 130 | 65 | 75 | 100 | 130 | 130 | 75 | 100 | 150 | 100 | 150 |
| 42 | 65 | 130 | 42 | 50 | 42 | 65 | 85 | 110 | 65 | 75 | 100 | 130 | 110 | 75 | 100 | 150 | 100 | 150 |
| 42 | 50 | 100 | 42 | 50 | 42 | 55 | 65 | 85 | 65 | 75 | 100 | 100 | 85 | 75 | 100 | 130 | 100 | 130 |
| 42 | 50 | 60 | 42 | 50 | 42 | 55 | 65 | 85 | 65 | 75 | 85 ⁽¹⁾ | 100 | 85 | 75 | 85 ⁽²⁾ | 100 | 100 | 100 |
| 42 | 50 | 150 | 42 | 50 | 42 | 65 | 85 | 130 | 65 | 75 | 85 | 100 | 130 | 75 | 100 | 125 | 100 | 125 |
| 42 | 50 | 130 | 42 | 50 | 42 | 65 | 85 | 110 | 65 | 75 | 85 | 100 | 110 | 75 | 100 | 125 | 100 | 125 |
| 42 | 42 | 100 | 42 | 50 | 42 | 55 | 65 | 65 | 65 | 75 | 85 | 85 | 65 | 75 | 100 | 130 | 100 | 100 |
| 42 | 42 | 45 | 42 | 50 | 42 | 55 | 65 | 65 | 65 | 75 | 85 | 85 | 65 | 75 | 85 | 100 | 100 | 100 |
| 42 | 42 | 15 | 42 | 50 | 42 | 55 | 65 | 10 | 65 | 75 | 75 | 85 | 15 | 75 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | | 36 | 36 | 42 | 42 | 42 | - | 65 | 65 | 65 | 65 | - | 75 | 75 | 75 | 85 | 85 |
| 88.2 | 143 | 330 | 88.2 | 105 | 88.2 | 143 | 187 | 286 | 143 | 165 | 220 | 286 | 286 | 165 | 220 | 330 | 220 | 330 |
| 88.2 | 143 | 286 | 88.2 | 105 | 88.2 | 143 | 187 | 242 | 143 | 165 | 220 | 286 | 242 | 165 | 220 | 330 | 220 | 330 |
| 88.2 | 121 | 220 | 75.6 | 75.6 | 84 | 121 | 143 | 187 | 143 | 165 | 187 | 220 | 187 | 165 | 220 | 286 | 220 | 286 |
| 88.2 | 121 | 132 | 75.6 | 75.6 | 84 | 121 | 143 | 187 | 143 | 165 | 187 | 220 | 187 | 165 | 187 | 220 | 220 | 220 |
| B | B | A | B | B | B | B | B | A | B | B | B | B | A | B | B | B | B | B |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 30 | 30 | 12 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 12 | 30 | 30 | 30 | 30 | 12 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 210/280 | | | 296/386 | | 296/386 | | | | 404/530 | | | | 566/656 | | | 782/908 | | |
| 284/354 | | | 324/414 | | 324/414 | | | | 432/558 | | | | 594/684 | | | 810/936 | | |
| 11/14 | | | 45/54 | 45/54 | 50/61 | 50/61 | 50/61 | 52/63 | 66/80 | 66/80 | 66/80 | 66/80 | 72/83 | 97/117 | 97/117 | 140/160 | 140/160 | |
| 32/42.6 | | | 70/82 | 70/82 | 78/93 | 78/93 | 78/93 | 80/95 | 104/125 | 104/125 | 104/125 | 104/125 | 110/127 | 147/165 | 147/165 | 147/165 | 210/260 | 210/240 |

| E2 B-N-S | | | | E2 L | | E3 N-S-H-V | | | | | E3 L | | E4 S-H-V | | | E6 H-V | | | |
|----------|-----------|------|------|------|------|------------|-----------|------|------|------|------|------|----------|------|------|--------|------|------|------|
| 800 | 1000-1250 | 1600 | 2000 | 1250 | 1600 | 800 | 1000-1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3200 | 2000 | 2500 | 3200 | 4000 | 3200 | 4000 | 5000 | 6300 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 15 | 15 | 15 | 15 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 15 | 15 | 12 | 10 | 4 | 3 | 12 | 12 | 10 | 9 | 8 | 6 | 2 | 1.8 | 7 | 5 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 15 | 15 | 10 | 8 | 3 | 2 | 12 | 12 | 10 | 9 | 7 | 5 | 1.5 | 1.3 | 7 | 4 | 5 | 4 | 2 | 1.5 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

3 Características generales

Interruptores automáticos abiertos SACE Emax con conductor neutro 100%

| | | E4S/f | E4H/f | E6H/f |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Corriente permanente asignada (a 40 °C) Iu | [A] | 4000 | 3200 | 4000 |
| | [A] | | 4000 | 5000 |
| | | | | 6300 |
| Número de polos | | 4 | 4 | 4 |
| Tensión asignada de empleo Ue | [V ~] | 690 | 690 | 690 |
| Poder asignado de corte último en cortocircuito Icu | | | | |
| 220/230/380/400/415 V ~ | [kA] | 80 | 100 | 100 |
| 440 V ~ | [kA] | 80 | 100 | 100 |
| 500/525 V ~ | [kA] | 75 | 100 | 100 |
| 660/690 V ~ | [kA] | 75 | 100 | 100 |
| Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito Ics | | | | |
| 220/230/380/400/415 V ~ | [kA] | 80 | 100 | 100 |
| 440 V ~ | [kA] | 80 | 100 | 100 |
| 500/525 V ~ | [kA] | 75 | 100 | 100 |
| 660/690 V ~ | [kA] | 75 | 100 | 100 |
| Corriente asignada admisible de corta duración Icw | | | | |
| (1s) | [kA] | 75 | 85 | 100 |
| (3s) | [kA] | 75 | 75 | 85 |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito (valor de cresta) Icm | | | | |
| 220/230/380/400/415 V ~ | [kA] | 176 | 220 | 220 |
| 440 V ~ | [kA] | 176 | 220 | 220 |
| 500/525 V ~ | [kA] | 165 | 220 | 220 |
| 660/690 V ~ | [kA] | 165 | 220 | 220 |
| Categoría de empleo (según IEC 60947-2) | | B | B | B |
| Aptitud al seccionamiento (según IEC 60947-2) | | ■ | ■ | ■ |
| Dimensiones generales | | | | |
| Fijo: H = 418 mm - D = 302 mm L | [mm] | 746 | 746 | 1034 |
| Extraíble: H = 461 mm - D = 396.5 mm L | [mm] | 774 | 774 | 1062 |
| Peso (interruptor automático completo, con relés y CT, accesorios no incluidos) | | | | |
| Fijo | [kg] | 120 | 120 | 165 |
| Extraíble (incluida la parte fija) | [kg] | 170 | 170 | 250 |

3 Características generales

3.2 Curvas de intervención o actuación

3.2.1 Curvas de actuación de los relés magnetotérmicos y sólo magnéticos

La función de protección contra sobrecarga no debe intervenir durante dos horas para valores de corriente inferiores a 1.05 veces la corriente ajustada, mientras que debe intervenir dentro de 1.3 veces la corriente ajustada.

Por actuación "en frío" se entiende que la sobrecarga se origina con el interruptor automático fuera de las condiciones de régimen térmico (interruptor automático a través del cual no circulaba corriente antes de la condición de anomalía); en cambio, se define actuación "en caliente", cuando por el interruptor automático, antes de manifestarse la corriente de sobrecarga, circulaba corriente a su través y había alcanzado la condición de régimen térmico. Por esta razón, los tiempos de actuación "en frío" son siempre superiores a los tiempos de actuación "en caliente". La función de protección contra el cortocircuito se representa en el diagrama tiempo-corriente con una línea vertical, en correspondencia con el valor nominal del umbral de actuación I_3 . El valor real de dicho umbral, de conformidad con las Normas IEC 60947-2, está comprendido en el margen entre $0.8 \cdot I_3$ y $1.2 \cdot I_3$. El tiempo de actuación de dicha protección varía en función de las características eléctricas del defecto y de la presencia de otros dispositivos; no pudiendo representar de forma suficientemente clara en dicho diagrama la envolvente de todas las diversas situaciones, se prefiere utilizar una recta única, paralela al eje de las corrientes. Todas las informaciones referentes a esta área de actuación y útiles para el dimensionamiento y la coordinación de la instalación están representadas en los diagramas de limitación, así como la energía específica que circula a través del interruptor automático en condiciones de cortocircuito.

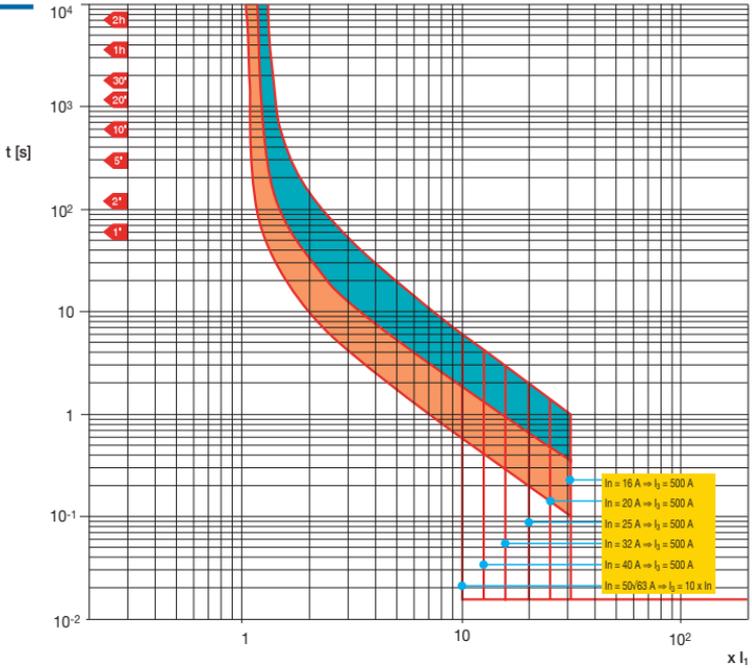
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T1 160

TMD

$I_n = 16 \div 63 \text{ A}$



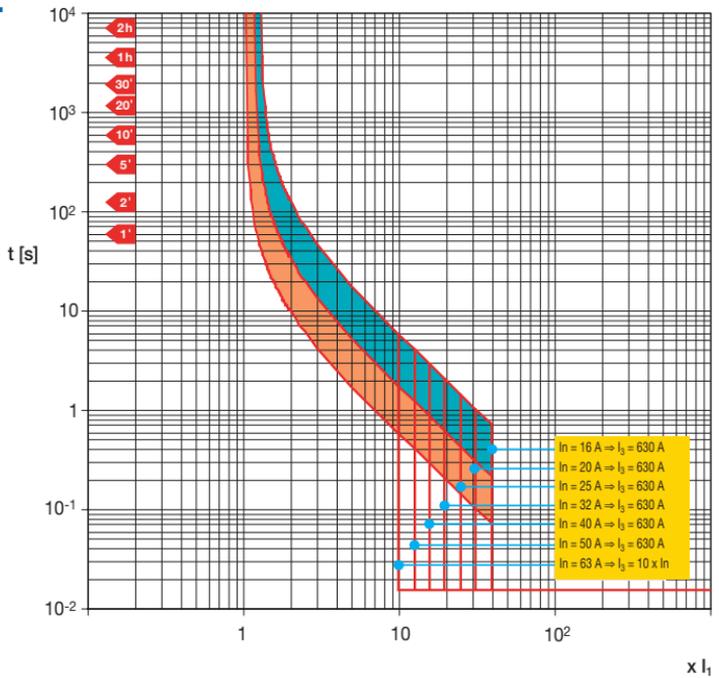
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T1 160

TMD

$I_n = 16\div 63 \text{ A}$



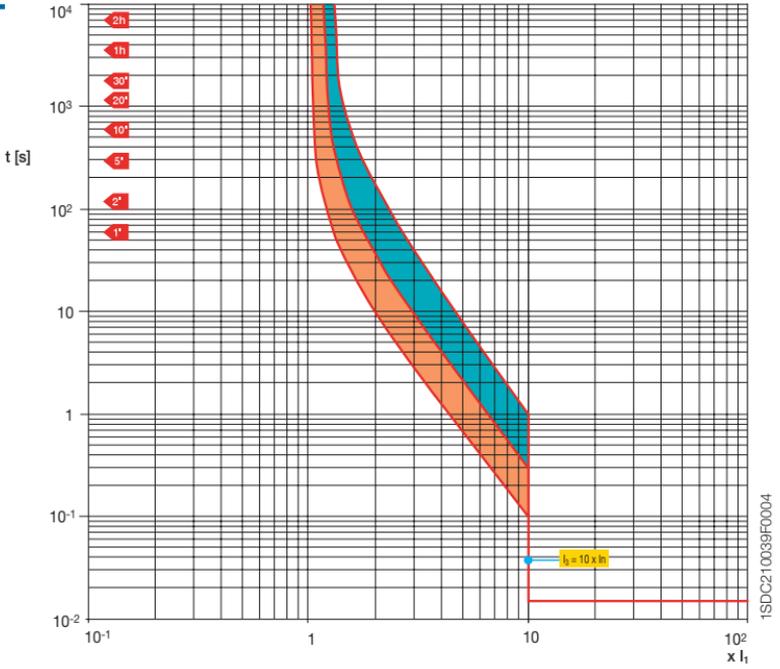
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T1 160

TMD

$I_n = 80 \div 160 \text{ A}$



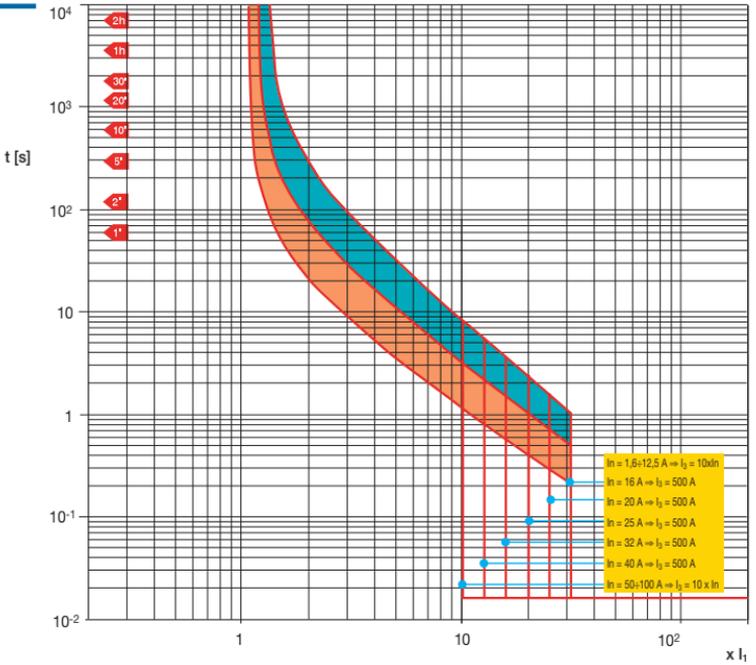
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160

TMD

$I_n = 1.6 \div 100 \text{ A}$



1SDC210040F0004

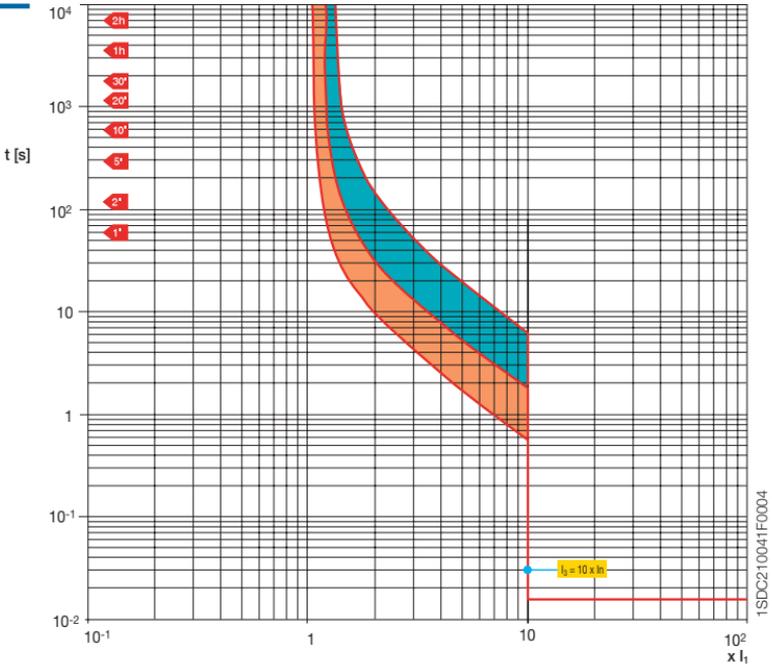
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160

TMD

$I_n = 125 \div 160 \text{ A}$



TSDC210041F0004

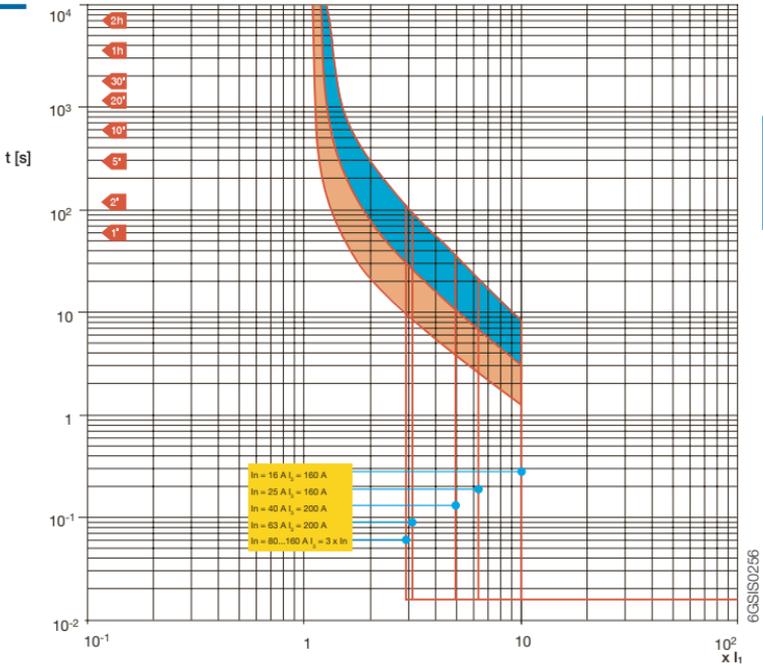
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160

TMG

$I_n = 16 \div 160 \text{ A}$



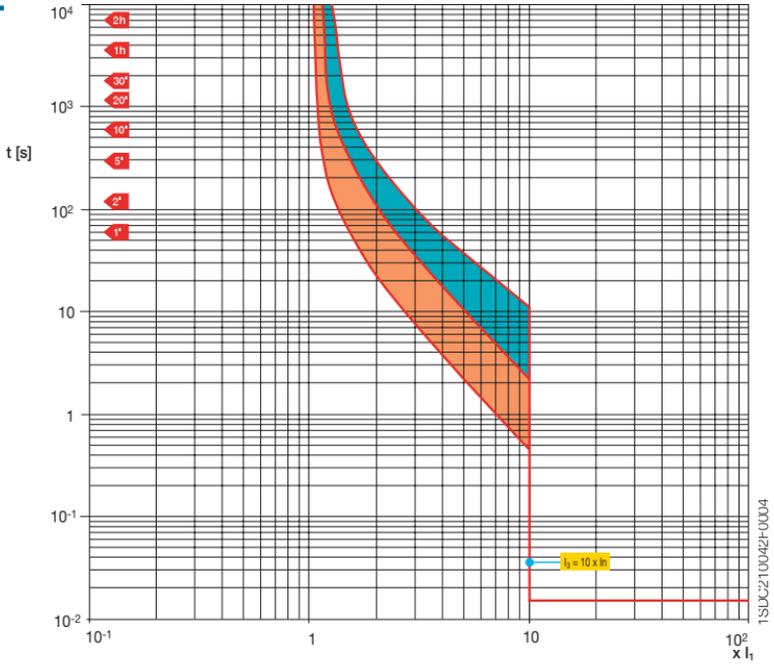
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T3 250

TMD

$I_n = 63 \div 250 \text{ A}$



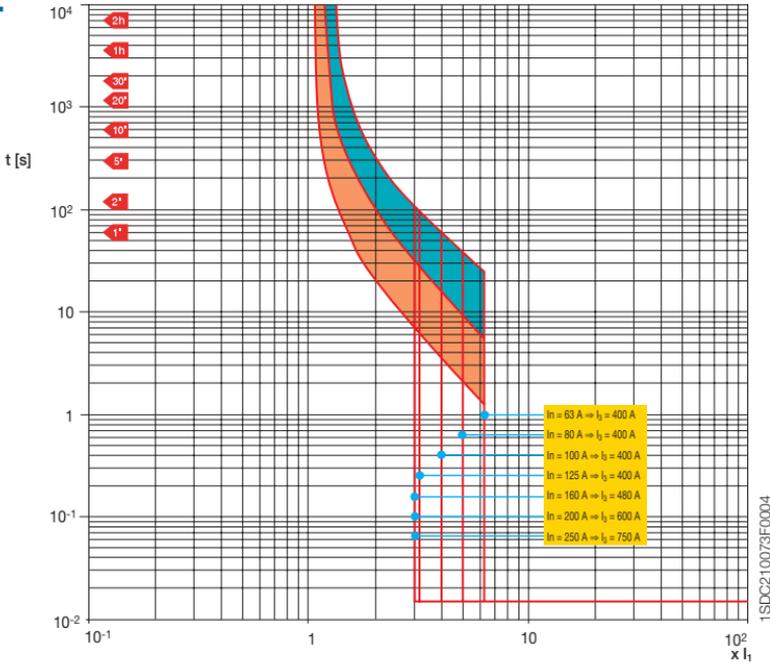
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T3 250

TMG

$I_n = 63 \div 250 \text{ A}$



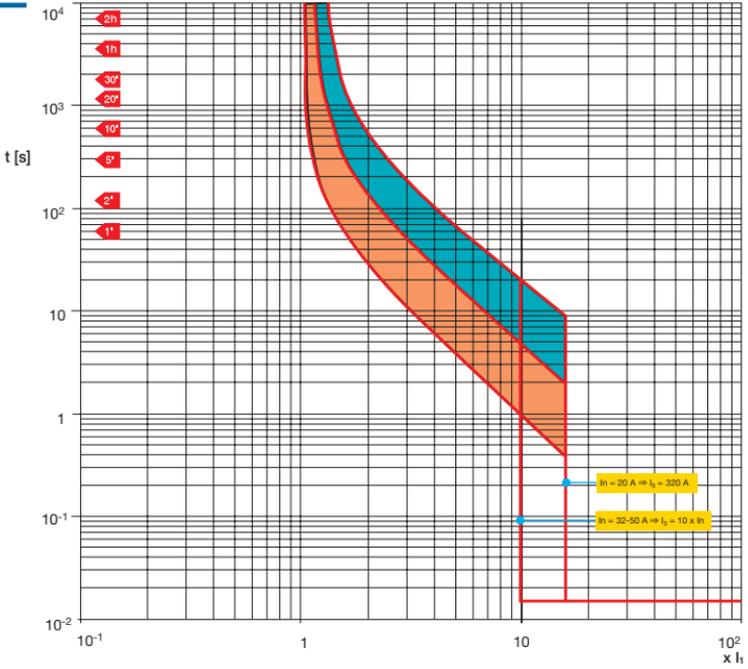
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T4 250

TMD

$I_n = 20 \div 50 \text{ A}$



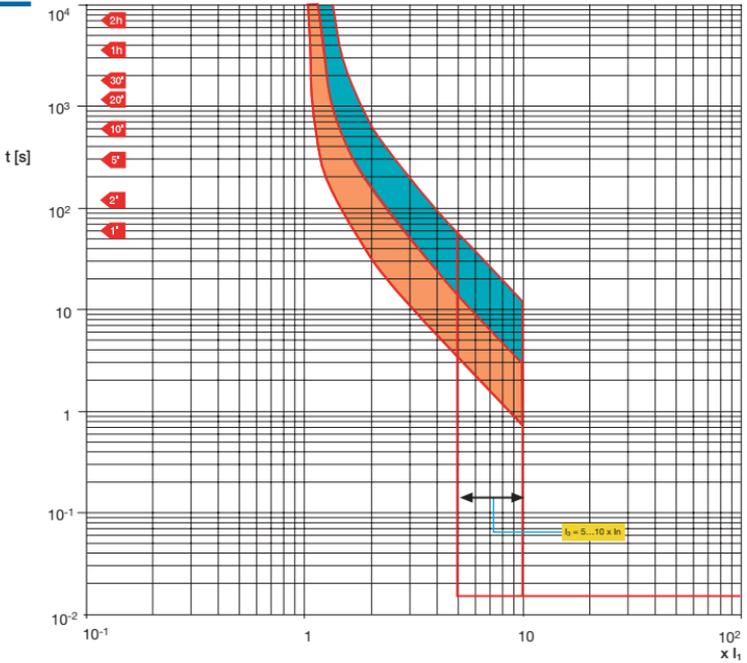
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T4 250/320

TMA

$I_n = 80 \div 250 \text{ A}$



1SDC210033F0004

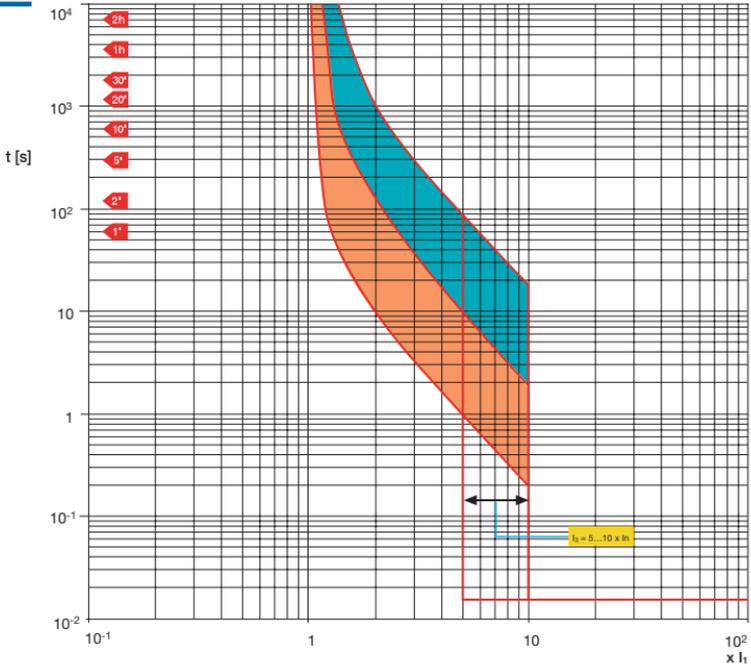
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T5 400/630

TMA

$I_n = 320 \div 500 \text{ A}$



TSDC210034F0004

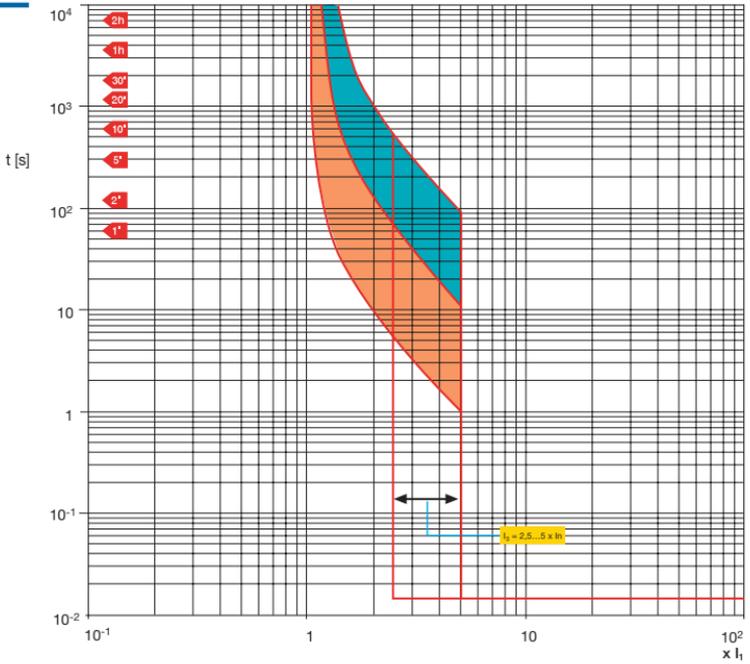
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T5 400/630

TMG

$I_n = 320 \div 500 \text{ A}$



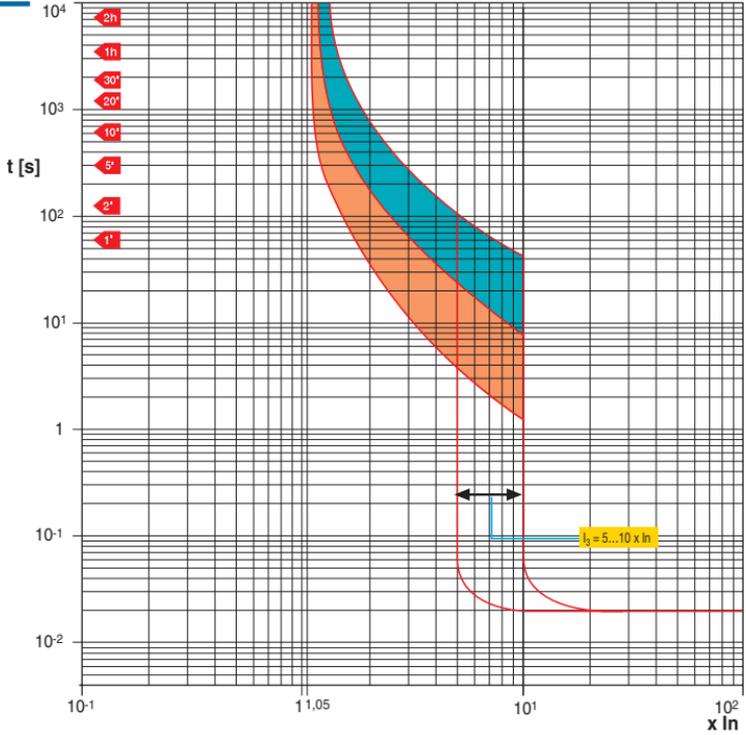
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T6 630

TMA

$I_n = 630 \text{ A}$



GSIS0209-2

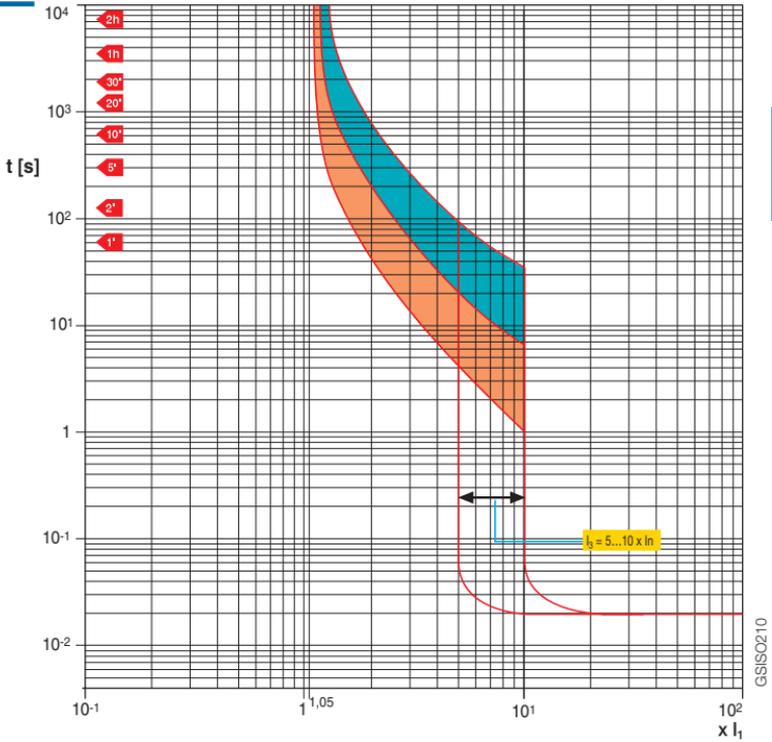
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T6 800

TMA

$I_n = 800 \text{ A}$



GSIS0210

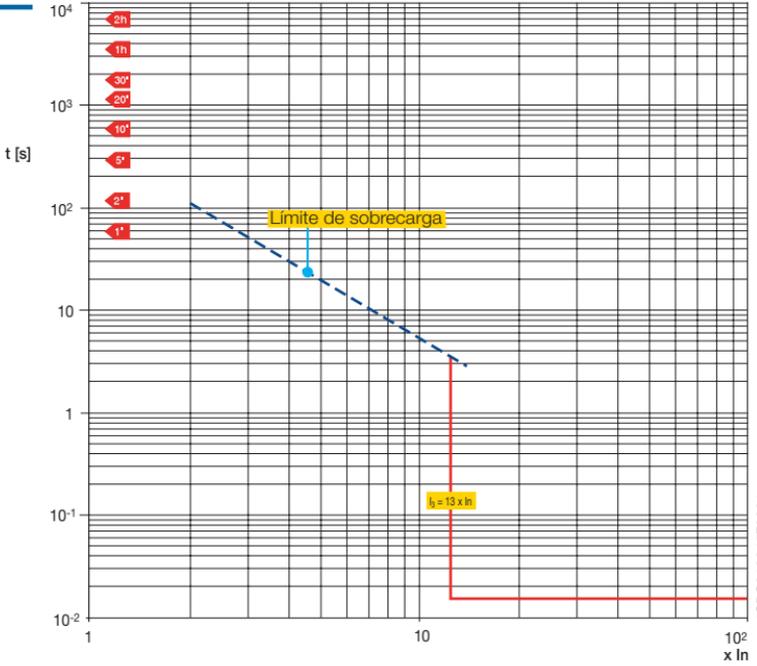
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160

MF

$I_3 = 13 \times I_n$



1SDC210045F0004

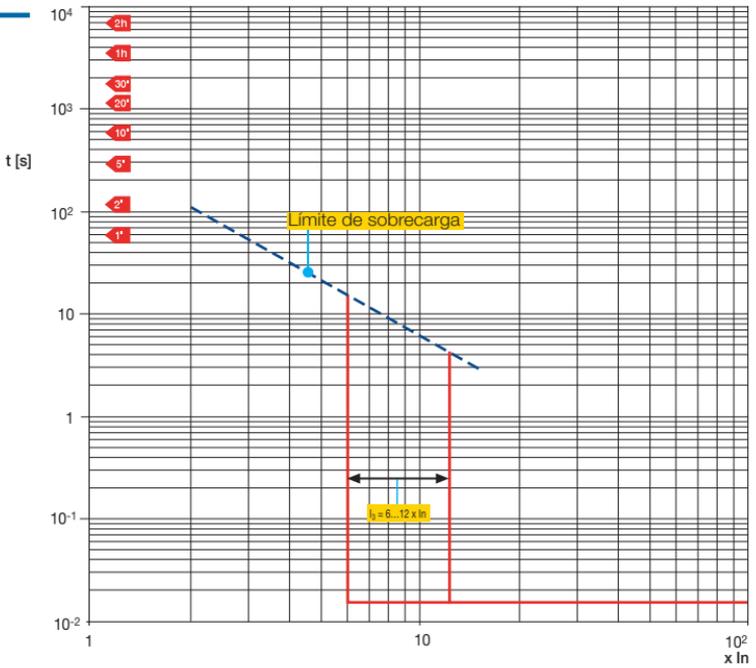
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160/T3 250

MA

$$I_3 = 6 \dots 12 \times I_n$$



1SDC210048F0004

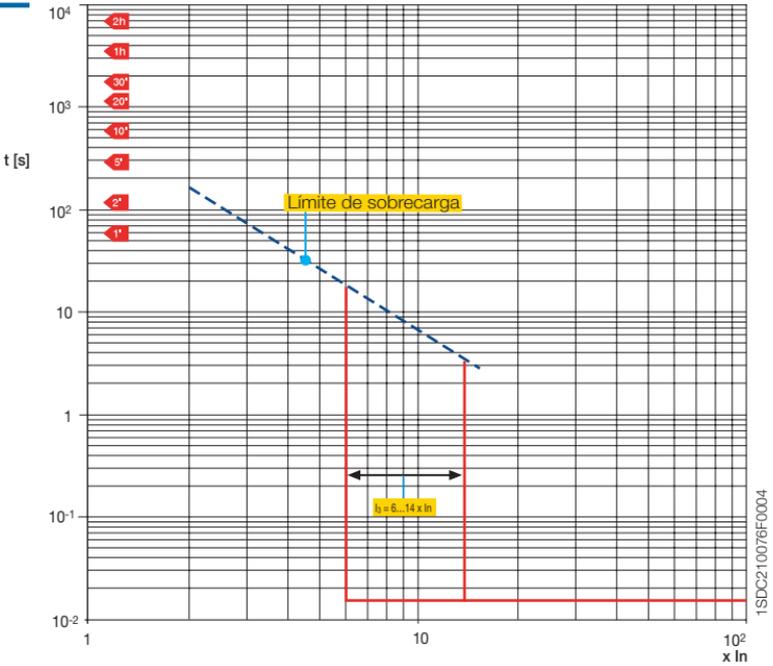
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T4 250

MA

$$I_3 = 6 \dots 14 \times I_n$$



TSDC210076F0004

3 Características generales

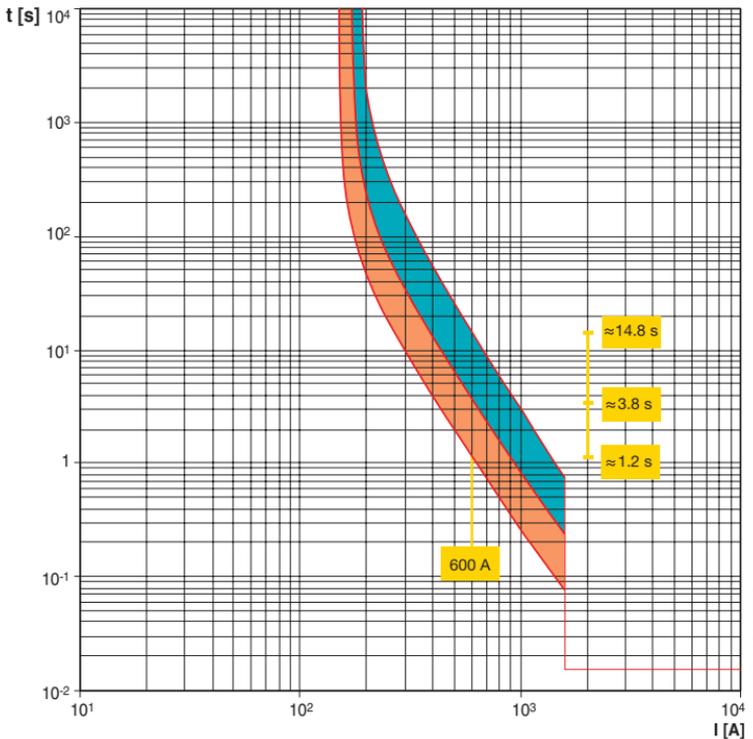
Ejemplo de regulación de un relé termomagnético

Se toma en consideración un interruptor automático T1 160 In = 160 A. Mediante el trimmer de regulación térmica, seleccionar el umbral de corriente, por ejemplo, a 144 A; seleccionar el umbral de actuación magnético, 10 x In igual a 1600 A.

Nótese que, en función de las condiciones en las que se presenta la sobrecarga, es decir, con interruptor automático en condiciones de régimen térmico o no, la actuación del relé térmico varía notablemente. Por ejemplo, para corriente de sobrecarga de 600 A, el tiempo de actuación se encuentra comprendido entre 1.2 y 3.8 s para actuación en caliente, y entre 3.8 y 14.8 s para actuación en frío.

Para valores de corriente de defecto superiores a 1600 A, el interruptor automático interviene con la protección magnética instantánea.

T1 160 – In160 Curva Tiempo-Corriente



1SDC008005F0001

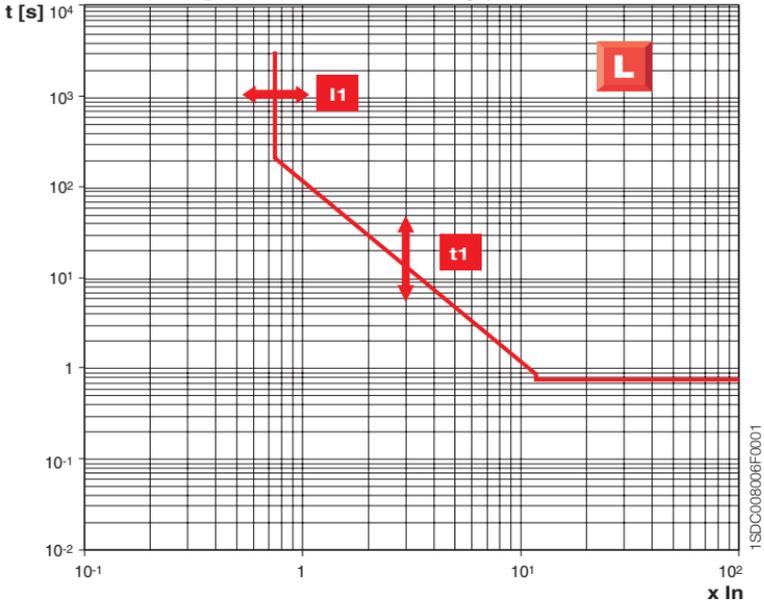
3 Características generales

3.2.2 Curvas de actuación de los relés electrónicos

Premisa

En las siguientes figuras están representadas las curvas de cada función de protección disponible en los relés electrónicos. Los márgenes y la resolución de configuración se refieren a la regulación efectuada localmente.

FUNCIÓN L (protección contra sobrecarga)



3 Características generales

| I_t | t_t |
|--|--|
| PR221 | 3s-6s (@6xI ₁) para T2 y 12s para T4-T5-T6 |
| PR231 (0.4...1) x I _n con paso 0.04 x I _n | 3s-12s (@6xI ₁) |
| PR232 | 3s-6s-12s-18s (@6xI ₁) |
| PR222 (0.4...1) x I _n con paso 0.02 x I _n | 3s-6s-9s-18s ⁽¹⁾ (@6xI ₁) |
| PR223 (0.18...1) x I _n con paso 0.01 x I _n | 3...18s con paso 0.5 ⁽²⁾ |
| PR211 (0.4-0.5-0.6-0.7-0.8-0.9-0.95-1) x I _n | A=3s;B=6s;C=12s;D=18s (@6xI ₁) |
| PR212 (0.4-0.5-0.55-0.6-0.65-0.7-0.75-0.8-0.85-0.875-0.9-0.925-0.95-0.975-1) | |
| PR331 | |
| PR121 (0.4...1) x I _n con paso 0.025 x I _n | 3s-12s-24s-36s-48s-72s-108s-144s (@3xI ₁) |
| PR332 | |
| PR333 | |
| PR122 (0.4...1) x I _n con paso 0.01 x I _n | 3...144s con paso 3s (@3xI ₁) |
| PR123 | |

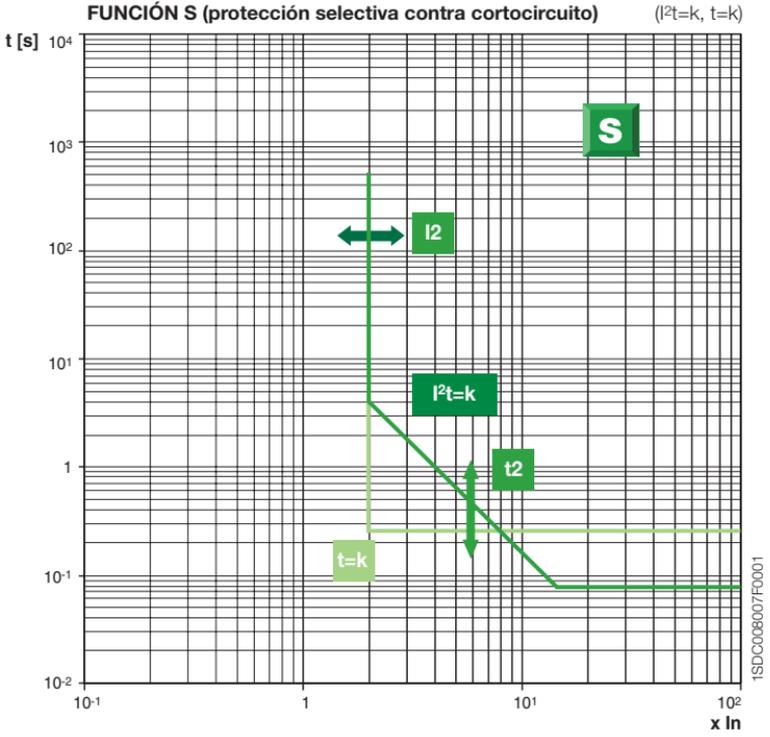
⁽¹⁾ para T4 I_n=320 A y T5 I_n=630A t_t=12s

Tolerancias:

| I_t | t_t |
|---|--|
| PR221 | |
| PR211 1.05÷1.3 xI ₁ | |
| PR212 1.1÷1.3 xI ₁ (para T4-T5-T6) | ± 10% (hasta 6xI _n) (hasta 2x para T2) |
| PR212 | ± 20% (por encima de 6xI _n) (por encima de 2xI _n para T2) |
| PR331 | |
| PR333 1.05÷1.2 xI ₁ | |
| PR332 | |
| PR121 | |
| PR122 1.05÷1.2 xI ₁ | ± 10% (hasta 4xI _n) |
| PR122 | ± 20% (por encima de 4xI _n) |
| PR123 | |
| PR222 | |
| PR223 | |
| PR231 1.1÷1.3 xI ₁ | ± 10% |
| PR232 | |

⁽²⁾ para T4-T5-T6

3 Características generales



3 Características generales

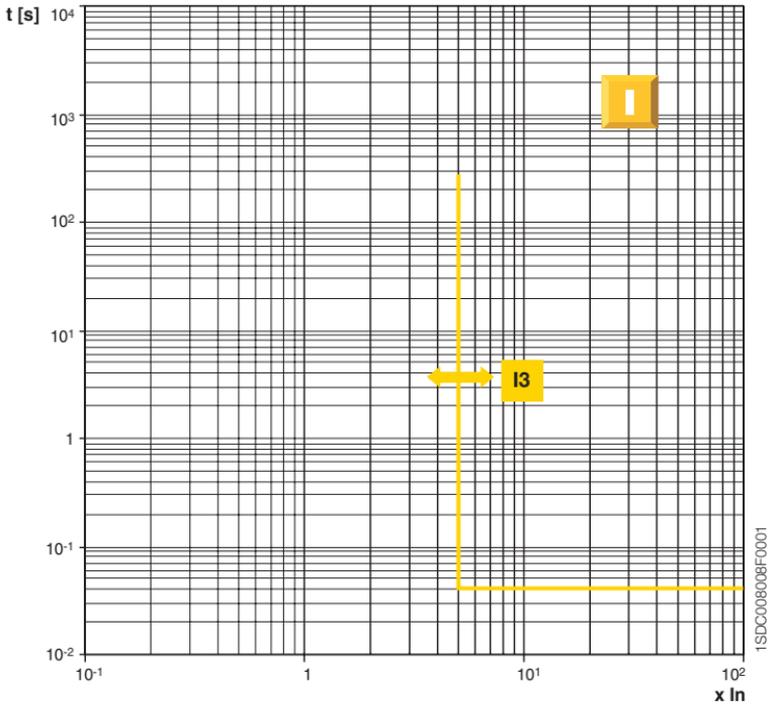
| | I2 | t2 |
|-------|--|--|
| PR221 | (1-1.5-2-2.5-3-3.5-4.5-5.5-6.5-7-7.5-8-8.5-9-10) xln | 0.1s-0.25s (@8xln con Ft=k) |
| PR231 | | 0.1s-0.25s (@10xln con Ft=k) |
| PR232 | (0.6-0.8-1.2-1.8-2.4-3-3.6-4.2-5-5.8-6.6-7.4-8.2-9-10) xln | 0.1s-0.25s-0.5s-0.8s (@10xln con Ft=k) 0.1s-0.25s-0.5s-0.8s (con t=k) |
| PR222 | (0.6-10) xln con paso 0.6 x ln | 0.05s-0.1s-0.25s-0.5s (@8xln con Ft=k, and t=k) |
| PR223 | (0.6...10) x ln con paso 0.1 x ln | 0.05...0.5s step 0.01s (@8xln con Ft=k, and t=k) |
| PR211 | (1-2-3-4-6-8-10) x ln | A=0.05s;B=0.1s;C=0.25s;D=0.5s (@8xln con Ft=k, and t=k) |
| PR212 | | |
| PR331 | (0.6-0.8-1.2-1.8-2.4-3-3.6-4.2-5-5.8-6.6-7.4-8.2-9-10) xln | 0.1s...0.8s (@10xln con Ft=k) |
| PR121 | (1-1.5-2-2.5-3-3.5-4-5-6-7-8-8.5-9-9.5-10) xln | 0.1s...0.8s (@l>l2 con t=k) |
| PR332 | | |
| PR333 | (0.6...1) x ln con paso 0.1 x ln | 0.05...0.8s con paso 0.01s (@10xln con Ft=k) |
| PR122 | | 0.05...0.8s con paso 0.01s (@l>l2xln con t=k) |
| PR123 | | |

Tolerancias:

| | I2 | t2 |
|-------|--|---|
| PR221 | ± 10% (T4-T5-T6) ± 10% (hasta 2xln) (T2) ± 20% (por encima de 2xln) (T2) | ± 10% hasta 6xln (T4-T5-T6) ± 20% por encima de to 6xln (T4-T5-T6) ± 20% (T2) |
| PR222 | | |
| PR223 | ± 10% | ± 10% |
| PR231 | | |
| PR232 | | |
| PR211 | ± 10% | ± 20% |
| PR212 | | |
| PR331 | | |
| PR332 | ± 7% (lg <4xln) ± 10% (lg >4xln) | ± 15% (lg < 4xln con t=k) ± 20% (lg >4xln con t=k) el mejor dato entre: ± 10% ó 40ms (con Ft=k) |
| PR121 | | |
| PR122 | | |
| PR123 | | |
| PR333 | ± 7% (lg <6xln) ± 10% (lg >6xln) | |

3 Características generales

FUNCIÓN I (protección instantánea contra cortocircuito)



3 Características generales

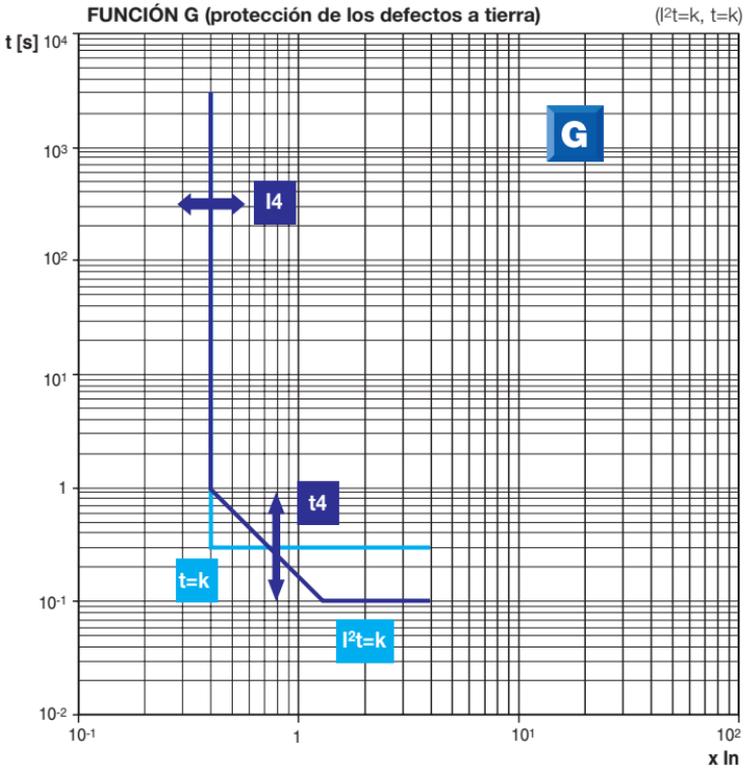
| I3 | |
|-----------|---|
| PR221 | (1-1.5-2-2.5-3-3.5-4.5-5.5-6.5-7-7.5-8-8.5-9-10-12*) x In |
| PR231 | |
| PR222 | (1.5-2.5-3-4-4.5-5-5.5-6.5-7-7.5-8-9-9.5-10.5-12) x In |
| PR232 | |
| PR223 | (1.5...12) x In con paso 0.1 x In |
| PR211 | (1.5-2-4-6-8-10-12) x In |
| PR212 | |
| PR331 | (1.5-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15) x In |
| PR121 | |
| PR332 | |
| PR333 | (1.5...15) x In con paso 0.1 x In |
| PR122 | |
| PR123 | |

*12xIn sólo para PR231/P

Tolerancias:

| I3 | Tiempo de activación: |
|-----------|--------------------------------|
| PR221 | ± 10% (T4-T5-T6) ± 20% (T2) |
| PR211 | < 25ms |
| PR212 | < 25ms |
| PR222 | < 25ms |
| PR223 | < 25ms |
| PR231 | |
| PR232 | |
| PR331 | < 40ms |
| PR332 | |
| PR333 | |
| PR121 | |
| PR122 | < 30ms |
| PR123 | |

3 Características generales



3 Características generales

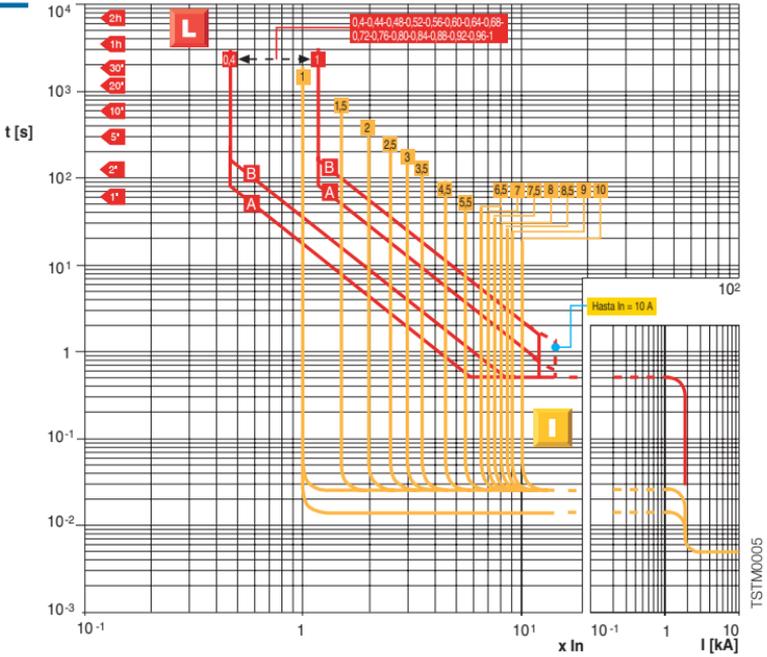
| I4 | t4 |
|---|--|
| PR222 (0.2-0.25-0.45-0.55-0.75-0.8-1) xln | 0.1s hasta 3.15x I4; 0.2s hasta 2.25xI4; 0.4s hasta 1.6xI4; 0.8s hasta 1.10xI4 |
| PR223 (0.2...1) xln con paso 0.1xln | 0.1...0.8 xln con paso 0.01s |
| PR212 (0.2-0.3-0.4-0.6-0.8-0.9-1) xln | A=0.1s; B=0.2s; C=0.4s; D=0.8s (@ 4xI4) |
| PR331 (0.2-0.3-0.4-0.6-0.8-0.9-1) xln | 0.1s hasta 4.47 xI4; 0.2s hasta 3.16 xI4; 0.4s hasta 2.24xI4; 0.80s hasta 1.58xI4 (I ² t=k) |
| PR121 (0.2-0.3-0.4-0.6-0.8-0.9-1) xln | 0.1s-0.2s-0.4s-0.80s (con t=k) |
| PR122 (0.2...1) xln con paso 0.02 xln | 0.1-0.2-0.4-0.8 s (@I=4xln con I ² t=k) |
| PR123 (0.2...1) xln con paso 0.02 xln | 0.1-0.2-0.4-0.8 s (@I>4xln con t=k) |
| PR332 (0.2...1) xln con paso 0.02xln | 0.1...1s con paso 0.05s (I=4xln con I ² t=k) |
| PR333 (0.2...1) xln con paso 0.02xln | 0.1...1s con paso 0.05s (I>4xln con t=k) |
| Tolerancias: | |
| I4 | t4 |
| PR222 ± 10% | ± 15% |
| PR223 ± 10% | ± 15% |
| PR212 ± 20% | ± 20% |
| PR331 ± 20% | ± 20% |
| PR121 ± 7% | ± 15% (I ² t=k) |
| PR122 ± 7% | ± 15% (I ² t=k) |
| PR123 ± 7% | el mejor dato entre: ± 10% ó 40ms (con t=k) |
| PR332 ± 7% | el mejor dato entre: ± 10% ó 40ms (con t=k) |
| PR333 ± 7% | el mejor dato entre: ± 10% ó 40ms (con t=k) |

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T2 160
PR221DS

Funciones L-I



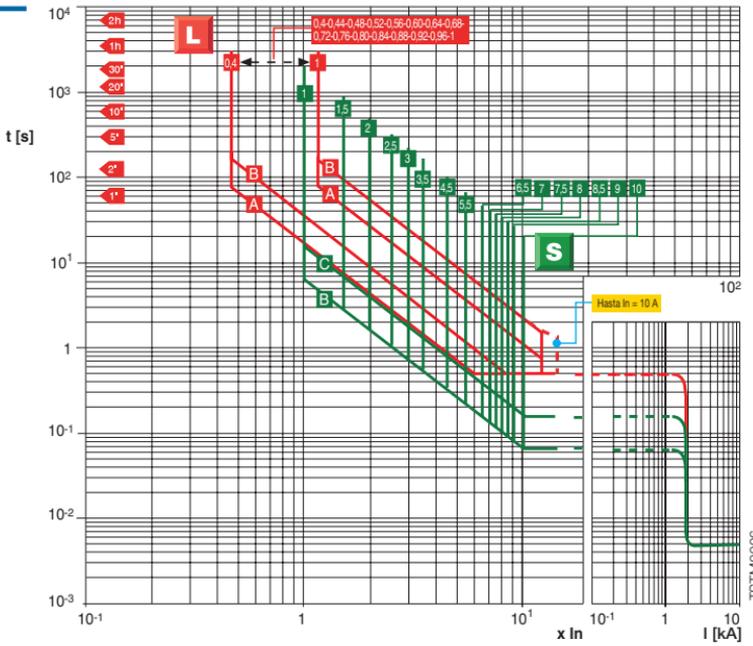
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T2 160

PR221DS

Funciones L-S



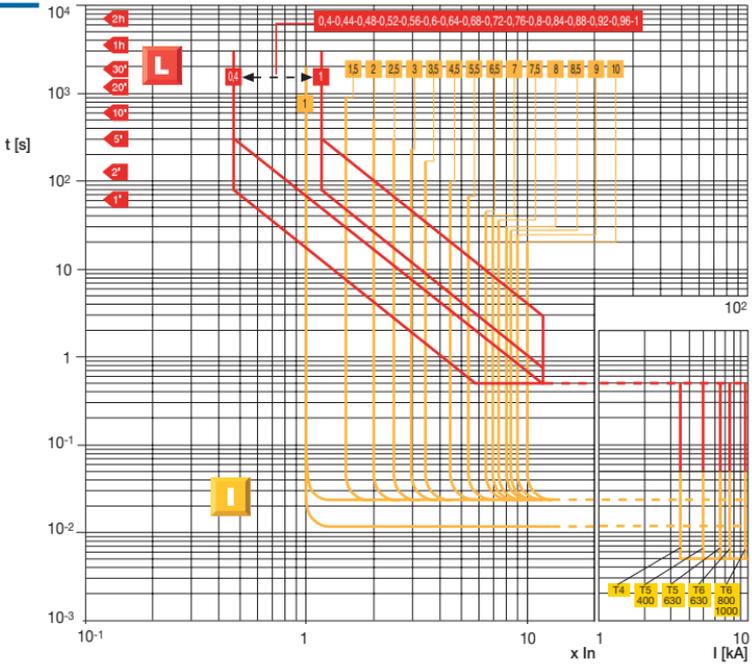
1

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T4 250/320
T5 400/630
T6 630/800/1000
PR221DS

Funciones L-I



1SDC210005F0004

3 Características generales

Curva de actuación de
los relés electrónicos

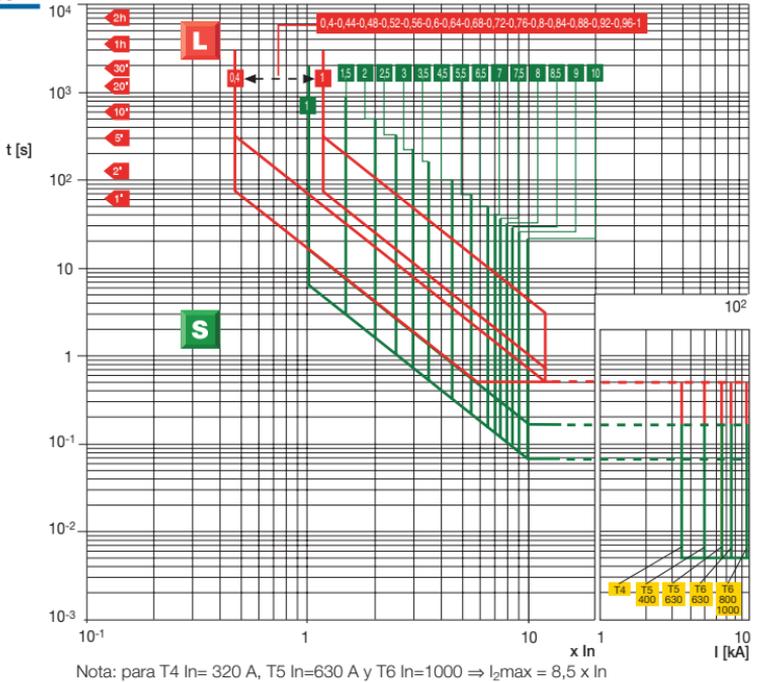
T4 250/320

T5 400/630

T6 630/800/1000

PR221DS

Funciones L-S



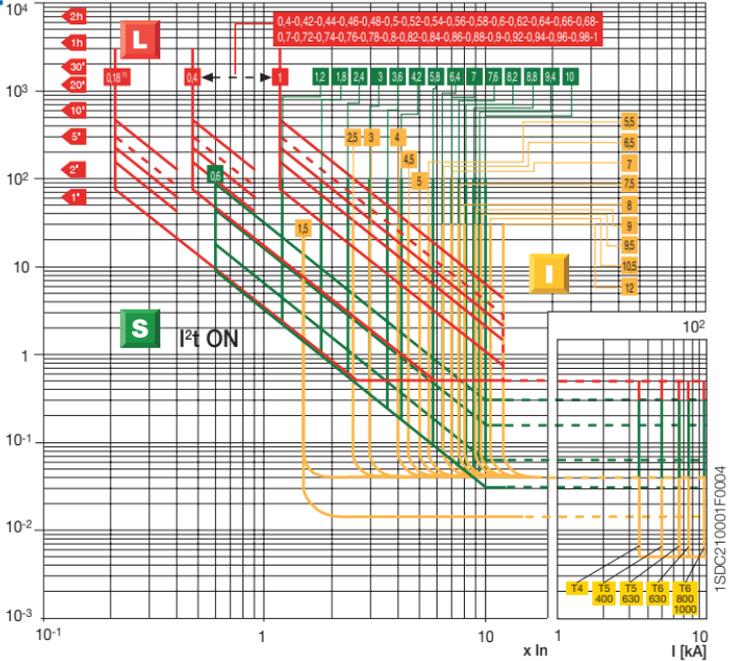
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T4 250/320
T5 400/630
T6 630/800/1000

PR222DS/P y
PR222DS/PD
PR223DS

Funciones L-S-I
(I^2t constante = ON)
t [s]



Nota:

La curva con un trazo discontinuo de la función L corresponde al retardo máximo (t_1) programable a $6 \times I_1$, en el caso de que se empleen TA de 320 A para T4 y de 630 A para T5. Para todos los tamaños de TA $t_1=18s$, salvo con TA de 320 A (T4) y 630 A (T5) en los que $t_1=12s$.

Para T4 $I_n = 320$ A, T5 $I_n = 630$ A y T6 $I_n = 1000$ A $\Rightarrow I_2 \max = 8 \cdot 8 \times I_n$, $I_3 \max = 9,5 \times I_n$.

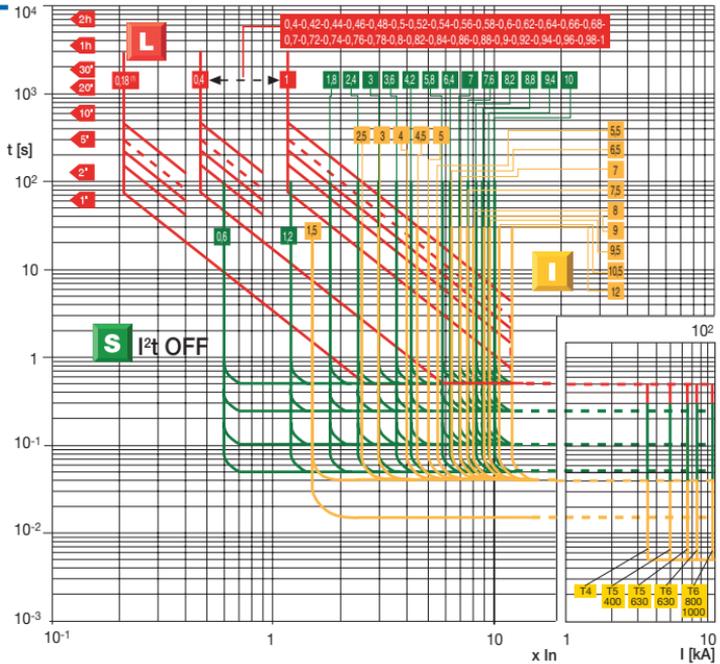
(1) Para PR223DS, la función de protección se puede programar a $I_1 = 0,18 \dots 1 \times I_n$

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T4 250/320
T5 400/630
T6 630/800/1000
PR222DS/P y
PR222DS/PD
PR223DS

Funciones L-S-I



Nota:

La curva con un trazo discontinuo de la función L corresponde al retardo máximo (t_1) programable a $6 \times I_1$, en el caso de que se empleen TA de 320 A para T4 y de 630 A para T5. Para todos los tamaños de TA $t_1=18s$, salvo con TA de 320 A (T4) y 630 A (T5) en los que $t_1=12s$.

Para T4 $I_n = 320$ A, T5 $I_n = 630$ A y T6 $I_n = 1000$ A $\Rightarrow I_2^t \max = 8 \cdot 8 \times I_n$, $I_3^t \max = 9,5 \times I_n$.

(1) Para PR223DS, la función de protección se puede programar a $I_1 = 0,18 \dots 1 \times I_n$

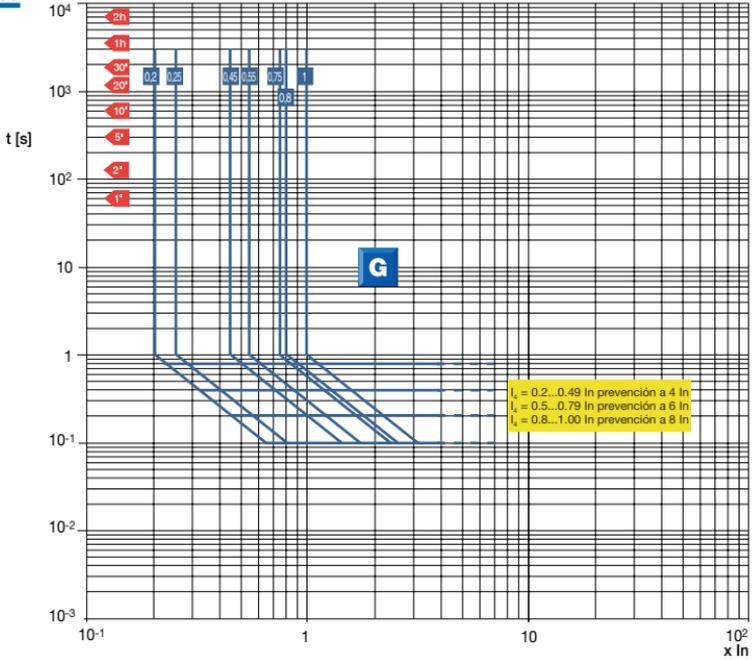
3 Características generales

Curva de actuación de
los relés electrónicos

T4 250/320
T5 400/630
T6 630/800/1000

PR222DS
PR222DS/PD
PR223DS/EF

Función G



Nota:

Para PR223DS y PR223EF sólo están disponibles los ajustes electrónicos.

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T4L 250/320

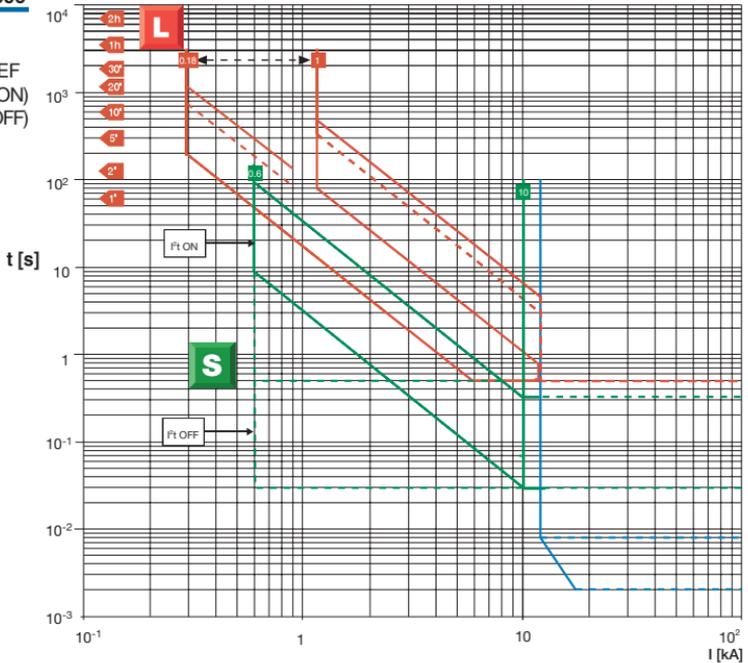
T5L 400/630

T6L 630/800/1000

PR223EF

Vaux ON

Funciones L-S-EF
(I^2t constante = ON)
(I^2t constante = OFF)



Nota:

La curva con un trazo discontinuo de la función L corresponde al retardo máximo (t_1) programable a $6 \times I_1$, en el caso de que se empleen TA de 320 A para T4 y de 630 A para T5.

Para todos los tamaños de TA, el retardo máximo t_1 equivale a 18s, salvo con TA de 320 A (T4) y 630 A (T5), en los que $t_1=12s$.

Para T4 $I_n = 320$ A, T5 $I_n = 630$ A y T6 $I_n = 630$ A $\Rightarrow I_2 \text{ max} = 8 \cdot 8 \times I_n$,

$I_3 \text{ max} = 9,5 \times I_n$

Sólo están disponibles los ajustes electrónicos.

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T4L 250/320

T5L 400/630

T6L 630/800/1000

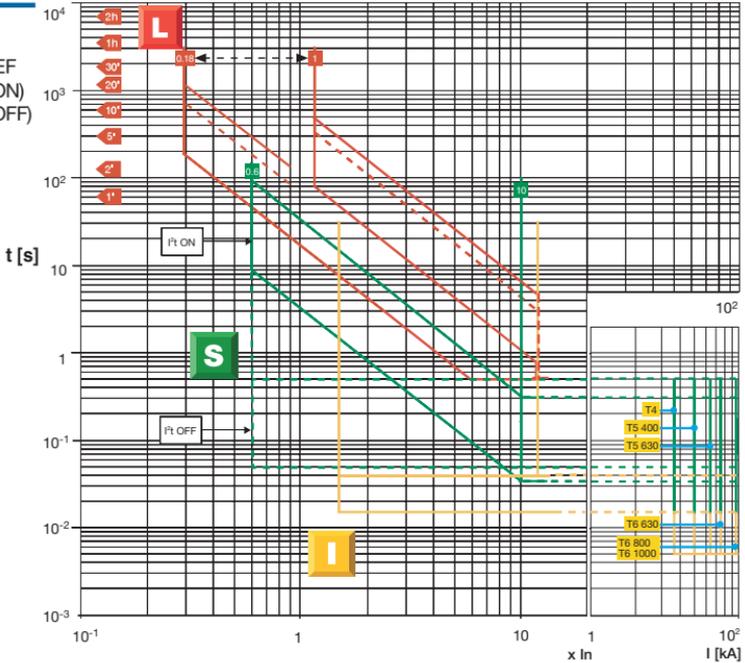
PR223EF

Vaux OFF

Funciones L-S-EF

(I^2t constante = ON)

(I^2t constante = OFF)



Nota:

Para todos los tamaños de TA, el retardo máximo t_1 equivale a 18s, salvo con TA de 320 A (T4) y 630 A (T5), en los que $t_1=12s$.

Para T4 $I_n = 320$ A, T5 $I_n = 630$ A y T6 $I_n = 630$ A $\Rightarrow I_3 \max = 10 \times I_n$.

Sólo están disponibles los ajustes electrónicos.

3 Características generales

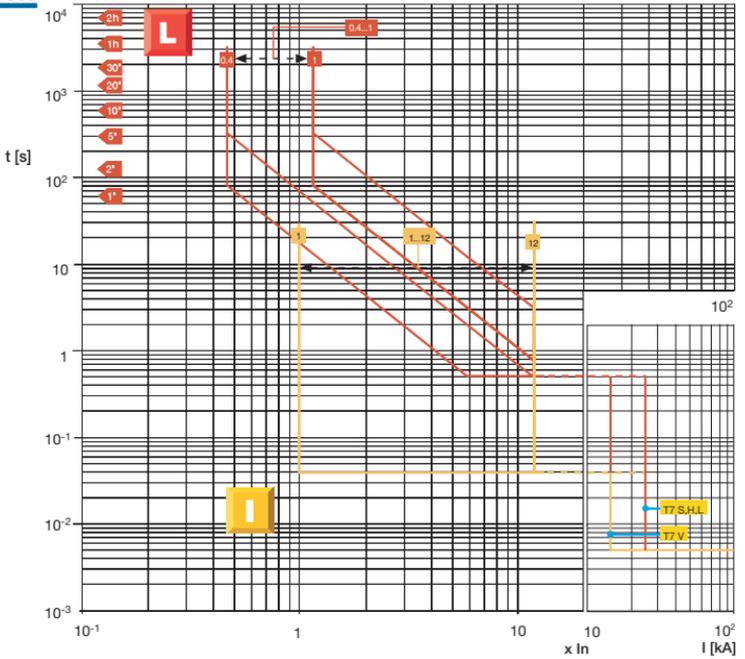
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR231/P

Funciones L-I



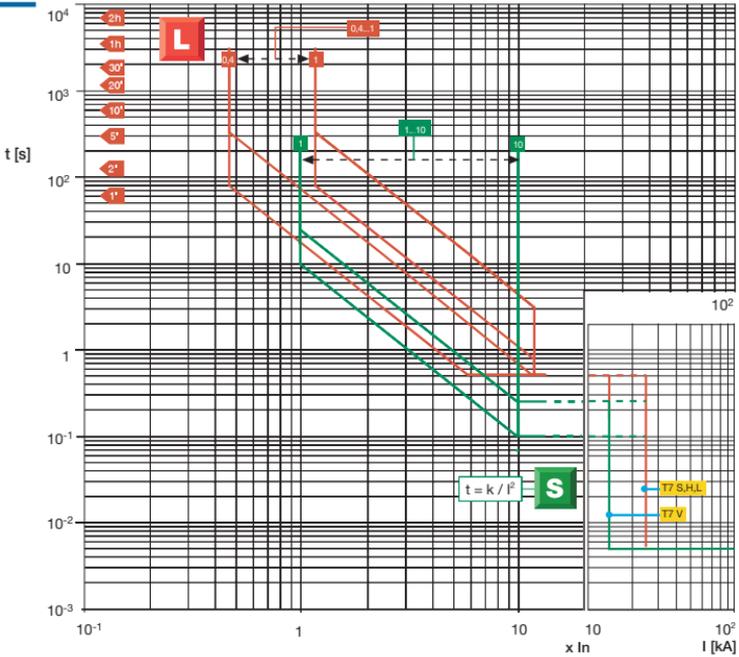
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T7
800/1000/1250/1600

PR231/P

Funciones L-S



3 Características generales

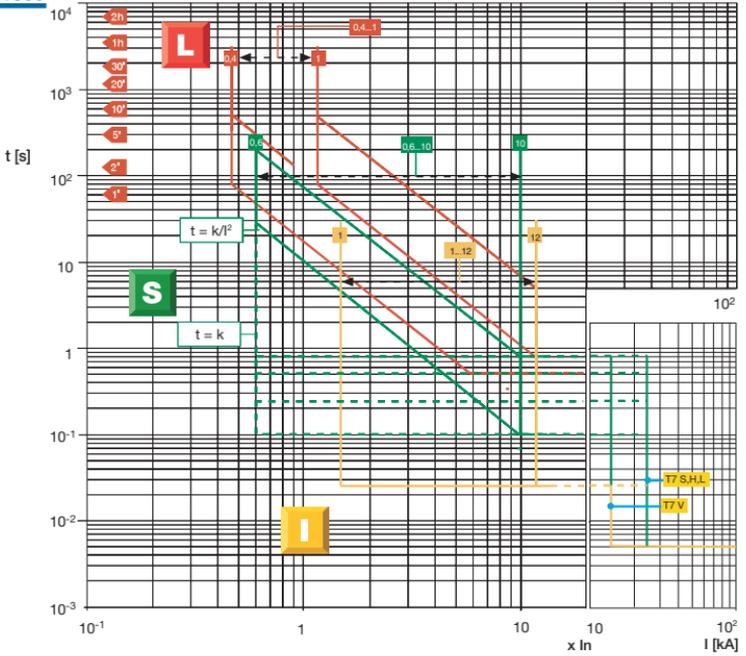
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR232/P

Funciones L-S-I



3 Características generales

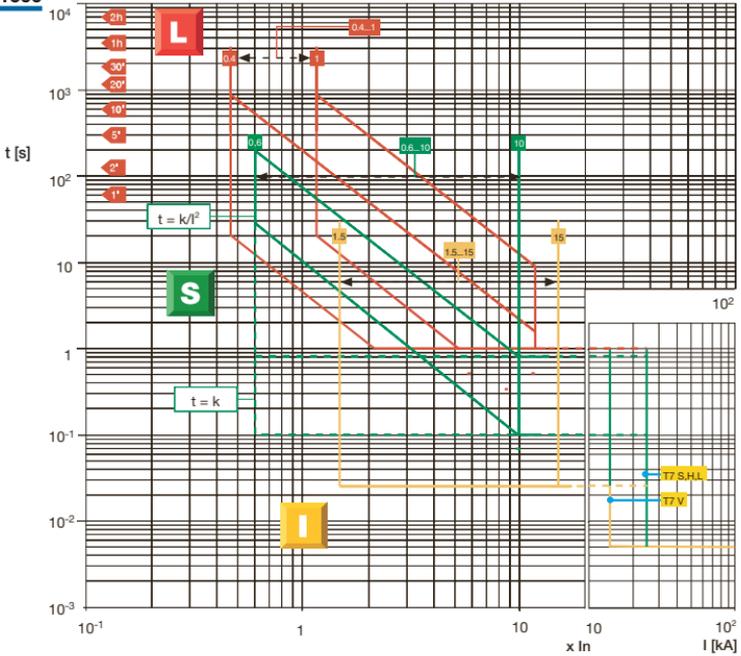
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR331/P

Funciones L-S-I



Para T7 $I_n = 1250 \text{ A}, 1600 \text{ A} \Rightarrow I_3 \text{ max} = 12 \times I_n$.

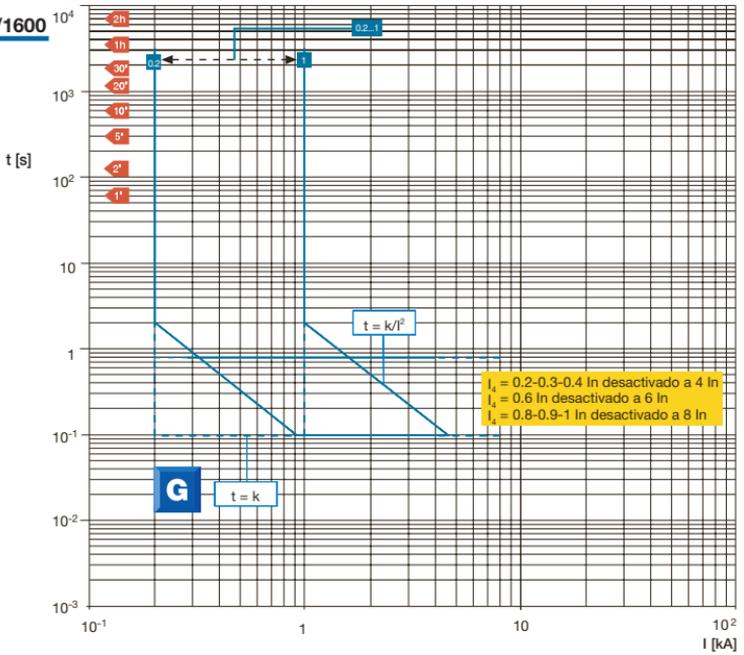
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T7
800/1000/1250/1600

PR331/P

Funciones G



1

3 Características generales

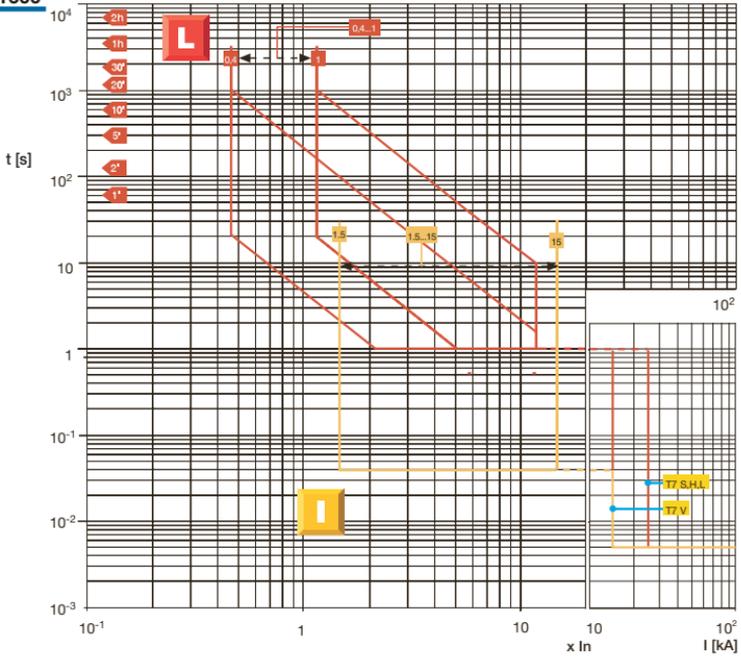
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR332/P

Funciones L-I



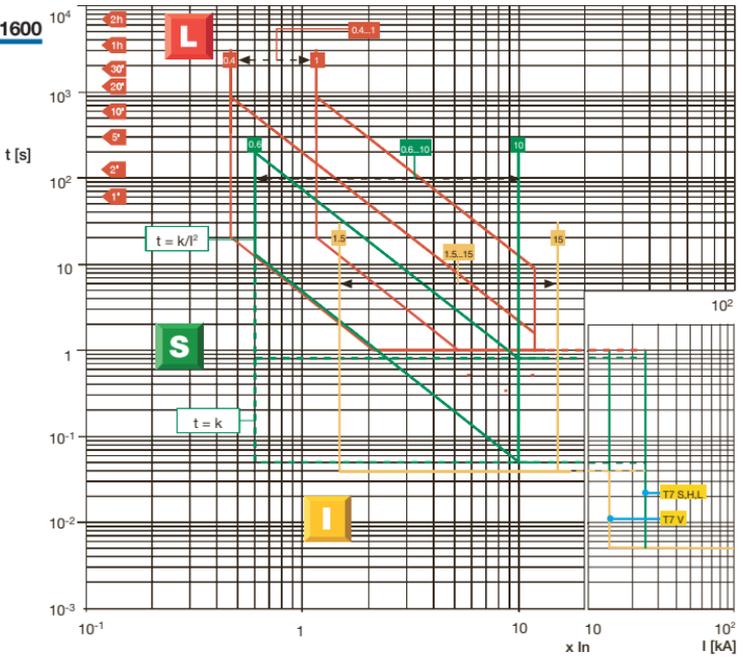
Nota:

Para T7 $I_n = 1250A, 1600A \Rightarrow I_{3max} = 12 \times I_n$

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T7
800/1000/1250/1600
PR332/P
 Funciones L-S-I



Nota:

Para T7 $I_n = 1250A, 1600A \Rightarrow I_{3max} = 12 \times I_n$

3 Características generales

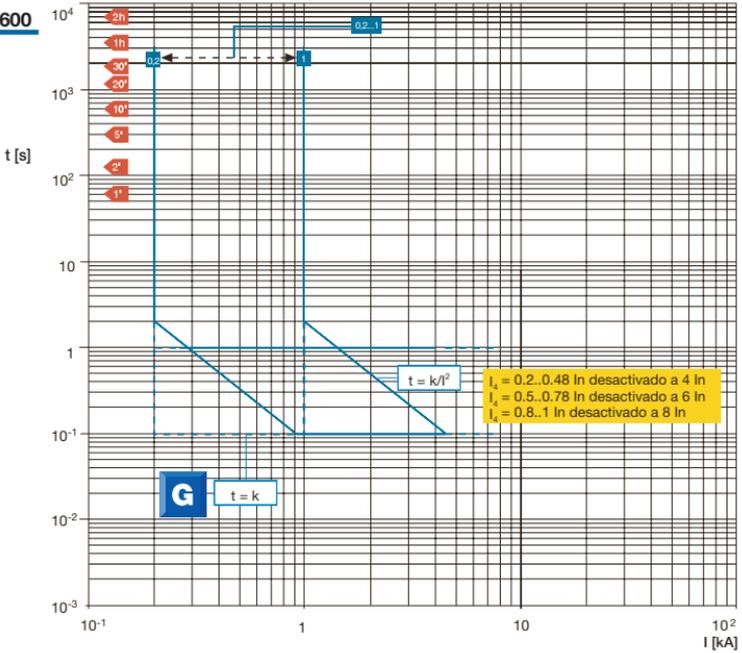
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR332/P

Funciones G



3 Características generales

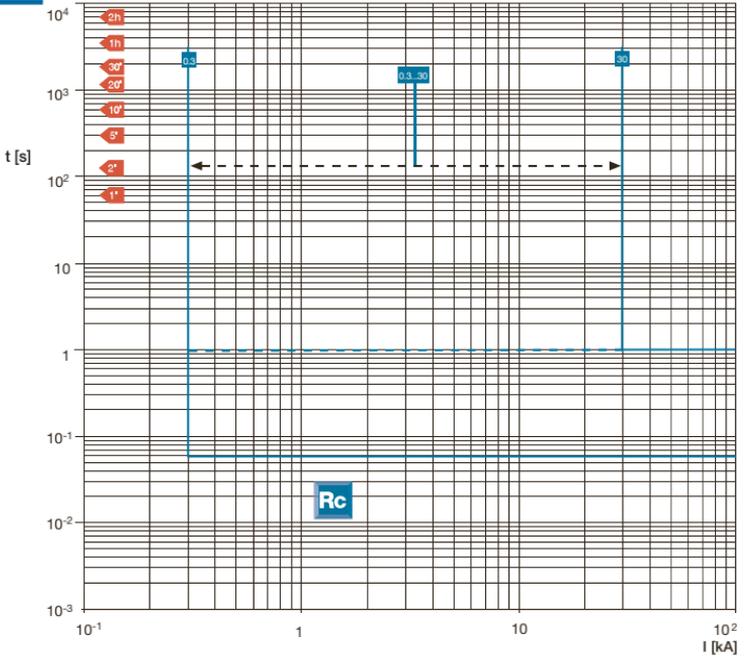
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR332/P

Funciones Rc



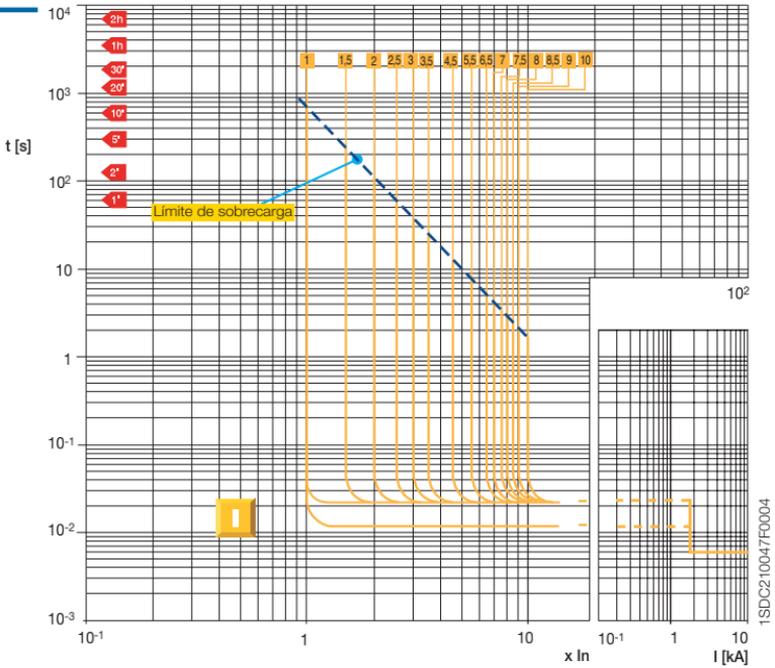
1

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T2 160
PR221DS-I

Función I



3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

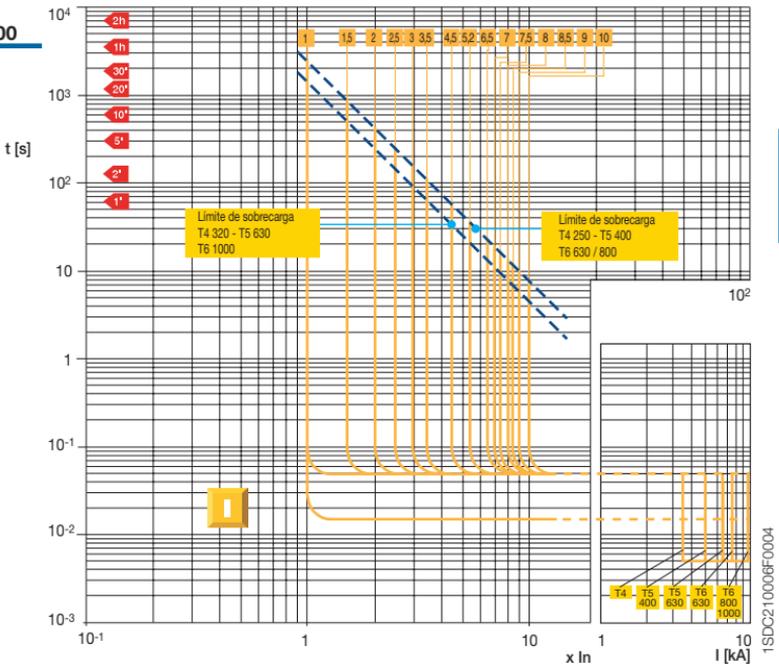
T4 250/320

T5 400/630

T6 630/800/1000

PR221DS-I

Función I



1

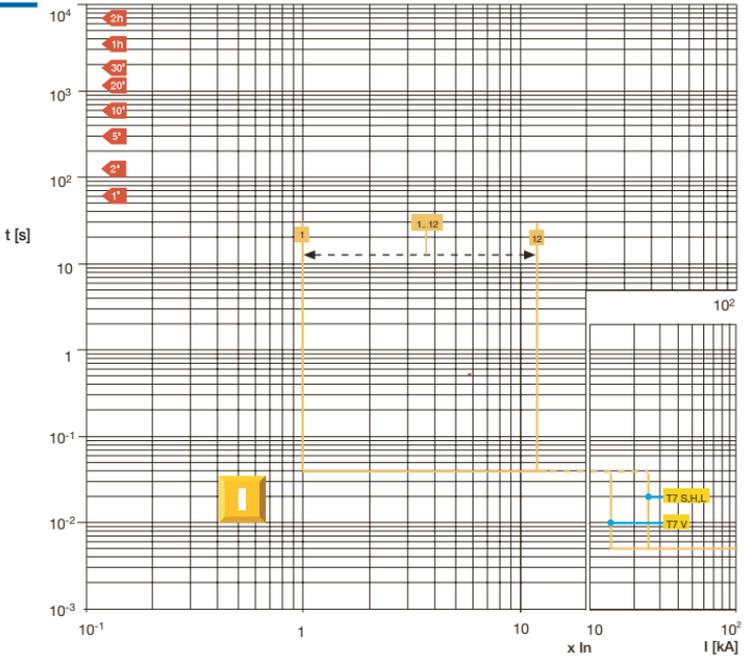
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T7 800/1000/1250

PR231/P-I

Función I



3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

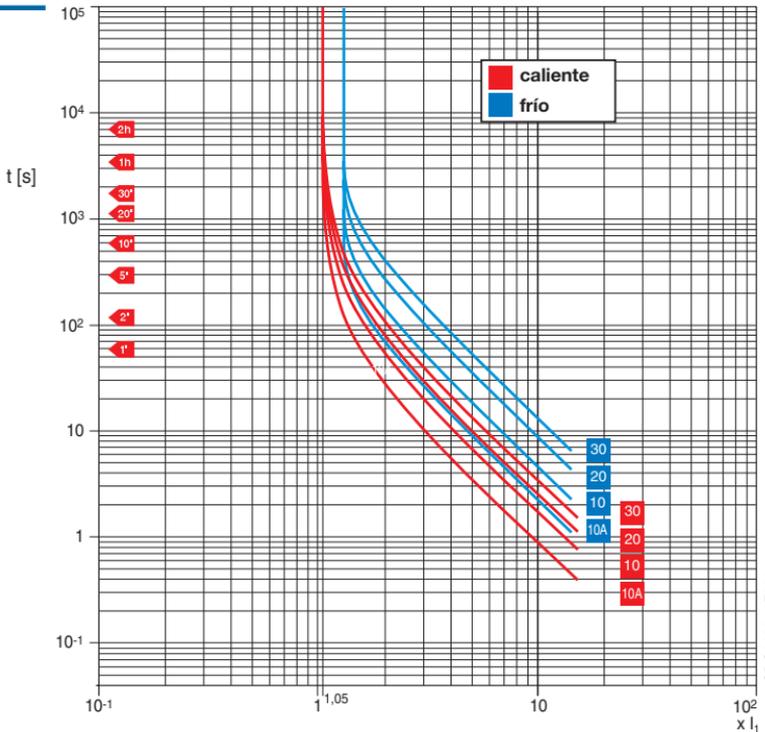
T4 250

T5 400

T6 800

PR25MP

Función L
(actuación en caliente y frío)



1SDC210048F0004

| | I1 | t1 |
|---------|--|-------------------|
| PR222MP | $(0.4 \div 1) \times I_n$ con pasos de $0.01 \times I_n$ | 4 - 8 - 16 - 24 s |

A continuación se indican los valores de tolerancia

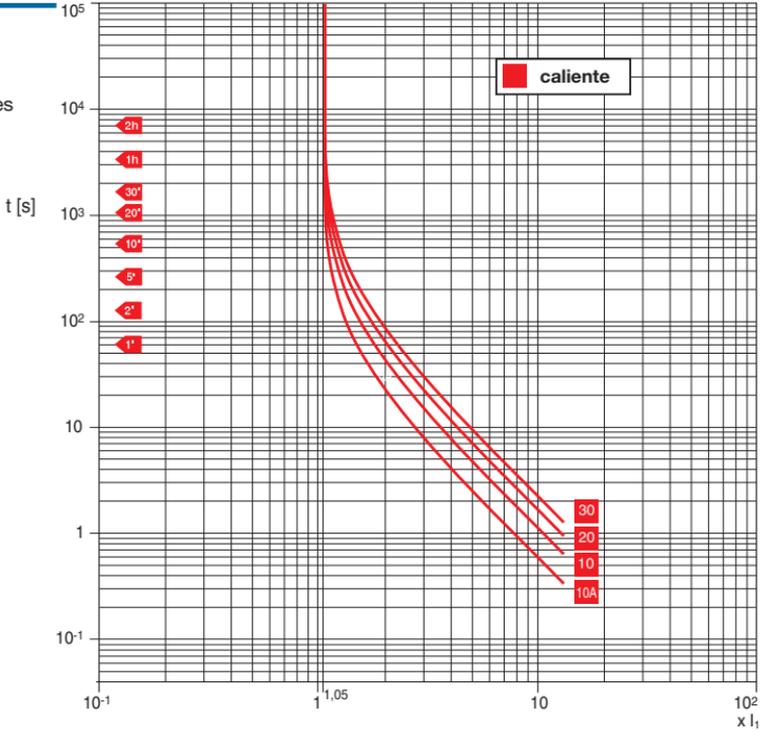
| | I1 | t1 |
|---------|----------------------------------|---------------------|
| PR222MP | De conformidad con IEC 60947-4-1 | Según IEC 60947-4-1 |

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T4 250
T5 400
T6 800
PR222MP

L (actuación en caliente con 1 o 2 fases alimentadas)



1SDC210049F0004

| I1 | t1 |
|---|-------------------|
| PR222MP (0.4 ÷ 1) x In con pasos de 0.01 x In | 4 – 8 – 16 – 24 s |

A continuación se indican los valores de tolerancia

| I1 | t1 |
|--------------|-----------|
| PR222MP ±15% | ±15% |

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

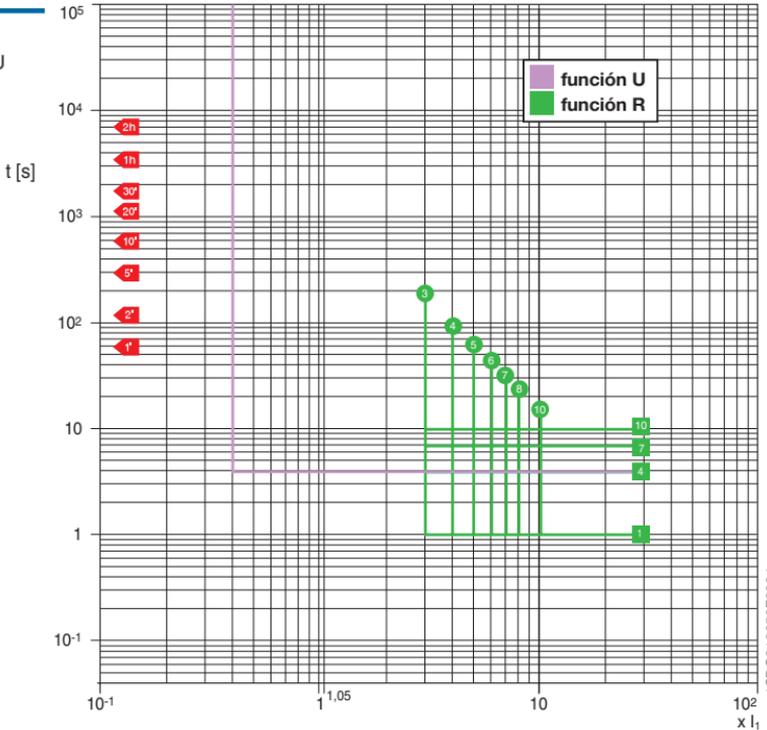
T4 250

T5 400

T6 800

PR222MP

Funciones R-U



| R | I5 | t5 |
|---------|---|------------------|
| PR222MP | (3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 10 - OFF) x I1 | 1 - 4 - 7 - 10 s |
| U | I6 | t6 |
| PR222MP | ON (0.4 x I1) - OFF | 4 s |

A continuación se indican los valores de tolerancia

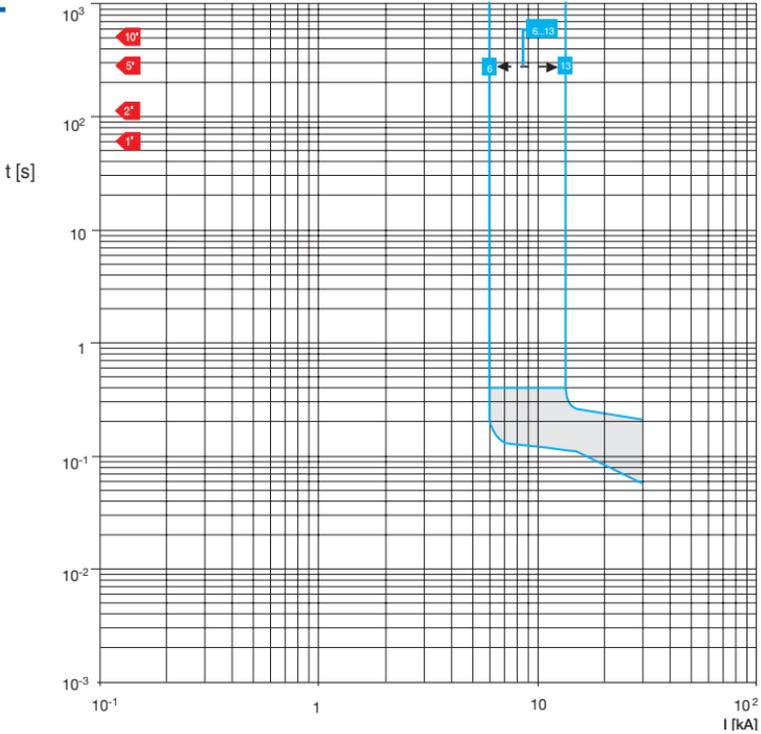
| R | I5 | t5 |
|---------|--------|--------|
| PR222MP | ± 15 % | ± 10 % |
| U | I6 | t6 |
| PR222MP | ± 15 % | ± 10 % |

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T4 250
T5 400
T6 800
PR222MP

Funciones I



1SDC210051F0004

| | I3 |
|---------|--|
| PR222MP | (6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13) x I _n |

A continuación se indican los valores de tolerancia

| | I3 |
|---------|-----------|
| PR222MP | ± 15 % |

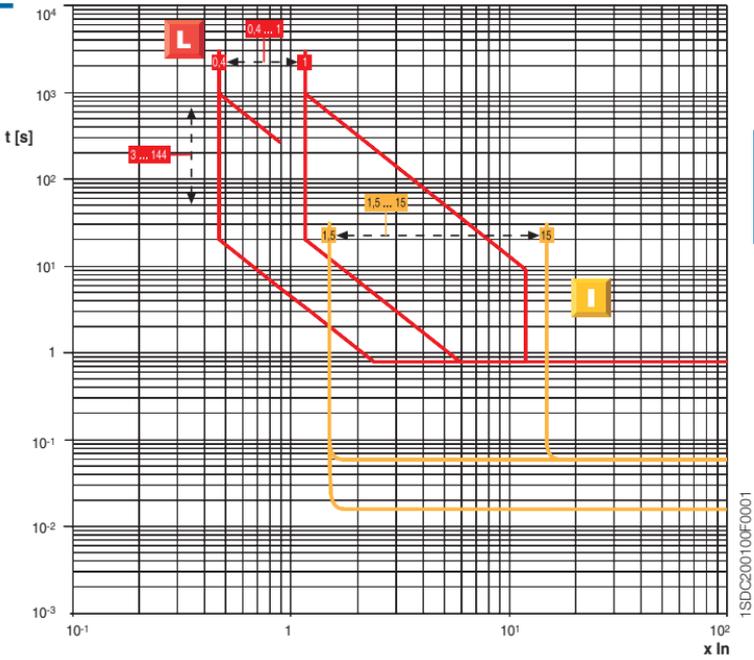
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR121/P
PR331/P

Funciones L- I



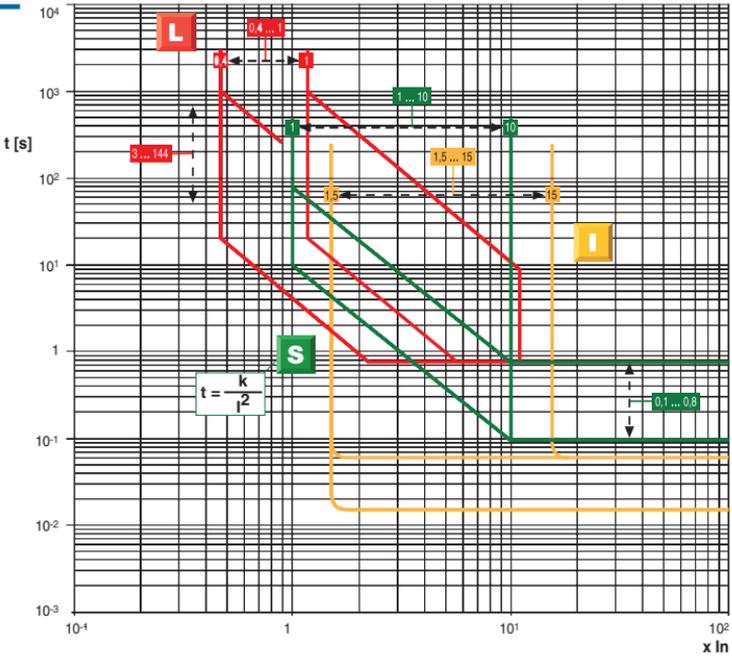
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR121/P
PR331/P

Funciones L-S-I,
S retardo corto
inverso
($I^2t = \text{constante}$)



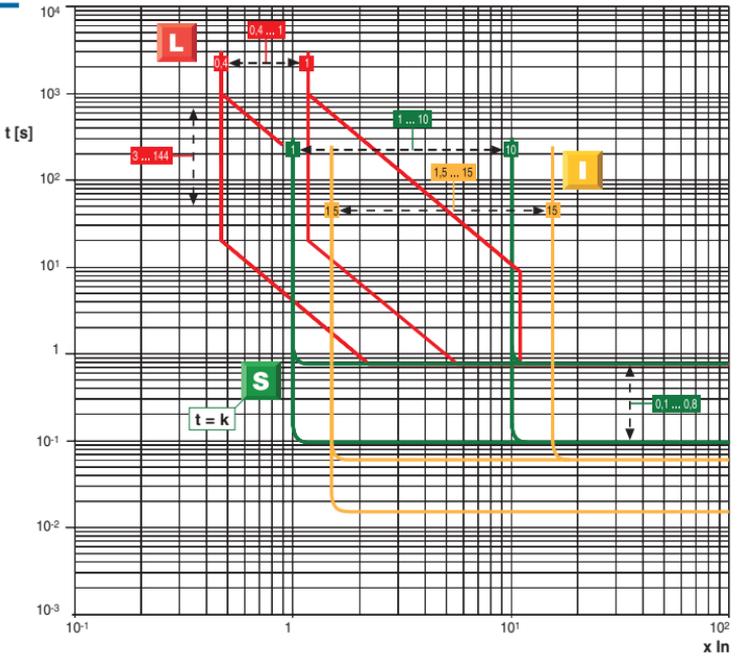
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR121/P
PR331/P

Funciones L-S-I,
S retardo
independiente
($t = \text{constante}$)



1SDC200102F0001

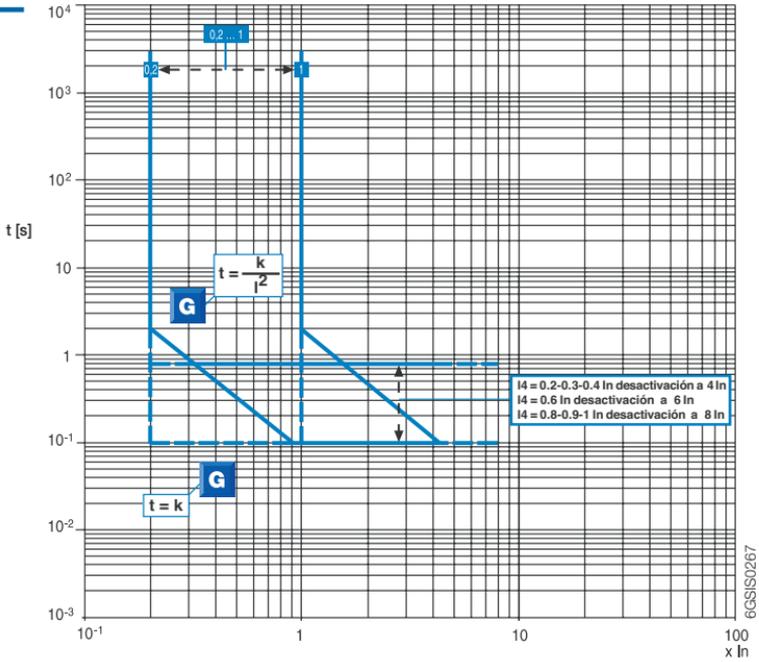
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

E_{max}

PR121/P
PR331/P

Función G



3 Características generales

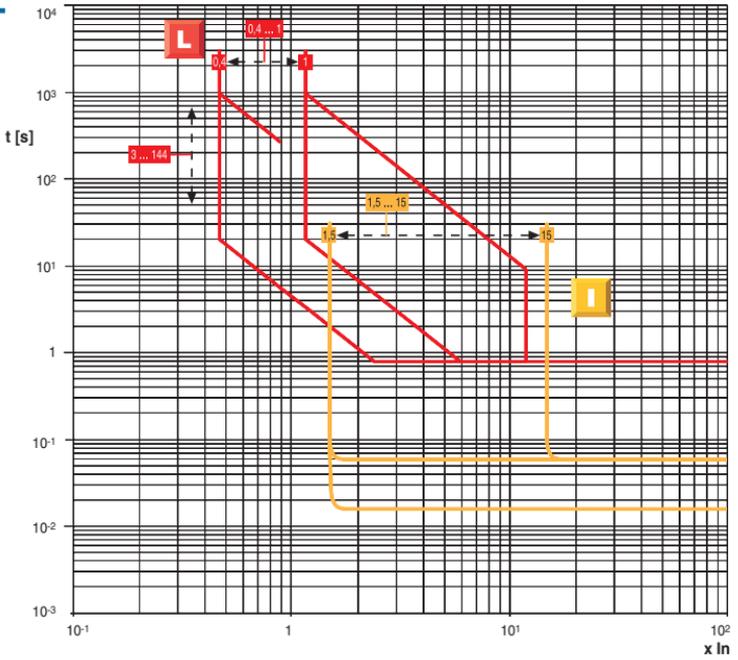
Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR122/P

PR332/P

Funciones L-I



1SDC200602F001

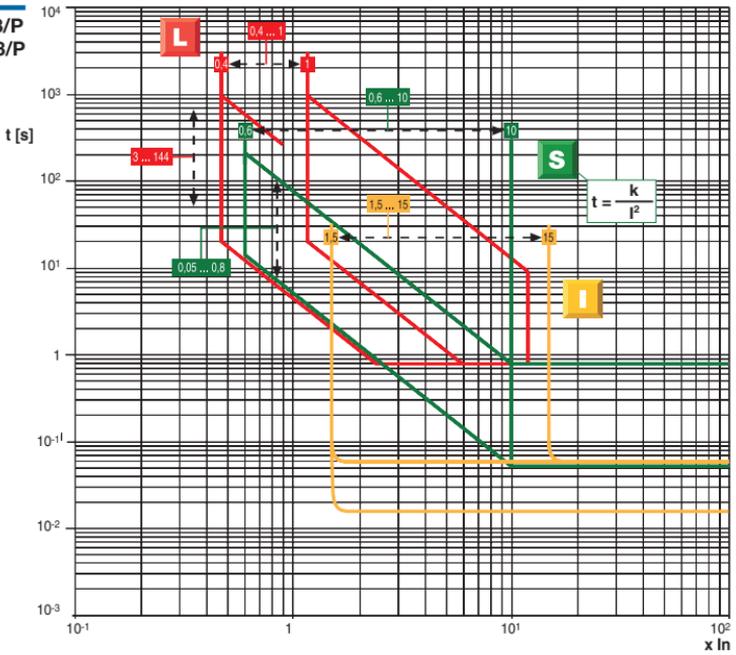
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR122/P-PR123/P
PR332/P- PR333/P

Funciones L-S-I
S retardo corto
inverso
($I^2t = \text{constante}$)



1SDC200110F0001

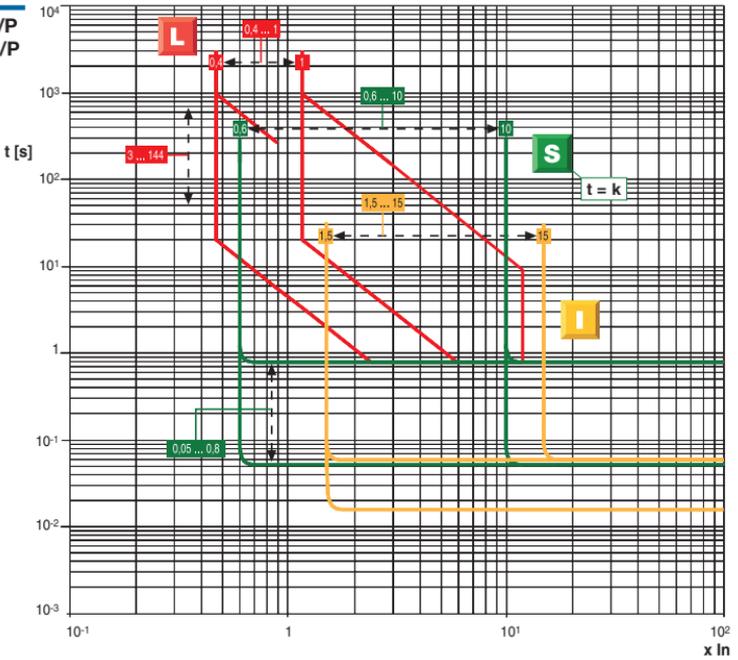
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR122/P-PR123/P
PR332/P- PR333/P

Funciones L-S-I
S retardo
independiente
($t = \text{constante}$)



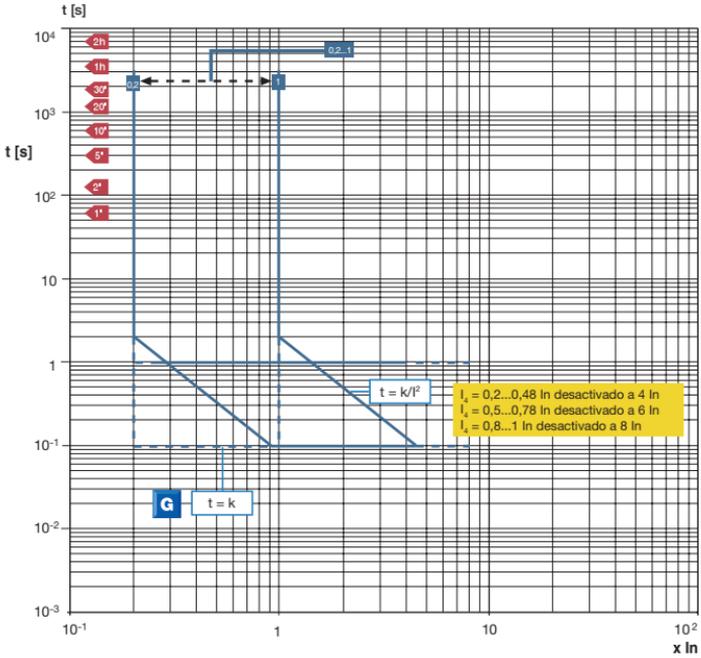
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR122/P-PR123/P
PR332/P- PR333/P

Función G



1SDC200112F0001

3 Características generales

Relé PR123/P – Función L de conformidad con la norma IEC 60255-3

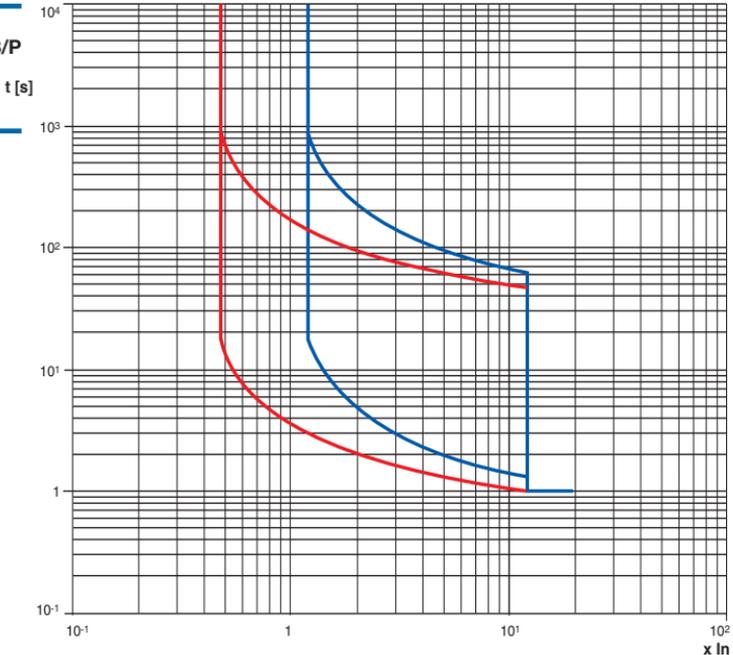
Las tres curvas que se muestran a continuación hacen referencia a la función de protección L de conformidad con la norma IEC 60255-3 e integran la norma en versión estándar; se aplican en coordinación con los fusibles y los interruptores automáticos de media tensión.

$k=0.14$ $\alpha=0.02$

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR123/P
PR332/P- PR333/P



Tmax

PR332/P

Función L
(IEC 60255-3)

| | I1 | t1 |
|-----------------|---------------------------------------|--|
| PR123/P | (0.4...1) x In con pasos de 0.01 x In | t1=3s...144s con pasos de 3s (1) (@ I=3 x Un) |
| PR332/P-PR333/P | | |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | I1 | |
|-----------------|-----------------|--|
| PR123/P | 1.05...1.2 x In | ± 20 % $I_g > 5 \times I_1$ |
| PR332/P-PR333/P | | ± 30 % $2 \times I_1 \leq I_g \leq 5 \times I_1$ |

(1) El valor mínimo de actuación es 1 s, independientemente del tipo de ajuste de la curva (autoprotección)

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

$k=13.5$ $\alpha=1$

E_{max}

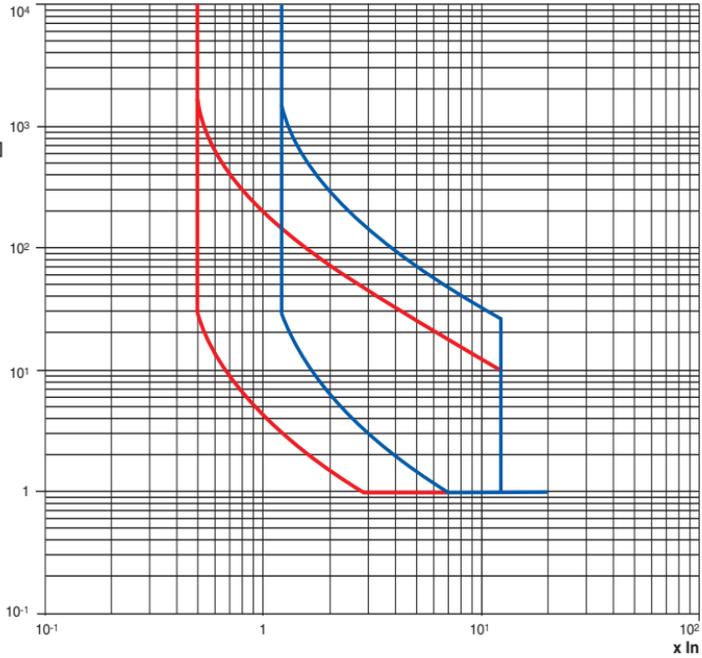
PR123/P
PR332/P- PR333/P

T_{max}

PR332/P

t [s]

Función L
(IEC 60255-3)



1SDC200119F0001

| | I₁ | t₁ |
|-----------------|---|--|
| PR123/P | (0.4...1) x I _n con pasos de 0.01 x I _n | t ₁ =3s...1.14s con pasos de 3s |
| PR332/P-PR333/P | | (1) (@ I=3 x U _n) |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | I₁ | |
|-----------------|-----------------------------|--|
| PR123/P | 1.05...1.2 x I _n | ± 20 % I _g > 5 x I ₁ |
| PR332/P-PR333/P | | ± 30 % 2 x I ₁ ≤ I _g ≤ 5 x I ₁ I _n |

(1) El valor mínimo de actuación es 1 s, independientemente del tipo de ajuste de la curva (autoprotección)

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

$k=80$ $\alpha=2$

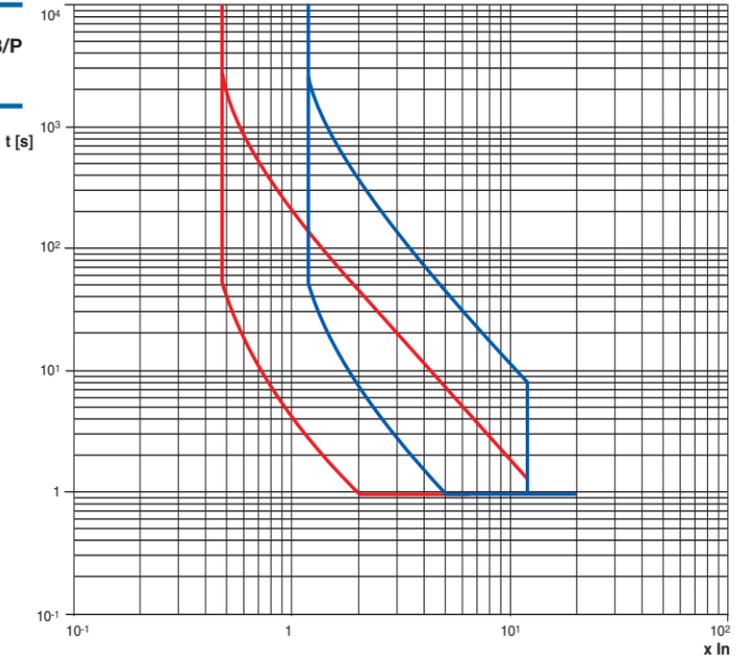
Emax

PR123/P
PR332/P- PR333/P

Tmax

PR332/P

Función L
(IEC 60255-3)



1SDC200120F0001

| | I1 | t1 |
|-----------------|---|------------------------------------|
| PR123/P | $(0.4 \dots 1) \times I_n$ con pasos de $0.01 \times I_n$ | $t1=3s \dots 144s$ con pasos de 3s |
| PR332/P-PR333/P | | (1) (@ $I=3 \times I_n$) |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | | |
|-----------------|-----------------------------|---|
| PR123/P | $1.05 \dots 1.2 \times I_n$ | $\pm 20 \% I_g > 5 \times I_1$ |
| PR332/P-PR333/P | | $\pm 30 \% 2 \times I_1 \leq I_g \leq 5 \times I_1 I_n$ |

(1) El valor mínimo de actuación es 1 s, independientemente del tipo de ajuste de la curva (autoprotección)

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

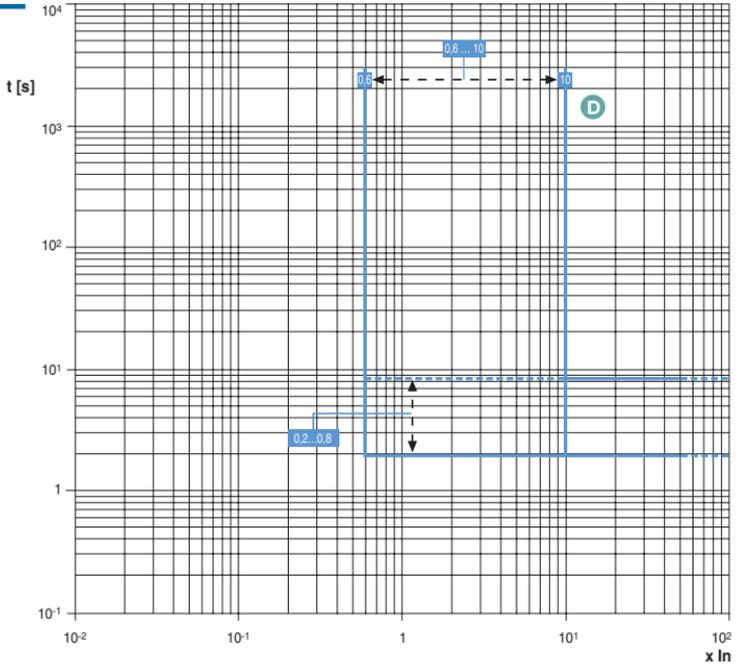
Relé PR 122/PR123 – Otras funciones de protección

Las curvas que se muestran a continuación hacen referencia a las funciones de protección en particular que incorporan PR122/PR123/PR332/PR333.

E_{max}

PR123/P
PR333/P

Función D



1SDCC00121F0001

| | I₇ | t₇ |
|---------|---|----------------------------|
| PR123/P | (0.6 ... 10 – OFF) $x I_n$ con pasos de 0.1 $x I_n$ | 0.2s ... 0.8s con pasos de |
| PR333/P | | 0.01s (@ $I > I_7$) |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | I₇ | t₇ |
|---------|----------------------|---------------------------|
| PR123/P | $\pm 10 \%$ | el mejor de los dos: |
| PR333/P | | $\pm 10 \%$ o ± 40 ms |

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

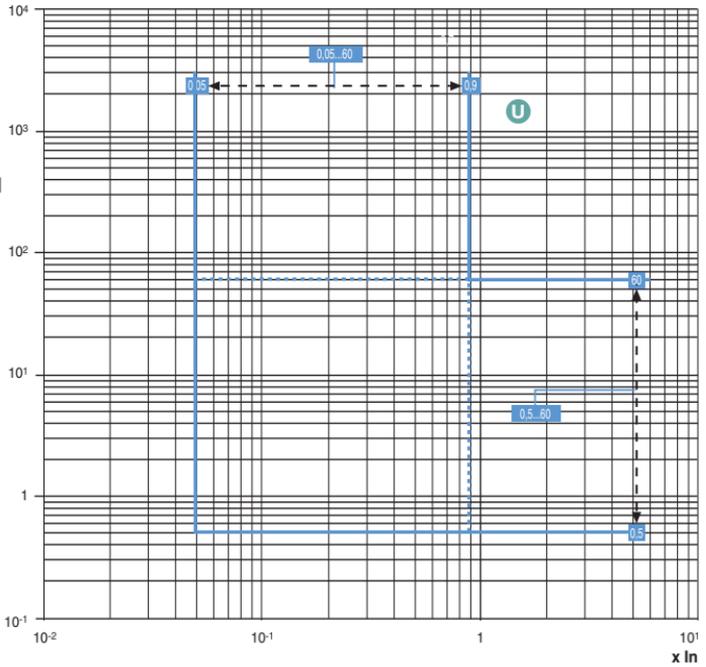
PR332/P-PR333/P
PR122/P-PR123/P

Tmax

PR332/P

Función U

t [s]



1SDC200122F0001

| | I6 | t6 |
|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| PR122/P-PR123/P PR332/P-PR333/P | (5%...90% – OFF) con pasos de 5% | 0.5 ... 60s con pasos de 0.5s |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | I6 | t6 |
|------------------------------------|-------------|---|
| PR122/P-PR123/P PR332/P-PR333/P | $\pm 10 \%$ | el mejor de los dos: $\pm 20 \% \text{ o } \pm 100 \text{ ms}$ |

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR332/P*-PR333/P
PR122/P**-PR123/P

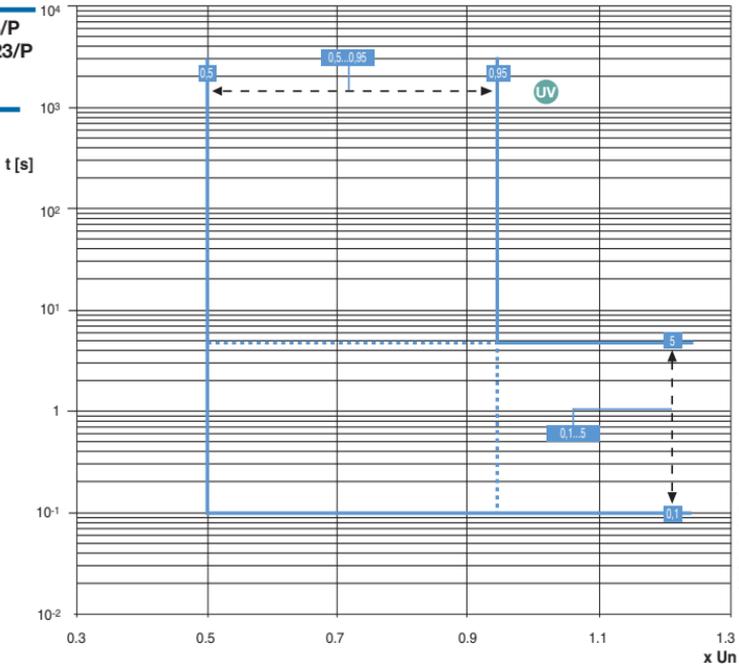
Tmax

PR332/P*

Función UV

*con PR330/V

**con PR120/V



1SDC200123F0001

| | U8 | t8 |
|-----------------|--|------------------------------|
| PR122/P-PR123/P | (0.5 ... 0.95 - OFF) x Un con pasos de 0.01 x Un | con $U < U_8$ |
| PR332/P-PR333/P | | 0.1 ... 5s con pasos de 0.1s |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | U8 | t8 |
|-----------------|-----------|----------------------|
| PR122/P | ± 5 % | el mejor de los dos: |
| PR332/P-PR333/P | | ± 20 % o ± 100 ms |
| PR123/P | ± 5 % | el mejor de los dos: |
| | | ± 20 % o ± 40 ms |

3 Características generales

Curva de actuación
de los relés electrónicos

Emax

PR332/P*-PR333/P
PR122/P**-PR123/P

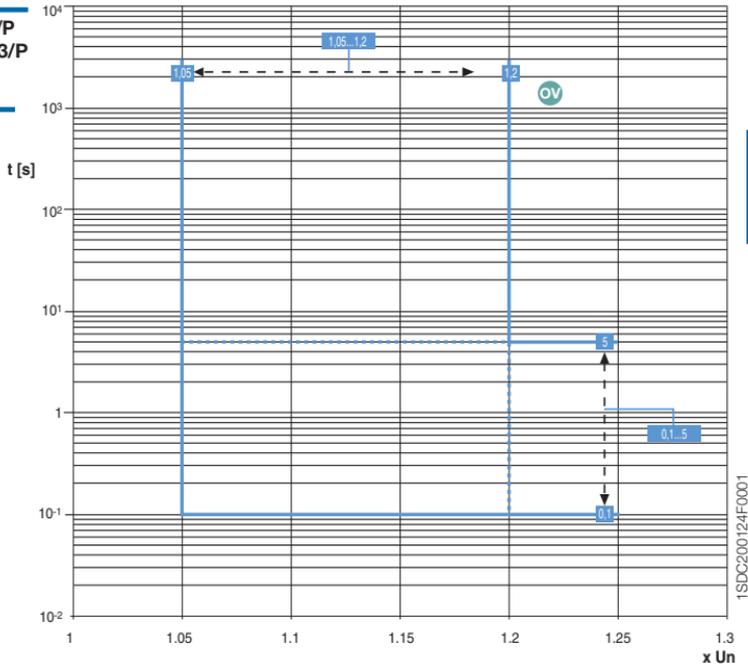
Tmax

PR332/P*

Función OV

*con PR330/V

**con PR120/V



| | U_9 | t_9 |
|-----------------|--|----------------------------------|
| PR122/P-PR123/P | (1.05 ... 1.2 - OFF) x U_n con pasos de 0.01 x U_n | con $U < U_9$ |
| PR332/P-PR333/P | | 0.1 s ... 5 s con pasos de 0.1 s |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | U_9 | t_9 |
|-----------------|------------|----------------------------|
| PR122/P | $\pm 5 \%$ | el mejor de los dos: |
| PR332/P-PR333/P | | $\pm 20 \%$ o ± 100 ms |
| PR123/P | $\pm 5 \%$ | el mejor de los dos: |
| | | $\pm 20 \%$ o ± 40 ms |

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR332/P*-PR333/P
PR122/P**-PR123/P

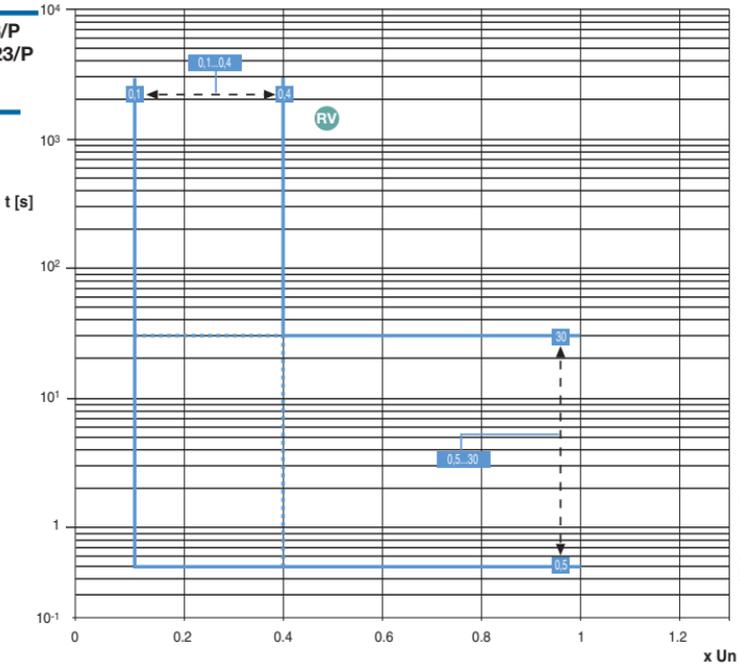
Tmax

PR332/P*

Función RV

*con PR330/V

**con PR120/V



| | U10 | t10 |
|-----------------|---|--------------------------------|
| PR122/P PR123/P | (0.1 ... 0.4 - OFF) x Un con pasos de 0.05 x Un | con $U < U_{10}$ |
| PR332/P PR333/P | | 0.5s ... 30s con pasos de 0.5s |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | U10 | t10 |
|-----------------|------------|----------------------|
| PR122/P PR123/P | ± 5 % | el mejor de los dos: |
| PR332/P PR333/P | | ± 10 % o ± 100 ms |

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR332/P*-PR333/P
PR122/P**-PR123/P

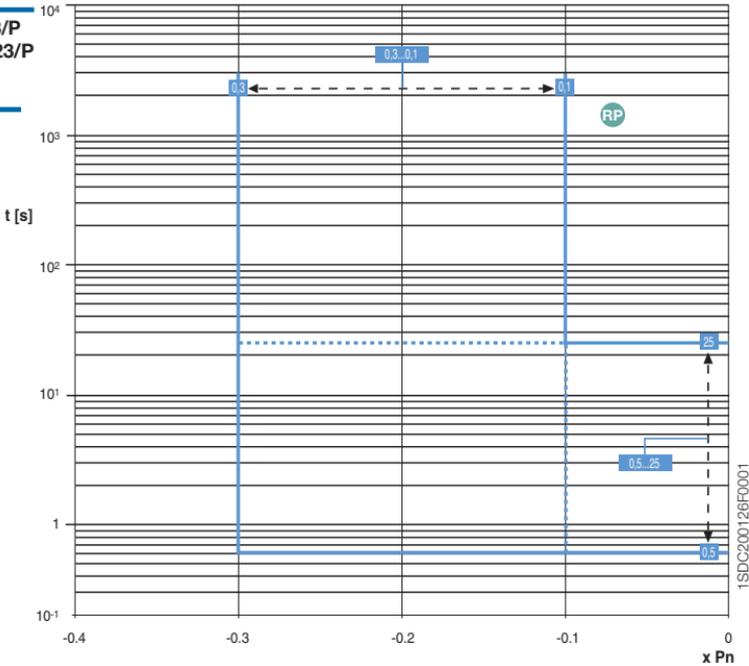
Tmax

PR332/P*

Función RP

*con PR330/V

**con PR120/V



| | P11 | t11 |
|---------|---|-------------------------------|
| PR122/P | (-0.3 ... -0.1 - OFF) x Pn con pasos de 0.02 x Pn | con $P < P_{11}$ |
| PR123/P | | 0.1 ... 25s con pasos de 0.1s |

A continuación se indican los valores de tolerancia:

| | P11 | t11 |
|-----------------|------------|----------------------|
| PR122/P-PR332/P | ± 5 % | el mejor de los dos: |
| PR123/P-PR333/P | 10 % | ± 10% o ± 100 ms |

3 Características generales

Ejemplo de regulación de un relé electrónico

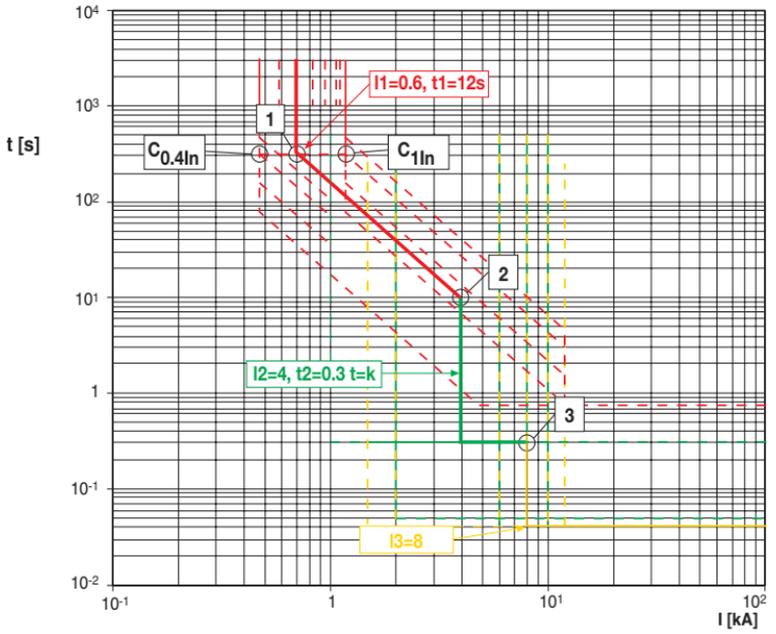
Tomando como ejemplo un interruptor automático tipo E1B1000 equipado con un relé PR121/P LSI y con un TA de 1000, se supone que por exigencias del sistema, las funciones de protección se deben regular según los siguientes ajustes:

| | | |
|---|--------|--------|
| L | I1=0.6 | t1=12s |
| S | I2=4 | t2=0.3 |
| I | I3=8 | |

La curva de actuación del relé está representada en la siguiente figura (líneas continuas). Se puede observar que:

- para la función L, la curva está representada por el valor intermedio entre las tolerancias contempladas por la norma (la función de protección contra sobrecargas no debe actuar en valores de corriente inferiores a $1.05 \cdot I_n$, y debe actuar en valores dentro de $1.3 \cdot I_n$); por tanto, en correspondencia con $1.175 \cdot I_n$ (aprox. 700 A);
- gráficamente, el punto **1** se obtiene de la intersección entre el tramo vertical de la función L y el segmento horizontal ($C_{0.4I_n} - C_{1I_n}$), que une los puntos referentes al mismo t_1 , tomados de las curvas con configuración $0.4 \cdot I_n$ y $1 \cdot I_n$;
- en correspondencia al punto **2** (4000 A), la función S toma el lugar de la función L, dado que el tiempo de actuación de la función S es inferior al tiempo de actuación de la función L;
- de la misma forma que ocurre con el punto **2**, el punto **3** (8000 A) y en adelante, la función I sustituye a la función S.

3 Características generales

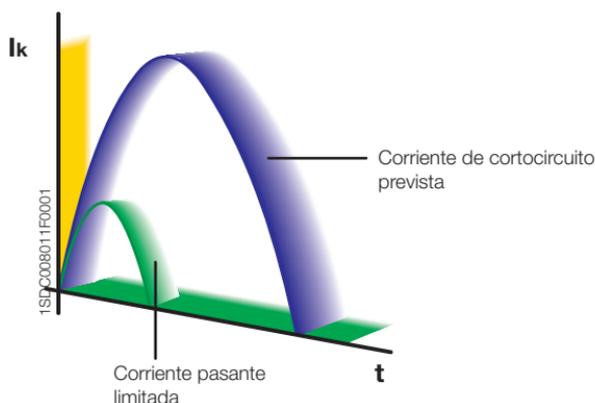


1SDCC08010F0001

3 Características generales

3.3 Curvas de limitación

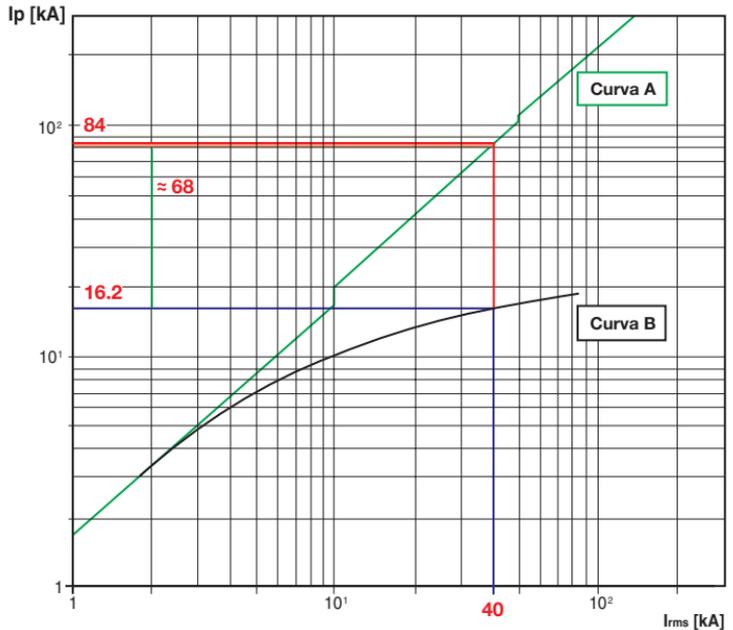
Un interruptor automático cuya apertura de contactos se efectúa después del paso de la cresta de la corriente de cortocircuito o cuya interrupción se cumple en correspondencia con el paso natural de la corriente por cero, permite que los componentes de la instalación sufran solicitaciones elevadas, tanto térmicas como dinámicas. Para reducir dichas solicitaciones, han sido diseñados los interruptores automáticos limitadores (véase Capítulo 2.2 "Definiciones principales") en condiciones de iniciar la maniobra de apertura antes de que la corriente de cortocircuito alcance la primera cresta y extinguir rápidamente el arco entre los contactos; la siguiente figura esquematiza las formas de onda de la corriente de cortocircuito prevista y la limitada.



La figura siguiente indica el desarrollo de la curva de limitación del interruptor automático Tmax T2L 160, $I_n = 160$ A. En las abscisas del diagrama se indica el valor eficaz de la corriente simétrica prevista de cortocircuito y en las ordenadas se indica el valor de cresta de la corriente de cortocircuito. El efecto de limitación se puede evaluar comparando, para valores iguales de la corriente simétrica de defecto, el valor de cresta correspondiente a la corriente prevista de cortocircuito (curva A) con el valor de cresta limitado (curva B).

3 Características generales

El interruptor automático T2L 160 con relé magnetotérmico $I_n = 160$ A a la tensión de 400 V, para una corriente de defecto de 40 kA, limita la corriente de cortocircuito a 16.2 kA, con una reducción aproximada de 68 kA con respecto al valor de cresta que se tendría en ausencia de limitación de 84 kA.



Dado que los esfuerzos electrodinámicos y las consecuentes sollicitaciones mecánicas están estrictamente vinculadas a la cresta de la corriente, la utilización de los interruptores automáticos limitadores permite un óptimo dimensionamiento de los componentes de la instalación eléctrica; asimismo, la limitación de corriente se utiliza para realizar la protección de acompañamiento (back-up) entre dos interruptores automáticos conectados en serie.

3 Características generales

Además de las ventajas a nivel de diseño, la utilización de interruptores automáticos limitadores de corriente permite, en los casos contemplados por la norma IEC 60439-1, evitar los ensayos de resistencia al cortocircuito de los cuadros; de hecho, dicha norma –en el apartado 8.2.3.1 “Circuitos de los CONJUNTOS que están exentos de la verificación de la resistencia a los cortocircuitos”–, afirma que:

“No es necesaria la verificación de la resistencia a los cortocircuitos en los casos siguientes...

Para los CONJUNTOS protegidos por dispositivos limitadores de corriente que tengan una corriente de corte que no supere los 17kA de cresta, considerando la máxima corriente prevista de cortocircuito admisible en los bornes del circuito de entrada al CONJUNTO...”

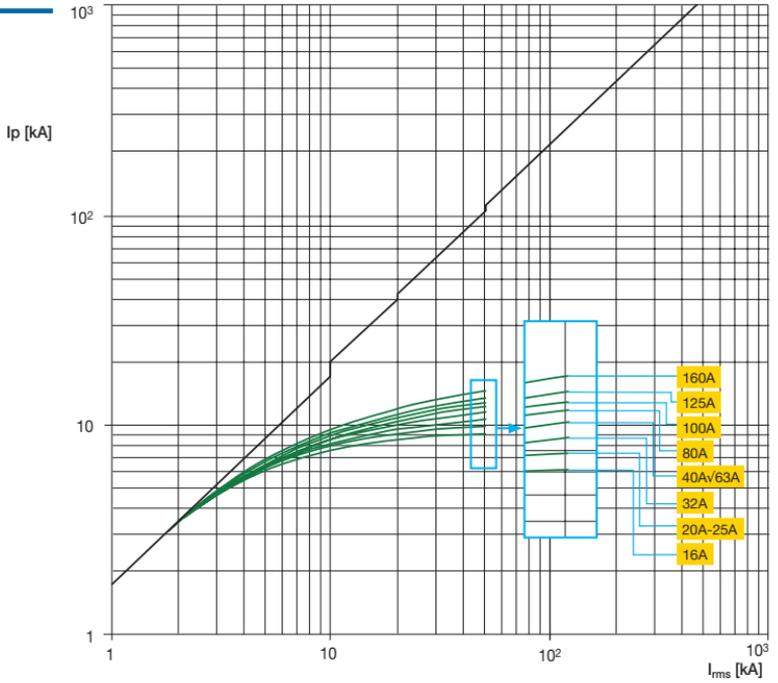
El ejemplo anterior está incluido en los casos contemplados por la norma; si el referido interruptor automático se utilizara como interruptor general de un cuadro destinado a instalarse en un punto de la instalación en el cual la corriente de cortocircuito prevista es de 40 kA, no haría falta realizar el ensayo de resistencia al cortocircuito.

3 Características generales

Curvas de limitación

T1 160

230 V



1SDC210061F0004

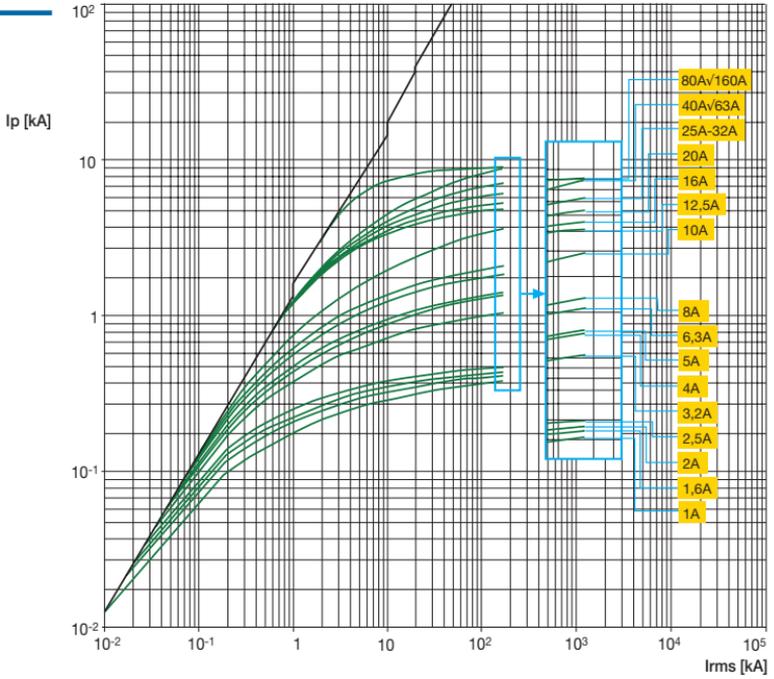
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T2 160

230 V



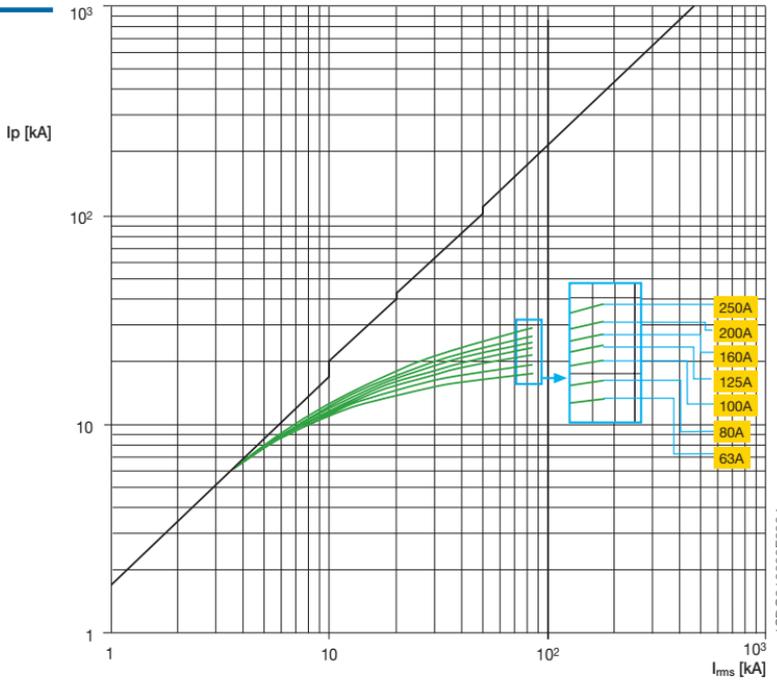
1SDC210062F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T3 250

230 V



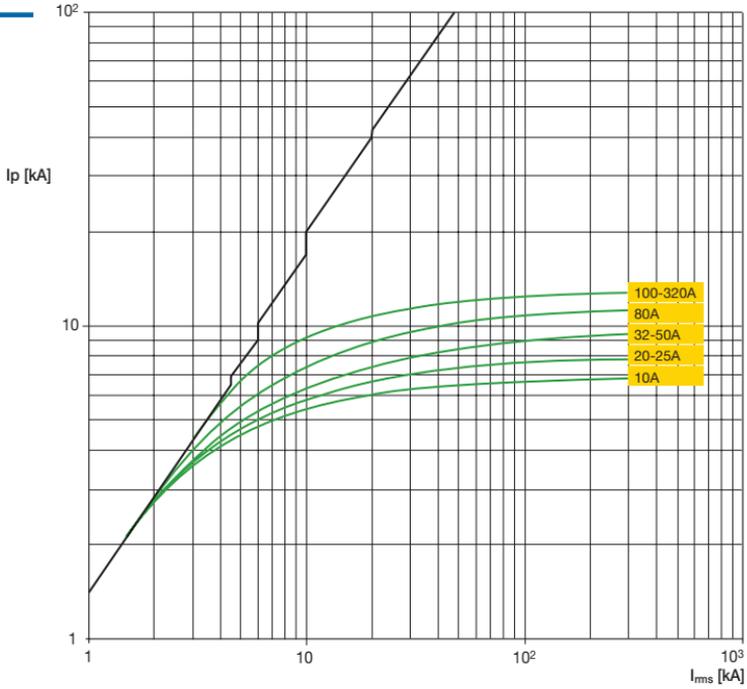
1SDC210063F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250/320

230 V



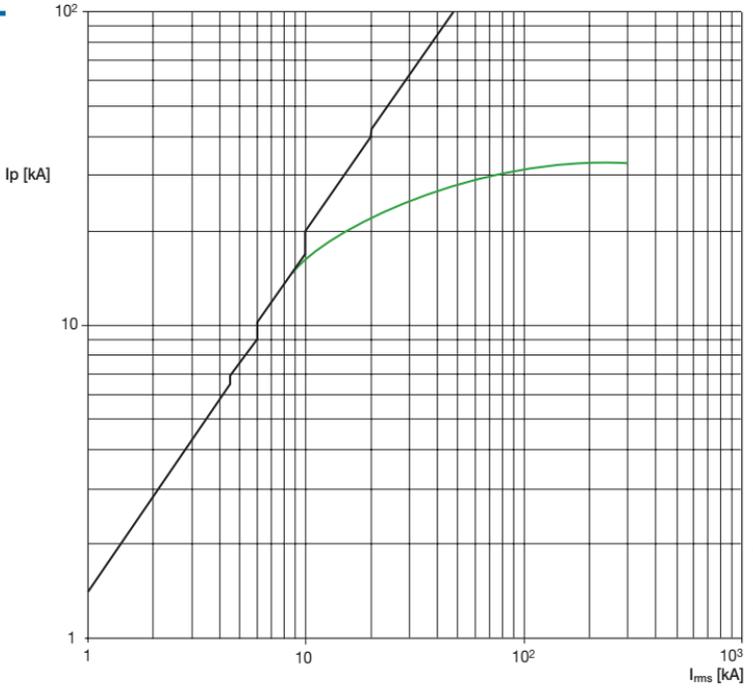
1SDC200127F0001

3 Características generales

Curvas de limitación

T5 400/630

230 V



1SDC200500F0001

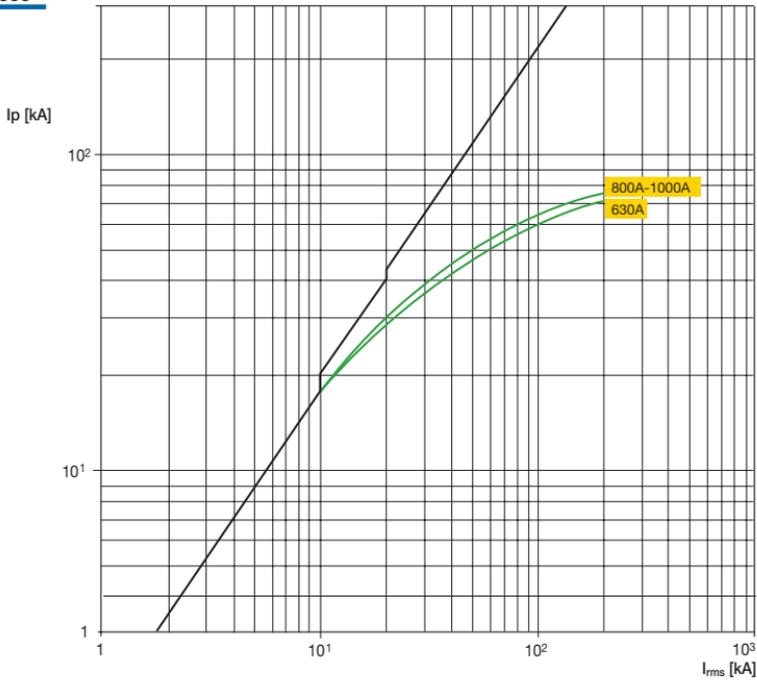
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T6 630/800/1000

230 V



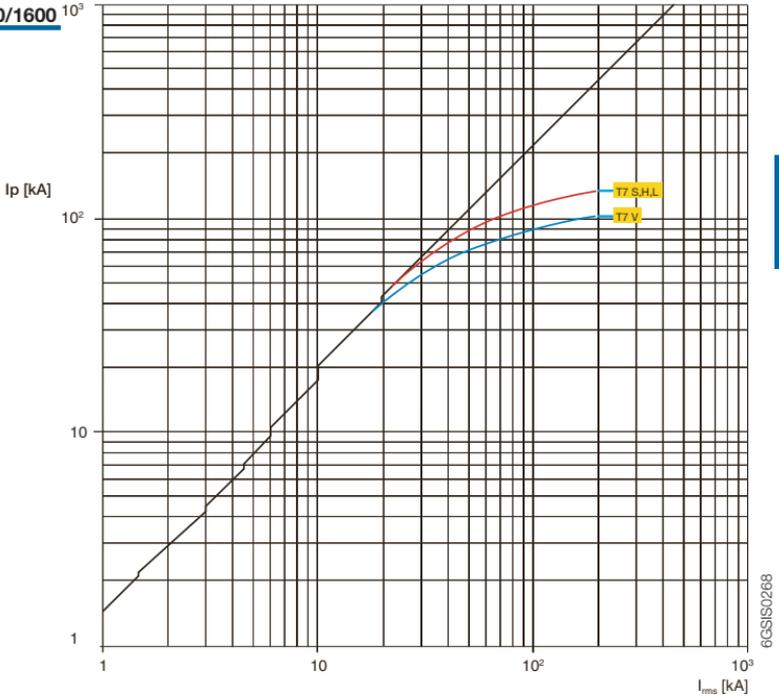
1SDC200555F0001

3 Características generales

Curvas de limitación

T7**800/1000/1250/1600** 10^3

230 V



6CSIS0268

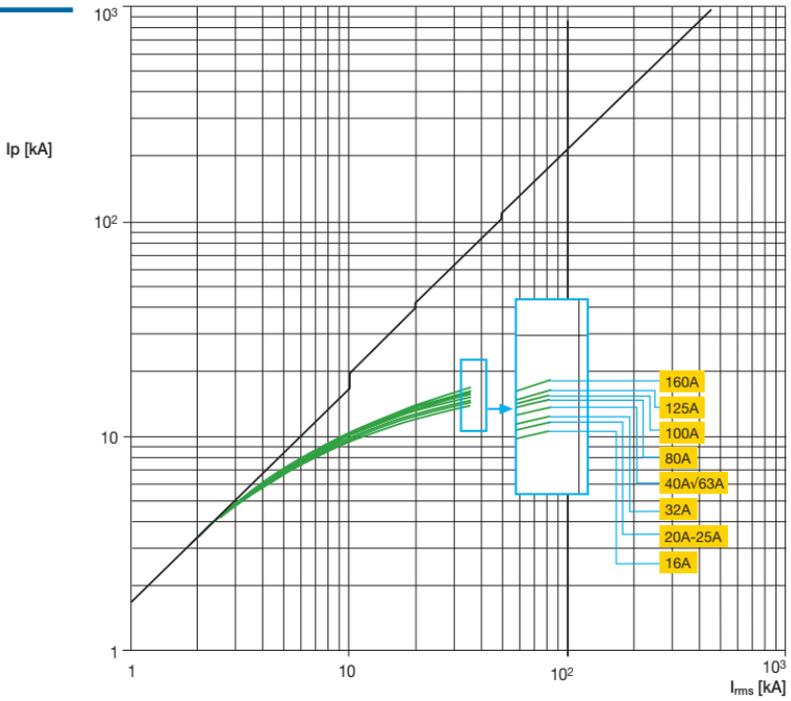
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T1 160

400-440 V



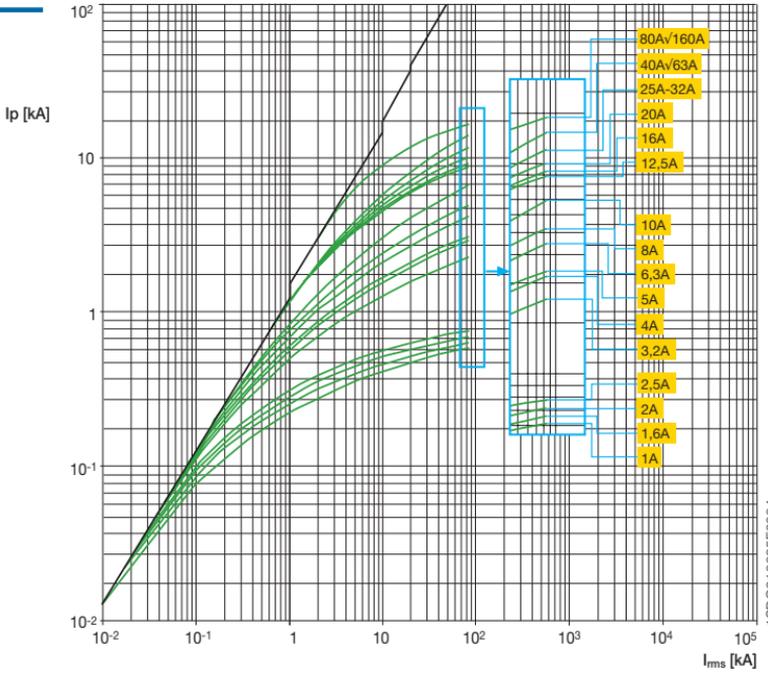
1SDC210064F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T2 160

400-440 V



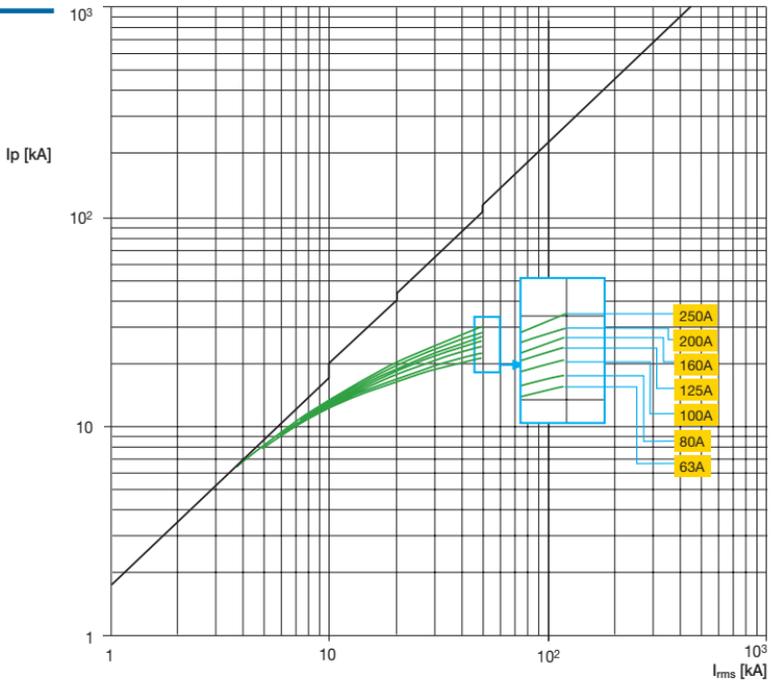
1SDC210065F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T3 250

400-440 V



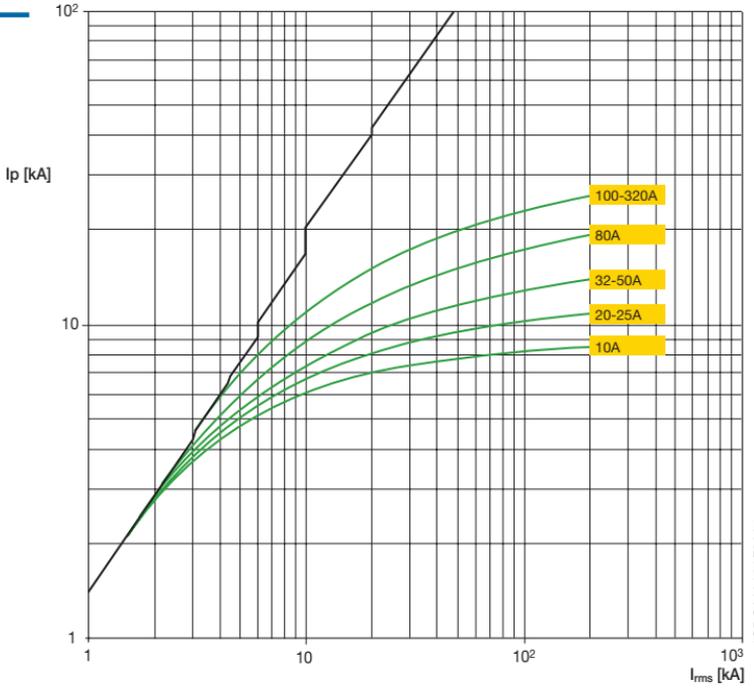
1SDC210066F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250/320

400-440 V



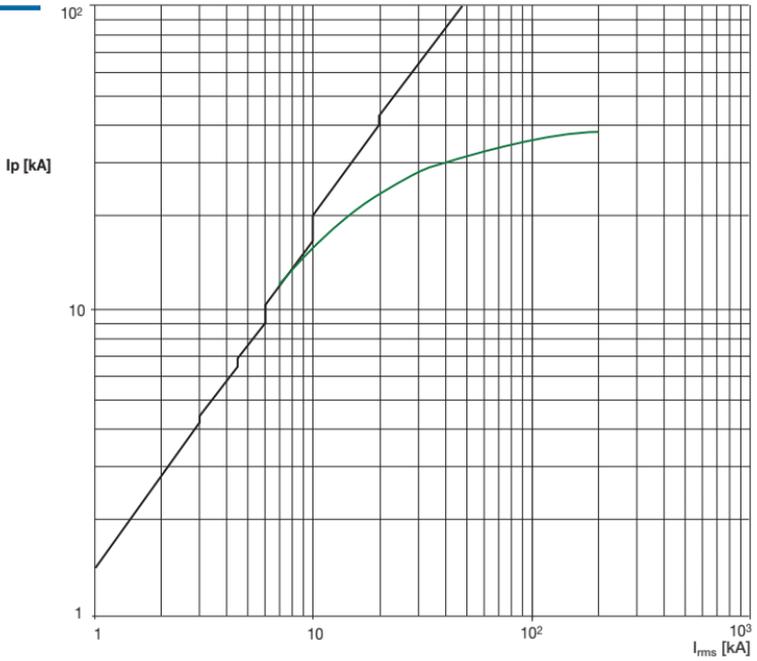
1SDC200128F0001

3 Características generales

Curvas de limitación

T5 400/630

400-440 V



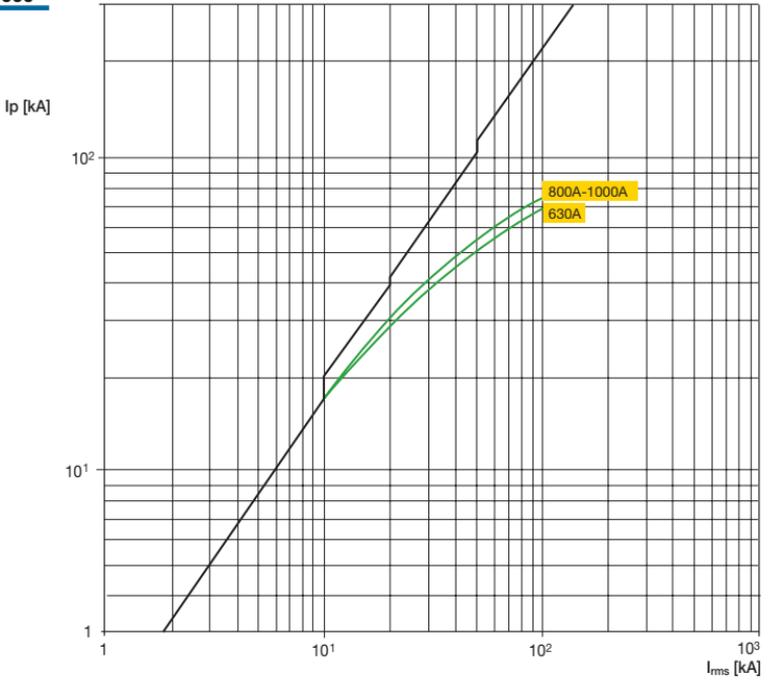
1SDC210024F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T6 630/800/1000

400-440 V



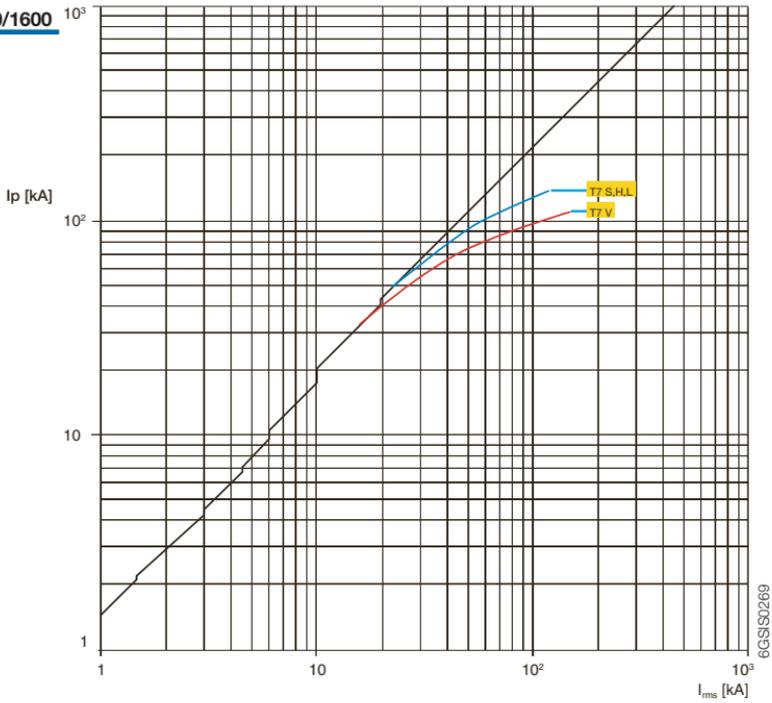
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T7**800/1000/1250/1600**

400-440 V



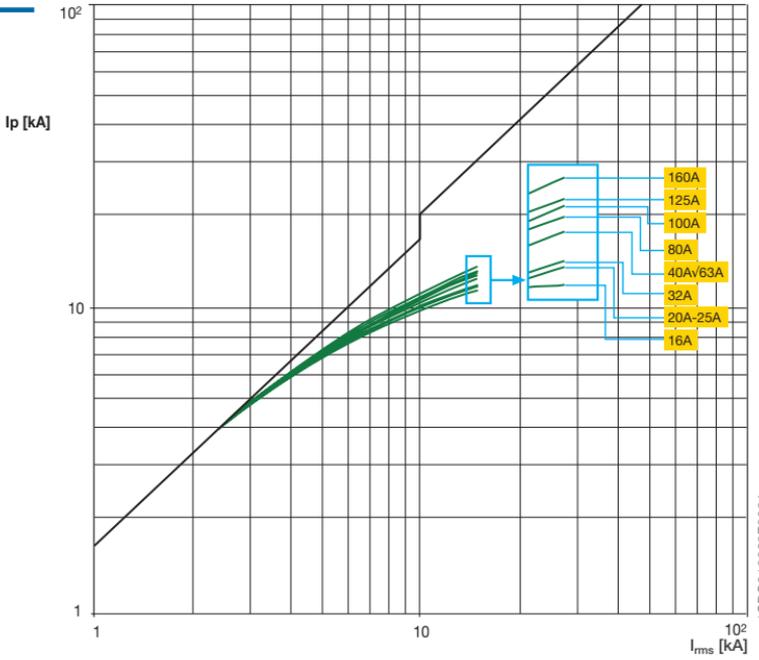
6G5S0269

3 Características generales

Curvas de limitación

T1 160

500 V

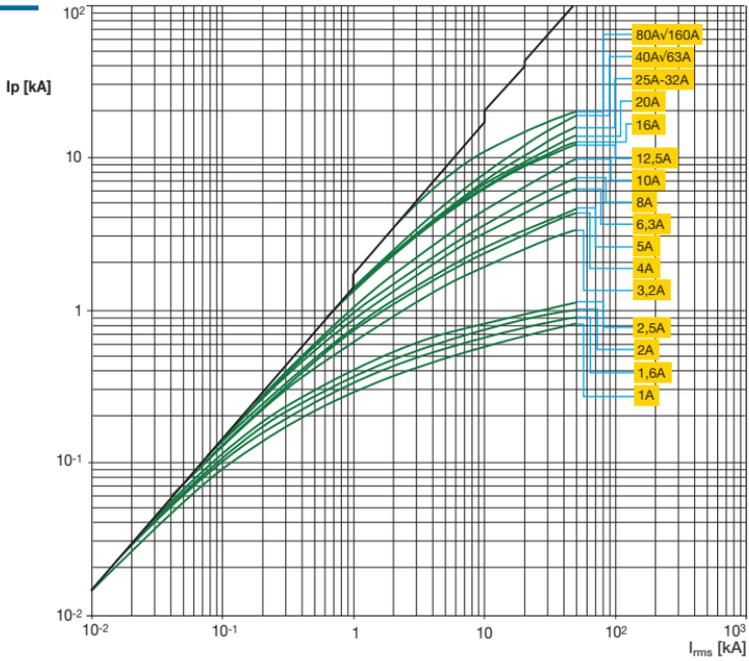


3 Características generales

Curvas de limitación

T2 160

500 V



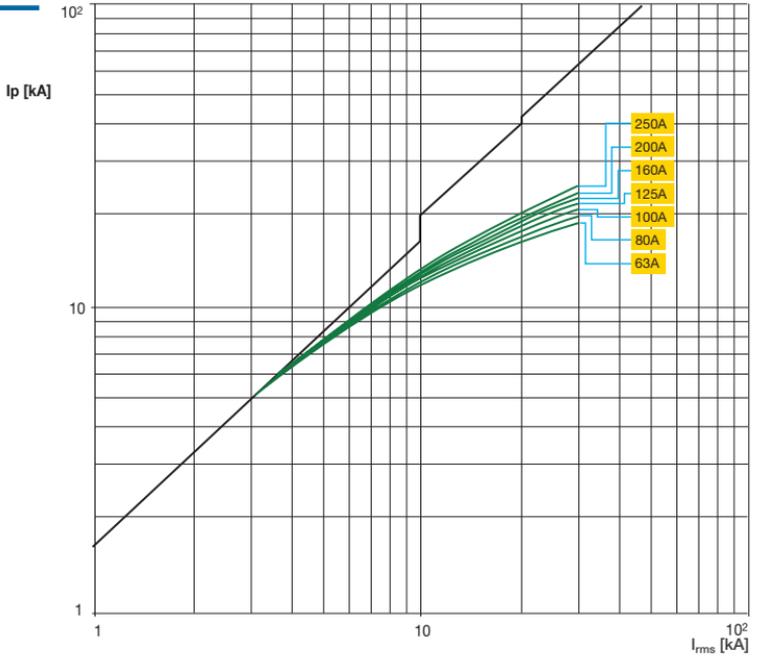
1SDC210030F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T3 250

500 V

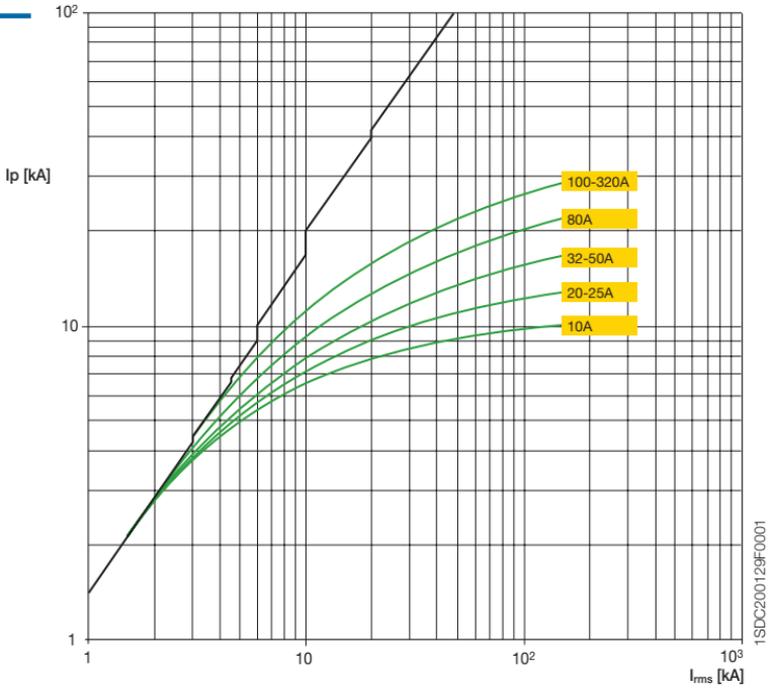


3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250/320

500 V

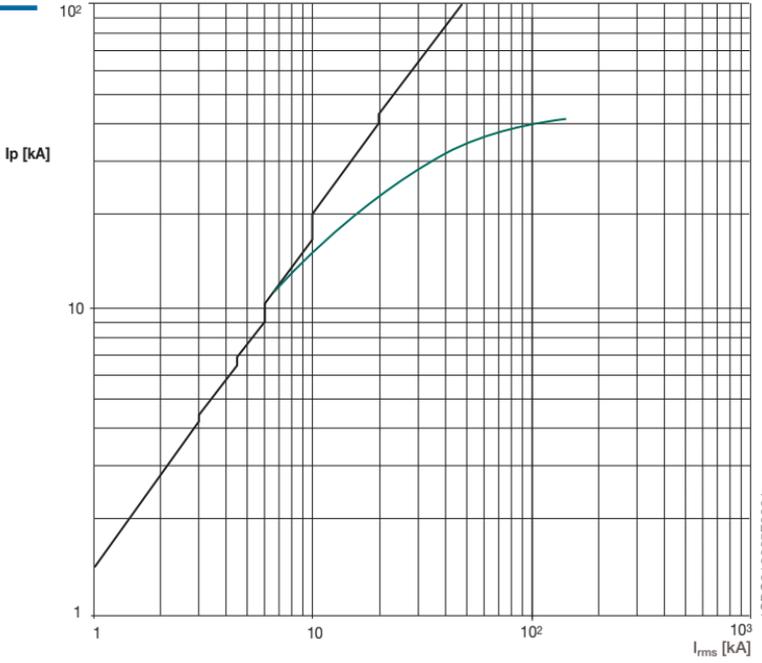


3 Características generales

Curvas de limitación

T5 400/630

500 V



1SDC210025F0004

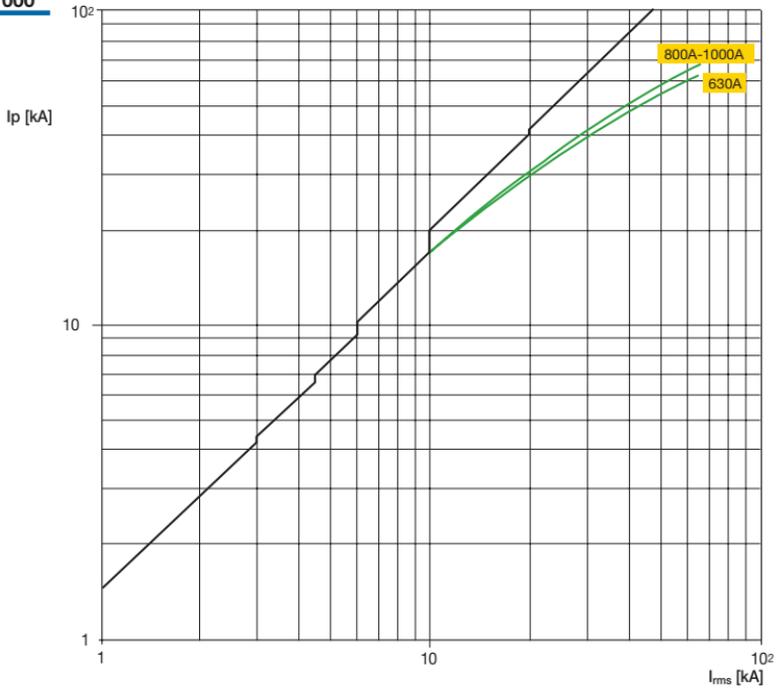
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T6 630/800/1000

500 V

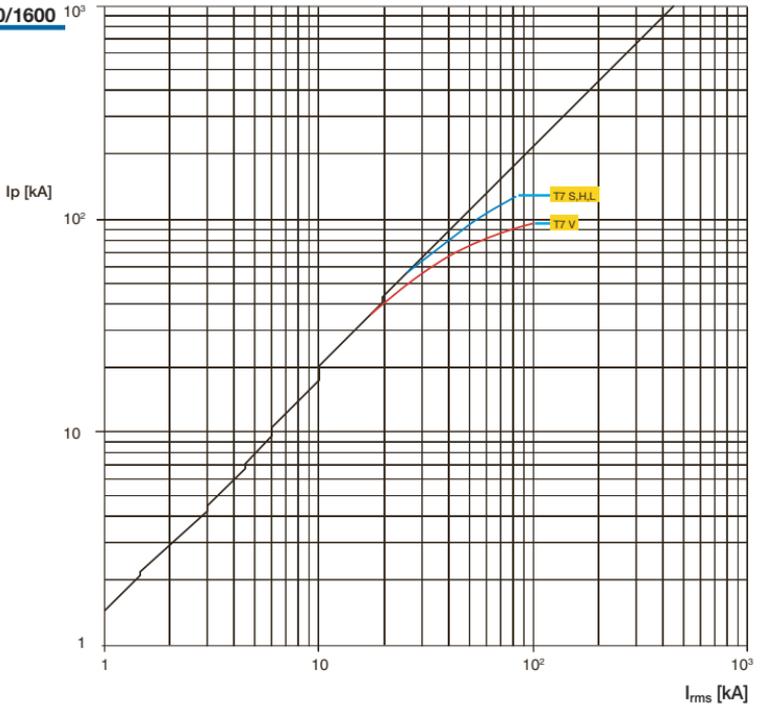


3 Características generales

Curvas de limitación

T7**800/1000/1250/1600**

500 V



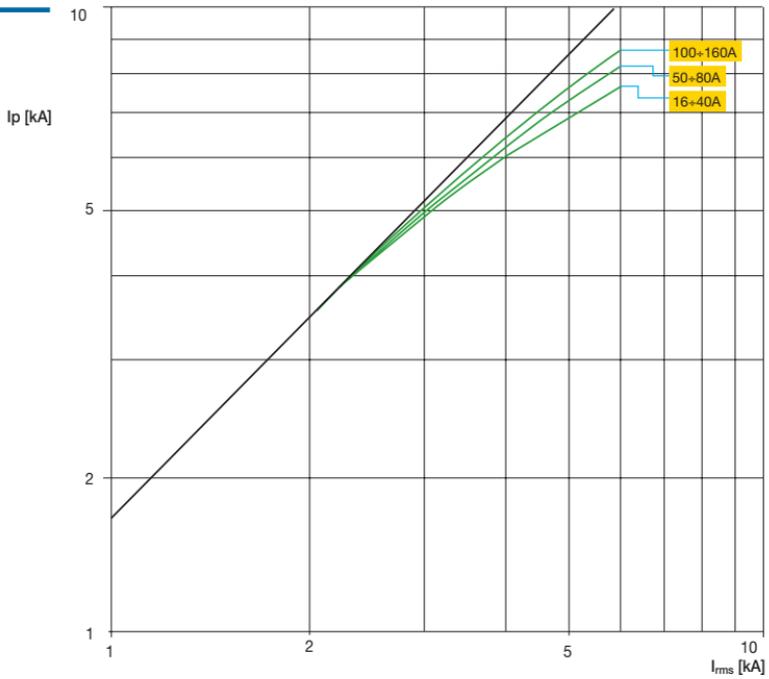
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T1 160

690 V



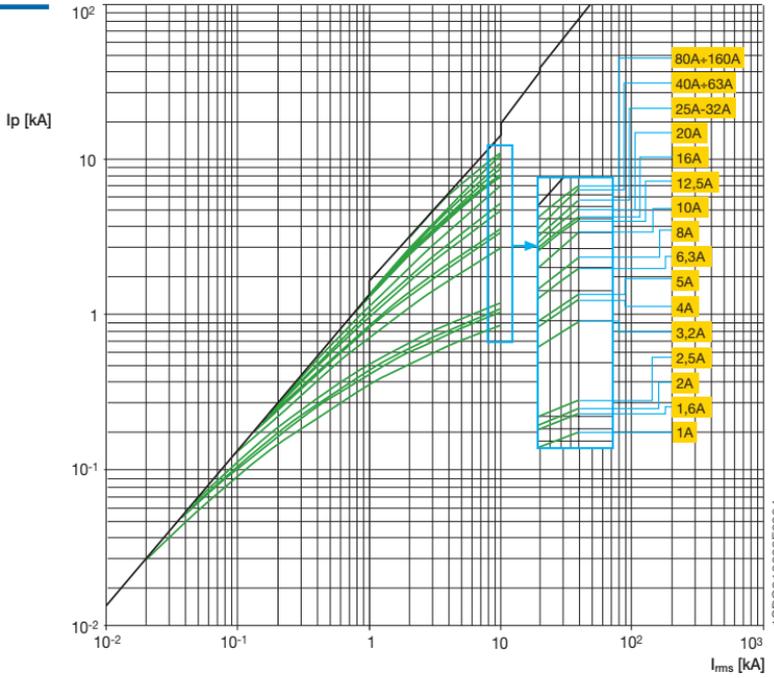
1SDC210067F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T2 160

690 V



1SDC210088F0004

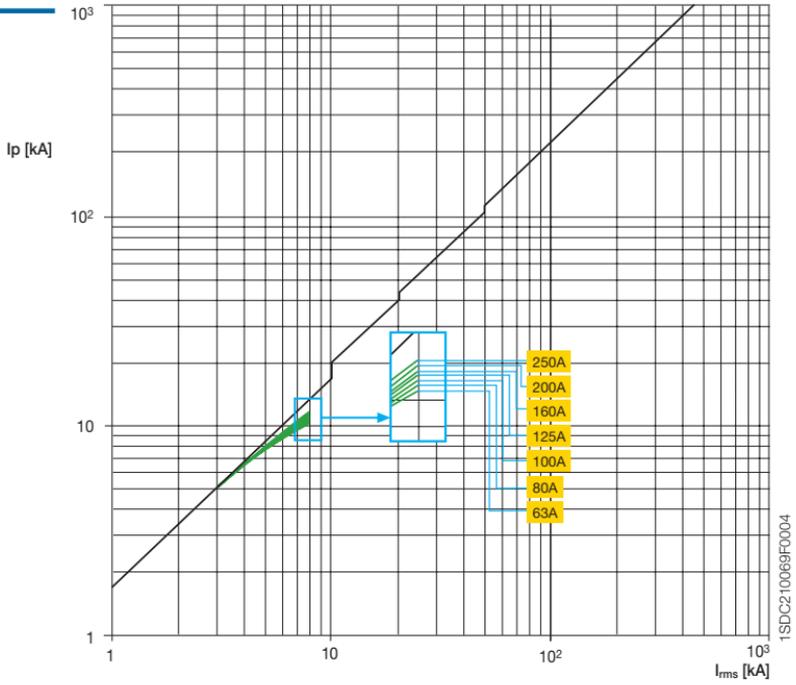
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T3 250

690 V

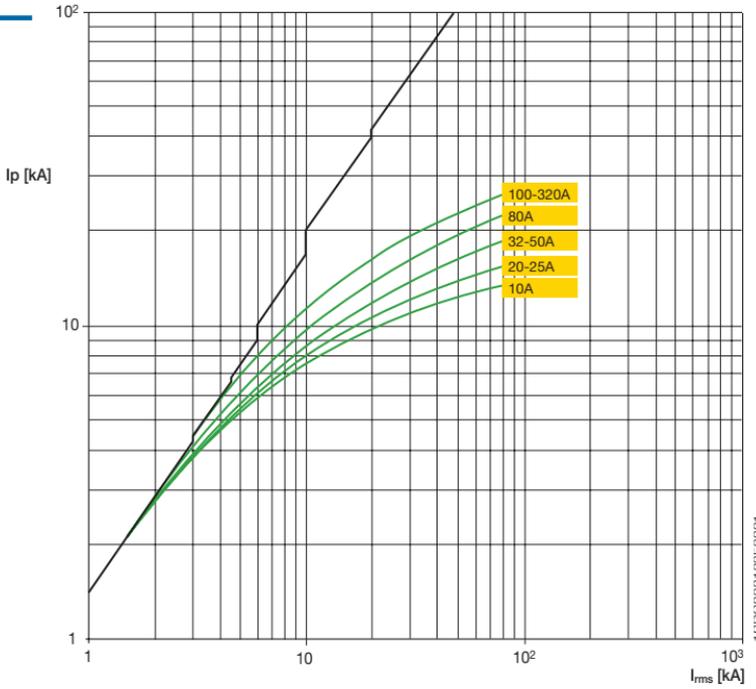


3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250/320

690 V



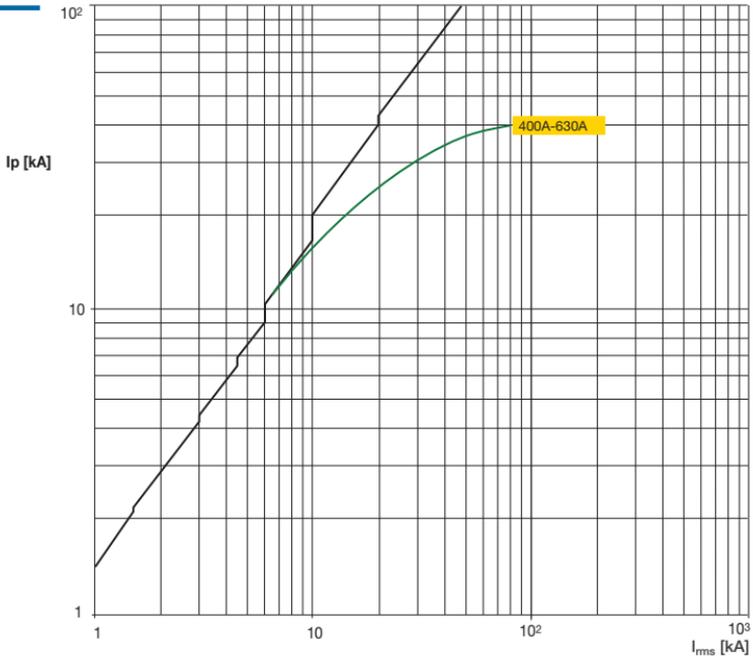
TSDC200130F-0001

3 Características generales

Curvas de limitación

T5 400/630

690 V



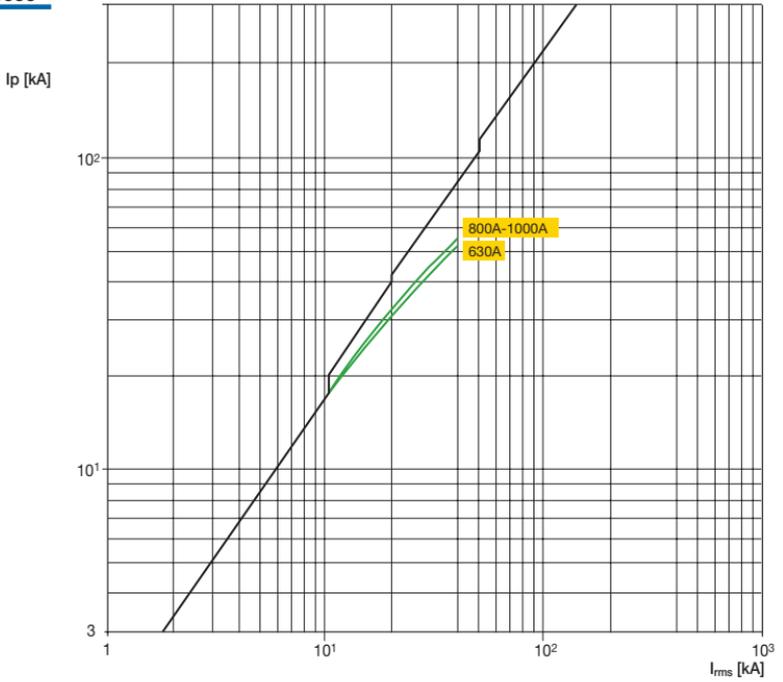
1SDC210026F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T6 630/800/1000

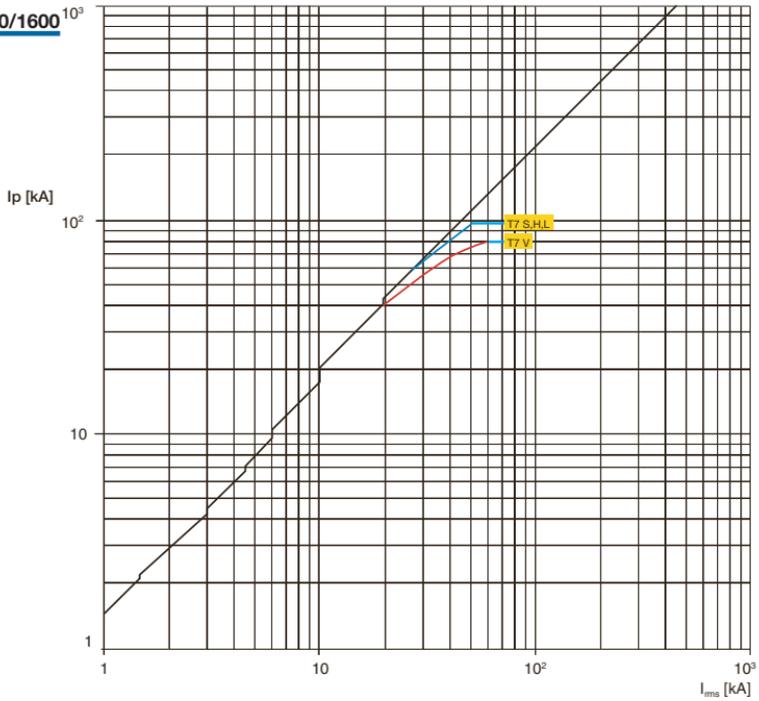
690 V



3 Características generales

Curvas de limitación

T7
800/1000/1250/1600¹⁰³
 690 V

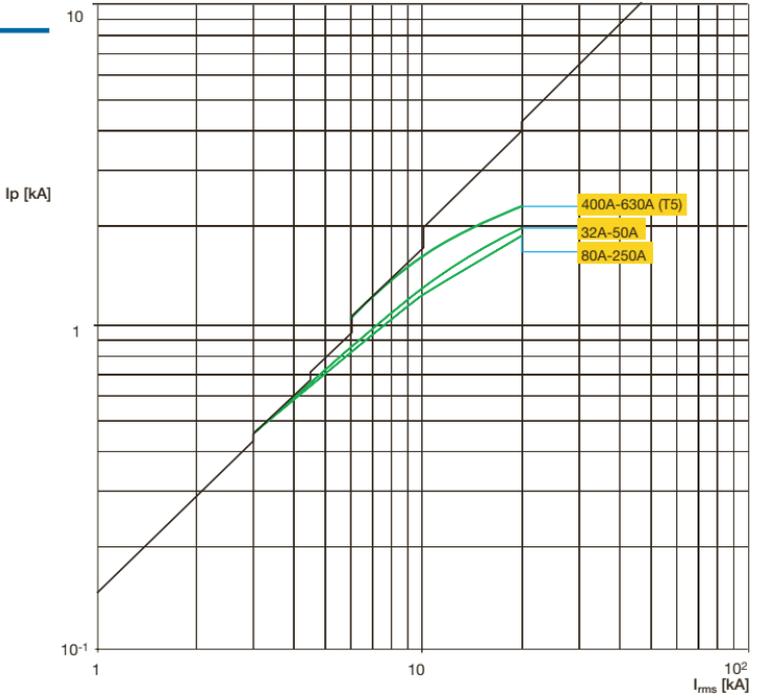


3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250**T5 400/630**

1000 V



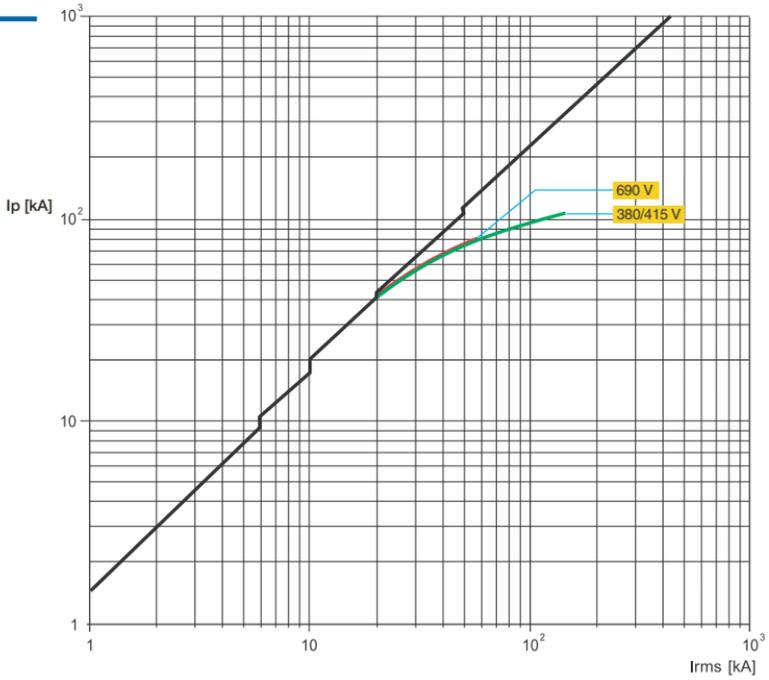
1

3 Características generales

Limitation curves

X1L

690 V ~
380/415 V ~



1SDC210038F0004

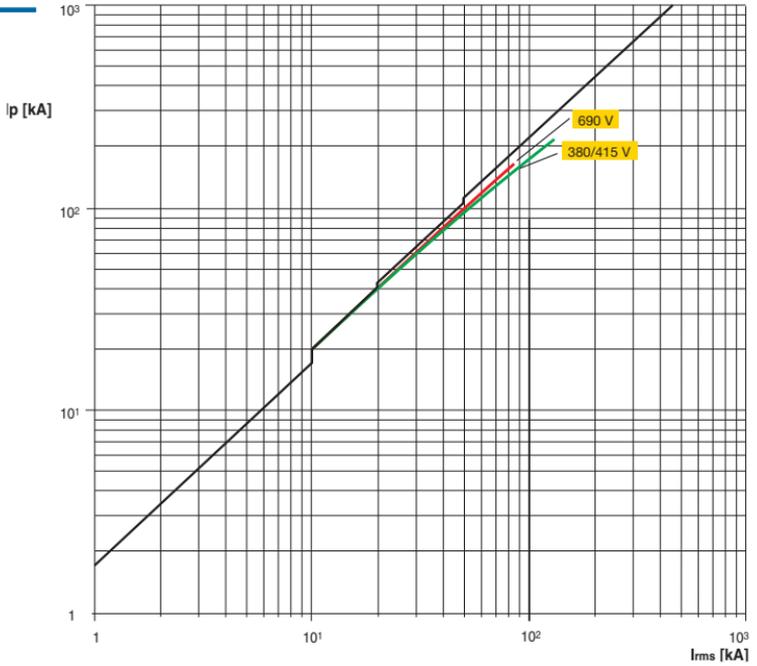
3 Características generales

Curvas de limitación

E2L

690 V ~

380/415 V ~



1SDC200092F0001

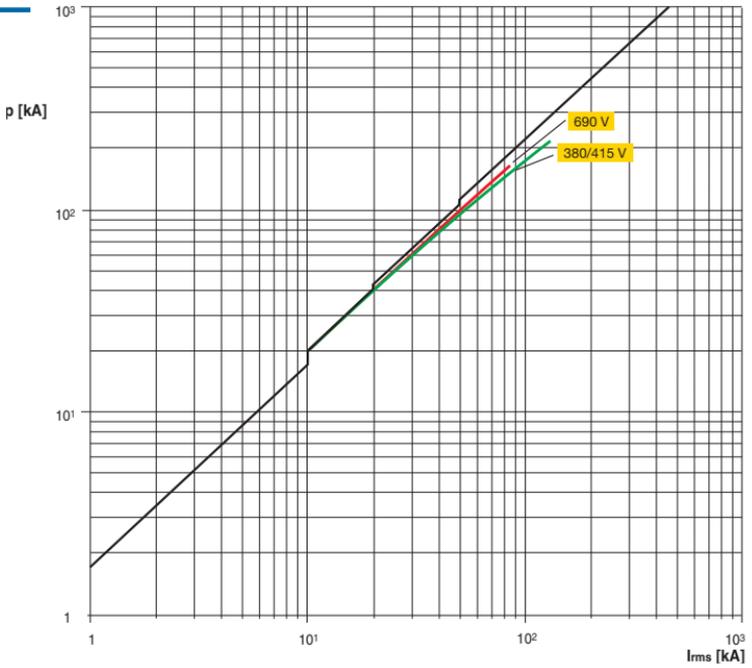
1

3 Características generales

Curvas de limitación

E3L

690 V ~
380/415 V ~



1SDC200094F0001

3 Características generales

3.4 Curvas de energía específica pasante

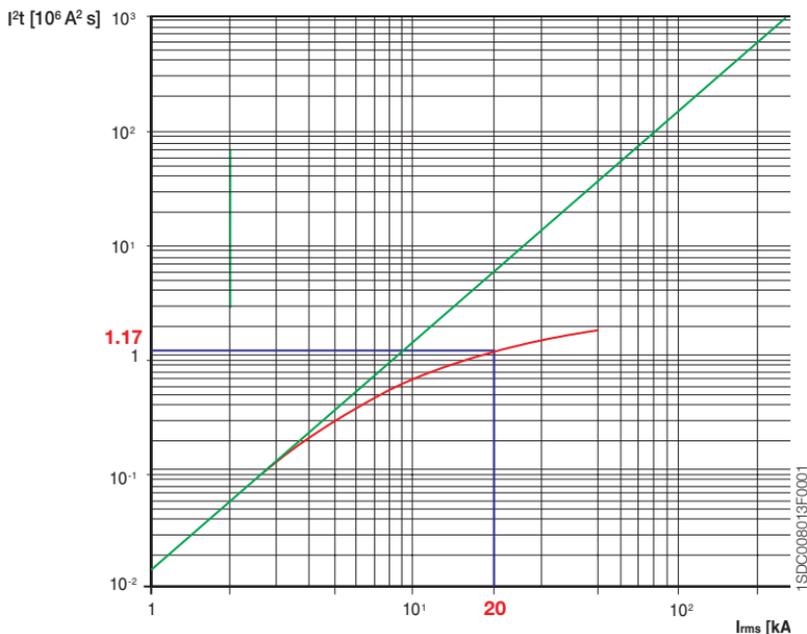
En caso de cortocircuito, las partes de una instalación involucrada en el defecto se someten a solicitaciones térmicas proporcionales, tanto al cuadrado de la corriente de defecto como al tiempo empleado por las protecciones para interrumpirla. La energía que deja pasar el dispositivo de protección durante la actuación del mismo se denomina "energía específica pasante" (I^2t), medida en A^2s . El conocimiento del valor de la energía específica pasante en las diversas condiciones de defecto es fundamental para el dimensionamiento y la protección de las diversas partes de la instalación.

El efecto de la limitación y los tiempos de actuación sumamente reducidos influyen sobre el valor de la energía específica pasante. Para aquellos valores de corriente para los cuales la actuación del interruptor está regulada por la temporización del relé, el valor de la energía específica pasante se obtiene multiplicando el cuadrado de la corriente eficaz de defecto por el tiempo que hace falta para la actuación de la protección; en los demás casos, el valor de la energía específica pasante puede obtenerse a través de las siguientes gráficas.

A continuación se indica un ejemplo de lectura de la gráfica de la curva de energía específica pasante del interruptor automático T3S 250 In = 160 A a una tensión de 400 V.

En las abscisas se indica la corriente simétrica prevista de cortocircuito y en las ordenadas se indican los valores de la energía específica pasante expresados en $(kA)^2s$.

En correspondencia de una corriente de cortocircuito igual a 20 kA, el interruptor automático deja pasar un valor de I^2t igual a 1,17 $(kA)^2s$ (1170000 A^2s).

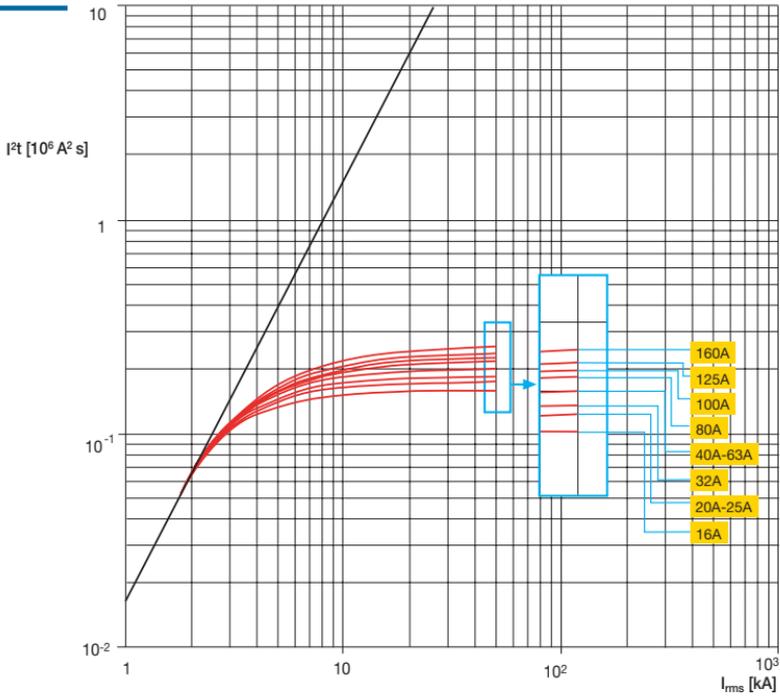


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T1 160

230 V



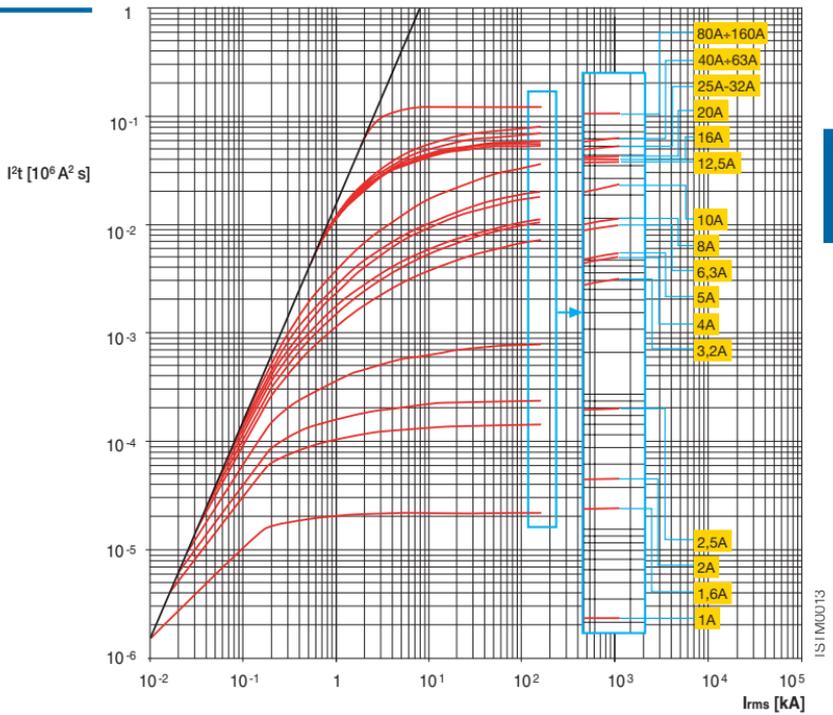
1SDC210052F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T2 160

230 V



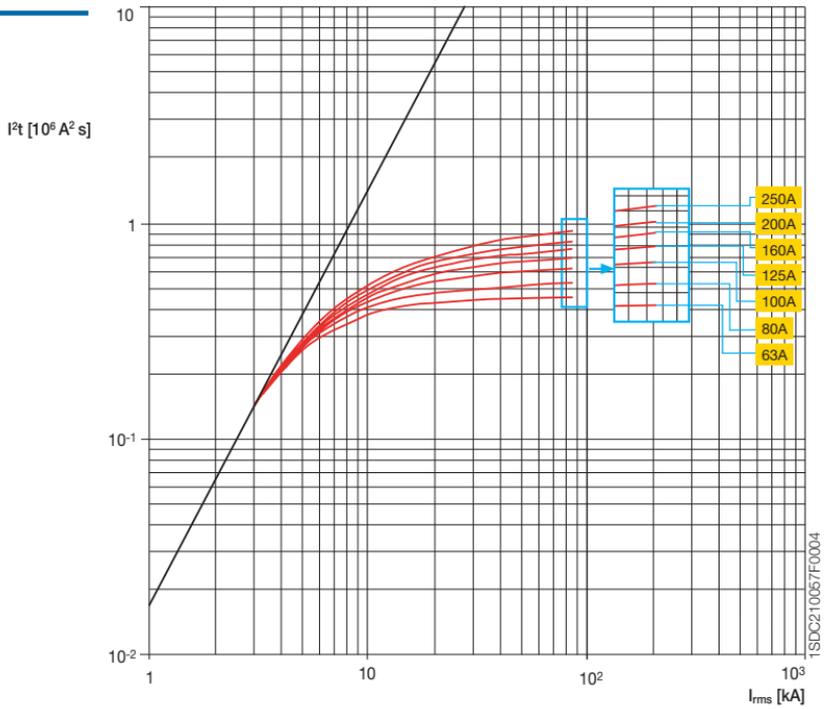
IS11M0013

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T3 250

230 V



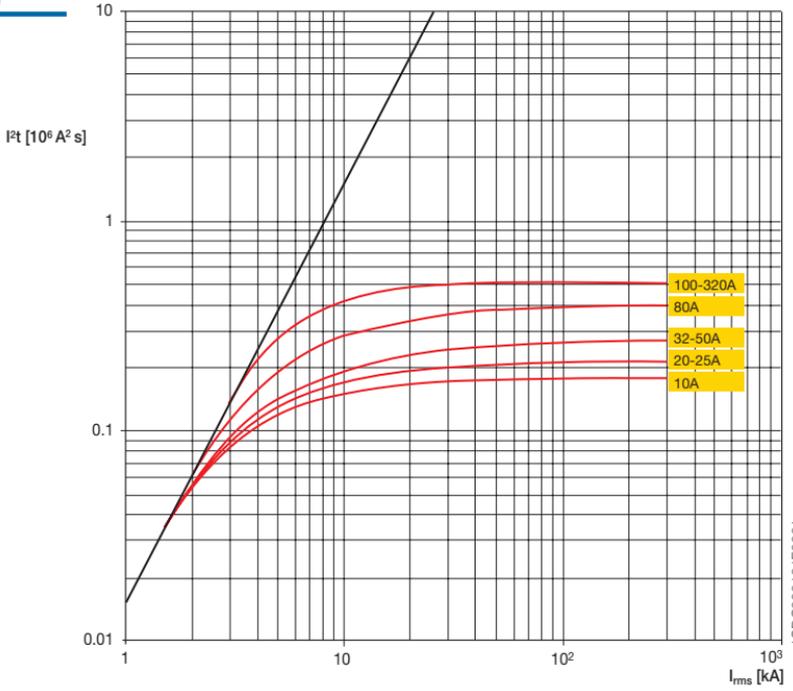
1SDC210057F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T4 250/320

230 V

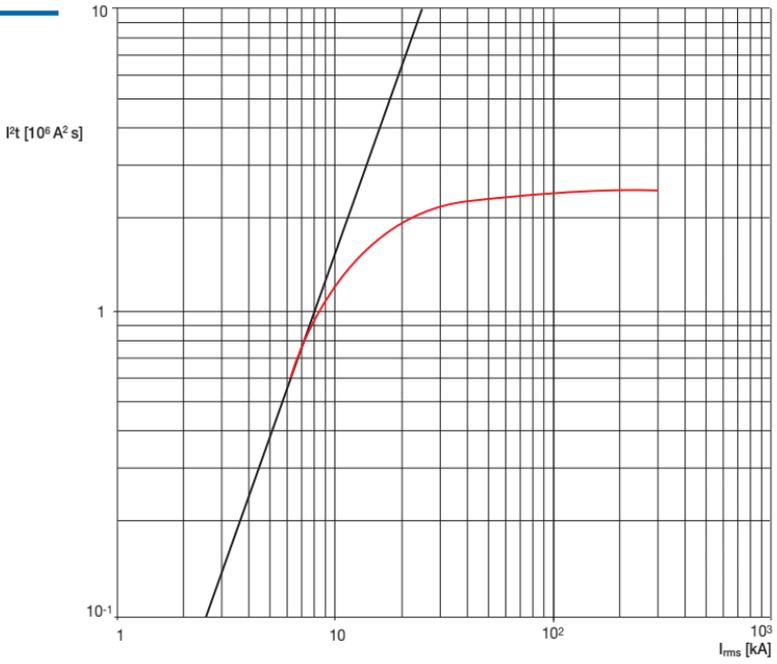


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T5 400/630

230 V



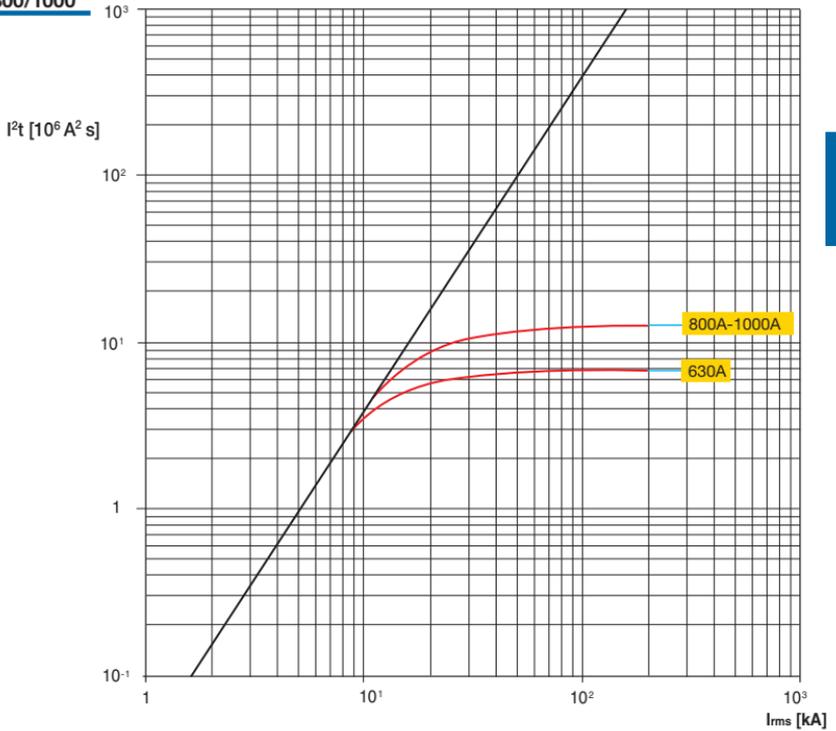
1SDC210019F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T6 630/800/1000

230 V

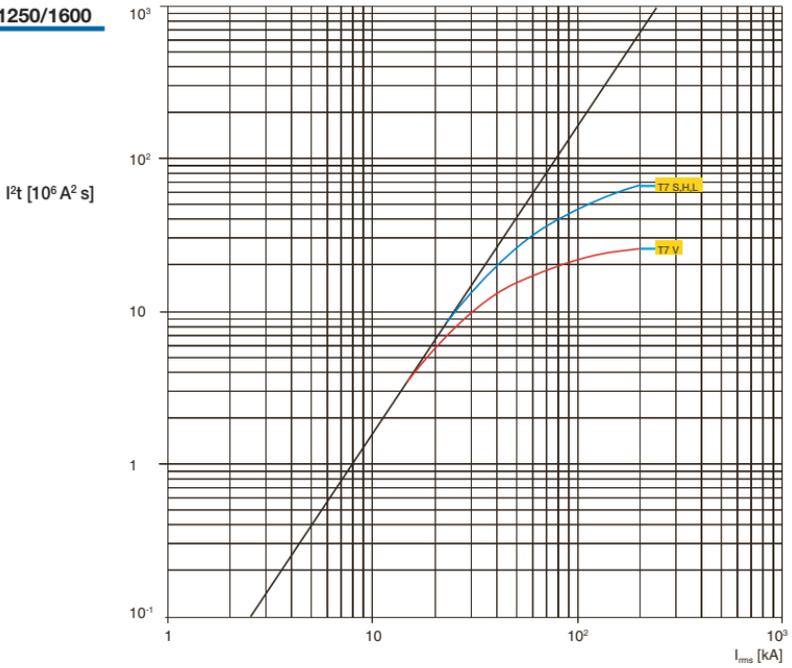


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T7
800/1000/1250/1600

230 V

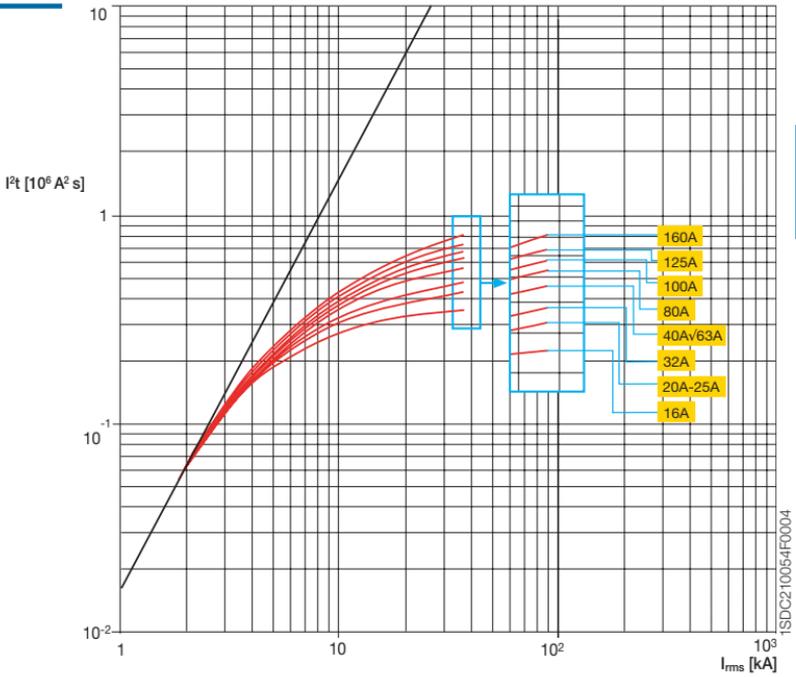


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T1 160

400-440 V

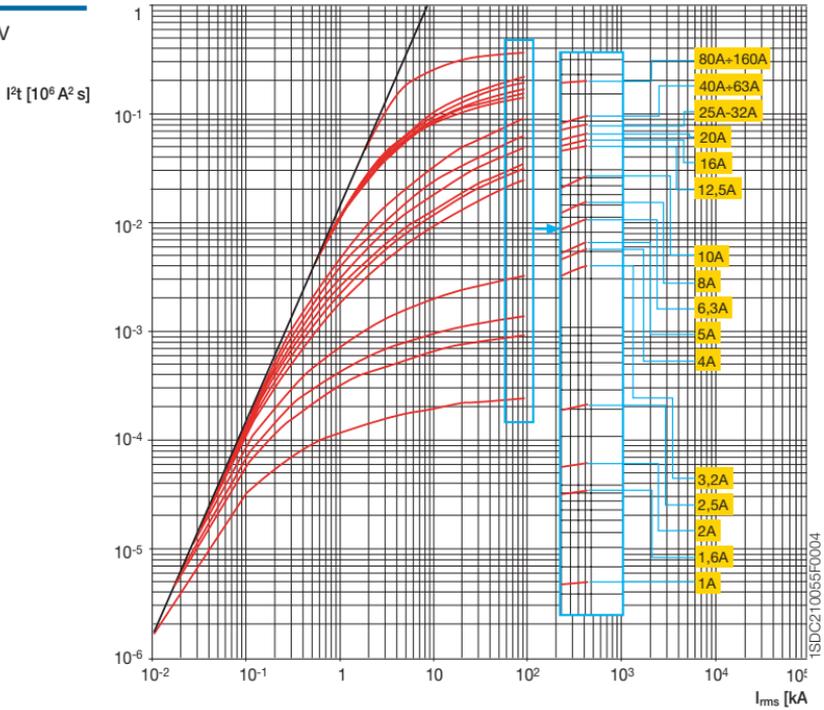


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T2 160

400-440 V

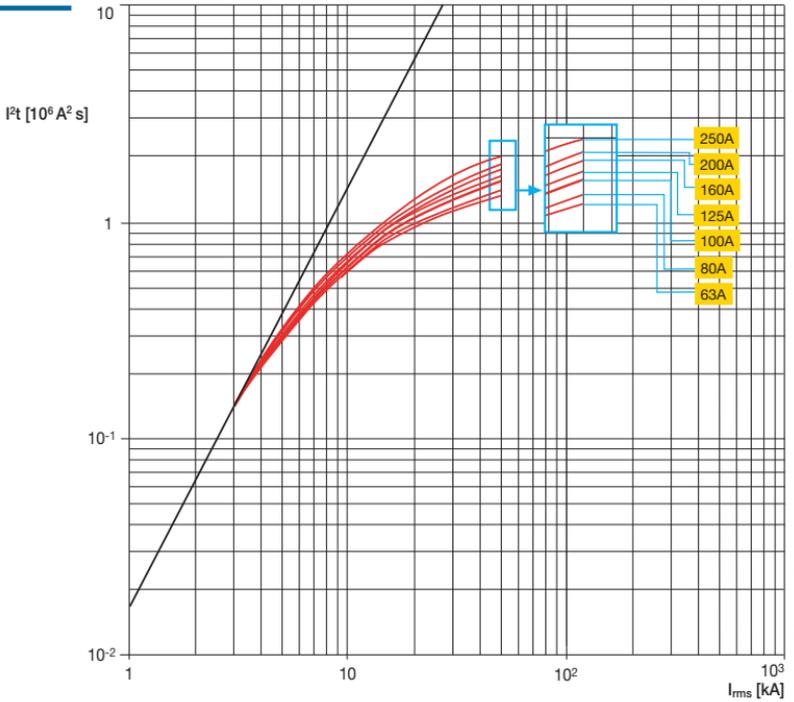


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T3 250

400-440 V



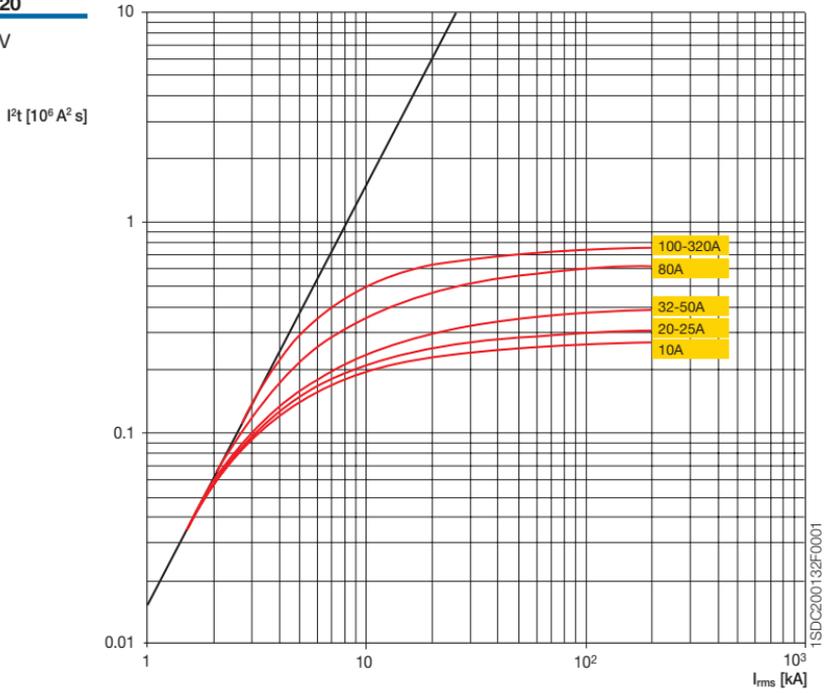
1SDIC210056F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T4 250/320

400-440 V

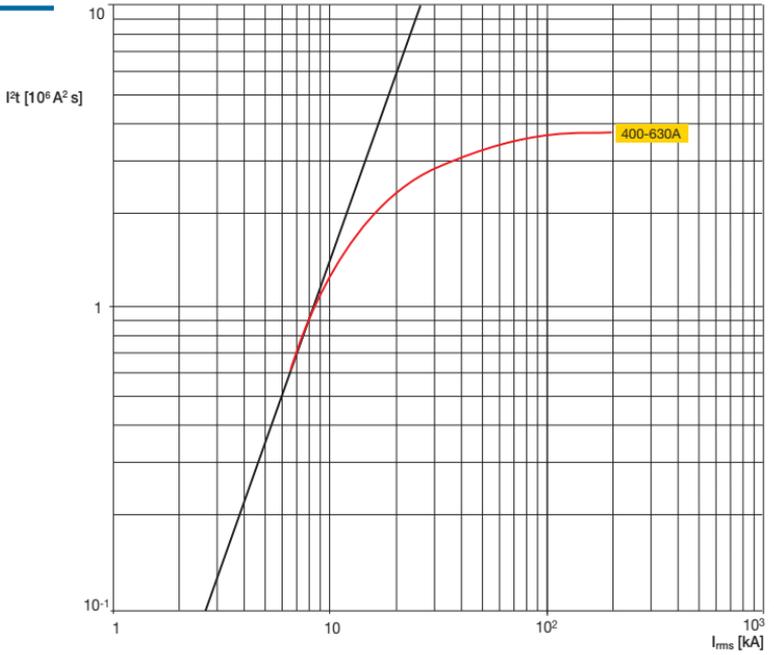


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T5 400/630

400-440 V



1SDC210020F0004

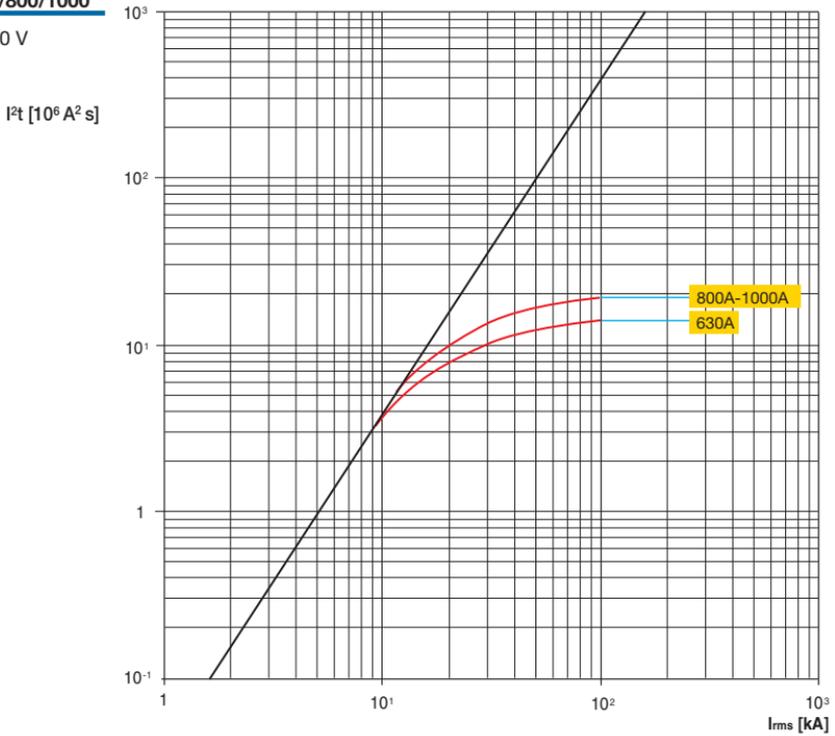
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T6 630/800/1000

400-440 V



3 Características generales

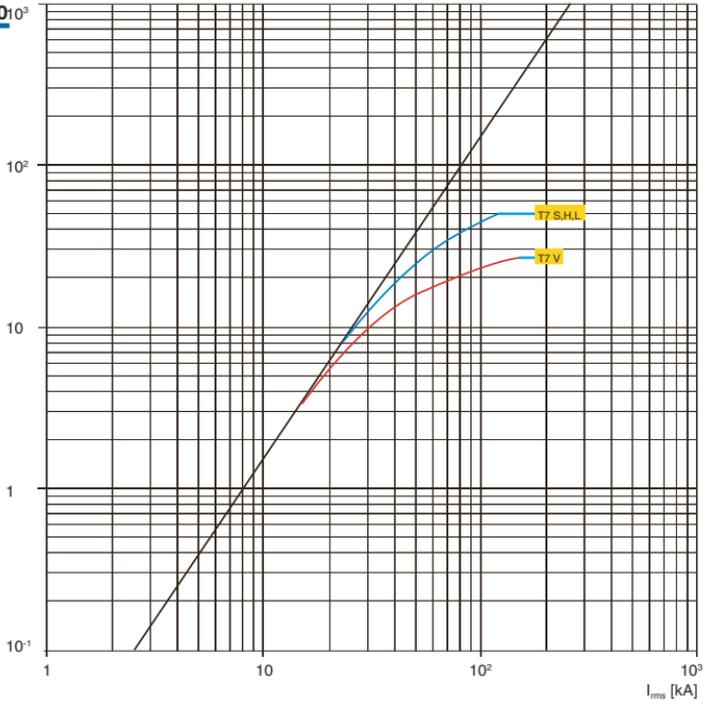
Curvas de energía específica pasante

T7

800/1000/1250/1600 $\cdot 10^3$

400-440 V

I^2t [$10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$]



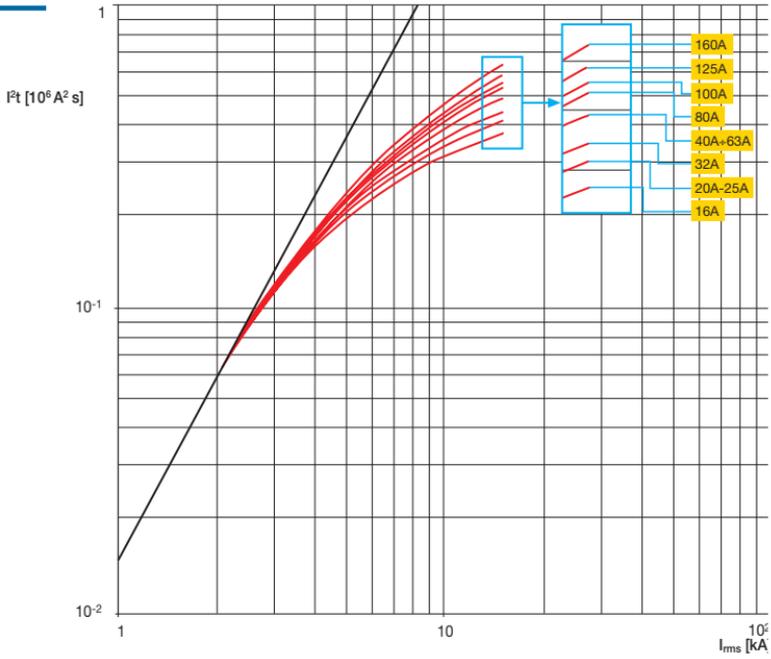
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T1 160

500 V



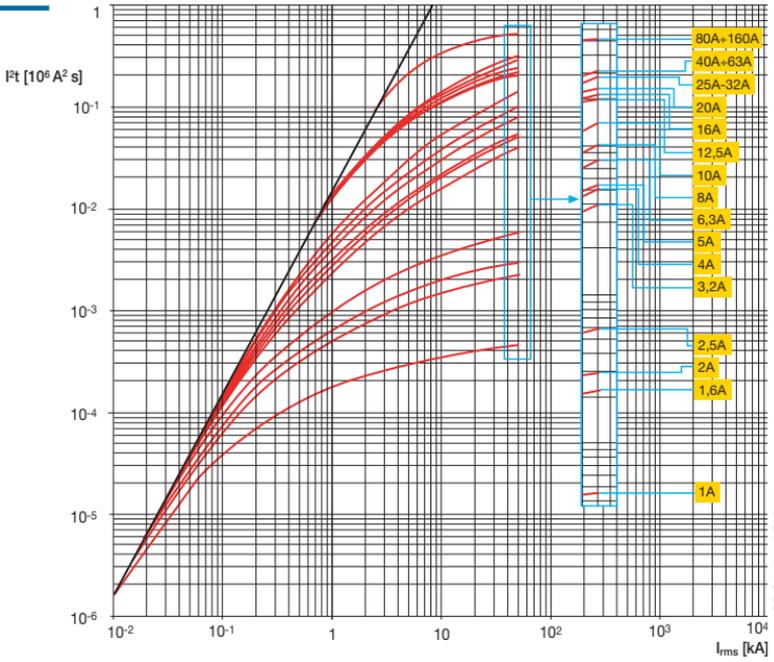
1SDC210027F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T2 160

500 V



1SDC210029F0004

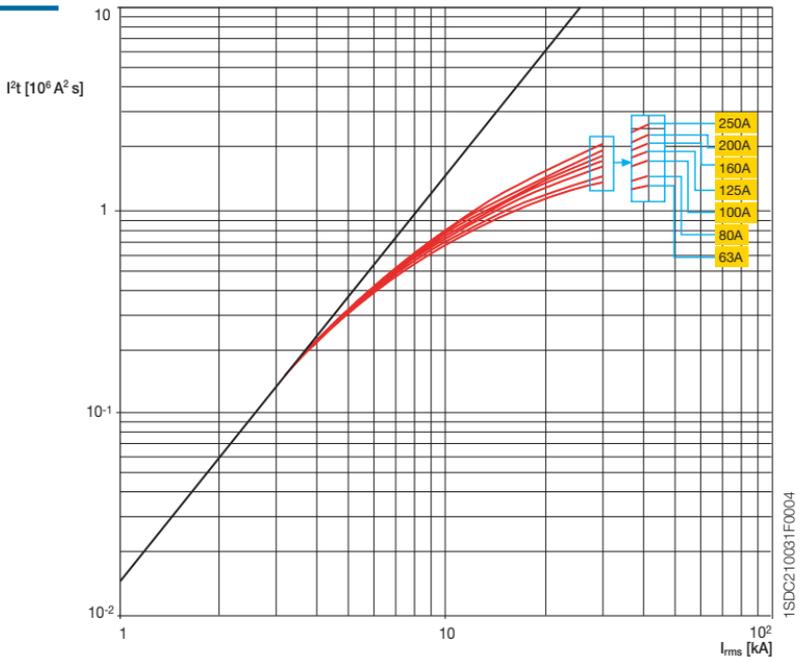
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T3 250

500 V

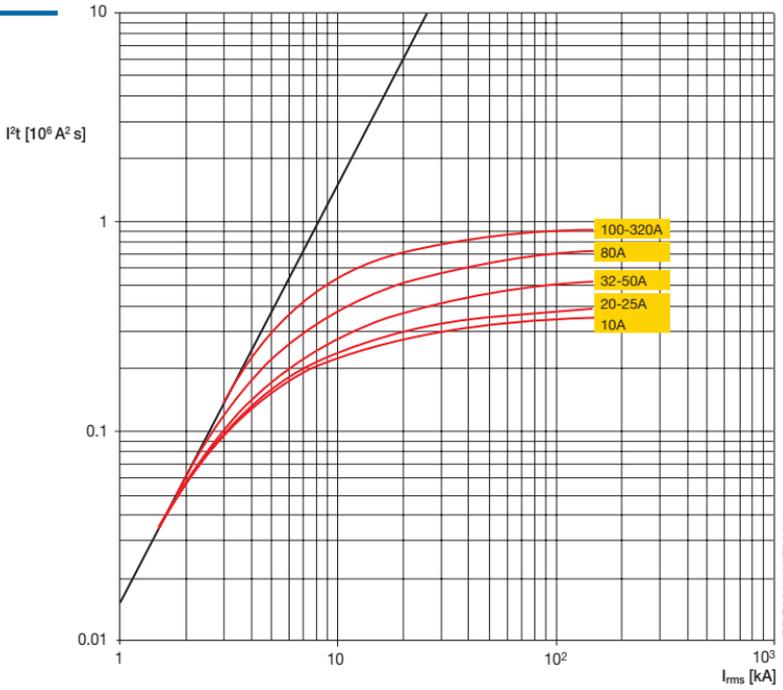


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T4 250/320

500 V

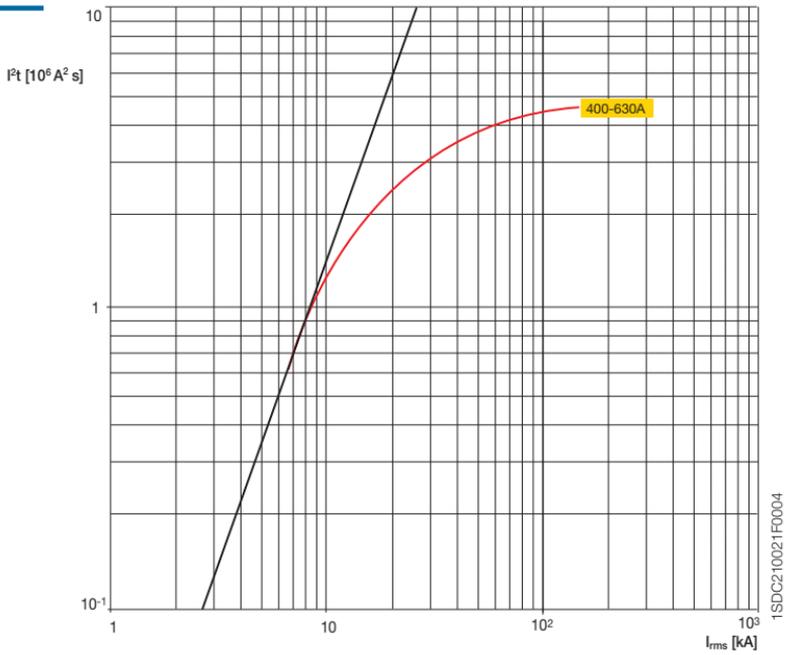


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T5 400/630

500 V

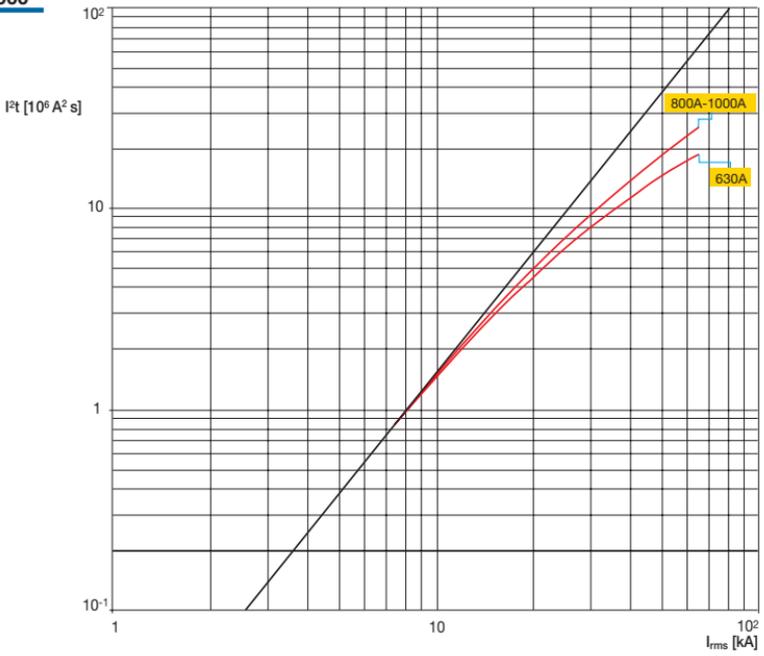


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T6 630/800/1000

500 V



1

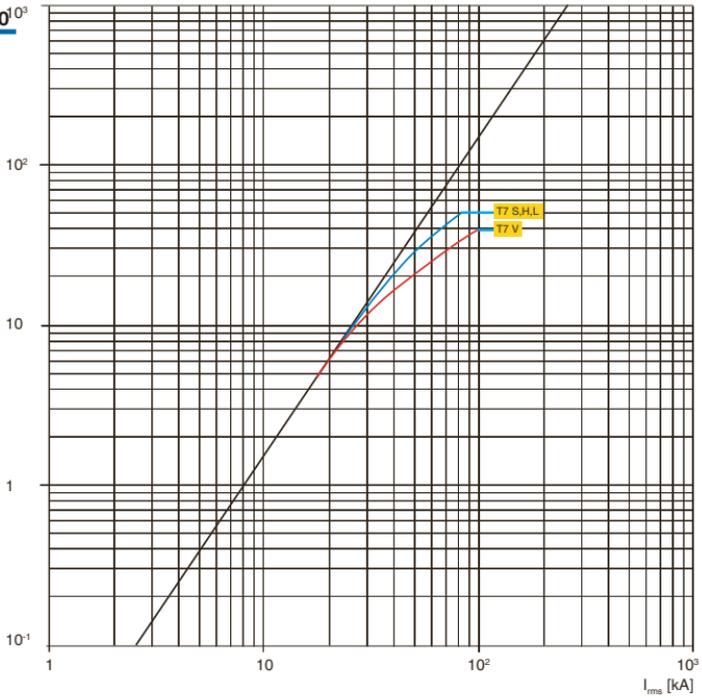
3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T7
800/1000/1250/1600¹⁰³

500 V

I^2t [$10^6 A^2 s$]

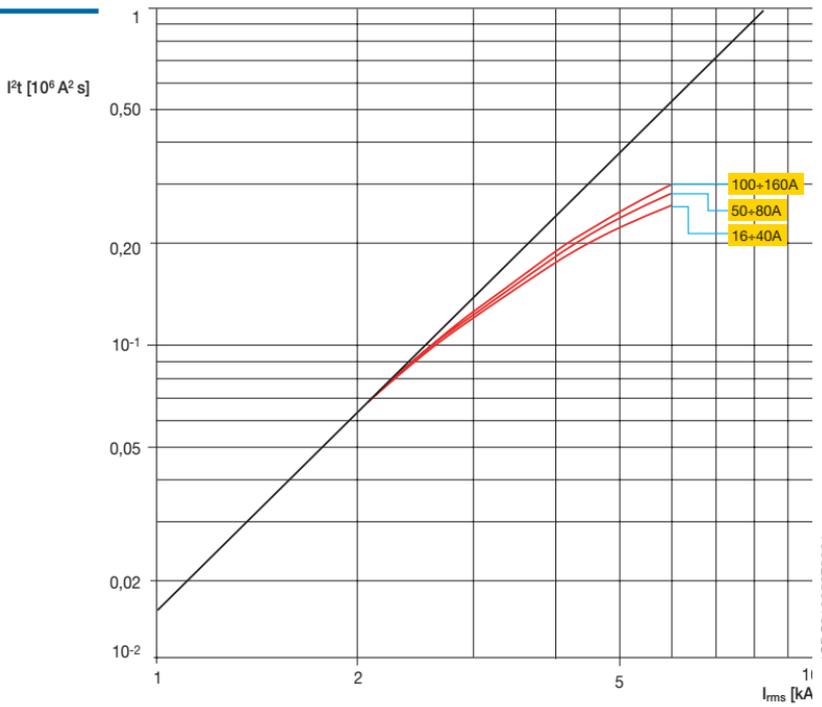


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T1 160

690 V

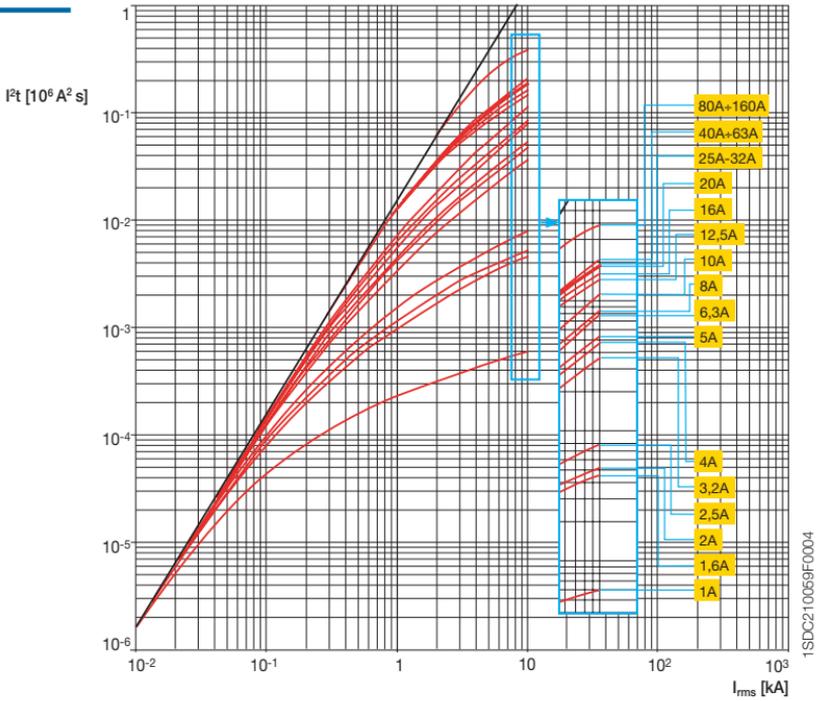


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T2 160

690 V

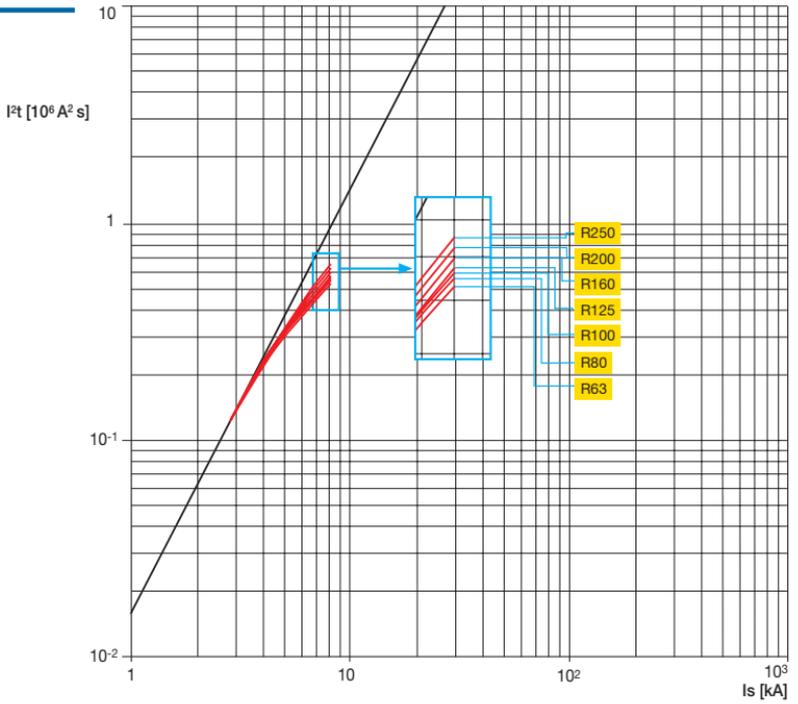


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T3 250

690 V



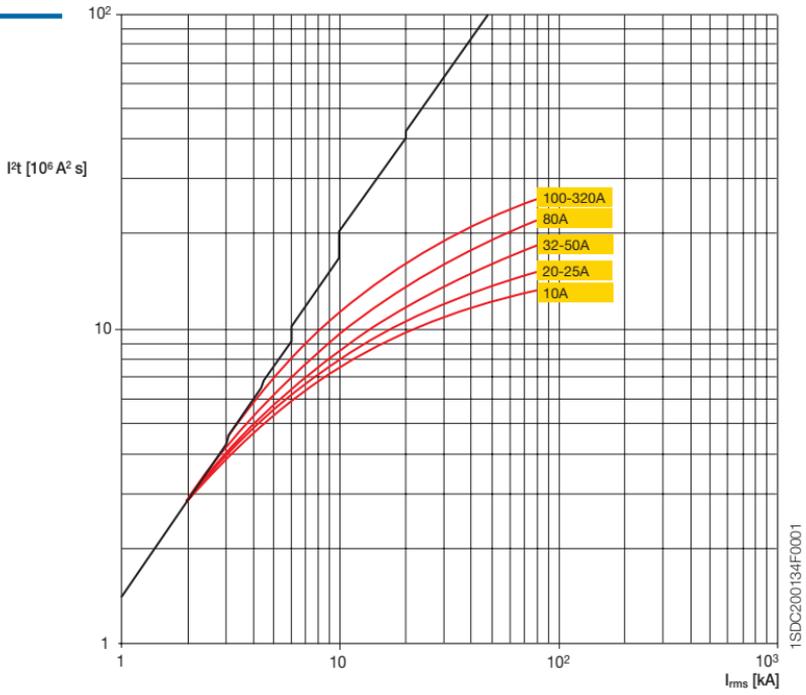
1SDC210060F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T4 250/320

690 V

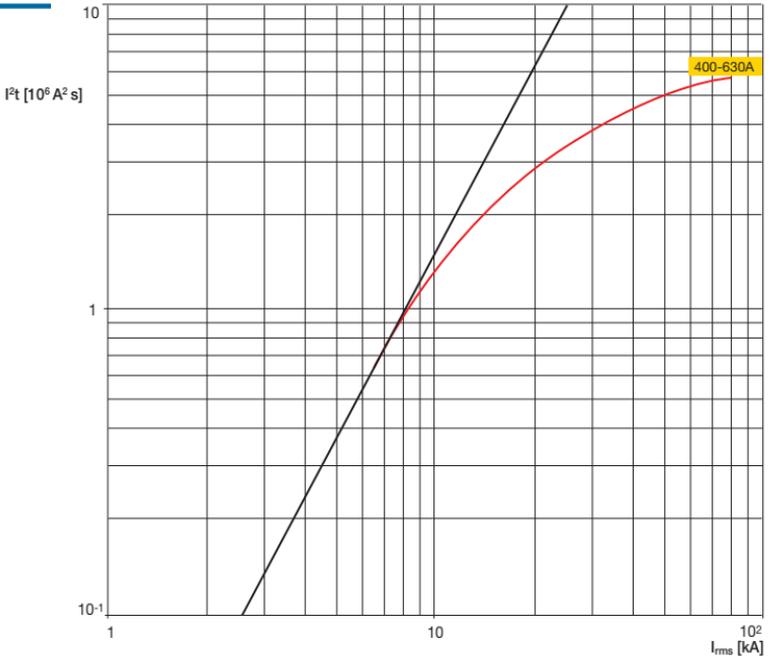


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T5 400/630

690 V



1SDC210022F0004

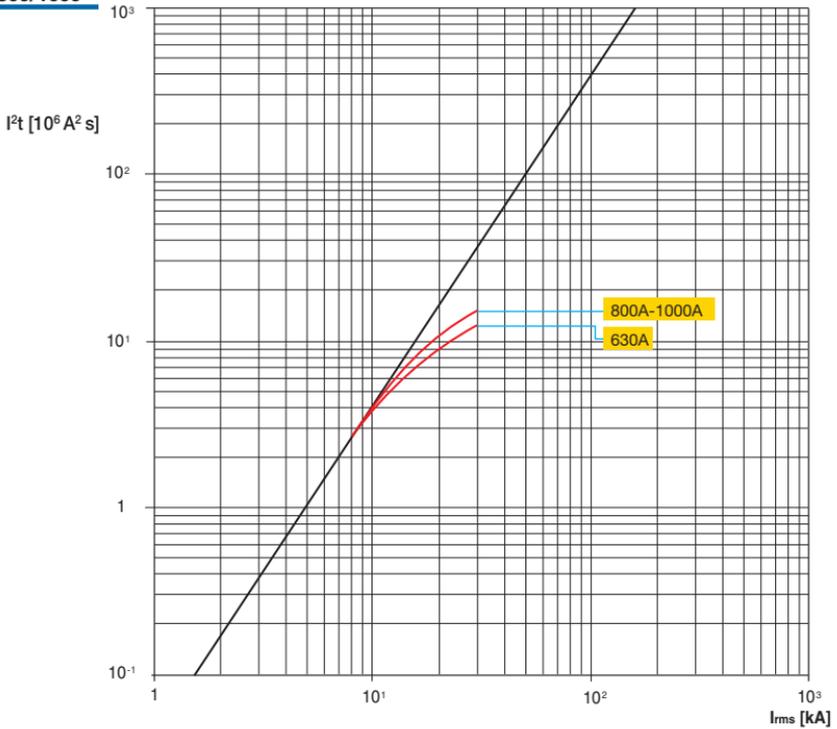
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T6 630/800/1000

690 V



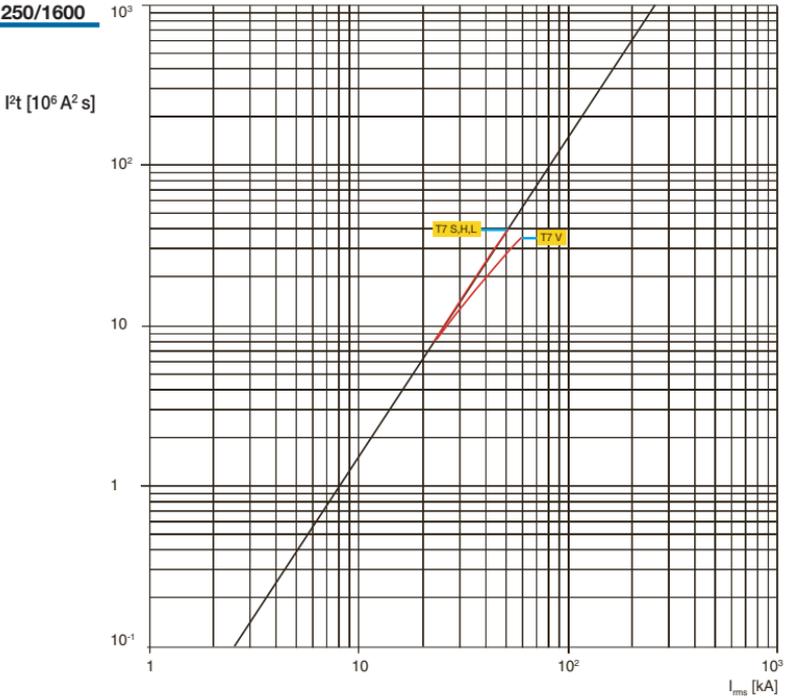
3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T7

800/1000/1250/1600

690 V



1

3 Características generales

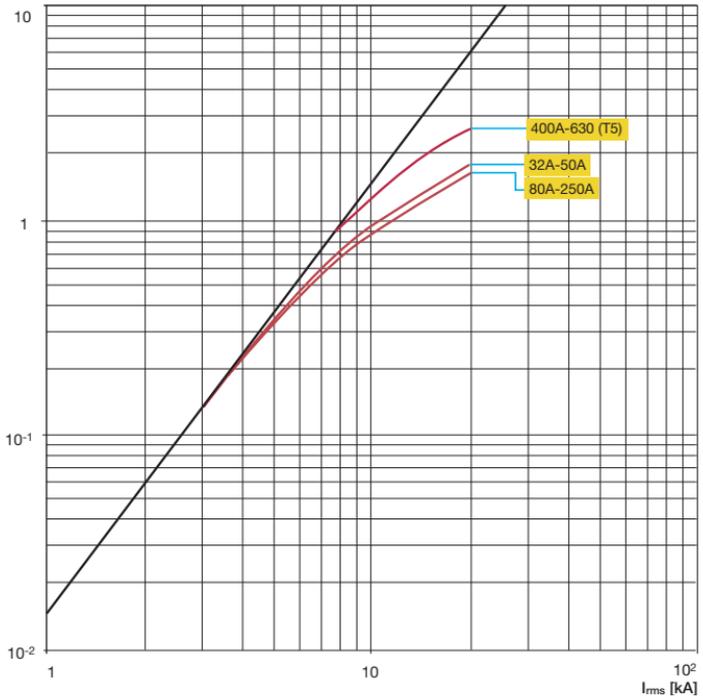
Curvas de energía
específica pasante

T4 250

T5 400/630

1000 V

I^2t [$10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$]

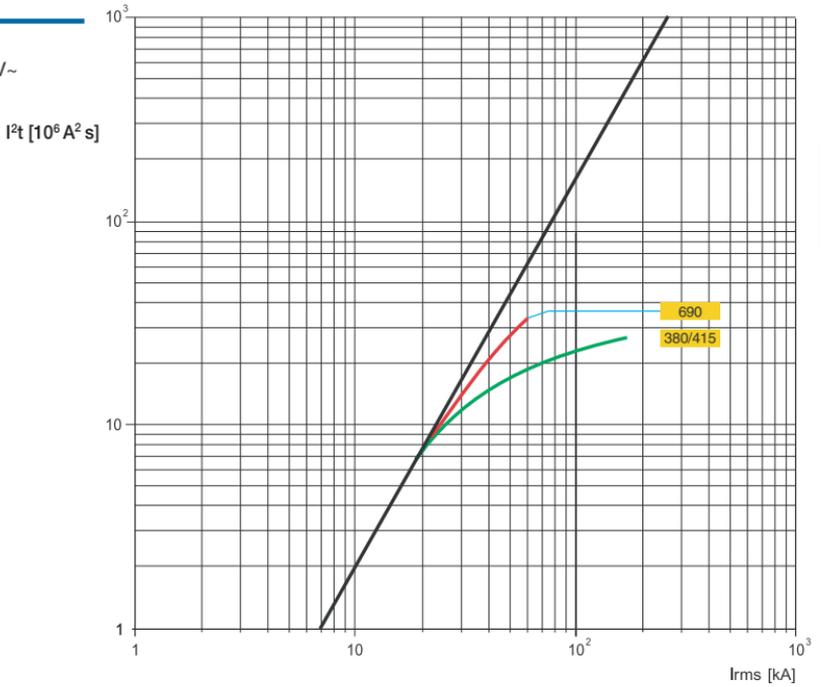


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

X1L

690 V~
380/415 V~



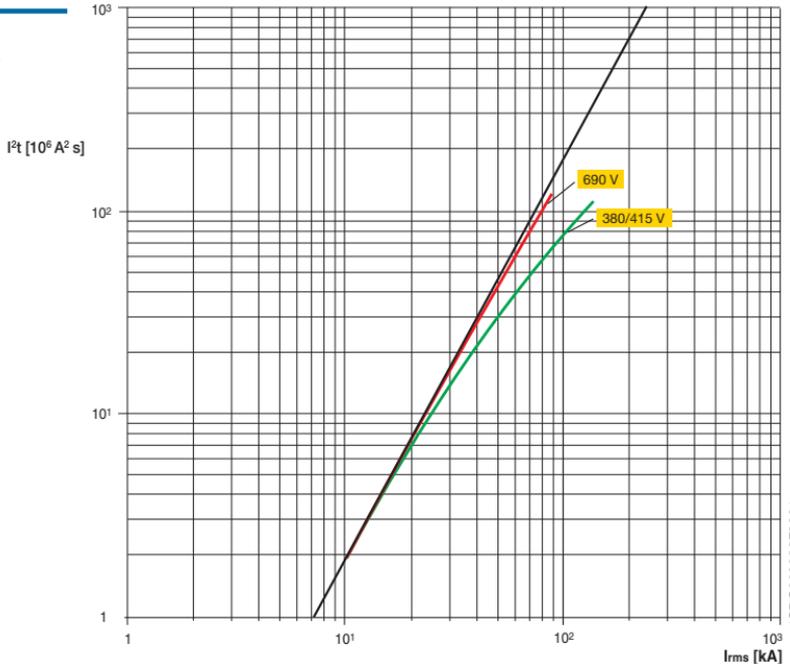
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

E2L

690 V~
380/415 V~

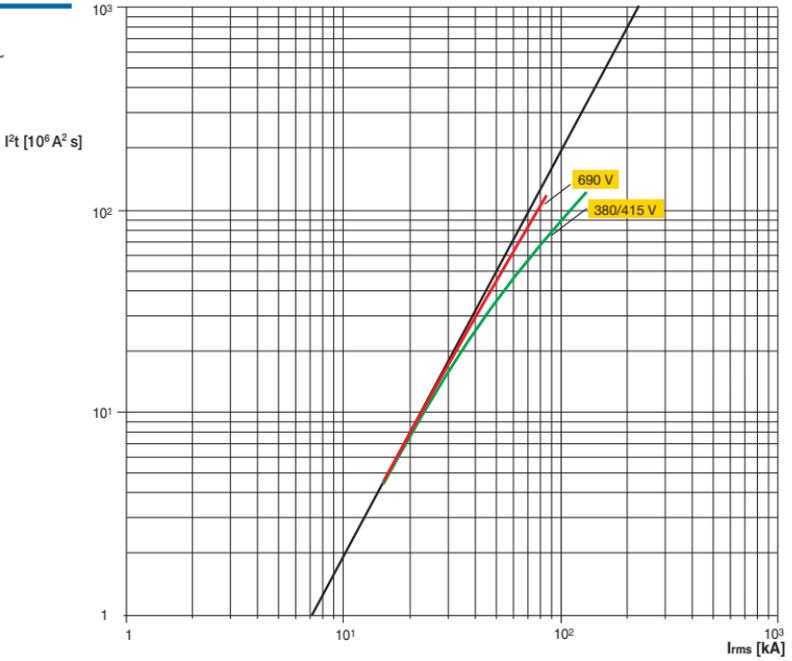


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

E3L

690 V~
380/415 V~



1SDC200095F0001

3 Características generales

3.5 Desclasificación por temperatura

La norma IEC 60947-2 establece que las sobretemperaturas que pueden admitirse para los interruptores automáticos, funcionando a su corriente asignada, deben estar comprendidas dentro de los límites que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1 – Límites de las sobretemperatura para los bornes y las partes accesibles

| Descripción de la parte * | Límites de sobretemperatura K |
|--|----------------------------------|
| - Terminales para conexiones externas | 80 |
| - Partes para la maniobra manual: | |
| metálicas | 25 |
| de material aislante | 35 |
| - Partes que pueden tocarse pero no pueden aguantarse con la mano: | |
| metálicas | 40 |
| de material aislante | 50 |
| - Partes que no deben tocarse durante las operaciones corrientes: | |
| metálicas | 50 |
| de material aislante | 60 |

* Para aquellas partes que no han sido indicadas no se indica valor alguno, pero ninguna parte adyacente formada por materiales aislantes deberá resultar dañada.

Dichos valores tienen validez para la temperatura ambiente de referencia máxima de 40 °C, tal y como se indica en la norma IEC 60947-1, inc. 6.1.1.

Si la temperatura ambiente fuese diferente de 40 °C, el valor de corriente permanente del interruptor automático se establece en las siguientes tablas:

Interruptores automáticos con relé magnetotérmico

Tmax T1 y T1 1P (*)

| In [A] | 10 °C | | 20 °C | | 30 °C | | 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|--------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | MIN | MAX |
| 16 | 13 | 18 | 12 | 18 | 12 | 17 | 11 | 16 | 11 | 15 | 10 | 14 | 9 | 13 |
| 20 | 16 | 23 | 15 | 22 | 15 | 21 | 14 | 20 | 13 | 19 | 12 | 18 | 11 | 16 |
| 25 | 20 | 29 | 19 | 28 | 18 | 26 | 18 | 25 | 16 | 23 | 15 | 22 | 14 | 20 |
| 32 | 26 | 37 | 25 | 35 | 24 | 34 | 22 | 32 | 21 | 30 | 20 | 28 | 18 | 26 |
| 40 | 32 | 46 | 31 | 44 | 29 | 42 | 28 | 40 | 26 | 38 | 25 | 35 | 23 | 33 |
| 50 | 40 | 58 | 39 | 55 | 37 | 53 | 35 | 50 | 33 | 47 | 31 | 44 | 28 | 41 |
| 63 | 51 | 72 | 49 | 69 | 46 | 66 | 44 | 63 | 41 | 59 | 39 | 55 | 36 | 51 |
| 80 | 64 | 92 | 62 | 88 | 59 | 84 | 56 | 80 | 53 | 75 | 49 | 70 | 46 | 65 |
| 100 | 81 | 115 | 77 | 110 | 74 | 105 | 70 | 100 | 66 | 94 | 61 | 88 | 57 | 81 |
| 125 | 101 | 144 | 96 | 138 | 92 | 131 | 88 | 125 | 82 | 117 | 77 | 109 | 71 | 102 |
| 160 | 129 | 184 | 123 | 176 | 118 | 168 | 112 | 160 | 105 | 150 | 98 | 140 | 91 | 130 |

(*) Para el interruptor automático T1 1p (dotado con relé termomagnético fijo TMF) considerar únicamente la columna correspondiente a la regulación máxima de los relés TMD.

3 Características generales

Tmax T2

| In [A] | 10 °C | | 20 °C | | 30 °C | | 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|--------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | MIN | MAX |
| 1 | 0.8 | 1.1 | 0.8 | 1.1 | 0.7 | 1.1 | 0.7 | 1.0 | 0.7 | 0.9 | 0.6 | 0.9 | 0.6 | 0.8 |
| 1.6 | 1.3 | 1.8 | 1.2 | 1.8 | 1.2 | 1.7 | 1.1 | 1.6 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 1.4 | 0.9 | 1.3 |
| 2 | 1.6 | 2.3 | 1.5 | 2.2 | 1.5 | 2.1 | 1.4 | 2.0 | 1.3 | 1.9 | 1.2 | 1.7 | 1.1 | 1.6 |
| 2.5 | 2.0 | 2.9 | 1.9 | 2.8 | 1.8 | 2.6 | 1.8 | 2.5 | 1.6 | 2.3 | 1.5 | 2.2 | 1.4 | 2.0 |
| 3.2 | 2.6 | 3.7 | 2.5 | 3.5 | 2.4 | 3.4 | 2.2 | 3.2 | 2.1 | 3.0 | 1.9 | 2.8 | 1.8 | 2.6 |
| 4 | 3.2 | 4.6 | 3.1 | 4.4 | 2.9 | 4.2 | 2.8 | 4.0 | 2.6 | 3.7 | 2.4 | 3.5 | 2.3 | 3.2 |
| 5 | 4.0 | 5.7 | 3.9 | 5.5 | 3.7 | 5.3 | 3.5 | 5.0 | 3.3 | 4.7 | 3.0 | 4.3 | 2.8 | 4.0 |
| 6.3 | 5.1 | 7.2 | 4.9 | 6.9 | 4.6 | 6.6 | 4.4 | 6.3 | 4.1 | 5.9 | 3.8 | 5.5 | 3.6 | 5.1 |
| 8 | 6.4 | 9.2 | 6.2 | 8.8 | 5.9 | 8.4 | 5.6 | 8.0 | 5.2 | 7.5 | 4.9 | 7.0 | 4.5 | 6.5 |
| 10 | 8.0 | 11.5 | 7.7 | 11.0 | 7.4 | 10.5 | 7.0 | 10.0 | 6.5 | 9.3 | 6.1 | 8.7 | 5.6 | 8.1 |
| 12.5 | 10.1 | 14.4 | 9.6 | 13.8 | 9.2 | 13.2 | 8.8 | 12.5 | 8.2 | 11.7 | 7.6 | 10.9 | 7.1 | 10.1 |
| 16 | 13 | 18 | 12 | 18 | 12 | 17 | 11 | 16 | 10 | 15 | 10 | 14 | 9 | 13 |
| 20 | 16 | 23 | 15 | 22 | 15 | 21 | 14 | 20 | 13 | 19 | 12 | 17 | 11 | 16 |
| 25 | 20 | 29 | 19 | 28 | 18 | 26 | 18 | 25 | 16 | 23 | 15 | 22 | 14 | 20 |
| 32 | 26 | 37 | 25 | 35 | 24 | 34 | 22 | 32 | 21 | 30 | 19 | 28 | 18 | 26 |
| 40 | 32 | 46 | 31 | 44 | 29 | 42 | 28 | 40 | 26 | 37 | 24 | 35 | 23 | 32 |
| 50 | 40 | 57 | 39 | 55 | 37 | 53 | 35 | 50 | 33 | 47 | 30 | 43 | 28 | 40 |
| 63 | 51 | 72 | 49 | 69 | 46 | 66 | 44 | 63 | 41 | 59 | 38 | 55 | 36 | 51 |
| 80 | 64 | 92 | 62 | 88 | 59 | 84 | 56 | 80 | 52 | 75 | 49 | 70 | 45 | 65 |
| 100 | 80 | 115 | 77 | 110 | 74 | 105 | 70 | 100 | 65 | 93 | 61 | 87 | 56 | 81 |
| 125 | 101 | 144 | 96 | 138 | 92 | 132 | 88 | 125 | 82 | 117 | 76 | 109 | 71 | 101 |
| 160 | 129 | 184 | 123 | 178 | 118 | 168 | 112 | 160 | 105 | 150 | 97 | 139 | 90 | 129 |

Tmax T3

| In [A] | 10 °C | | 20 °C | | 30 °C | | 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|--------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | MIN | MAX |
| 63 | 51 | 72 | 49 | 69 | 46 | 66 | 44 | 63 | 41 | 59 | 38 | 55 | 35 | 51 |
| 80 | 64 | 92 | 62 | 88 | 59 | 84 | 56 | 80 | 52 | 75 | 48 | 69 | 45 | 64 |
| 100 | 80 | 115 | 77 | 110 | 74 | 105 | 70 | 100 | 65 | 93 | 61 | 87 | 56 | 80 |
| 125 | 101 | 144 | 96 | 138 | 92 | 132 | 88 | 125 | 82 | 116 | 76 | 108 | 70 | 100 |
| 160 | 129 | 184 | 123 | 176 | 118 | 168 | 112 | 160 | 104 | 149 | 97 | 139 | 90 | 129 |
| 200 | 161 | 230 | 154 | 220 | 147 | 211 | 140 | 200 | 130 | 186 | 121 | 173 | 112 | 161 |
| 250 | 201 | 287 | 193 | 278 | 184 | 263 | 175 | 250 | 163 | 233 | 152 | 216 | 141 | 201 |

3 Características generales

Tmax T4

| In [A] | 10 °C | | 20 °C | | 30 °C | | 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|--------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | MIN | MAX |
| 20 | 19 | 27 | 18 | 24 | 16 | 23 | 14 | 20 | 12 | 17 | 10 | 15 | 8 | 13 |
| 32 | 26 | 43 | 24 | 39 | 22 | 36 | 19 | 32 | 16 | 27 | 14 | 24 | 11 | 21 |
| 50 | 37 | 62 | 35 | 58 | 33 | 54 | 30 | 50 | 27 | 46 | 25 | 42 | 22 | 39 |
| 80 | 59 | 98 | 55 | 92 | 52 | 86 | 48 | 80 | 44 | 74 | 40 | 66 | 32 | 58 |
| 100 | 83 | 118 | 80 | 113 | 74 | 106 | 70 | 100 | 66 | 95 | 59 | 85 | 49 | 75 |
| 125 | 103 | 145 | 100 | 140 | 94 | 134 | 88 | 125 | 80 | 115 | 73 | 105 | 63 | 95 |
| 160 | 130 | 185 | 124 | 176 | 118 | 168 | 112 | 160 | 106 | 150 | 100 | 104 | 90 | 130 |
| 200 | 162 | 230 | 155 | 220 | 147 | 210 | 140 | 200 | 133 | 190 | 122 | 175 | 107 | 160 |
| 250 | 200 | 285 | 193 | 275 | 183 | 262 | 175 | 250 | 168 | 240 | 160 | 230 | 150 | 220 |

Tmax T5

| In [A] | 10 °C | | 20 °C | | 30 °C | | 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|--------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | MIN | MAX |
| 320 | 260 | 368 | 245 | 350 | 234 | 335 | 224 | 320 | 212 | 305 | 200 | 285 | 182 | 263 |
| 400 | 325 | 465 | 310 | 442 | 295 | 420 | 280 | 400 | 265 | 380 | 250 | 355 | 230 | 325 |
| 500 | 435 | 620 | 405 | 580 | 380 | 540 | 350 | 500 | 315 | 450 | 280 | 400 | 240 | 345 |

Tmax T6

| In [A] | 10 °C | | 20 °C | | 30 °C | | 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|--------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | MIN | MAX |
| 630 | 520 | 740 | 493 | 705 | 462 | 660 | 441 | 630 | 405 | 580 | 380 | 540 | 350 | 500 |
| 800 | 685 | 965 | 640 | 905 | 605 | 855 | 560 | 800 | 520 | 740 | 470 | 670 | 420 | 610 |

3 Características generales

Interruptores automáticos con relés electrónicos

Tmax T2 160

| Fijo | up to 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|-------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| F | 160 | 1 | 154 | 0.96 | 141 | 0.88 | 128 | 0.8 |
| EF | 160 | 1 | 154 | 0.96 | 141 | 0.88 | 128 | 0.8 |
| ES | 160 | 1 | 154 | 0.96 | 141 | 0.88 | 128 | 0.8 |
| FC Cu | 160 | 1 | 154 | 0.96 | 141 | 0.88 | 128 | 0.8 |
| FC Cu | 160 | 1 | 154 | 0.96 | 141 | 0.88 | 128 | 0.8 |
| R | 160 | 1 | 154 | 0.96 | 141 | 0.88 | 128 | 0.8 |

F = Anteriores en pletina; EF = Anteriores prolongados; ES = Anteriores prolongados separadores; FC Cu = Anteriores para cables de cobre; FC CuAl = Anteriores para cables de cobre o aluminio; R = Posteriores

Tmax T2 160

| Enchufable | up to 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| F | 144 | 0.9 | 138 | 0.84 | 126 | 0.8 | 112 | 0.68 |
| EF | 144 | 0.9 | 138 | 0.84 | 126 | 0.8 | 112 | 0.68 |
| ES | 144 | 0.9 | 138 | 0.84 | 126 | 0.8 | 112 | 0.68 |
| FC Cu | 144 | 0.9 | 138 | 0.84 | 126 | 0.8 | 112 | 0.68 |
| FC Cu | 144 | 0.9 | 138 | 0.84 | 126 | 0.8 | 112 | 0.68 |
| R | 144 | 0.9 | 138 | 0.84 | 126 | 0.8 | 112 | 0.68 |

F = Anteriores en pletina; EF = Anteriores prolongados; ES = Anteriores prolongados separadores; FC Cu = Anteriores para cables de cobre; FC CuAl = Anteriores para cables de cobre o aluminio; R = Posteriores

Tmax T4 250

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| FC | 250 | 1 | 250 | 1 | 250 | 1 | 230 | 0.92 |
| F | 250 | 1 | 250 | 1 | 250 | 1 | 230 | 0.92 |
| HR | 250 | 1 | 250 | 1 | 250 | 1 | 220 | 0.88 |
| VR | 250 | 1 | 250 | 1 | 250 | 1 | 220 | 0.88 |

Enchufable - Extraíble

| | | | | | | | | |
|----|-----|---|-----|---|-----|------|-----|------|
| FC | 250 | 1 | 250 | 1 | 240 | 0.96 | 220 | 0.88 |
| F | 250 | 1 | 250 | 1 | 240 | 0.96 | 220 | 0.88 |
| HR | 250 | 1 | 250 | 1 | 230 | 0.92 | 210 | 0.84 |
| VR | 250 | 1 | 250 | 1 | 230 | 0.92 | 210 | 0.84 |

FC = Anteriores en cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales.

Tmax T4 320

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| FC | 320 | 1 | 307 | 0.96 | 281 | 0.88 | 256 | 0.80 |
| F | 320 | 1 | 307 | 0.96 | 281 | 0.88 | 256 | 0.80 |
| HR | 320 | 1 | 294 | 0.92 | 269 | 0.84 | 243 | 0.76 |
| VR | 320 | 1 | 294 | 0.92 | 269 | 0.84 | 243 | 0.76 |

Enchufable - Extraíble

| | | | | | | | | |
|----|-----|---|-----|------|-----|------|-----|------|
| FC | 320 | 1 | 294 | 0.92 | 268 | 0.84 | 242 | 0.76 |
| F | 320 | 1 | 307 | 0.96 | 282 | 0.88 | 256 | 0.80 |
| HR | 320 | 1 | 294 | 0.92 | 268 | 0.84 | 242 | 0.76 |
| VR | 320 | 1 | 294 | 0.92 | 268 | 0.84 | 242 | 0.76 |

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales.

3 Características generales

Tmax T5 400

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| FC | 400 | 1 | 400 | 1 | 400 | 1 | 368 | 0.92 |
| F | 400 | 1 | 400 | 1 | 400 | 1 | 368 | 0.92 |
| HR | 400 | 1 | 400 | 1 | 400 | 1 | 352 | 0.88 |
| VR | 400 | 1 | 400 | 1 | 400 | 1 | 352 | 0.88 |

Enchufable - Extraíble

| | | | | | | | | |
|----|-----|---|-----|---|-----|------|-----|------|
| FC | 400 | 1 | 400 | 1 | 382 | 0.96 | 350 | 0.88 |
| F | 400 | 1 | 400 | 1 | 382 | 0.96 | 350 | 0.88 |
| HR | 400 | 1 | 400 | 1 | 368 | 0.92 | 336 | 0.84 |
| VR | 400 | 1 | 400 | 1 | 368 | 0.92 | 336 | 0.84 |

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales.

Tmax T5 630

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| FC | 630 | 1 | 605 | 0.96 | 554 | 0.88 | 504 | 0.80 |
| F | 630 | 1 | 605 | 0.96 | 554 | 0.88 | 504 | 0.80 |
| HR | 630 | 1 | 580 | 0.92 | 529 | 0.84 | 479 | 0.76 |
| VR | 630 | 1 | 580 | 0.92 | 529 | 0.84 | 479 | 0.76 |

Enchufable - Extraíble

| | | | | | | | | |
|----|-----|---|-----|------|-----|------|-----|------|
| F | 630 | 1 | 607 | 0.96 | 552 | 0.88 | 476 | 0.76 |
| HR | 630 | 1 | 580 | 0.92 | 517 | 0.82 | 454 | 0.72 |
| VR | 630 | 1 | 580 | 0.92 | 517 | 0.82 | 454 | 0.72 |

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales.

Tmax T6 630

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|------------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| F | 630 | 1 | 630 | 1 | 630 | 1 | 598.5 | 0.95 |
| FC | 630 | 1 | 630 | 1 | 598.5 | 0.95 | 567 | 0.9 |
| R (HR - VR) | 630 | 1 | 630 | 1 | 567 | 0.9 | 504 | 0.8 |
| Extraíble | | | | | | | | |
| EF | 630 | 1 | 630 | 1 | 598.5 | 0.95 | 567 | 0.9 |
| VR | 630 | 1 | 630 | 1 | 598.5 | 0.95 | 567 | 0.9 |
| HR | 630 | 1 | 598.5 | 0.95 | 567 | 0.9 | 504 | 0.8 |

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales.; R = Posteriores; EF = Anteriores prolongados.

3 Características generales

Tmax T6 800

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|------------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| F | 800 | 1 | 800 | 1 | 800 | 1 | 760 | 0,95 |
| FC | 800 | 1 | 800 | 1 | 760 | 0,95 | 720 | 0,9 |
| R (HR - VR) | 800 | 1 | 800 | 1 | 720 | 0,9 | 640 | 0,8 |
| Extraible | | | | | | | | |
| EF | 800 | 1 | 800 | 1 | 760 | 0,95 | 720 | 0,9 |
| VR | 800 | 1 | 800 | 1 | 760 | 0,95 | 720 | 0,9 |
| HR | 800 | 1 | 760 | 0,95 | 720 | 0,9 | 640 | 0,8 |

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales R = Posteriores; EF = Anteriores prolongados.

Tmax T6 1000

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|--------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| FC | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 913 | 0,91 | 817 | 0,82 |
| R (HR) | 1000 | 1 | 926 | 0,93 | 845 | 0,85 | 756 | 0,76 |
| R (VR) | 1000 | 1 | 961 | 0,96 | 877 | 0,88 | 784 | 0,78 |

FC=Anteriores para cable; R=Anteriores;HR=Posteriores horizontales;VR=Posteriores verticales

Tmax T7 1000 (versión V)

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|-------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| VR | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 894 | 0,89 |
| EF-HR | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 895 | 0,89 | 784 | 0,78 |

Extraible

| | | | | | | | | |
|-------|------|---|------|---|-----|------|-----|------|
| VR | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 913 | 0,91 | 816 | 0,82 |
| EF-HR | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 895 | 0,89 | 784 | 0,78 |

EF = Anteriores prolongados.;HR=Posteriores horizontales;VR=Posteriores verticales

Tmax T7 1250 (versión V)

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|-------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| VR | 1250 | 1 | 1201 | 0,96 | 1096 | 0,88 | 981 | 0,78 |
| EF-HR | 1250 | 1 | 1157 | 0,93 | 1056 | 0,85 | 945 | 0,76 |

Extraible

| | | | | | | | | |
|-------|------|---|------|------|------|------|-----|------|
| VR | 1250 | 1 | 1157 | 0,93 | 1056 | 0,85 | 945 | 0,76 |
| EF-HR | 1250 | 1 | 1000 | 0,8 | 913 | 0,73 | 816 | 0,65 |

EF=Anteriores prolongados.;HR=Posteriores horizontales;VR=Posteriores verticales

3 Características generales

Tmax T7 1250 (versiones S-H-L)

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|-------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| VR | 1250 | 1 | 1250 | 1 | 1250 | 1 | 1118 | 0,89 |
| EF-HR | 1250 | 1 | 1250 | 1 | 1118 | 0,89 | 980 | 0,78 |

Extraíble

| | | | | | | | | |
|-------|------|---|------|---|------|------|------|------|
| VR | 1250 | 1 | 1250 | 1 | 1141 | 0,91 | 1021 | 0,82 |
| EF-HR | 1250 | 1 | 1250 | 1 | 1118 | 0,89 | 980 | 0,78 |

EF=Anteriores prolongados; HR=Posteriores horizontales; VR=Posteriores verticales

Tmax T7 1600 (versiones S-H-L)

| Fijo | hasta 40 °C | | 50 °C | | 60 °C | | 70 °C | |
|-------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | I _{max} [A] | I _t |
| VR | 1600 | 1 | 1537 | 0,96 | 1403 | 0,88 | 1255 | 0,78 |
| EF-HR | 1600 | 1 | 1481 | 0,93 | 1352 | 0,85 | 1209 | 0,76 |

Extraíble

| | | | | | | | | |
|-------|------|---|------|------|------|------|------|------|
| VR | 1600 | 1 | 1481 | 0,93 | 1352 | 0,85 | 1209 | 0,76 |
| EF-HR | 1600 | 1 | 1280 | 0,8 | 1168 | 0,73 | 1045 | 0,65 |

EF=Anteriores prolongados; HR=Posteriores horizontales; VR=Posteriores verticales

3 Características generales

Emax X1 con terminales posteriores horizontales

| Temperatura [°C] | X1 630 | | X1 800 | | X1 1000 | | X1 1250 | | X1 1600 | |
|---------------------|--------|-----|--------|-----|---------|------|---------|------|---------|------|
| | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] |
| 10 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 20 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 30 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 40 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 45 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 50 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 97 | 1550 |
| 55 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 94 | 1500 |
| 60 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 93 | 1480 |

Emax X1 con terminales posteriores verticales

| Temperatura [°C] | X1 630 | | X1 800 | | X1 1000 | | X1 1250 | | X1 1600 | |
|---------------------|--------|-----|--------|-----|---------|------|---------|------|---------|------|
| | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] |
| 10 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 20 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 30 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 40 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 45 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 50 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 55 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 98 | 1570 |
| 60 | 100 | 630 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 95 | 1520 |

Emax E1

| Temperatura [°C] | E1 800 | | E1 1000 | | E1 1250 | | E1 1600 | |
|---------------------|--------|-----|---------|------|---------|------|---------|------|
| | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] |
| 10 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 20 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 30 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 40 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 |
| 45 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 98 | 1570 |
| 50 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 96 | 1530 |
| 55 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 94 | 1500 |
| 60 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 92 | 1470 |
| 65 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 99 | 1240 | 89 | 1430 |
| 70 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 98 | 1230 | 87 | 1400 |

3 Características generales

Emax E2

| Temperatura [°C] | E2 800 | | E2 1000 | | E2 1250 | | E2 1600 | | E2 2000 | |
|---------------------|--------|-----|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
| | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] |
| 10 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 |
| 20 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 |
| 30 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 |
| 40 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 |
| 45 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 |
| 50 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 97 | 1945 |
| 55 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 94 | 1885 |
| 60 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 98 | 1570 | 91 | 1825 |
| 65 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 96 | 1538 | 88 | 1765 |
| 70 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 94 | 1510 | 85 | 1705 |

Emax E3

| Temperatura [°C] | E3 800 | | E3 1000 | | E3 1250 | | E3 1600 | | E3 2000 | | E3 2500 | | E3 3200 | |
|---------------------|--------|-----|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
| | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] |
| 10 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 100 | 2500 | 100 | 3200 |
| 20 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 100 | 2500 | 100 | 3200 |
| 30 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 100 | 2500 | 100 | 3200 |
| 40 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 100 | 2500 | 100 | 3200 |
| 45 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 100 | 2500 | 100 | 3200 |
| 50 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 100 | 2500 | 97 | 3090 |
| 55 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 100 | 2500 | 93 | 2975 |
| 60 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 100 | 2500 | 89 | 2860 |
| 65 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 97 | 2425 | 86 | 2745 |
| 70 | 100 | 800 | 100 | 1000 | 100 | 1250 | 100 | 1600 | 100 | 2000 | 94 | 2350 | 82 | 2630 |

3 Características generales

Emax E4

| Temperatura [°C] | E4 3200 | | E4 4000 | |
|---------------------|---------|------|---------|------|
| | % | [A] | % | [A] |
| 10 | 100 | 3200 | 100 | 4000 |
| 20 | 100 | 3200 | 100 | 4000 |
| 30 | 100 | 3200 | 100 | 4000 |
| 40 | 100 | 3200 | 100 | 4000 |
| 45 | 100 | 3200 | 100 | 4000 |
| 50 | 100 | 3200 | 98 | 3900 |
| 55 | 100 | 3200 | 95 | 3790 |
| 60 | 100 | 3200 | 92 | 3680 |
| 65 | 98 | 3120 | 89 | 3570 |
| 70 | 95 | 3040 | 87 | 3460 |

Emax E6

| Temperatura [°C] | E6 3200 | | E6 4000 | | E6 5000 | | E6 6300 | |
|---------------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
| | % | [A] | % | [A] | % | [A] | % | [A] |
| 10 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 100 | 5000 | 100 | 6300 |
| 20 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 100 | 5000 | 100 | 6300 |
| 30 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 100 | 5000 | 100 | 6300 |
| 40 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 100 | 5000 | 100 | 6300 |
| 45 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 100 | 5000 | 100 | 6300 |
| 50 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 100 | 5000 | 100 | 6300 |
| 55 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 100 | 5000 | 98 | 6190 |
| 60 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 98 | 4910 | 96 | 6070 |
| 65 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 96 | 4815 | 94 | 5850 |
| 70 | 100 | 3200 | 100 | 4000 | 94 | 4720 | 92 | 5600 |

3 Características generales

En la siguiente tabla se muestran ejemplos de los valores de corriente permanente de los interruptores automáticos instalados en un cuadro con las dimensiones indicadas a continuación. Estos valores hacen referencia a aparata extraíble instalada en cuadros no segregados con grado de protección IP31 y con las siguientes dimensiones: 2000x400x400 (HxLxD) para X1, 2300x800x900 (HxLxD) para X1 - E1 - E2 - E3; 2300x1400x1500 (HxLxD) para E4 - E6.

Estos valores se refieren a una temperatura máxima en los terminales de 120 °C.

Para los interruptores automáticos con corriente asignada de 6300 A, se recomienda el uso de terminales posteriores verticales.

Para cuadros de interruptores con las siguientes dimensiones (mm): 2000x400x400

| Tipo | Iu [A] | Terminales verticales | | | Terminales horizontales y anteriores | | | |
|------------|-----------|---------------------------|------|------|--------------------------------------|------|----------|-----------|
| | | Capacidad continua [A] | | | Capacidad continua [A] | | | |
| | | 35°C | 45°C | 55°C | 35°C | 45°C | 55°C | |
| X1B/N/L 06 | 630 | 630 | 630 | 630 | 630 | 630 | 2x(40x5) | |
| X1B/N/L 08 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 2x(50x5) | |
| X1B/N/ 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 2x(50x8) | |
| X1L 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 960 | 1000 | 950 | 890 | 2x(50x10) |
| X1B/N/ 12 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1200 | 2x(50x10) |
| X1L 12 | 1250 | 1250 | 1205 | 1105 | 1250 | 1125 | 955 | 2x(50x10) |
| X1B/N 16 | 1600 | 1520 | 1440 | 1340 | 1400 | 1330 | 1250 | 3x(50x8) |

Para cuadros de interruptores con las siguientes dimensiones (mm): 2300x800x900

| Tipo | Iu [A] | Terminales verticales | | | Terminales horizontales y anteriores | | | |
|------------|-----------|---------------------------|------|------|--------------------------------------|------|----------|-----------|
| | | Capacidad continua [A] | | | Capacidad continua [A] | | | |
| | | 35°C | 45°C | 55°C | 35°C | 45°C | 55°C | |
| X1B/N/L 06 | 630 | 630 | 630 | 630 | 630 | 630 | 2x(40x5) | |
| X1B/N/L 08 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 2x(50x5) | |
| X1B/N/L 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 2x(50x8) | |
| X1L 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 960 | 900 | 2x(50x10) |
| X1B/N/L 12 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1200 | 2x(50x10) |
| X1L 12 | 1250 | 1250 | 1250 | 1110 | 1250 | 1150 | 960 | 2x(50x10) |
| X1B/N 16 | 1600 | 1600 | 1500 | 1400 | 1460 | 1400 | 1300 | 3x(50x8) |

3 Características generales

| Tipo | Terminales verticales | | | | | | Terminales horizontales y anteriores | | | | | |
|--------------|-----------------------|------------------------|------|------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|------|--------------------------------------|--|--|--|
| | [A] | Capacidad continua [A] | | | Sección de barras [mm ²] | Capacidad continua [A] | | | Sección de barras [mm ²] | | | |
| | | 35°C | 45°C | 55°C | | 35°C | 45°C | 55°C | | | | |
| E1B/N 08 | 800 | 800 | 800 | 800 | 1x(60x10) | 800 | 800 | 800 | 1x(60x10) | | | |
| E1B/N 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1x(80x10) | 1000 | 1000 | 1000 | 2x(60x8) | | | |
| E1B/N 12 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1x(80x10) | 1250 | 1250 | 1200 | 2x(60x8) | | | |
| E1B/N 16 | 1600 | 1600 | 1600 | 1500 | 2x(60x10) | 1550 | 1450 | 1350 | 2x(60x10) | | | |
| E2S 08 | 800 | 800 | 800 | 800 | 1x(60x10) | 800 | 800 | 800 | 1x(60x10) | | | |
| E2N/S 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1x(60x10) | 1000 | 1000 | 1000 | 1x(60x10) | | | |
| E2N/S 12 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1x(60x10) | 1250 | 1250 | 1250 | 1x(60x10) | | | |
| E2B/N/S 16 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 2x(60x10) | 1600 | 1600 | 1530 | 2x(60x10) | | | |
| E2B/N/S 20 | 2000 | 2000 | 2000 | 1800 | 3x(60x10) | 2000 | 2000 | 1750 | 3x(60x10) | | | |
| E2L 12 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1x(60x10) | 1250 | 1250 | 1250 | 1x(60x10) | | | |
| E2L 16 | 1600 | 1600 | 1600 | 1500 | 2x(60x10) | 1600 | 1500 | 1400 | 2x(60x10) | | | |
| E3H/V 08 | 800 | 800 | 800 | 800 | 1x(60x10) | 800 | 800 | 800 | 1x(60x10) | | | |
| E3S/H 10 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1x(60x10) | 1000 | 1000 | 1000 | 1x(60x10) | | | |
| E3S/H/V 12 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1x(60x10) | 1250 | 1250 | 1250 | 1x(60x10) | | | |
| E3S/H/V 16 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1x(100x10) | 1600 | 1600 | 1600 | 1x(100x10) | | | |
| E3S/H/V 20 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2x(100x10) | 2000 | 2000 | 2000 | 2x(100x10) | | | |
| E3N/S/H/V 25 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2x(100x10) | 2500 | 2450 | 2400 | 2x(100x10) | | | |
| E3N/S/H/V 32 | 3200 | 3200 | 3100 | 2800 | 3x(100x10) | 3000 | 2880 | 2650 | 3x(100x10) | | | |
| E3L 20 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2x(100x10) | 2000 | 2000 | 1970 | 2x(100x10) | | | |
| E3L 25 | 2500 | 2500 | 2390 | 2250 | 2x(100x10) | 2375 | 2270 | 2100 | 2x(100x10) | | | |
| E4H/V 32 | 3200 | 3200 | 3200 | 3200 | 3x(100x10) | 3200 | 3150 | 3000 | 3x(100x10) | | | |
| E4S/H/V 40 | 4000 | 4000 | 3980 | 3500 | 4x(100x10) | 3600 | 3510 | 3150 | 6x(60x10) | | | |
| E6V 32 | 3200 | 3200 | 3200 | 3200 | 3x(100x10) | 3200 | 3200 | 3200 | 3x(100x10) | | | |
| E6H/V 40 | 4000 | 4000 | 4000 | 4000 | 4x(100x10) | 4000 | 4000 | 4000 | 4x(100x10) | | | |
| E6H/V 50 | 5000 | 5000 | 4850 | 4600 | 6x(100x10) | 4850 | 4510 | 4250 | 6x(100x10) | | | |
| E6H/V 63 | 6300 | 6000 | 5700 | 5250 | 7x(100x10) | - | - | - | - | | | |

Nota: la temperatura de referencia es la temperatura ambiente.

Ejemplos:

Elección de un interruptor automático en caja moldeada, con relé magnetotérmico, para una carga de 180 A, a una temperatura ambiente de 60 °C.

A través de la tabla que hace referencia a los interruptores automáticos Tmax (página 205), se observa que el interruptor más apropiado es un T3 In 250, que se puede regular entre 152 A y 216 A.

Elección de un interruptor automático en caja moldeada, con relé electrónico, en versión extraíble con terminales posteriores horizontales en pletina, para una carga de 720 A, a una temperatura ambiente de 50 °C.

A través de la tabla que hace referencia a los interruptores automáticos Tmax (página 209), se observa que el interruptor más apropiado es un T6 800, que se puede regular entre 320 A y 760 A.

Elección de un interruptor automático abierto, con relé electrónico, en versión extraíble con terminales verticales, para una carga de 2700 A, a una temperatura externa al cuadro IP31 de 55 °C.

A través de las tablas que hacen referencia a los valores de corriente dentro del cuadro de los interruptores automáticos Emax (indicadas anteriormente), se observa que el interruptor más apropiado es un E3 3200, con sector de barras 3x(100x10)mm², y que puede regularse entre 1280 A y 2800 A.

3 Características generales

En las siguientes tablas se indican las regulaciones máximas para la protección L (contra sobrecarga) de los relés electrónicos, en función de la temperatura, la ejecución y los terminales.

| Tmax T2 In = 160A | Fijo | Enchufable |
|----------------------|----------------------|------------|
| | PR221 | |
| | Todos los terminales | |
| 40 | 1 | 0.9 |
| 45 | 0.98 | 0.88 |
| 50 | 0.96 | 0.84 |
| 55 | 0.92 | 0.8 |
| 60 | 0.88 | 0.76 |
| 65 | 0.84 | 0.72 |
| 70 | 0.8 | 0.68 |

| Tmax T4 In = 250A | Fijo | | | | Enchufable - Extraíble | | | |
|----------------------|--------|---------|-------------|---------|------------------------|---------|-------------|---------|
| | PR221 | | PR222/PR223 | | PR221 | | PR222/PR223 | |
| | FC - F | HR - VR | FC - F | HR - VR | FC - F | HR - VR | FC - F | HR - VR |
| ≤40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 45 | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | |
| 60 | | | | | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 |
| 65 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.94 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 |
| 70 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 | 0.88 | 0.84 | 0.88 | 0.84 |

| Tmax T4 In = 320A | Fijo | | | | Enchufable - Extraíble | | | |
|----------------------|--------|---------|-------------|---------|------------------------|----------|-------------|----------|
| | PR221 | | PR222/PR223 | | PR221 | | PR222/PR223 | |
| | FC - F | HR - VR | FC - F | HR - VR | F | FC-HR-VR | F | FC-HR-VR |
| ≤40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 45 | | | | | | 0.96 | | 0.96 |
| 50 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 |
| 55 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 |
| 60 | 0.88 | 0.84 | 0.88 | 0.84 | 0.88 | 0.84 | 0.88 | 0.84 |
| 65 | 0.84 | 0.8 | 0.84 | 0.8 | 0.84 | 0.80 | 0.84 | 0.80 |
| 70 | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.76 |

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales.

3 Características generales

| Tmax T5 In = 400A | Fijo | | | | Enchufable - Extraíble | | | |
|----------------------|--------|---------|-------------|---------|------------------------|---------|-------------|---------|
| | PR221 | | PR222/PR223 | | PR221 | | PR222/PR223 | |
| | FC - F | HR - VR | FC - F | HR - VR | FC - F | HR - VR | FC - F | HR - VR |
| ≤40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 45 | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | |
| 55 | | | | | 0.96 | 0.96 | 0.98 | 0.96 |
| 60 | | | | | 0.92 | 0.92 | 0.96 | 0.92 |
| 65 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.94 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 |
| 70 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 | 0.88 | 0.84 | 0.88 | 0.84 |

| Tmax T5 In = 630A | Fijo | | | | Enchufable - Extraíble | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|---------|-------------|---------|------------------------|---------|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | PR222/PR223 | | PR222/PR223 | | PR221 | | PR222/PR223 | | | | | | | | | |
| | FC - F | HR - VR | FC - F | HR - VR | F | HR - VR | F | HR - VR | | | | | | | | |
| ≤40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 |
| 55 | | | | | | | | | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.84 | 0.92 | 0.86 |
| 60 | | | | | | | | | 0.88 | 0.84 | 0.88 | 0.84 | 0.88 | 0.8 | 0.88 | 0.82 |
| 65 | 0.84 | 0.8 | 0.84 | 0.8 | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.76 | | | | | | | | |
| 70 | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.76 | 0.76 | 0.72 | 0.76 | 0.72 | | | | | | | | |

FC = Anteriores para cable; F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales.

| Tmax T6 In = 630A | Fijo | | | | | | Extraíble | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|----|---|-------------|----|---|-----------|------|-------------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| | PR221 | | | PR222/PR223 | | | PR221 | | PR222/PR223 | | | | | | | | |
| | F | FC | R | F | FC | R | EF-VR | HR | EF-VR | HR | | | | | | | |
| ≤40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| 45 | | | | | | | | 0.96 | | | 0.96 | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | 0.92 | | | 0.92 | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | 0.96 | | | 0.92 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 | | |
| 60 | | | | | | | | 0.92 | | | 0.88 | 0.92 | 0.88 | 0.92 | 0.88 | 0.94 | 0.9 |
| 65 | | | | | | | | 0.96 | | | 0.92 | 0.84 | 0.96 | 0.92 | 0.84 | 0.92 | 0.84 |
| 70 | | | | | | | | 0.92 | | | 0.88 | 0.8 | 0.92 | 0.88 | 0.8 | 0.88 | 0.8 |

F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales; FC = Anteriores para cable; R(HR) = Posteriores con orientación horizontal; R(VR) = Posteriores con orientación vertical; ES = Anteriores prolongados separadores; R = Posteriores; EF = Anteriores prolongados.

3 Características generales

| Tmax T6 In = 800A | Fijo | | | | | | Extraible | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|----|---|-------------|----|---|-----------|------|-------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | PR221 | | | PR222/PR223 | | | PR221 | | PR222/PR223 | | | | | | | | | | |
| | F | FC | R | F | FC | R | EF-VR | HR | EF-VR | HR | | | | | | | | | |
| ≤40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | |
| 45 | | | | | | | | 0.96 | | | 0.96 | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | 0.92 | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | 0.92 | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | 0.96 | | | 0.92 | 0.94 | 0.9 | 0.96 | 0.92 | 0.96 | 0.92 | | |
| 65 | | | | | | | | 0.96 | | | 0.92 | 0.84 | 0.96 | 0.92 | 0.84 | 0.92 | 0.84 | 0.92 | 0.84 |
| 70 | | | | | | | | 0.92 | | | 0.88 | 0.8 | 0.94 | 0.9 | 0.8 | 0.88 | 0.8 | 0.9 | 0.8 |

| Tmax T6 In = 1000A | Fijo | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|--------|--------|------|-------------|--------|--------|------|------|------|------|
| | PR221 | | | | PR222/PR223 | | | | | | |
| | FC | R (HR) | R (VR) | ES | FC | R (HR) | R (VR) | ES | | | |
| ≤40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 45 | | 0.96 | | 0.96 | | 0.92 | 0.92 | 0.96 | 1 | 0.94 | |
| 50 | | 0.92 | | | | 0.96 | | 0.88 | 0.96 | 0.9 | |
| 55 | | 0.92 | | | | 0.88 | | 0.84 | 0.92 | 0.88 | 0.9 |
| 60 | | 0.84 | | 0.88 | | 0.8 | 0.84 | 0.84 | 0.88 | 0.82 | |
| 65 | | 0.84 | | | | 0.76 | | 0.8 | 0.76 | 0.84 | 0.78 |
| 70 | | 0.8 | | 0.76 | | 0.76 | 0.72 | 0.8 | 0.76 | 0.78 | 0.72 |

| Tmax T7 V In=1000 | Fijo | | | | | | Extraible | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| | PR231/PR232 | | PR331 | | PR332 | | PR231/PR232 | | PR331 | | PR332 | | | | | | | | | | | | | |
| | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | | | | | | | | | | | | |
| " 40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | | | | | | 0.92 | 0.925 | 0.925 | 0.94 | 0.92 | 0.92 | 0.95 | 0.925 | 0.95 | 0.94 | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | 0.88 | | 0.875 | | 0.89 | 0.88 | 0.88 | 0.9 | 0.875 | 0.9 | 0.89 | |
| 65 | | | | | | | | | | | | | 0.92 | | 0.8 | | 0.95 | 0.825 | 0.95 | 0.83 | 0.84 | 0.8 | 0.85 | 0.825 |
| 70 | | | | | | | | | | | | | 0.88 | 0.76 | 0.875 | 0.775 | 0.89 | 0.78 | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.775 | 0.81 | 0.78 |

| Tmax T7 S, H, L In=1250 | Fijo | | | | | | Extraible | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| | PR231/PR232 | | PR331 | | PR332 | | PR231/PR232 | | PR331 | | PR332 | | | | | | | | | | | | | |
| | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | | | | | | | | | | | | |
| " 40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | | | | | | 0.92 | 0.925 | 0.925 | 0.94 | 0.92 | 0.92 | 0.95 | 0.925 | 0.95 | 0.94 | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | 0.88 | | 0.875 | | 0.89 | 0.88 | 0.88 | 0.9 | 0.875 | 0.91 | 0.89 | |
| 65 | | | | | | | | | | | | | 0.92 | | 0.84 | | 0.925 | 0.825 | 0.94 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.85 | 0.825 |
| 70 | | | | | | | | | | | | | 0.88 | 0.76 | 0.875 | 0.775 | 0.89 | 0.78 | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.775 | 0.81 | 0.78 |

3 Características generales

| Tmax T7 V In=1250 | Fijo | | | | | | Extraíble | | | | | |
|----------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | PR231/PR232 | | PR331 | | PR332 | | PR231/PR232 | | PR331 | | PR332 | |
| | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR |
| "40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 45 | 1 | 0.96 | 1 | 0.95 | 1 | 0.96 | 0.96 | 0.88 | 0.95 | 0.9 | 0.96 | 0.9 |
| 50 | 0.96 | 0.92 | 0.95 | 0.925 | 0.96 | 0.92 | 0.92 | 0.8 | 0.925 | 0.8 | 0.92 | 0.8 |
| 55 | 0.88 | 0.88 | 0.9 | 0.875 | 0.91 | 0.88 | 0.88 | 0.76 | 0.875 | 0.75 | 0.88 | 0.76 |
| 60 | 0.84 | 0.84 | 0.85 | 0.825 | 0.87 | 0.84 | 0.84 | 0.72 | 0.825 | 0.725 | 0.84 | 0.73 |
| 65 | 0.8 | 0.76 | 0.8 | 0.775 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.68 | 0.775 | 0.675 | 0.79 | 0.69 |
| 70 | 0.76 | 0.72 | 0.775 | 0.75 | 0.78 | 0.75 | 0.72 | 0.64 | 0.75 | 0.65 | 0.75 | 0.65 |

| Tmax T7 S, H, L In=1600 | Fijo | | | | | | Extraíble | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | PR231/PR232 | | PR331 | | PR332 | | PR231/PR232 | | PR331 | | PR332 | |
| | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR | VR | EF-HR |
| "40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 45 | 1 | 0.96 | 1 | 0.95 | 1 | 0.96 | 0.96 | 0.88 | 0.95 | 0.9 | 0.96 | 0.9 |
| 50 | 0.96 | 0.92 | 0.95 | 0.925 | 0.96 | 0.92 | 0.92 | 0.8 | 0.925 | 0.8 | 0.92 | 0.8 |
| 55 | 0.88 | 0.88 | 0.9 | 0.875 | 0.91 | 0.88 | 0.88 | 0.76 | 0.875 | 0.75 | 0.88 | 0.76 |
| 60 | 0.84 | 0.84 | 0.875 | 0.825 | 0.87 | 0.84 | 0.84 | 0.72 | 0.825 | 0.725 | 0.84 | 0.73 |
| 65 | 0.8 | 0.76 | 0.825 | 0.775 | 0.83 | 0.79 | 0.8 | 0.68 | 0.8 | 0.675 | 0.8 | 0.67 |
| 70 | 0.76 | 0.72 | 0.775 | 0.75 | 0.78 | 0.75 | 0.72 | 0.64 | 0.75 | 0.65 | 0.75 | 0.65 |

F = Anteriores en pletina; HR = Posteriores horizontales; VR = Posteriores verticales; FC = Anteriores para cable; R(HR) = Posteriores con orientación horizontal; R(VR) = Posteriores con orientación vertical; ES = Anteriores prolongados separadores; R = Posteriores; EF = Anteriores prolongados.

3 Características generales

| E _{max} X1 | 630 A | |
|---------------------|-------|-------------|
| | PR331 | PR332/PR333 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |

| E _{max} X1 | 800 A | |
|---------------------|-------|-------------|
| | PR331 | PR332/PR333 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |

| E _{max} X1 | 1000 A | |
|---------------------|--------|-------------|
| | PR331 | PR332/PR333 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |

| E _{max} X1 | 1250 A | |
|---------------------|--------|-------------|
| | PR331 | PR332/PR333 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |

| E _{max} X1* | 1600 A | |
|----------------------|--------|-------------|
| | PR331 | PR332/PR333 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | 0.95 | 0.96 |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |

| E _{max} X1** | 1600 A | |
|-----------------------|--------|-------------|
| | PR331 | PR332/PR333 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |

* con terminales posteriores horizontales

** con terminales posteriores verticales

3 Características generales

| E _{max} E1 | 800 A | |
|---------------------|-------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | | |

| E _{max} E1 | 1000 A | |
|---------------------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | | |

| E _{max} E1 | 1250 A | |
|---------------------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | 0.975 | 0.99 |
| | | 0.98 |

| E _{max} E1 | 1600 A | |
|---------------------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | 0.975 | 0.98 |
| 50 | 0.95 | 0.95 |
| 55 | 0.925 | 0.93 |
| 60 | 0.9 | 0.91 |
| 65 | 0.875 | 0.89 |
| 70 | 0.85 | 0.87 |

| E _{max} E2 | 800/1000/1250 A | |
|---------------------|-----------------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | | |

| E _{max} E2 | 1600 A | | | |
|---------------------|--------|-------------|-------|------|
| | PR121 | PR122/PR123 | | |
| ≤40 | 1 | 1 | | |
| 45 | | | | |
| 50 | | | | |
| 55 | | | | |
| 60 | | | 0.975 | 0.98 |
| 65 | | | 0.95 | 0.96 |
| 70 | | | 0.925 | 0.94 |

| E _{max} E2 | 2000 A | | | |
|---------------------|--------|-------------|-------|------|
| | PR121 | PR122/PR123 | | |
| ≤40 | 1 | 1 | | |
| 45 | | | | |
| 50 | | | 0.95 | 0.97 |
| 55 | | | 0.925 | 0.94 |
| 60 | | | 0.9 | 0.91 |
| 65 | | | 0.875 | 0.88 |
| 70 | | | 0.85 | 0.85 |

| E _{max} E3 | 800/1000/1250/1600/2000 A | |
|---------------------|---------------------------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | | |

3 Características generales

| Emax E3 | 2500 A | |
|---------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | 0.95 | 0.97 |
| | 0.925 | 0.94 |

| Emax E3 | 3200 A | |
|---------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | 0.95 | 0.96 |
| | 0.875 | 0.89 |
| | 0.85 | 0.85 |
| | 0.8 | 0.82 |

| Emax E4 | 3200 A | |
|---------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | 0.975 | 0.97 |
| | 0.95 | 0.95 |

| Emax E4 | 4000 A | |
|---------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | 0.975 | 0.97 |
| | 0.925 | 0.94 |
| | 0.9 | 0.92 |
| | 0.875 | 0.89 |
| | 0.85 | 0.86 |

| Emax E6 | 3200/4000 A | |
|---------|-------------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | | |

| Emax E6 | 5000 A | |
|---------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | 0.975 | 0.98 |
| | 0.95 | 0.96 |
| | 0.925 | 0.94 |

| Emax E6 | 6300 A | |
|---------|--------|-------------|
| | PR121 | PR122/PR123 |
| ≤40 | 1 | 1 |
| 45 | | |
| 50 | | |
| 55 | | |
| 60 | | |
| 65 | | |
| 70 | 0.975 | 0.98 |
| | 0.95 | 0.96 |
| | 0.9 | 0.92 |
| | 0.875 | 0.88 |

3 Características generales

Para cuadros de interruptores con las siguientes dimensiones (mm):2000x400x400 (HxLxD)

| | Terminales verticales | | | | | |
|------------|-----------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | 35 °C | | 45 °C | | 55 °C | |
| | PR331 | PR332/PR333 | PR331 | PR332/PR333 | PR331 | PR332/PR333 |
| X1B/N/L 06 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| X1B/N/L 08 | | | | | | |
| X1B/N 10 | | | | | | |
| X1L 10 | | | 0.95 | 0.96 | | |
| X1B/N 12 | | | 1 | 1 | | |
| X1L 12 | | | 0.95 | 0.96 | | |
| X1B/N 16 | | | 0.9 | 0.9 | | |

| | Terminales horizontales y anteriores | | | | | |
|------------|--------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | 35 °C | | 45 °C | | 55 °C | |
| | PR331 | PR332/PR333 | PR331 | PR332/PR333 | PR331 | PR332/PR333 |
| X1B/N/L 06 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| X1B/N/L 08 | | | | | | |
| X1B/N 10 | | | | | | |
| X1L 10 | | | 0.95 | 0.95 | 0.875 | 0.89 |
| X1B/N 12 | | | 1 | 1 | 0.95 | 0.96 |
| X1L 12 | | | 0.9 | 0.9 | 0.75 | 0.76 |
| X1B/N 16 | | | 0.875 | 0.87 | 0.825 | 0.83 |

Para cuadros de interruptores con las siguientes dimensiones (mm):2300x900x800 (HxLxD)

| | Terminales verticales | | | | | |
|------------|-----------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | 35 °C | | 45 °C | | 55 °C | |
| | PR331 | PR332/PR333 | PR331 | PR332/PR333 | PR331 | PR332/PR333 |
| X1B/N/L 06 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| X1B/N/L 08 | | | | | | |
| X1B/N 10 | | | | | | |
| X1L 10 | | | 0.925 | 0.93 | 0.875 | 0.88 |
| X1B/N 12 | | | 0.925 | 0.93 | 0.875 | 0.88 |
| X1L 12 | | | 0.925 | 0.93 | 0.875 | 0.88 |
| X1B/N 16 | | | 0.925 | 0.93 | 0.875 | 0.88 |

| | Terminales horizontales y anteriores | | | | | |
|------------|--------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | 35 °C | | 45 °C | | 55 °C | |
| | PR331 | PR332/PR333 | PR331 | PR332/PR333 | PR331 | PR332/PR333 |
| X1B/N/L 06 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| X1B/N/L 08 | | | | | | |
| X1B/N 10 | | | | | | |
| X1L 10 | | | 0.95 | 0.96 | 0.9 | 0.9 |
| X1B/N 12 | | | 1 | 1 | 0.95 | 0.96 |
| X1L 12 | | | 0.9 | 0.92 | 0.75 | 0.76 |
| X1B/N 16 | | | 0.9 | 0.91 | 0.875 | 0.87 |

3 Características generales

| | Terminales verticales | | | | | |
|--------------|-----------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | 35 °C | | 45 °C | | 55 °C | |
| | PR121 | PR122/PR123 | PR121 | PR122/PR123 | PR121 | PR122/PR123 |
| E1B/N 08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E1B/N 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E1B/N 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E1B/N 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.925 | 0.93 |
| E2S 08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2N/S 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2N/S 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2B/N/S16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2B/N/S20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.9 | 0.9 |
| E2L 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2L 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.925 | 0.93 |
| E3H/V 08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3S/ V 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3S/H/V 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3S/H/V 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3S/H/V20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3N/S/H/ V25 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3N/S/H/ V32 | 1 | 1 | 0.95 | 0.96 | 0.875 | 0.87 |
| E3L 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3L 25 | 1 | 1 | 0.95 | 0.95 | 0.9 | 0.9 |
| E4H/V32 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E4S/H/V40 | 1 | 1 | 0.975 | 0.99 | 0.875 | 0.87 |
| E6V 32 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E6H/ V 40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E6H/ V 50 | 1 | 1 | 0.95 | 0.97 | 0.9 | 0.92 |
| E6H/V 63 | 0.95 | 0.95 | 0.9 | 0.9 | 0.825 | 0.83 |

| | Terminales horizontales y anteriores | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | 35 °C | | 45 °C | | 55 °C | |
| | PR121 | PR122/PR123 | PR121 | PR122/PR123 | PR121 | PR122/PR123 |
| E1B/N 08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E1B/N 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E1B/N 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.95 | 0.96 |
| E1B/N 16 | 0.95 | 0.96 | 0.9 | 0.9 | 0.825 | 0.84 |
| E2S 08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2N/S 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2N/S 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2B/N/S16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.95 | 0.95 |
| E2B/N/S20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.875 | 0.87 |
| E2L 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E2L 16 | 1 | 1 | 0.925 | 0.93 | 0.875 | 0.87 |
| E3H/ V 08 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3S/H 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3S/H/ V 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3S/H/ V16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3S/H/ V20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E3N/S/H/ V25 | 1 | 1 | 0.975 | 0.98 | 0.95 | 0.96 |
| E3N/S/H/ V32 | 0.925 | 0.93 | 0.9 | 0.9 | 0.825 | 0.82 |
| E3L 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.975 | 0.98 |
| E3L 25 | 0.95 | 0.95 | 0.9 | 0.9 | 0.825 | 0.84 |
| E4H/ V32 | 1 | 1 | 0.975 | 0.98 | 0.925 | 0.93 |
| E4S/H/ V40 | 0.9 | 0.9 | 0.875 | 0.87 | 0.775 | 0.78 |
| E6V 32 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E6H/ V 40 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| E6H/ V 50 | 0.95 | 0.97 | 0.9 | 0.9 | 0.85 | 0.85 |
| E6H/ V 63 | - | - | - | - | - | - |

3 Características generales

3.6 Desclasificación por altitud

Para instalaciones realizadas a cotas superiores a los 2.000 metros sobre el nivel del mar, los interruptores automáticos de baja tensión sufren una disminución de sus prestaciones.

Básicamente se presentan dos tipos de fenómenos:

- La disminución de la densidad del aire determina una eliminación del calor menos eficaz. Las condiciones de calentamiento admisibles para las diversas partes del interruptor automático pueden respetarse sólo disminuyendo el valor de la corriente asignada permanente.
- El enrarecimiento del aire conlleva una disminución de la rigidez dieléctrica, por lo que las distancias normales de aislamiento resultan insuficientes; ello determina una disminución de la tensión nominal máxima a la cual el aparato puede utilizarse.

En la siguiente tabla se indican los factores de corrección para las diversas familias de interruptores automáticos en caja moldeada y abiertos:

| Altitud | Tensión asignada de servicio Ue [V] | | | |
|---------|-------------------------------------|---------|---------|---------|
| | 2000[m] | 3000[m] | 4000[m] | 5000[m] |
| Tmax* | 690 | 600 | 500 | 440 |
| Isomax | 690 | 600 | 500 | 440 |
| Emax | 690 | 600 | 500 | 440 |

| Altitud | Corriente asignada permanente Iu [A] | | | |
|---------|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| | 2000[m] | 3000[m] | 4000[m] | 5000[m] |
| Tmax | 100% | 98% | 93% | 90% |
| Isomax | 100% | 95% | 90% | 85% |
| Emax | 100% | 98% | 93% | 90% |

* Tmax T1P excluido

3 Características generales

3.7 Características eléctricas de los interruptores de maniobra-seccionadores

Un interruptor seccionador, tal y como ha sido definido por la norma de producto IEC 60947-3, es un dispositivo mecánico de maniobra que en posición de abierto realiza la función de seccionamiento; es decir, asegura una distancia de aislamiento (distancia entre contactos) tal como para garantizar la seguridad de la misma. Esta seguridad de seccionamiento debe estar garantizada y verificable por la maniobra positiva: la palanca de maniobra debe indicar siempre la posición real de los contactos móviles del aparato.

El dispositivo mecánico de maniobra debe estar en condiciones de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluidas las eventuales corrientes de sobrecarga en servicio ordinario, así como también soportar, en un tiempo especificado, corrientes en condiciones anormales del circuito, tales como –por ejemplo– las de cortocircuito.

Los interruptores seccionadores pueden utilizarse como:

- interruptor general de sub-cuadros;
- interruptor de maniobra y desconexión de líneas, barras o grupos de aparatos usuarios;
- seccionador de barras de un cuadro.

El interruptor seccionador debe garantizar la puesta fuera de tensión de toda la instalación o de una parte de la misma, separándola de forma segura de cualquier alimentación eléctrica. La utilización del interruptor seccionador permite, por ejemplo, garantizar la seguridad contra los riesgos eléctricos de las personas mientras trabajan en la instalación.

Si bien no está prohibido el uso en paralelo de dispositivos unipolares, las normas aconsejan que se utilicen aparatos multipolares de manera de garantizar el seccionamiento simultáneo de todos los polos del circuito.

Las características asignadas específicas de los interruptores seccionadores están definidas por la norma de producto IEC60947-3 que se indican a continuación:

- **I_{cw} [kA]**: corriente asignada de corta duración admisible es la corriente que un interruptor puede soportar, sin dañarse, en la posición de cerrado en un tiempo especificado.
- **I_{cm} [kA]**: poder asignado de cierre en cortocircuito es el valor de cresta máximo de una corriente de cortocircuito que el interruptor seccionador puede cerrar sin dañarse; si el fabricante no indica este dato, deberá entenderse por lo menos igual al de la corriente de cresta correspondiente a la I_{cw}. No puede definirse un poder de corte **I_{cu} [kA]** porque a estos aparatos no se les requiere el cortar corrientes de cortocircuito.
- **Categorías de utilización en corriente alterna CA y en corriente continua CC:**

definen las condiciones de utilización y están representadas por dos letras que indican el tipo de circuito en el cual el aparato puede instalarse (CA corriente alterna y CC corriente continua), un número de dos cifras para el tipo de carga que se debe maniobrar y una letra ulterior (A o B) que representa la frecuencia de uso.

Con referencia a la categoría de utilización, la norma de producto define los valores de corriente que el interruptor seccionador puede interrumpir y establecer en condiciones anómalas.

3 Características generales

Las características de las categorías de utilización se indican en la Tabla 1. La categoría más dura en corriente alterna es la AC23A, para la cual se requiere que el aparato esté en condiciones de cerrar una corriente de 10 veces el valor de la corriente asignada del aparato e interrumpir una corriente de 8 veces el valor de la corriente asignada del aparato.

Desde el punto de vista constructivo, el interruptor seccionador es un aparato muy sencillo. No está dotado de dispositivos para la detección de las sobrecorrientes y la consecuente interrupción automática de la corriente; en consecuencia, el seccionador no puede utilizarse para la protección automática de la instalación contra las sobrecorrientes que se manifiestan en caso de defecto y por la misma razón debe estar protegido por un interruptor automático coordinado con el mismo. La combinación de los dos dispositivos permite utilizar los interruptores seccionadores en instalaciones cuyo valor de corriente de cortocircuito es superior respecto a los parámetros eléctricos que definen las prestaciones del interruptor seccionador [protección de acompañamiento (back-up), véase Capítulo 4.4], lo cual tiene validez sólo para los interruptores seccionadores en caja moldeada Isomax y Tmax; en cambio, para los interruptores seccionadores abiertos Emax/MS se debe comprobar que los valores de I_{cw} e I_{cm} sean superiores, respectivamente, al valor de cortocircuito de la instalación y al de cresta correspondiente.

Tabla 1: Categorías de utilización

| Naturaleza de la corriente | Categorías de utilización | | |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|---|
| | Categorías de utilización | | Aplicaciones típicas |
| | Maniobra frecuente | Maniobra no frecuente | |
| Corriente alterna | AC-20A | AC-20B | Conexión y desconexión en vacío |
| | AC-21A | AC-21B | Maniobra de cargas resistivas con sobrecargas de moderada magnitud |
| | AC-22A | AC-22B | Maniobra de cargas mixtas resistivas e inductivas con sobrecargas de moderada magnitud |
| | AC-23A | AC-23B | Maniobra de motores u otras cargas altamente inductivas |
| Corriente continua | DC-20A | DC-20B | Maniobra de cargas resistivas con sobrecargas de moderada magnitud |
| | DC-21A | DC-21B | Maniobra de cargas resistivas con sobrecargas de moderada magnitud |
| | DC-22A | DC-22B | Maniobra de cargas mixtas resistivas e inductivas con sobrecargas moderada magnitud (por ej. motores en derivación) |
| | DC-23A | DC-23B | Maniobra de motores u otras cargas altamente inductivas |

3 Características generales

Las Tablas 2, 3 y 4 indican las características principales de cada seccionador.

Tabla 2: Interruptores de maniobra-seccionadores Tmax

| | | Tmax T1D | Tmax T3D | | |
|---|------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------|---------|
| Corriente térmica convencional, I_{th} | [A] | 160 | 250 | | |
| Corriente asignada de utilización en categoría AC22, I_e | [A] | 160 | 250 | | |
| Corriente asignada de utilización en categoría AC23, I_e | [A] | 125 | 200 | | |
| Polos | [Nr.] | 3/4 | 3/4 | | |
| Tensión asignada de servicio, U_e | (AC) 50-60 Hz | 690 | 690 | | |
| | (DC) | 500 | 500 | | |
| Tensión asignada soportada a impulso, U_{imp} | [kV] | 8 | 8 | | |
| Tensión asignada de aislamiento, U_i | [V] | 800 | 800 | | |
| Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min. | [V] | 3000 | 3000 | | |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito, I_{cm} (min) sólo seccionador | [kA] | 2.8 | 5.3 | | |
| | (max) con interruptor aguas arriba | 187 | 105 | | |
| Corriente asignada de corta duración admisible por 1s, I_{cw} | [kA] | 2 | 3.6 | | |
| Norma de referencia | | IEC 60947-3 | IEC 60947-3 | | |
| Versiones | | F | F - P | | |
| Terminales | | FC Cu - EF - FC CuAl | F-FC CuAl-FC Cu-EF-ES-R | | |
| Durabilidad mecánica | [Num. operaciones] | 25000 | 25000 | | |
| | [Num. operaciones/hora] | 120 | 120 | | |
| Dimensiones básicas - versión fija | 3 polos | W [mm] | 76 | | |
| | 4 polos | W [mm] | 102 | | |
| | | D [mm] | 70 | | |
| | H [mm] | 130 | | | |
| Peso | fijo | 3/4 polos | [kg] | 0.9/1.2 | 1.5/2 |
| | enchufable | 3/4 polos | [kg] | - | 2.1/3.7 |
| | extraíble | 3/4 polos | [kg] | - | - |

3 Características generales

| Tmax T4D | Tmax T5D | Tmax T6D | Tmax T7D |
|----------------------------------|-------------------------------|----------------------|--|
| 250/320 | 400/630 | 630/800/1000 | 1000/1250/1600 |
| 250/320 | 400/630 | 630/800/1000 | 1000/1250/1600 |
| 250 | 400 | 630/800/800 | 1000/1250/1250 |
| 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 |
| 690 | 690 | 690 | 690 |
| 750 | 750 | 750 | 750 |
| 8 | 8 | 8 | 8 |
| 800 | 800 | 1000 | 1000 |
| 3000 | 3000 | 3500 | 3000 |
| 5.3 | 11 | 30 | 52.5 |
| 440 | 440 | 440 | 440 |
| 3.6 | 6 | 15 | 20 |
| IEC 60947-3 | IEC 60947-3 | IEC 60947-3 | IEC 60947-3 |
| F - P - W | F - P - W | F-W | F-W |
| F-FC CuAl-FC Cu-EF-ES-R-MC-HR-VR | F-FC CuAl-FC Cu-EF-ES-R-HR-VR | F-FC CuAl-EF-ES-R-RC | F-EF-ES-FC CuAl HR/VR |
| 20000 | 20000 | 20000 | 10000 |
| 120 | 120 | 120 | 60 |
| 105 | 140 | 210 | 210 |
| 140 | 184 | 280 | 280 |
| 103.5 | 103.5 | 268 | 154(manual)/178(motorizable) |
| 205 | 205 | 103.5 | 268 |
| 2.35/3.05 | 3.25/4.15 | 9.5/12 | 9.7/12.5(manual)/11/14(motorizable) |
| 3.6/4.65 | 5.15/6.65 | - | - |
| 3.85/4.9 | 5.4/6.9 | 12.1/15.1 | 29.7/39.6(manual)/32/42.6(motorizable) |

LEYENDA
VERSIONES
F = Fijo
P = Enchufable
W = Extraíble

LEYENDA
TERMINALES
F = Anteriores
EF = Anteriores prolongados
ES = Anteriores prolongados separadores

FC CuAl = Anteriores para cables de cobre o aluminio
R = Posteriores orientables
RC = Posteriores para cables de cobre o aluminio
HR = Posterior en pletina horizontal
VR = Posterior en pletina vertical

3 Características generales

Tabla 4: Interruptores seccionadores Emax

| | | X1B/MS | E1B/MS | E1N/MS | E2B/MS | E2N/MS |
|---|-----------|--------|--------|-------------------|--------|--------|
| Corriente permanente asignada (a 40 °C) I_w | [A] | 1000 | 800 | 800 | 1600 | 1000 |
| | [A] | 1250 | 1000 | 1000 | 2000 | 1250 |
| | [A] | 1600 | 1250 | 1250 | | 1600 |
| | [A] | | 1600 | 1600 | | 2000 |
| | [A] | | | | | |
| Tensión asignada de empleo, U_e | [V ~] | 690 | 690 | 690 | 690 | 690 |
| | [V -] | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Tensión asignada de aislamiento, U_i | [V ~] | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| Tensión asignada soportada a impulso, U_{imp} | [kV] | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Corriente asignada admisible de corta duración, I_{cw} | (1s) [kA] | 42 | 42 | 50 ⁽¹⁾ | 42 | 55 |
| | (3s) [kA] | | 36 | 36 | 42 | 42 |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito (valor de cresta), I_{cm} | | | | | | |
| 220/230/380/400/415/440 V ~ | [kA] | 88.2 | 88.2 | 105 | 88.2 | 143 |
| 500/660/690 V ~ | [kA] | 88.2 | 5.6 | 75.6 | 88.2 | 121 |

Nota: el poder de corte I_{cu} a la tensión de empleo máxima asignada, mediante un relé de protección externo y con un tiempo máximo de 500 ms, equivale al valor de I_{cw} (1s).

3 Características generales

| E2S/MS | E3N/MS | E3S/MS | E3V/MS | E4S/MS | E4H/fMS | E4H/MS | E6H/MS | E6H/f MS |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------------------|--------|----------|
| 1000 | 2500 | 1000 | 800 | 4000 | 3200 | 3200 | 4000 | 4000 |
| 1250 | 3200 | 1250 | 1250 | | 4000 | 4000 | 5000 | 5000 |
| 1600 | | 1600 | 1600 | | | | 6300 | 6300 |
| 2000 | | 2000 | 2000 | | | | | |
| | 2500 | 2500 | | | | | | |
| | 3200 | 3200 | | | | | | |
| 690 | 690 | 690 | 690 | 690 | 690 | 690 | 690 | 690 |
| 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 65 | 65 | 75 | 85 | 75 | 85 | 100 ⁽²⁾ | 100 | 100 |
| 42 | 65 | 65 | 65 | 75 | 75 | 75 | 85 | 85 |
| 187 | 143 | 165 | 286 | 165 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 143 | 143 | 165 | 220 | 165 | 220 | 187 | 220 | 220 |

⁽¹⁾ $I_{cw}=36\text{kA}@690\text{V}$.

⁽²⁾ $I_{cw}=85\text{kA}@690\text{V}$.

4 Coordinación de las protecciones

4.1 Coordinación de las protecciones

El diseño del sistema de protección de una instalación eléctrica es fundamental, tanto para garantizar un correcto desempeño económico y funcional de toda la instalación así como para minimizar los problemas causados por las condiciones anómalas de operación y/o malfuncionamiento.

En el marco de este análisis, la coordinación entre los diferentes dispositivos destinados a la protección de zonas y componentes específicos debe:

- garantizar en todo momento la seguridad tanto de las personas como de las instalaciones;
- identificar y aislar rápidamente la zona donde ha ocurrido el problema para no cortar inútilmente el suministro a las zonas no afectadas;
- reducir los efectos del fallo (caída de tensión, pérdida de estabilidad en las máquinas rotativas) en las partes indemnes de la instalación;
- reducir el esfuerzo de los componentes y los daños en la zona afectada;
- garantizar la continuidad del servicio con una buena calidad de la tensión de alimentación;
- garantizar un adecuado soporte en caso de malfuncionamiento de la protección encargada de la apertura;
- proveer al personal de mantenimiento y al sistema de gestión la información necesaria para restablecer el servicio en el menor tiempo posible y con la mínima perturbación en el resto de la red;
- alcanzar un buen equilibrio entre fiabilidad, simplicidad y economía.

Más en detalle, un buen sistema de protección debe tener la capacidad de:

- detectar qué ha ocurrido y dónde, y distinguir entre situaciones anómalas pero tolerables y verdaderos fallos en la propia zona de influencia, con el fin de evitar desconexiones inoportunas que paralicen injustificadamente una parte indemne de la instalación;
- actuar lo más rápido posible para limitar los daños (destrucción, envejecimiento acelerado) y asegurar la continuidad y estabilidad de la alimentación.

Las soluciones surgen del equilibrio entre estas dos exigencias contrapuestas- identificación precisa del fallo y rápida actuación- y se definen en función de cual de los dos requisitos es prioritario.

Tipos de coordinación de sobreintensidad

Influencia de los parámetros eléctricos de la instalación (intensidad asignada e intensidad de cortocircuito)

La coordinación de las protecciones depende en buena medida de la intensidad asignada (I_n) y la intensidad de cortocircuito (I_k) que existen en el punto considerado de la instalación.

En general, es posible distinguir entre los siguientes tipos de coordinación:

- selectividad amperimétrica;
- selectividad cronométrica;
- selectividad de zona (o lógica);
- selectividad energética;
- protección de acompañamiento (back-up).

4 Coordinación de las protecciones

Definición de selectividad

La **selectividad de actuación por sobreintensidad** es la coordinación entre las características de funcionamiento de dos o más dispositivos de protección contra sobreintensidad tal que, al verificarse una sobreintensidad dentro de los límites establecidos, actúa sólo el dispositivo destinado a funcionar dentro de esos límites y los demás no intervienen (Norma IEC 60947-1, def. 2.5.23).

Es posible distinguir entre:

- **Selectividad total:** por selectividad total se entiende una selectividad de sobreintensidad tal que, en presencia de dos dispositivos de protección contra sobreintensidades conectados en serie, el dispositivo de aguas abajo ejerce la protección sin provocar la actuación del otro dispositivo (Norma IEC 60947-2, def. 2.17.2).
- **Selectividad parcial:** es una selectividad de sobreintensidad por la cual, en presencia de dos dispositivos de protección contra sobreintensidades conectados en serie, el dispositivo situado aguas abajo ejerce la protección hasta un nivel determinado de sobreintensidad sin provocar la actuación del otro dispositivo (Norma IEC 60947-2, def. 2.17.3). Dicho nivel de sobreintensidad se denomina intensidad límite de selectividad I_s (Norma IEC 60947-2, def. 2.17.4).

Selectividad amperimétrica

Este tipo de selectividad surge de la observación de que, cuanto más cerca de la alimentación se produce el fallo, mayor es la intensidad de cortocircuito. Este fenómeno permite aislar la zona donde se ha verificado el defecto, simplemente calibrando la protección instantánea del dispositivo de cabecera a un valor superior a la intensidad de defecto que provoca el disparo del dispositivo situado aguas abajo.

Normalmente, se logra obtener una selectividad total sólo en casos específicos en los cuales la intensidad de defecto no es elevada (comparable a la intensidad asignada del dispositivo) o hay un componente de alta impedancia situado entre las dos protecciones (transformador, cable muy largo o de sección reducida) y, por lo tanto, existe una gran diferencia entre los valores de la intensidad de cortocircuito.

Este tipo de coordinación se utiliza sobre todo en los circuitos terminales (bajos valores de intensidad asignada y de intensidad de cortocircuito y alta impedancia de los cables de conexión).

En general, para su estudio se utilizan las curvas tiempo-intensidad de actuación de los dispositivos.

Esta solución es:

- rápida;
- fácil de realizar;
- económica.

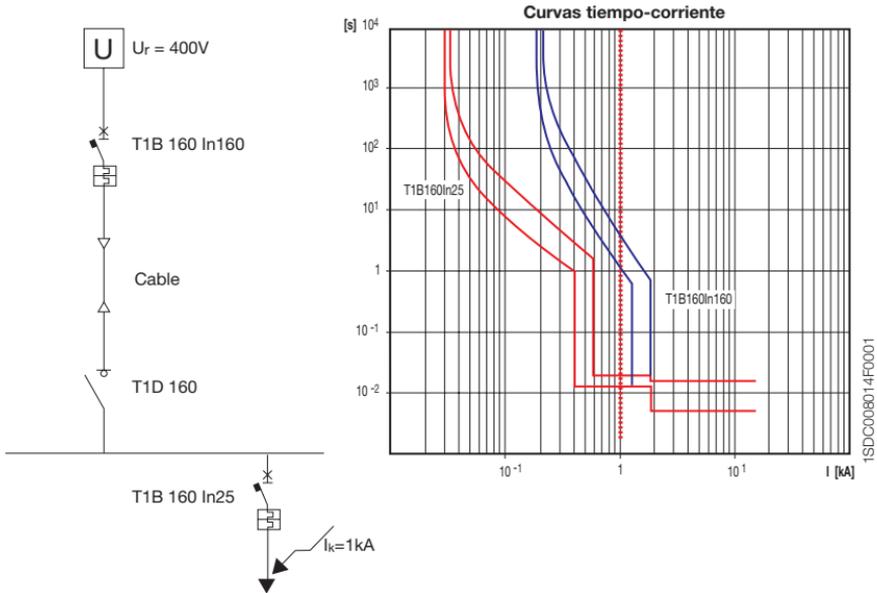
Sin embargo:

- los niveles de selectividad son normalmente bajos.
- Incrementar los niveles de selectividad supone un rápido aumento de los calibres de los dispositivos.

El ejemplo siguiente ilustra una aplicación típica de selectividad amperimétrica basada en distintos umbrales de actuación instantánea de los interruptores automáticos considerados.

4 Coordinación de las protecciones

Considerando una intensidad de defecto de 1000 A en el punto indicado, se realiza una coordinación adecuada utilizando los interruptores automáticos indicados, como puede verse en las curvas de actuación de los dispositivos. El límite de selectividad está dado por el umbral mínimo de disparo magnético del interruptor automático de cabecera (T1B160 R160).



Selectividad cronométrica

Este tipo de selectividad es una evolución de la anterior: la estrategia de regulación es aumentar progresivamente el umbral de intensidad y el retardo del disparo cuanto más cerca está el dispositivo de la fuente de alimentación. Como en el caso de la selectividad amperimétrica, el estudio se realiza comparando las curvas tiempo-intensidad de actuación de los dispositivos de protección.

Este tipo de coordinación:

- Es fácil de proyectar y de realizar.
- Es relativamente económico.
- Permite obtener límites de selectividad elevados, en función de la intensidad de corta duración soportada por el dispositivo de cabecera.
- Admite una redundancia de las funciones de protección y puede suministrar buenas informaciones al sistema de control.

Pero tiene los siguientes inconvenientes:

- Los tiempos de actuación y los niveles de energía que las protecciones dejan pasar —en especial aquéllas próximas a las fuentes— son elevados, lo que conlleva problemas de seguridad y riesgo de que se dañen los componentes incluso en las zonas no afectadas por el fallo.
- Permite utilizar interruptores automáticos limitadores sólo en el nivel jerár-

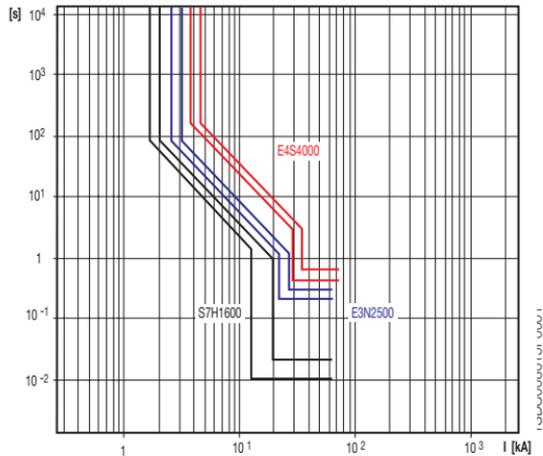
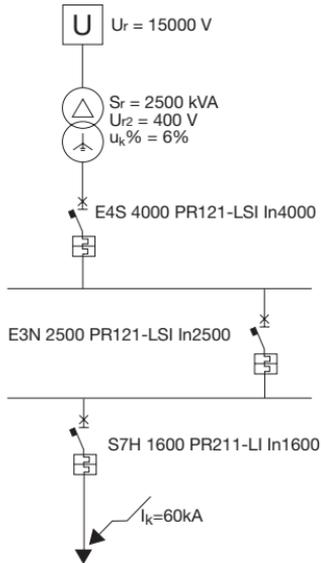
4 Coordinación de las protecciones

quico más bajo de la cadena. Los demás interruptores deben ser capaces de soportar las solicitaciones térmicas y electrodinámicas causadas por el paso de la corriente de defecto durante el tiempo de retardo intencional. Generalmente, para los distintos niveles deben emplearse interruptores automáticos de tipo abierto con el fin de garantizar una intensidad de corta duración suficientemente elevada.

- La duración de la perturbación generada por la corriente de cortocircuito en las tensiones de alimentación de las zonas no afectadas por el fallo puede causar problemas en dispositivos electromecánicos y electrónicos (tensión inferior al valor de desacoplamiento de electroimanes).
- El número de niveles de selectividad está limitado por el tiempo máximo que soporta el sistema eléctrico sin perder estabilidad.

El ejemplo siguiente ilustra una aplicación típica de selectividad cronométrica, diferenciando los tiempos de actuación de los diversos dispositivos de protección.

| Relé electrónico: | L (ret. largo) | S (ret. corto) | I (IST) |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|
| E4S 4000 PR121-LSI In4000 | Regulación: 0.9 Curva: 12s | Regulación: 8.5 Curva: 0.5s | Off |
| E3N 2500 PR121-LSI In2500 | Regulación: 1 Curva: 3s | Regulación: 10 Curva: 0.3s | Off |
| S7H 1600 PR211-LI In1600 | Regulación: 1 Curva: A | | Regulación: 10 |



4 Coordinación de las protecciones

Selectividad de zona (o lógica)

La selectividad de zona está disponible en MCCB (T4 L-T5 L-T6 L con PR223-EF) y en ACB (con PR332/P - PR333/P - PR122 - PR 123). Este tipo de coordinación se efectúa mediante el diálogo entre los relés de protección, con lo cual, una vez detectada la superación del umbral establecido, permite identificar correctamente la zona del fallo y desconectar solamente la zona afectada por la falta.

Es factible solamente con interruptores automáticos de la serie Emax.

Puede hacerse de dos maneras:

- Los relés informan al sistema de supervisión que se ha superado la intensidad máxima y el sistema decide qué protección debe actuar.
- Cada protección, en presencia de una intensidad que supera su valor de ajuste, envía a través de una conexión directa o de un bus una señal de bloqueo a la protección situada aguas arriba y, antes de actuar, comprueba que no haya llegado una señal de bloqueo análoga desde la protección aguas abajo. De este modo actúa sólo la protección que está inmediatamente aguas arriba del fallo.

La primera modalidad tiene tiempos de actuación del orden de un segundo y se emplea sobre todo cuando las intensidades de cortocircuito no son elevadas y el sentido del flujo de potencia no está definido de forma unívoca.

La segunda permite tiempos de actuación inferiores. A diferencia de la coordinación cronométrica, no es necesario aumentar el retardo intencional a medida que nos acercamos a la fuente de alimentación. El retardo máximo depende del tiempo necesario para detectar la presencia de una eventual señal de bloqueo desde la protección situada aguas abajo.

Ventajas:

- Tiempos de actuación más bajos y mayor seguridad (los tiempos de actuación pueden ser del orden de unos cien milisegundos).
- Reduce los daños causados por el defecto y por las perturbaciones en la red de alimentación.
- Reduce la sollicitación térmica y dinámica en los interruptores y en los componentes de la instalación.
- Elevado número de niveles de selectividad.
- Redundancia de las protecciones: Si falla la selectividad de zona, la actuación está garantizada por las otras funciones de protección de los interruptores automáticos. En particular, es posible calibrar las funciones de protección contra cortocircuito retardado con valores de tiempo más altos cuanto más cerca esté el dispositivo de la fuente de alimentación.

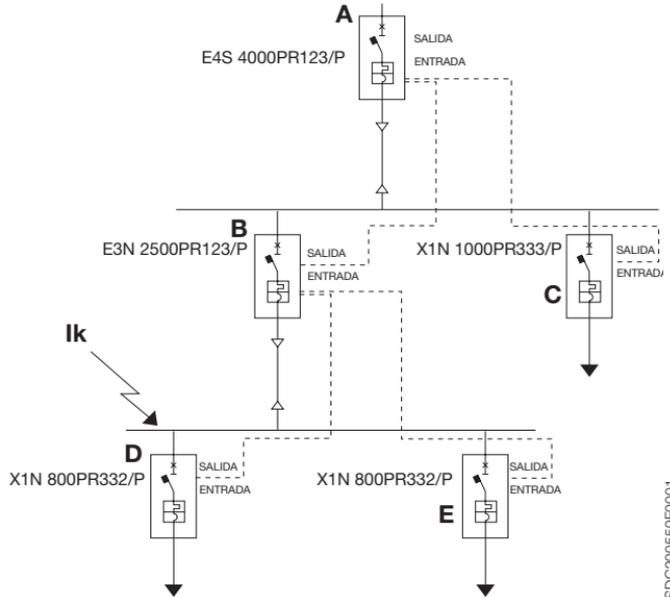
Inconvenientes:

- Mayor coste.
- Instalaciones más complejas (componentes especiales, cableados adicionales, fuentes de alimentación auxiliares).

Por ese motivo, esta solución se emplea preferentemente en redes que tienen altos valores de intensidad asignada y de cortocircuito, con exigencias precisas de seguridad y continuidad del servicio: a menudo se encuentran ejemplos de selectividad lógica en los cuadros de distribución primaria, inmediatamente después de transformadores y generadores, y en las redes malladas.

4 Coordinación de las protecciones

Selectividad de zona con Emax



En el ejemplo anterior se muestran las conexiones de una instalación de modo que esté garantizada la selectividad de la zona con Emax CB equipado con relés PR332/P-PR333/P-PR122/P-PR123/P.

Todos los interruptores automáticos que detectan un fallo envían inmediatamente una señal al interruptor automático en la parte de la alimentación a través de una conexión de comunicación; el interruptor automático que no reciba comunicación alguna de los interruptores automáticos en la parte de la carga deben iniciar la orden de apertura.

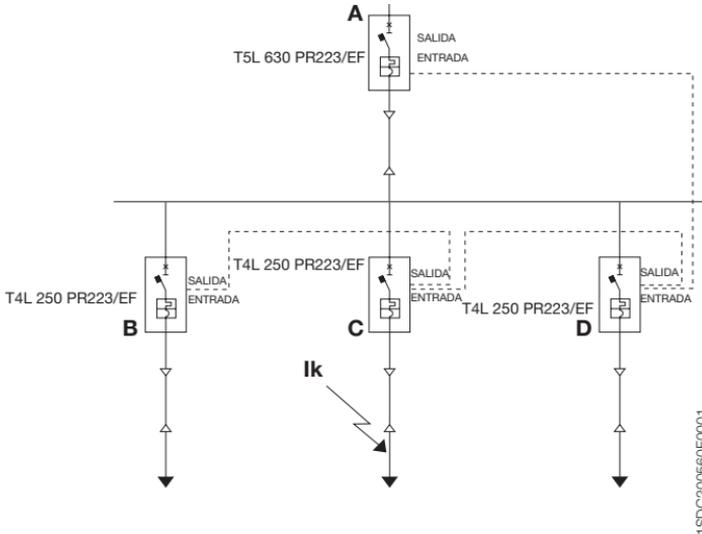
En este ejemplo, con el fallo localizado en el punto indicado, los interruptores automáticos D y E no detectan el fallo y, por tanto, no establecen comunicación con el interruptor automático en la parte de la alimentación (interruptor automático B), que debe iniciar la orden de apertura dentro del tiempo de selectividad establecido, entre 40 y 200 ms.

Para accionar correctamente la selectividad de zona, se recomiendan las siguientes regulaciones:

| | |
|--------------------|--|
| S | $t_2 \geq$ tiempo de selectividad + 70 ms |
| I | $I_3 = \text{OFF}$ |
| G | $t_4 \geq$ tiempo de selectividad + 70 ms |
| T. de selectividad | las mismas regulaciones para todos los interruptores automáticos |

4 Coordinación de las protecciones

Zone selectivity for circuit-breakers type Tmax (T4L-T5L-T6L) with PR223 EF releases



1SDC200560F0001

En el ejemplo anterior se muestran las conexiones de una instalación a través de un protocolo de bloqueo (Interlocking, IL), de modo que esté garantizada la selectividad de la zona con el relé PR223 EF.

En caso de cortocircuito, el interruptor automático en la parte de la alimentación del fallo envía inmediatamente, a través de un bus, una señal de bloqueo al dispositivo de protección que ocupe el puesto superior de la jerarquía y verifica, antes de su activación, que la protección en la parte de la carga no ha enviado la señal de bloqueo correspondiente.

En el ejemplo de la ilustración, el interruptor automático C en la parte de la alimentación del fallo, envía una señal de bloqueo al interruptor automático A, que es jerárquicamente superior. Si, como se muestra en el ejemplo, no existe protección en la parte de la carga, el interruptor automático C se debe abrir en periodos rápidos, dado que no ha recibido señal de bloqueo.

Todo ocurre en periodos más cortos (10 a 15ms) que la selectividad de zona con el interruptor automático abierto E_{max} (40 a 200ms), de modo que la instalación queda sometida a una tensión electrodinámica inferior, y a la consiguiente reducción de costes de la instalación.

4 Coordinación de las protecciones

Selectividad energética

La coordinación energética es un tipo particular de selectividad que aprovecha las características de limitación de los interruptores automáticos en caja moldeada. Cabe recordar que un interruptor limitador es un interruptor automático con un tiempo de interrupción lo suficientemente corto para evitar que la intensidad de cortocircuito llegue al valor de cresta que alcanzaría de otro modo (Norma CEI 60947-2, def. 2.3).

Los interruptores automáticos en caja moldeada ABB SACE de las series Isomax y Tmax, en condiciones de cortocircuito, son extremadamente rápidos (con tiempos de actuación de algunos milisegundos), lo que impide utilizar las curvas tiempo-intensidad para el estudio de la coordinación.

Los fenómenos son principalmente dinámicos (por lo tanto, proporcionales al cuadrado del valor instantáneo de la intensidad) y pueden describirse utilizando las curvas de la energía específica pasante.

En general, debe verificarse que la energía específica pasante a la cual actúa el interruptor automático de aguas abajo sea inferior a la necesaria para completar la apertura del interruptor automático de aguas arriba.

Este tipo de selectividad es más difícil de calcular que las anteriores, ya que depende mucho de la interacción entre los dos aparatos conectados en serie y requiere datos que el usuario final no suele conocer. Los fabricantes suministran tablas, reglas y programas de cálculo que permiten obtener los límites de selectividad para distintas combinaciones de interruptores.

Ventajas:

- El corte es rápido, con tiempos de actuación que disminuyen al aumentar la intensidad de cortocircuito.
- Se reducen los daños causados por el defecto (solicitaciones térmicas y dinámicas), las perturbaciones en la red de alimentación y los costes de dimensionamiento.
- El nivel de selectividad ya no está limitado por la intensidad de corta duración I_{cw} soportada por los dispositivos.
- El número de niveles es más elevado.
- Es posible coordinar dispositivos limitadores diferentes (fusibles, interruptores automáticos) aunque estén ubicados en posiciones intermedias de la cadena.

Inconvenientes:

- Dificultad para coordinar interruptores automáticos de calibres similares.

Este tipo de coordinación se emplea sobre todo para la distribución secundaria y terminal, con intensidades nominales inferiores a 1600 A.

Protección de acompañamiento (back-up)

La protección de acompañamiento es una coordinación de la protección contra sobreintensidades mediante dos dispositivos conectados en serie, en la cual el dispositivo de protección generalmente (pero no necesariamente) ubicado del lado de la alimentación ejerce la protección con o sin la ayuda del otro dispositivo y evita que éste sufra solicitaciones excesivas (Norma IEC 60947-1, def. 2.5.24).

Además, según el apartado 434.5.1 de la norma IEC 60364-4-43: Se admite el uso de un dispositivo de protección con poder de corte inferior si, aguas arriba, hay otro dispositivo que tenga el poder de corte necesario. En este caso, las características de los dos dispositivos deben coordinarse de tal modo que la energía que dejan pasar no supere aquella que pueden soportar sin dañarse el dispositivo situado aguas abajo y las conducciones protegidas por estos dispositivos.

4 Coordinación de las protecciones

Ventajas:

- Solución particularmente económica.
- Extrema rapidez de actuación.

Inconvenientes:

- Valores de selectividad extremadamente bajos.
- Baja calidad del servicio, puesto que deben actuar al menos dos interruptores automáticos conectados en serie.

Coordinación entre interruptor automático e interruptor de maniobra-seccionador

Interruptores de maniobra-seccionadores

Los interruptores de maniobra-seccionadores se derivan de los correspondientes interruptores automáticos, de los cuales conservan inalteradas las dimensiones generales, las ejecuciones, los sistemas de fijación y la posibilidad de montaje de los accesorios. Son dispositivos capaces de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito.

Pueden utilizarse como interruptores generales de subcuadros, como acopladores de barras o para aislar partes de una instalación tales como líneas, barras o grupos de cargas.

Una vez abiertos, los contactos están a una distancia suficiente como para impedir el cebado de un arco, respetando las prescripciones normativas sobre la aptitud para el seccionamiento.

Protección del interruptor de maniobra-seccionador

Cada interruptor de maniobra-seccionador debe estar protegido contra las sobreintensidades por un dispositivo coordinado, generalmente por un interruptor automático capaz de limitar los valores de cresta de la intensidad de cortocircuito y de la energía específica a valores aceptables para el interruptor de maniobra-seccionador.

En lo que respecta a la protección contra sobrecargas, la intensidad asignada del interruptor automático ha de ser menor o igual que el calibre del interruptor seccionador que esté protegiendo.

Para los interruptores de maniobra-seccionadores de las series Isomax e Tmax, en las tablas de coordinación figuran los interruptores automáticos que pueden protegerlos a las diversas intensidades de cortocircuito previstas.

En el caso de los interruptores de maniobra-seccionadores de la serie Emax es preciso verificar que la intensidad de cortocircuito en el punto de instalación sea inferior a la intensidad de corta duración (I_{crd}) del seccionador, y que la intensidad de cresta sea inferior al poder de cierre (I_{cm}).

4 Coordinación de las protecciones

4.2 Tablas de selectividad

Las tablas que se muestran a continuación indican el valor de selectividad (en kA) de las corrientes de cortocircuito entre las combinaciones previamente seleccionadas de interruptores automáticos, para tensiones entre 380 V y 415 V, según el anexo A de IEC 60947-2. Las tablas incluyen las combinaciones posibles de los interruptores automáticos abiertos de ABB SACE Emax, los interruptores automáticos en caja moldeada de ABB SACE serie Tmax, y las series de interruptores automáticos modulares de ABB. Los valores se obtienen a partir de métodos específicos que, si no se respetan, pueden dar valores de selectividad muy inferiores a los facilitados. Algunas de estas indicaciones tienen validez general y se detallan a continuación; otras hacen referencia exclusivamente a algunos tipos de interruptores automáticos y están sujetos a la nota que figura bajo la tabla correspondiente.

Prescripciones de carácter general

- La función I de los relés electrónicos de los interruptores automáticos instalados aguas arriba se debe excluir (I3 in OFF).
- El disparo magnético de los interruptores automáticos magnetotérmicos (TM) o sólo magnéticos (MA-MF) instalados aguas arriba debe ser $\geq 10 \cdot I_n$ y estar regulado al umbral máximo.
- Es sumamente importante verificar que los ajustes realizados por el usuario en los relés electrónicos y magnetotérmicos de los interruptores automáticos montados tanto aguas arriba como abajo, forman curvas tiempo-corriente debidamente separadas.

Notas para una correcta lectura de las tablas de coordinación

El valor límite de coordinación se obtiene tomando el valor más bajo entre el valor indicado en la tabla, la capacidad de corte del interruptor automático montado en la parte de la alimentación y la capacidad de corte del interruptor automático montado en la parte de la carga.

La letra **T** indica la selectividad total de la combinación dada; el valor correspondiente en kA se obtiene tomando el valor inferior de la capacidad de corte del interruptor automático (Icu) aguas arriba y aguas abajo.

En las tablas siguientes se indican los valores de corte a 415Vca de los interruptores automáticos SACE Emax y Tmax.

| Tmax @ 415V ca | |
|-------------------|----------|
| Versión | Icu [kA] |
| B | 16 |
| C | 25 |
| N | 36 |
| S | 50 |
| H | 70 |
| L (para T2) | 85 |
| L (para T4-T5-T7) | 120 |
| L (para T6) | 100 |
| V (para T7) | 150 |
| V | 200 |

| Emax @ 415V ca | |
|----------------|----------|
| Versión | Icu [kA] |
| B | 42 |
| N | 65* |
| S | 75** |
| H | 100 |
| L | 130*** |
| V | 150**** |

* Para Emax E1 versión N Icu=50kA

** Para Emax E2 versión S Icu=85kA

*** Para Emax X1 versión L Icu=150kA

**** Para Emax E3 versión V Icu=130kA

Abreviaturas

MCCB (Para interr. automático en caja moldeada)
ACB (Interruptor automático abierto)
TM = relé magnetotérmico
- TMD (Tmax)
- TMA (Tmax)
- T regulable M regulable (Isomax)
M = relé sólo magnético
- MF (Tmax)
- MA (Tmax)
EL = relé electrónico

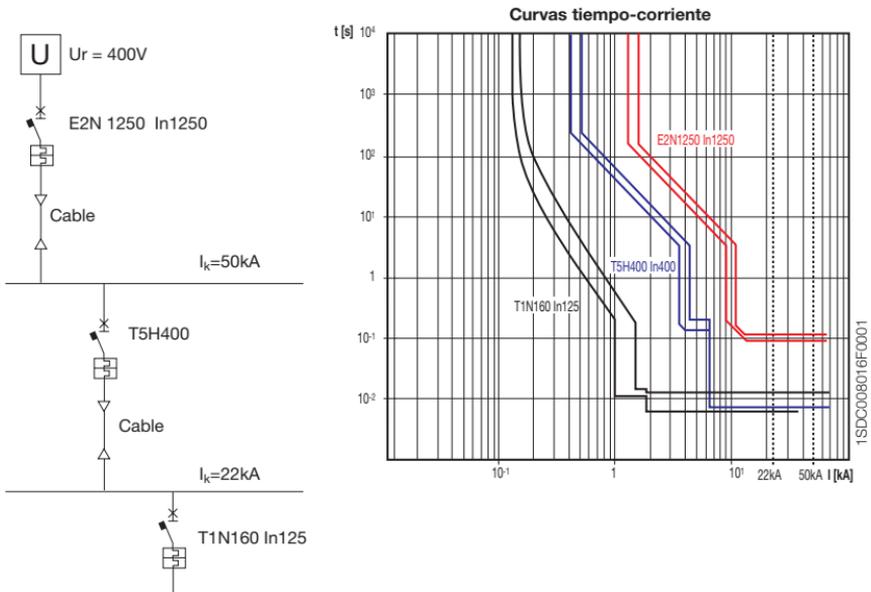
MCB (Para interruptor automático en miniatura):
B = actuación característica (I3=3...5In)
C = actuación característica (I3=5...10In)
D = actuación característica (I3=10...20In)
K = actuación característica (I3=8...14In)
Z = actuación característica (I3=2...3In)

4 Coordinación de las protecciones

Ejemplo

De la tabla de selectividad de la página 247 se deduce que los interruptores automáticos E2N1250 y T5H400, oportunamente regulados, son selectivos hasta 55 kA (valor superior a la intensidad de cortocircuito en el sistema de barras principal).

En la tabla de selectividad de la página 206 se aprecia que entre los interruptores automáticos T5H400 y T1N160 In125 está garantizada la selectividad total (como ya se indicó en la página 189. Ello significa que hay selectividad hasta el poder de corte del interruptor automático T1N y, por lo tanto, son selectivos hasta 36 kA (valor superior a la intensidad de cortocircuito en la barra).



Las curvas demuestran que entre los interruptores automáticos E2N1250 y T5H400 existe selectividad cronométrica, mientras que entre los interruptores automáticos T5H400 y T1N160 la selectividad es de tipo energético.

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCB-MCB

MCB - S2.. B @ 415V

| Característica | | | | | | Parte de la alim. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---|------|-------------|-------|-------------------|------|-----|------|-----|---|-----|---|--|--|--|--|----|--|--|--|-----|--|
| | | | | | | S290 | | | S500 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | D | | | | | | D | | | | | | | | | | | |
| Icu [kA] | | | | | | 15 | | | | | | 50 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | In [A] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | 10 | | | | | | 15 | | | | | | 25 | | | | | |
| Aguas abajo | B | - | - | - | - | ≤2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | - | - | - | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | - | - | - | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 6 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 8 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 10 | 5 | 8 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 13 | 4.5 | 7 | | 1.5 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 16 | 4.5 | 7 | | | | 2 | 3 | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 20 | 3.5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | 2.5 | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 25 | 3.5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 32 | | 4.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

MCB - S2.. C @ 415V

| Característica | | | | | | Parte de la alim. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|-------|------|-------------|-------|-------------------|------|-----|------|-----|---|-----|---|--|--|--|--|----|--|--|--|-----|--|
| | | | | | | S290 | | | S500 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | D | | | | | | D | | | | | | | | | | | |
| Icu [kA] | | | | | | 15 | | | | | | 50 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | In [A] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | 10 | | | | | | 15 | | | | | | 25 | | | | | |
| Aguas abajo | C | - | S200 | S200M | S200P | ≤2 | T | T | T | T | T | T | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 3 | T | T | 3 | 6 | T | T | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 4 | T | T | 2 | 3 | 6 | T | | | | | | | | | | | |
| | | S200L | S200 | S200M | S200P | 6 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | | | | | | | | | | | |
| | | S200L | S200 | S200M | S200P | 8 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | | | | | | | | | | | |
| | | S200L | S200 | S200M | S200P | 10 | 5 | 8 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | |
| | | S200L | S200 | S200M | S200P | 13 | 4.5 | 7 | | 1.5 | 2 | 3 | | | | | | | | | | | |
| | | S200L | S200 | S200M | S200P | 16 | 4.5 | 7 | | | | 2 | 3 | | | | | | | | | | |
| | | S200L | S200 | S200M | S200P | 20 | 3.5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | 2.5 | |
| | | S200L | S200 | S200M | S200P | 25 | 3.5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | S200L | S200 | S200M-S200P | - | 32 | | 4.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | S200L | S200 | S200M-S200P | - | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCB-MCB

MCB - S2.. D @ 415V

| Característica | | | | | | Parte de la alim. | | | | | |
|----------------|------|-------------|-------|--------|------|-------------------|-----|------|-----|-----|--|
| | | | | | | S290 | | S500 | | | |
| | | | | | | D | | D | | | |
| Icu [kA] | | | | | 15 | | 50 | | | | |
| 6 | 10 | 15 | 25 | In [A] | 80 | 100 | 32 | 40 | 50 | 63 | |
| - | S200 | S200M | S200P | ≤2 | T | T | T | T | T | T | |
| - | S200 | S200M | S200P | 3 | T | T | 3 | 6 | T | T | |
| - | S200 | S200M | S200P | 4 | T | T | 2 | 3 | 6 | T | |
| - | S200 | S200M | S200P | 6 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | |
| - | S200 | S200M | S200P | 8 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | |
| - | S200 | S200M | S200P | 10 | 5 | 8 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | |
| - | S200 | - | S200P | 13 | 3 | 5 | | | 1.5 | 2 | |
| - | S200 | S200M | S200P | 16 | 3 | 5 | | | | 2 | |
| - | S200 | S200M | S200P | 20 | 3 | 5 | | | | | |
| - | S200 | S200M | S200P | 25 | | 4 | | | | | |
| - | S200 | S200M-S200P | - | 32 | | | | | | | |
| - | S200 | S200M-S200P | - | 40 | | | | | | | |
| - | S200 | S200M-S200P | - | 50 | | | | | | | |
| - | S200 | S200M-S200P | - | 63 | | | | | | | |

MCB - S2.. K @ 415V

| Característica | | | | | | Parte de la alim. | | | | | |
|----------------|------|-------------|-------|--------|------|-------------------|-----|------|-----|-----|--|
| | | | | | | S290 | | S500 | | | |
| | | | | | | D | | D | | | |
| Icu [kA] | | | | | 15 | | 50 | | | | |
| 6 | 10 | 15 | 25 | In [A] | 80 | 100 | 32 | 40 | 50 | 63 | |
| - | S200 | S200M | S200P | ≤2 | T | T | T | T | T | T | |
| - | S200 | S200M | S200P | 3 | T | T | 3 | 6 | T | T | |
| - | S200 | S200M | S200P | 4 | T | T | 2 | 3 | 6 | T | |
| - | S200 | S200M | S200P | 6 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | |
| - | S200 | S200M | S200P | 8 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | |
| - | S200 | S200M | S200P | 10 | 5 | 8 | | 1.5 | 2 | 3 | |
| - | - | - | S200P | 13 | 3 | 5 | | | 1.5 | 2 | |
| - | S200 | S200M | S200P | 16 | 3 | 5 | | | | 2 | |
| - | S200 | S200M | S200P | 20 | 3 | 5 | | | | | |
| - | S200 | S200M | S200P | 25 | | 4 | | | | | |
| - | S200 | S200M-S200P | - | 32 | | | | | | | |
| - | S200 | S200M-S200P | - | 40 | | | | | | | |
| - | S200 | S200M-S200P | - | 50 | | | | | | | |
| - | S200 | S200M-S200P | - | 63 | | | | | | | |

4 Coordinación de las protecciones

MCB - S2.. Z @ 415V

| Característica | | | | | | Parte de la alim. | | | | | |
|----------------|------|-------|-------|--------|------|-------------------|-----|------|----|-----|--|
| | | | | | | S290 | | S500 | | | |
| | | | | | | D | | D | | | |
| Icu [kA] | | | | | 15 | | 50 | | | | |
| 6 | 10 | 15 | 25 | In [A] | 80 | 100 | 32 | 40 | 50 | 63 | |
| - | S200 | - | S200P | ≤2 | T | T | T | T | T | T | |
| - | S200 | - | S200P | 3 | T | T | 3 | 6 | T | T | |
| - | S200 | - | S200P | 4 | T | T | 2 | 3 | 6 | T | |
| - | S200 | - | S200P | 6 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | |
| - | S200 | - | S200P | 8 | 10.5 | T | 1.5 | 2 | 3 | 5.5 | |
| - | S200 | - | S200P | 10 | 5 | 8 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | |
| - | - | - | S200P | 13 | 4.5 | 7 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | |
| - | S200 | - | S200P | 16 | 4.5 | 7 | 1 | 1.5 | 2 | 3 | |
| - | S200 | - | S200P | 20 | 3.5 | 5 | | 1.5 | 2 | 2.5 | |
| - | S200 | - | S200P | 25 | 3.5 | 5 | | | 2 | 2.5 | |
| - | S200 | S200P | - | 32 | 3 | 4.5 | | | | 2 | |
| - | S200 | S200P | - | 40 | 3 | 4.5 | | | | | |
| - | S200 | S200P | - | 50 | | 3 | | | | | |
| - | S200 | S200P | - | 63 | | | | | | | |

Aguas abajo

Z

1SD0008006F0201

1

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCB/MCCB - S500

MCB/MCCB - S500 @ 415V

| Aguas abajo | Característica | Icu [kA] | B, C, N, S, H, L, V | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------|----------|---------------------|--------|-----|--------------------|-----|--------------------|--------------------|--------------------|-----|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| | | | Versión | TM | | | | | | | | | | | |
| | | | Relé | | | | | | | | | | | | |
| | | | Parte de alim. | S290 D | | | T2 | T1-T2 | | | | | | T1-T2-T3 | |
| In [A] | 80 | 100 | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | | | |
| S500 | B, C | 50 | 6 | 6 | 10 | 4.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | 15 | 20 |
| | | | 10 | 6 | 10 | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 8 | 10 | 20 |
| | | | 13 | 6 | 10 | | | 4.5 ⁽¹⁾ | | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 16 | 6 | 10 | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 4.5 | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 20 | 6 | 7.5 | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 25 | 4.5 | 6 | | | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 6 | 10 | 15 |
| | | | 32 | | 6 | | | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | | 7.5 | 10 |
| | | | 40 | | | | | | | | | | | 5 ⁽¹⁾ | 10 |
| | | | 50 | | | | | | | | | | | 5 ⁽¹⁾ | 7.5 ⁽²⁾ |
| | 63 | | | | | | | | | | | | 5 ⁽²⁾ | | |
| | D | 50 | 6 | 6 | 10 | 4.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | 15 | 20 |
| | | | 10 | 6 | 10 | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 8 | 10 | 20 |
| | | | 13 | 6 | 10 | | | 4.5 ⁽¹⁾ | | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 16 | 6 | 10 | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 4.5 | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 20 | 6 | 7.5 | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 25 | 4.5 | 6 | | | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 6 | 10 | 15 |
| | | | 32 | | 6 | | | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | | 7.5 | 10 |
| | | | 40 | | | | | | | | | | | 5 ⁽¹⁾ | 10 |
| | | | 50 | | | | | | | | | | | 5 ⁽¹⁾ | 7.5 ⁽²⁾ |
| | 63 | | | | | | | | | | | | 5 ⁽²⁾ | | |
| | K | 50 | 5.8 | T | T | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| | | | 5.3...8 | 10 | T | 4.5 ⁽¹⁾ | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | 36 | 36 |
| | | | 7.3...11 | 7.5 | T | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 8 | 36 | 36 |
| | | 30 | 10...15 | 4.5 | 10 | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 14...20 | 4.5 | 6 | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 4.5 | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 18...26 | | 4.5 | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | | 4.5 | 7.5 | 10 | 15 |
| | | | 23...32 | | | | | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | 6 | 10 | 15 |
| | | | 29...37 | | | | | | | | | 4.5 ⁽¹⁾ | | 7.5 | 10 |
| 34...41 | | | | | | | | | | | | | 5 ⁽¹⁾ | 10 | |
| 38...45 | | | | | | | | | | | | | 5 ⁽¹⁾ | 7.5 ⁽²⁾ | |

⁽¹⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2 de aguas arriba.

⁽²⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2-T3 de aguas arriba.

⁽³⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T3 de aguas arriba.

⁽⁴⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T4 de aguas arriba.

4 Coordinación de las protecciones

| B, C, N, S, H, L, V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------|-----|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|------|-----|----|----|----|-----|-------|------|-----|
| TM | | | | | | | | | | | | | | EL | | | | | | |
| T3 | | | | T4 | | | | | | | | | | T2 | | | | T4-T5 | | |
| 125 | 160 | 200 | 250 | 20 | 25 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200+ | 250 | 10 | 25 | 63 | 100 | 160 | 100+ | 630 |
| 25 | 36 | 36 | 36 | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | 16 | T | T | T | T | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | 6.5 | 6.5 ⁽⁴⁾ | 6.5 | 6.5 | 11 | T | T | T | T | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | 6.5 | 5 ⁽⁴⁾ | 6.5 | 6.5 | 11 | T | T | T | T | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | | 5 ⁽⁴⁾ | 6.5 | 6.5 | 11 | T | T | T | T | | | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | | 4 ⁽⁴⁾ | 6.5 | 6.5 | 11 | T | T | T | T | | | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 20 | 36 | 36 | 36 | | | | 6.5 | 11 | T | T | T | T | | | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 20 | 36 | 36 | 36 | | | | 6.5 | 8 | T | T | T | T | | | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 20 | 36 | 36 | 36 | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 6.5 | T | T | T | T | | | | 36 | 36 | 36 | T | |
| 15 | 36 | 36 | 36 | | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | T | T | T | | | | 36 | 36 | 36 | T | |
| 6 ⁽³⁾ | 36 | 36 | 36 | | | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 7 | T | T | | | | | | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | 16 | T | T | T | T | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | 6.5 | 6.5 ⁽⁴⁾ | 6.5 | 6.5 | 11 | T | T | T | T | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | | 5 ⁽⁴⁾ | | 6.5 | 11 | T | T | T | T | | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | | | | 6.5 | 11 | T | T | T | T | | | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 25 | 36 | 36 | 36 | | | | 6.5 ⁽⁴⁾ | 11 | T | T | T | T | | | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 20 | 36 | 36 | 36 | | | | 6.5 ⁽⁴⁾ | 11 | T | T | T | T | | | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 20 | 36 | 36 | 36 | | | | | 8 | T | T | T | T | | | 36 | 36 | 36 | 36 | T | |
| 20 | 36 | 36 | 36 | | | | | 6.5 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | | | | 36 | 36 | 36 | T | |
| 15 | 36 | 36 | 36 | | | | | | 7.5 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | | | | 36 | 36 | 36 | T | |
| 6 ⁽³⁾ | 36 | 36 | 36 | | | | | | | 7 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | | | | | | 36 | T | |
| 36 | 50 | T | T | 40 | 40 ⁽⁴⁾ | 40 | 40 | 40 | T | T | T | T | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | T | |
| 36 | 50 | T | T | 6 | 6 ⁽⁴⁾ | 6 | 6 | 40 | T | T | T | T | | | 50 | 50 | 50 | 50 | T | |
| 36 | 50 | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | 5 | 5 | 40 | T | T | T | T | | | 50 | 50 | 50 | 50 | T | |
| T | T | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | | 5 | 12 | T | T | T | T | | | T | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | | | | 5 | 12 | T | T | T | T | | | | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 12 ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | | | | T | T | T | T | |
| 20 | T | T | T | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 12 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | | | | T | T | T | T | |
| 20 | T | T | T | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 8 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | | | | | T | T | T | |
| 20 | T | T | T | | | | | 6 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | | | | | T | T | T | |
| 15 | T | T | T | | | | | 6 ⁽⁴⁾ | 8 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | | | | | T | T | T | |

1SDCC08006F0201

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - S2..

MCCB - S2.. B @ 415V

| Caract. | Icu [kA] | | | | Versión | B, C, N, S, H, L | | | | | | | | | |
|-------------|----------|------|-------------|-------|----------------|--------------------|-------|------------------|-----|------------------|-----|------------------|------|--|--|
| | | | | | Relé | TM | | | | | | | | | |
| | | | | | Parte de alim. | T2 | T1-T2 | | | | | | | | |
| Aguas abajo | 6 | 10 | 15 | 25 | In [A] | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | | |
| | - | - | - | - | ≤2 | | | | | | | | | | |
| | - | - | - | - | 3 | | | | | | | | | | |
| | - | - | - | - | 4 | | | | | | | | | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 6 | 5.5 ⁽¹⁾ | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 8 | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 10 | | | 3 ⁽¹⁾ | 3 | 3 | 3 | 4.5 | 7.5 | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 13 | | | 3 ⁽¹⁾ | | 3 | 3 | 4.5 | 7.5 | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 16 | | | | | 3 ⁽¹⁾ | 3 | 4.5 | 5 | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 20 | | | | | 3 ⁽¹⁾ | | 3 | 5 | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 25 | | | | | | | 3 ⁽¹⁾ | 5 | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 32 | | | | | | | 3 ⁽¹⁾ | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 40 | | | | | | | | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 50 | | | | | | | | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 63 | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | 80 | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | 100 | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | 125 | | | | | | | | | | | |

⁽¹⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2 de aguas arriba.

⁽²⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2-T3 de aguas arriba.

⁽³⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T3 de aguas arriba.

⁽⁴⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T4 de aguas arriba.

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - S2..

MCCB - S2.. C @ 415V

| Caract. | Icu [kA] | | | | Versión | B, C, N, S, H, L | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|------|-------------|-------|----------------|--------------------|-------|------------------|-----|------------------|-----|------------------|------|------|--|--|
| | | | | | Relé | TM | | | | | | | | | | |
| | | | | | Parte de alim. | T2 | T1-T2 | | | | | | | | | |
| | | | | | | In [A] | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | | |
| Aguas abajo C | - | S200 | S200M | S200P | ≤2 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 3 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 4 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | S200L | S200 | S200M | S200P | 6 | 5.5 ⁽¹⁾ | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | | |
| | S200L | S200 | S200M | S200P | 8 | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | | | |
| | S200L | S200 | S200M | S200P | 10 | | | 3 ⁽¹⁾ | 3 | 3 | 3 | 4.5 | 7.5 | | | |
| | S200L | S200 | S200M | S200P | 13 | | | 3 ⁽¹⁾ | | 3 | 3 | 4.5 | 7.5 | | | |
| | S200L | S200 | S200M | S200P | 16 | | | | | 3 ⁽¹⁾ | 3 | 4.5 | 5 | | | |
| | S200L | S200 | S200M | S200P | 20 | | | | | 3 ⁽¹⁾ | | 3 | 5 | | | |
| | S200L | S200 | S200M | S200P | 25 | | | | | | | 3 ⁽¹⁾ | 5 | | | |
| | S200L | S200 | S200M-S200P | - | 32 | | | | | | | 3 ⁽¹⁾ | | | | |
| | S200L | S200 | S200M-S200P | - | 40 | | | | | | | | | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 50 | | | | | | | | | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 63 | | | | | | | | | | | |
| | - | - | S290 | - | 80 | | | | | | | | | | | |
| | - | - | S290 | - | 100 | | | | | | | | | | | |
| - | - | S290 | - | 125 | | | | | | | | | | | | |

⁽¹⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2 de aguas arriba.

⁽²⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2-T3 de aguas arriba.

⁽³⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T3 de aguas arriba.

⁽⁴⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T4 de aguas arriba.

⁽⁵⁾ Valor para el interruptor automático con relé T4 In160 de aguas arriba.

4 Coordinación de las protecciones

| B, C, N, S, H, L, V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|-----|--------------------|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|-------------|----|----|----|------|------|-------------------|------------|-------------|
| TM | | | | | | | | | | | | | | | EL | | | | | | | | | |
| T1-T2-T3 | | | | T3 | | T4 | | | | | | T5 | T2 | | | T4 | T5 | | | | | | | |
| 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 20 | 25 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320+ 500 | 10 | 25 | 63 | 100 | 160 | 100 160 | 250 320 | 320+ 630 |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | T | | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | T | | T | T | T | T | T | T | T |
| 8.5 | 17 | T | T | T | T | 5 | 5 ⁽⁴⁾ | 5 | 6.5 | 9 | T | T | T | T | T | T | | T | T | T | T | T | T | T |
| 7.5 | 12 | 20 | T | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | 5 | 6.5 | 8 | T | T | T | T | T | T | | T | T | T | T | T | T | T |
| 7.5 | 12 | 20 | T | T | T | | 3 ⁽⁴⁾ | 5 | 6.5 | 8 | T | T | T | T | T | T | | | T | T | T | T | T | T |
| 6 | 10 | 15 | T | T | T | | | | 5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | | | T | T | T | T | T | T |
| 6 | 10 | 15 | T | T | T | | | | 5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | | | T | T | T | T | T | T |
| 6 | 7.5 | 12 | T | T | T | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | T | T | T | T | T | T | | | T | T | T | T | T | T |
| 5.5 ⁽¹⁾ | 7.5 | 12 | T | T | T | | | | | 6.5 | T | T | T | T | T | T | | | | T | T | T | T | T |
| 3 ⁽¹⁾ | 5 ⁽²⁾ | 7.5 | 10.5 | T | T | | | | | 5 ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | | | | 10.5 | 10.5 | T | T | T |
| | | 5 ⁽²⁾ | 6 ⁽³⁾ | 10.5 | T | T | | | | | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | | | | | 10.5 | T | T | T |
| | | | | 4 ⁽³⁾ | 10 | 15 | | | | | | | 5 | 11 | T | T | | | | | 4 | T ⁽⁵⁾ | T | T |
| | | | | 4 ⁽³⁾ | 7.5 ⁽³⁾ | 15 | | | | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 8 | T | T | | | | | 4 | 12 ⁽⁴⁾ | T | T |
| | | | | 7.5 ⁽³⁾ | | | | | | | | | | 8 ⁽⁴⁾ | 12 | T | | | | | 4 | | T | T |

1SDC008006F0201

1

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - S2..

MCCB - S2.. D @ 415V

| Caract. | Icu [kA] | | | | Versión | B, C, N, S, H, L | | | | | | | | | | |
|-------------|----------|------|------|-------------|---------------|------------------|--------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|------------------|------|------|--|
| | | | | | Relé | TM | | | | | | | | | | |
| | | | | | Parte de alm. | T2 | T1-T2 | | | | | | | | | |
| Aguas abajo | D | 6 | 10 | 15 | 25 | In [A] | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | ≤2 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 3 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 4 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 6 | 5.5 ⁽¹⁾ | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 8 | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 10 | | | 3 ⁽¹⁾ | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | | |
| | | - | S200 | - | S200P | 13 | | | | | 2 ⁽¹⁾ | 2 | 2 | 3 | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 16 | | | | | 2 ⁽¹⁾ | 2 | 2 | 3 | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 20 | | | | | 2 ⁽¹⁾ | | 2 | 3 | | |
| | | - | S200 | S200M | S200P | 25 | | | | | | | 2 ⁽¹⁾ | 2.5 | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 32 | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 40 | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 50 | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200M-S200P | - | 63 | | | | | | | | | | |
| - | - | S290 | - | 80 | | | | | | | | | | | | |
| - | - | S290 | - | 100 | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | 125 | | | | | | | | | | | | |

⁽¹⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2 de aguas arriba.

⁽²⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2-T3 de aguas arriba.

⁽³⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T3 de aguas arriba.

⁽⁴⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T4 de aguas arriba.

⁽⁵⁾ Valor para el interruptor automático con relé T4 In160 de aguas arriba.

4 Coordinación de las protecciones

| B, C, N, S, H, LV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|-----|-----|--------------------|-----|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|-----|------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| TM | | | | | | | | | | | | | | | EL | | | | | | | | | | | | |
| T1-T2-T3 | | | | | T3 | | T4 | | | | | | | | T5 | T2 | | | T4 | | T5 | | | | | | |
| 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 20 | 25 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320+ | 500 | 10 | 25 | 63 | 100 | 160 | 100 | 250 | 320+ | 320 | 630 |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 12 | T | T | T | T | T | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 8.5 | 17 | T | T | T | T | 5 | 5 ⁽⁴⁾ | 5 | 5 | 9 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 5 | 8 | 13.5 | T | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | | 4 | 5.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 5 | 8 | 13.5 | T | T | T | | | | 4 | 5.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 4.5 | 6.5 | 11 | T | T | T | | | | 4 ⁽⁴⁾ | 5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 4 | 6 | 9.5 | T | T | T | | | | 4 ⁽⁴⁾ | 4.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 4 | 6 | 9.5 | T | T | T | | | | 4,5 ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 3 ⁽¹⁾ | 5 | 8 | T | T | T | | | | 4,5 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 2 ⁽¹⁾ | 3 ⁽²⁾ | 5 | 9.5 | T | T | | | | | | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | 3 ⁽²⁾ | 5 ⁽³⁾ | 9.5 | T | T | | | | | | | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | 4 ⁽³⁾ | 10 | 15 | | | | | | | | 5 | 11 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | 4 ⁽³⁾ | 7.5 ⁽³⁾ | 15 | | | | | | | | | 8 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

1SDCC08009F0201

1

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - S2..

MCCB - S2.. K @ 415V

| Caract. | Icu [kA] | | | | Versión | B, C, N, S, H, L | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----------|------|-------------|-------|---------------|--------------------|-------|------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|------|--|--|
| | | | | | Relé | TM | | | | | | | | | | |
| | | | | | Parte de alm. | T2 | T1-T2 | | | | | | | | | |
| | | | | | | In [A] | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | | |
| Aguas abajo K | - | S200 | S200M | S200P | ≤2 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 3 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 4 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 6 | 5.5 ⁽¹⁾ | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 8 | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 10 | | | 3 ⁽¹⁾ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 6 | | |
| | - | - | - | S200P | 13 | | | | | 2 ⁽¹⁾ | 3 | 3 | 5 | | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 16 | | | | | 2 ⁽¹⁾ | 3 | 3 | 4.5 | | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 20 | | | | | 2 ⁽¹⁾ | | 3 | 3.5 | | | |
| | - | S200 | S200M | S200P | 25 | | | | | | | 2 ⁽¹⁾ | 3.5 | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 32 | | | | | | | | | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 40 | | | | | | | | | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 50 | | | | | | | | | | | |
| | - | S200 | S200M-S200P | - | 63 | | | | | | | | | | | |
| | - | - | S290 | - | 80 | | | | | | | | | | | |
| | - | - | S290 | - | 100 | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | 125 | | | | | | | | | | | | |

⁽¹⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2 de aguas arriba.

⁽²⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2-T3 de aguas arriba.

⁽³⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T3 de aguas arriba.

⁽⁴⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T4 de aguas arriba.

⁽⁵⁾ Valor para el interruptor automático con relé T4 In160 de aguas arriba.

4 Coordinación de las protecciones

| B, C, N, S, H, L, V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----|--------------------|-----|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-------------|-------------------|-----|-------------|---|
| TM | | | | | | | | | | | | | | | | | EL | | | | | | | | | | | |
| T1-T2-T3 | | | | T3 | | T4 | | | | | | | | | | T5 | T2 | | | | | T4 | | T5 | | | | |
| 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 20 | 25 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320+ 500 | 10 | 25 | 63 | 100 | 160 | 100 | 250 | 320+ 630 | 100 | 250 | 320+ 630 | |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 12 | T | T | T | T | T | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 8.5 | 17 | T | T | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | 5 | 5 | 9 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 7.5 | 10 | 13.5 | T | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | 5 | 5 | 8 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 7.5 | 10 | 13.5 | T | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | | 5 | 8 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 5.5 | 6.5 | 11 | T | T | T | | | | 5 | 6 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 5.5 | 6 | 9.5 | T | T | T | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 6 ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 4.5 | 6 | 9.5 | T | T | T | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 6 ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 3 ⁽¹⁾ | 5 | 8 | T | T | T | | | | | 5.5 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 2 ⁽¹⁾ | 3 ⁽²⁾ | 6 | 9.5 | T | T | | | | | 5 ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | 9.5 | 9.5 | T | T | T |
| | | 3 ⁽²⁾ | 5.5 ⁽³⁾ | 9.5 | T | T | | | | | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | | 9.5 | T | T | T | T |
| | | | | 4 ⁽³⁾ | 10 | 15 | | | | | | | | | | 5 | 11 | T | T | T | T | T | | 4 | T ⁽⁵⁾ | T | T | T |
| | | | | 4 ⁽³⁾ | 7.5 ⁽³⁾ | 15 | | | | | | | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 8 | T | T | T | T | T | | 4 | 12 ⁽⁵⁾ | T | T | T |

1SDC008010F0201

1

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - S2..

MCCB - S2.. Z @ 400V

| Caract. | | Icu [kA] | | | | Versión | B, C, N, S, H, L | | | | | | | | | |
|-------------|---|----------|------|-------|-------|----------------|--------------------|-------|------------------|-----|-----|------------------|-----|------------------|------|--|
| | | | | | | Relé | TM | | | | | | | | | |
| | | | | | | Parte de alim. | T2 | T1-T2 | | | | | | | | |
| Aguas abajo | Z | 6 | 10 | 15 | 25 | In [A] | 12.5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | | |
| | | - | S200 | - | S200P | ≤2 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | - | S200 | - | S200P | 3 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | - | S200 | - | S200P | 4 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | - | S200 | - | S200P | 6 | 5.5 ⁽¹⁾ | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | |
| | | - | S200 | - | S200P | 8 | | | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 10.5 | | |
| | | - | S200 | - | S200P | 10 | | | 3 ⁽¹⁾ | 3 | 3 | 3 | 4.5 | 8 | | |
| | | - | - | - | S200P | 13 | | | 3 ⁽¹⁾ | | | 3 | 3 | 4.5 | 7.5 | |
| | | - | S200 | - | S200P | 16 | | | | | | 3 ⁽¹⁾ | 3 | 4.5 | 5 | |
| | | - | S200 | - | S200P | 20 | | | | | | 3 ⁽¹⁾ | | 3 | 5 | |
| | | - | S200 | - | S200P | 25 | | | | | | | | 3 ⁽¹⁾ | 5 | |
| | | - | S200 | S200P | - | 32 | | | | | | | | 3 ⁽¹⁾ | | |
| | | - | S200 | S200P | - | 40 | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200P | - | 50 | | | | | | | | | | |
| | | - | S200 | S200P | - | 63 | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | 80 | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | 100 | | | | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | 125 | | | | | | | | | | | | |

⁽¹⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2 de aguas arriba.

⁽²⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T2-T3 de aguas arriba.

⁽³⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T3 de aguas arriba.

⁽⁴⁾ Valor para el interruptor automático con relé sólo magnético T4 de aguas arriba.

4 Coordinación de las protecciones

| B, C, N, S, H, LV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------|------------------|------|-----|-----|-----|--------------------|-----|------------------|--------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|---|
| TM | | | | | | | | | | | | | | | EL | | | | | | | | | | | | | |
| T1-T2-T3 | | | | T3 | | T4 | | | | | | T5 | T2 | | | | T4 | | T5 | | | | | | | | | |
| 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 20 | 25 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320+ | 500 | 10 | 25 | 63 | 100 | 160 | 100 | 250 | 320+ | 320 | 630 | |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | T | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T | T | T | T | T | T | 7.5 | 7.5 ⁽⁴⁾ | 7.5 | 7.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 8.5 | 17 | T | T | T | T | 5 | 5 ⁽⁴⁾ | 5 | 6.5 | 9 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 7.5 | 12 | 20 | T | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | 5 | 6.5 | 8 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 7.5 | 12 | 20 | T | T | T | | 5 ⁽⁴⁾ | 4.5 | 6.5 | 8 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 6 | 10 | 15 | T | T | T | | | | 5 | 6.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 6 | 10 | 15 | T | T | T | | | | 5 | 6.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 6 | 7.5 | 12 | T | T | T | | | | 5 ⁽⁴⁾ | 6.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 5.5 ⁽¹⁾ | 7.5 | 12 | T | T | T | | | | | 5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 4 ⁽¹⁾ | 5 ⁽²⁾ | 7.5 | 10.5 | T | T | | | | | 3.5 ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | 5 ⁽²⁾ | 6 ⁽³⁾ | 10.5 | T | T | | | | | | T ⁽⁴⁾ | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

1SDC008011F0201

1

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - MCCB

MCCB - T1 @ 415V

| | | Parte de airm | | T1 | | T2 | | | | T3 | | | T4 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------------------|-----|---------|-----|---------|----|-----|-----|-----|-----|------|-----------|----|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|--|
| Versión | | | | B, C, N | | N,S,H,L | | | | N,S | | | N,S,H,L,V | | | | | | | | | | | | | |
| Relé | | | | TM | | TM,M | | EL | | | | TM,M | | | TM,M | | | | | | | | | | | |
| | | I _u [A] | | 160 | | 160 | | 160 | | | | 250 | | | 250 | | | | | | | | | | | |
| Aguas abajo | | I _n [A] | | 160 | 160 | 25 | 63 | 100 | 160 | 160 | 200 | 250 | 20 | 25 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | | | | |
| T1 | B C N | TM | 160 | 16 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | | | |
| | | | | 20 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| | | | | 25 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| | | | | 32 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| | | | | 40 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| | | | | 50 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | | | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| | | | | 63 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| | | | | 80 | | | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | | | | | | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| | | | | 100 | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | |
| | | | | 125 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10* | 10 | 10 | 10 | |
| 160 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* Valor para el interruptor con relé sólo automático de aguas arriba.

**Valores validos sólo con los relés electrónicos PR232/P, PR331/P y PR332/P

***Disponible sólo con I_u ≤1250A

4 Coordinación de las protecciones

| | | T4 | | | | T5 | | | | | | T6 | | | | | T7 | | | |
|----|----|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|------|------------|--------|------|------|
| | | N,S,H,L,V | | | | N,S,H,L,V | | | | | | N,S,H,L | | | | | S,H,L,V*** | | | |
| | | EL | | | | TM | | | EL | | | TM,M | | EL | | | EL | | | |
| | | 250 | 320 | | | 400 | 630 | 400 | 630 | | | 630 | 800 | 630 | 800 | 1000 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 |
| | | 100 | 160 | 250 | 320 | 320 | 400 | 500 | 400 | 400 | 630 | 630 | 800 | 630 | 800 | 1000 | 800** | 1000** | 1250 | 1600 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | 10 | 10 | 10 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |

1SDC008012F0201

1

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - MCCB

MCCB T2 @ 415V

| Aguas abajo | Versión | Relé | Parte de alm. | | T2 | | | | | | T3 | | | T4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------|------|--------------------|---------|------|-----|-----|----|----|-----|-----|------|-----|-----|------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| | | | I _n [A] | TM | TM,M | EL | | | | | | TM,M | | | TM,M | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 160 | | | | | | 250 | | | 250 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 160 | 160 | 25 | 63 | 100 | 160 | 160 | 200 | 250 | 20 | 25 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | | | | | | | | |
| T2 | N S H L | TM | 160 | 1,6-2.5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T* | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | | | |
| | | | | 3.2 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T* | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | | | | 4-5 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T* | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | 6.3 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 40 | T | T* | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 40 | | T* | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 40 | | T* | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | 12.5 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | | 3 | 4 | 5 | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | 16 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | |
| | | | | 20 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | 55* | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | |
| | | | | 25 | 3 | 3 | | 3 | 3 | 3 | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | 40* | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | |
| | | | | 32 | 3 | 3 | | | 3 | 3 | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | 40* | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | |
| | | | | 40 | 3 | 3 | | | 3 | 3 | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | 30* | 30* | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| | | | | 50 | 3 | 3 | | | 3 | 3 | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | 30* | 30* | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| | | | | 63 | 3 | 3 | | | | 3 | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | 30* | 30* | 30* | 30* | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| | | | | 80 | | | | | | 3 | 3* | | 4 | 5 | | | | | | | | | | 25* | 25* | 25* | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | |
| | | | | 100 | | | | | | | | | 4 | 5 | | | | | | | | | | | 25* | 25* | 25* | 25 | 25 | 25 | 25 | |
| | | | | 125 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 25* | 25* | 25* | 25 | 25 | 25 | |
| | | | | 160 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 25* | 25 | 25 | 25 | |
| | | | | | | EL | 160 | 10 | | | | | | | 3 | 4 | | | | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | |
| | | | | | 25 | | | | | | | | | | | 3 | 4 | | | | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | | | | | 63 | | | | | | | | | | | | 3 | 4 | | | | | | | | | | | 25 | 25 | 25 | 25 |
| | 100 | | | | | | | | | | | | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | 25 | 25 | | | |
| | 160 | | | | | | | | | | | | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | 25 | | | |

* Valor para el interruptor con relé sólo automático de aguas arriba.

**Valores validos sólo con los relés electrónicos PR232/P, PR331/P y PR332/P

***Disponibile sólo con $I_n \leq 1250A$

4 Coordinación de las protecciones

| T4 | | | | T5 | | | | | | T6 | | | | | T7 | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|------|------------|--------|------|------|---|------|--|
| N,S,H,L,V | | | | N,S,H,L,V | | | | | | N,S,H,L | | | | | S,H,L,V*** | | | | | | |
| EL | | | | TM | | | EL | | | TM,M | | EL | | | EL | | | | | | |
| 250 | | 320 | | 400 | | 630 | | 400 | | 630 | | 800 | | 1000 | 800 | | 1000 | 1250 | | 1600 | |
| 100 | 160 | 250 | 320 | 320 | 400 | 500 | 320 | 400 | 630 | 630 | 800 | 630 | 800 | 1000 | 800** | 1000** | 1250 | 1600 | | | |
| T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 70 | 70 | 70 | 70 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 55 | 55 | 55 | 55 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 40 | 40 | 40 | 40 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 40 | 40 | 40 | 40 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 30 | 30 | 30 | 30 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 30 | 30 | 30 | 30 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 30 | 30 | 30 | 30 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | 25 | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | 25 | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 25 | 25 | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 25 | 25 | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| 25 | 25 | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | 25 | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |

1SDC008013F0201

1

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - MCCB

MCCB - T3 @ 415V

| | | Parte de alim | | T1 | T2 | | | | T3 | | | | T4 | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------|--------------------|-----|--------------------|---------|-----|----|----|-----|------|-----|-----|-----------|------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|---|--|
| Versión | | | | B, C, N | N,S,H,L | | | | N,S | | | | N,S,H,L,V | | | | | | | | | | | | | | |
| Relé | | | | TM | TM,M | EL | | | | TM,M | | | | TM,M | | | | | | | | | | | | | |
| Aguas abajo | | I _u [A] | | 160 | 160 | 160 | | | | 250 | | | | 250 | | | | | | | | | | | | | |
| T3 | N S | TM | 160 | I _n [A] | 160 | 160 | 25 | 63 | 100 | 160 | 160 | 200 | 250 | 20 | 25 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | | | | |
| | | | | 63 | | | | | | | | 3 | 4 | 5 | | | | | | | 7* | 7 | 7 | 7 | | | |
| | | | | 80 | | | | | | | | | 3* | 4 | 5 | | | | | | | | 7* | 7 | 7 | | |
| | | | | 100 | | | | | | | | | | 4* | 5 | | | | | | | | | 7* | 7* | 7 | |
| | | | | 125 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 7* | | |
| | | | | 160 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* Valor para el interruptor con relé sólo automático de aguas arriba.

**Valores validos sólo con los relés electrónicos PR232/P, PR331/P y PR332/P

***Disponible sólo con I_u ≤ 1250A

MCCB - T4 @ 415V

| | | Parte de alim | | T5 | | | | T6 | | | | T7 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------------|--------------------|-----|--------------------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|---|------|---|------|---|---|---|
| Versión | | | | N,S,H,L,V | | | | N,S,H,L | | | | S,H,LV* | | | | | | | | | | | | | | | |
| Relé | | | | TM | | EL | | TM,M | | EL | | EL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aguas abajo | | I _u [A] | | 400 | | 630 | | 630 | | 800 | | 630 | | 800 | | 1000 | | 800 | | 1000 | | 1250 | | 1600 | | | |
| T4 | N. S. H. L. V | TM | 250 | I _n [A] | 320 | 400 | 500 | 320 | 400 | 630 | 630 | 800 | 630 | 800 | 1000 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | | | | | | | | |
| | | | | 20 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | 32 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | 80 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | 100 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | | 125 | | | 50 | 50 | 50 | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | | 160 | | | | 50 | 50 | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | | 200 | | | | 50 | 50 | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | | 250 | | | | | | 50 | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | | EL | 250 | 100 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | | 160 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | | |
| 250 | | | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | | | | |
| | | 320 | 320 | | | | | 50 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | | | | |

*Disponible sólo con I_u ≤ 1250A

**Valores validos sólo con relés electrónicos PR232/P, PR331/P y PR332/P

4 Coordinación de las protecciones

| | | T4 | | | | T5 | | | | T6 | | | | T7 | | | | | |
|--|--|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|---------|-----|------|-----|------------|------|-------|--------|------|------|
| | | N,S,H,L,V | | | | N,S,H,L,V | | | | N,S,H,L | | | | S,H,L,V*** | | | | | |
| | | EL | | | | TM | | EL | | TM,M | | EL | | EL | | | | | |
| | | 250 | 320 | 400 | 630 | 400 | 630 | 630 | 800 | 630 | 800 | 1000 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | | | |
| | | 100 | 160 | 250 | 320 | 400 | 500 | 320 | 400 | 630 | 630 | 800 | 630 | 800 | 1000 | 800** | 1000** | 1250 | 1600 |
| | | 7 | 7 | 7 | 7 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | 7 | 7 | 7 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | 7 | 7 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 40 | T | 40 | T | T | T | T | T |
| | | | | | 7 | 7 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 36 | T | 36 | T | T | T | T | T |
| | | | | | | 7 | | 20 | 20 | 20 | 20 | 36 | T | 36 | T | T | T | T | T |
| | | | | | | | 7 | | 20 | 20 | 20 | 30 | T | 30 | T | T | T | T | T |
| | | | | | | | | 20 | 20 | 20 | 20 | 30 | 40 | 30 | 40 | 40 | T | T | T |
| | | | | | | | | 20 | 20 | 20 | 30 | 40 | 30 | 40 | 40 | T | T | T | T |

1SPDC008014F0201

1

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - MCCB

MCCB - T5 @ 415V

| | | Parte de alm. | | T6 | | | | | | T7 | | | | |
|-------------|----|---------------------------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|------|----------|------|-------|--------|------|
| | | Versión | | N,S,H,L | | | | | | S,H,L,V* | | | | |
| | | Relé | | TM,M | | EL | | | | EL | | | | |
| Aguas abajo | T5 | N, S, H, L, V | Relé | I_u [A] | 630 | 800 | 630 | 800 | 1000 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | |
| | | | | I_n [A] | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 800** | 1000** | 1250 |
| | | | TM | 400 | 320 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | T | T | T | T |
| | | | | 400 | | 30 | | 30 | 30 | T | T | T | T | |
| | | | | 630 | 500 | | | 30 | 30 | T | T | T | T | |
| | | | EL | 400 | 320 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | T | T | T | T |
| | | | | 400 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | T | T | T | T | |
| | | | | 630 | 630 | | | 30 | | T | T | T | T | |

*Disponible sólo con $I_u \leq 1250A$

**Valores validos sólo con relés electrónicos PR232/P, PR331/P y PR332/P

MCCB - T6 @ 415V

| | | Parte de alm. | | T7 | | | | |
|-------------|----|---------------------------|------|-----------|------|--------|------|------|
| | | Versión | | S,H,L,V* | | | | |
| | | Relé | | EL | | | | |
| Aguas abajo | T6 | N, S, H, L, V | Relé | I_u [A] | 800 | 1000 | 1250 | 1600 |
| | | | | I_n [A] | 800* | 1000** | 1250 | 1600 |
| | | | TM | 630 | 630 | | 40 | 40 |
| | | | | 800 | 800 | | 40 | 40 |
| | | | EL | 630 | 630 | 40 | 40 | 40 |
| | | | | 800 | 800 | 40 | 40 | 40 |
| | | | | 1000 | 1000 | | 40 | 40 |

*Disponible sólo con $I_u \leq 1250A$, máximo valor de selectividad es 15kA

**Valores validos sólo con relés electrónicos PR232/P, PR331/P y PR332/P

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad ACB - MCCB

ACB - MCCB @ 415V

| Aguas abajo | Versión | Relé | Punto de alimentación I _n [A] | X1 | | | E1 | | E2 | | | | E3 | | | | E4 | | | E6 | | | |
|-------------|-----------------------|-------|---|----|---|----|----|---|----|----|----|----|----|---|---|----|----|---|---|----|---|---|---|
| | | | | B | N | L | B | N | B | N | S | L' | N | S | H | V | L' | S | H | V | H | V | |
| | | | | EL | | | EL | | EL | | | | EL | | | | EL | | | EL | | | |
| T1 | B C N | TM | 160 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T2 | N S H L | TM,EL | 160 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | T | T | T | T | T | T | 55 | 65 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T3 | N S | TM | 250 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T4 | N S H L V | TM,EL | 250 320 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | T | T | T | T | T | T | 55 | 65 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T5 | N S H L V | TM,EL | 400 630 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | T | T | T | T | T | T | 55 | 65 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T6 | N S H L | TM,EL | 630 800 1000 | T | T | 15 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | T | T | 15 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | T | T | 15 | T | T | T | 55 | 65 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| T7 | S H L V** | EL | 800 1000 1250 1600 | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | | |
| | | | | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | | | | T | T | T | 55 | 65 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| S7 | S H L | EL | 1250 1600 | | | | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | |
| | | | | | | | T | T | T | 55 | 65 | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T | T |
| | | | | | | | T | T | T | 55 | 65 | T | T | T | T | 75 | 85 | T | T | T | T | T | T |

Tabla válida sólo para interruptores Emax only con relés PR121/P, PR122/P y PR123/P

*Interruptores Emax L sólo con relés PR122/P y PR123/P

**Disponible sólo con I_n ≤ 1250A

4 Coordinación de las protecciones

4.3 Tablas de back-up

Estas tablas indican la intensidad de cortocircuito (en kA) a la cual se verifica la protección de acompañamiento en la combinación de interruptores automáticos elegida, para tensiones entre 380 V y 415 V. Las tablas cubren las combinaciones posibles entre interruptores automáticos en caja moldeada ABB SACE serie Tmax, y entre los interruptores mencionados y la serie de interruptores automáticos modulares ABB (MCB).

Notas informativas para una correcta lectura de las tablas de coordinación:

| Tmax @ 415V ca | |
|----------------|----------|
| Versión | Icu [kA] |
| B | 16 |
| C | 25 |
| N | 36 |
| S | 50 |
| H | 70 |
| L (para T2) | 85 |
| L (para T4-T5) | 120 |
| L (para T6) | 100 |
| V (para T7) | 150 |
| V | 200 |

| Emax @ 415V ca | |
|----------------|----------|
| Versión | Icu [kA] |
| B | 42 |
| N | 65* |
| S | 75** |
| H | 100 |
| L | 130*** |
| V | 150**** |

* Para Emax E1 versión N Icu=50kA

** Para Emax E2 versión S Icu=85kA

*** Para Emax X1 versión L Icu=150kA

**** Para Emax E3 versión V Icu=130kA

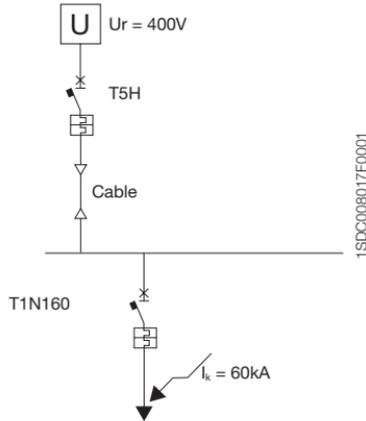
Abreviaturas

| | |
|---|--|
| MCCB (Para interruptor automático en caja moldeada) ACB (Interruptor automático abierto) TM = relé magnetotérmico – TMD (Tmax) – TMA (Tmax) – T regulable M regulable (Isomax) M = relé sólo magnético – MF (Tmax) – MA (Tmax) EL = relé electrónico | MCB (Para interruptor automático en miniatura): B = actuación característica (I3=3...5In) C = actuación característica (I3=5...10In) D = actuación característica (I3=10...20In) K = actuación característica (I3=8...14In) Z = actuación característica (I3=2...3In) |
|---|--|

4 Coordinación de las protecciones

Ejemplo:

De la tabla de coordinación de la pág. 217 se deduce que los interruptores automáticos tipo T5H y T1N están coordinados con protección de acompañamiento (back-up) hasta un valor de 65 kA (mayor que la intensidad de cortocircuito en el punto de instalación) aunque el máximo poder de corte del T1N, a 415 V, es de 36 kA.



MCB - MCB @ 240V

| Aguas abajo | Característica | Icu [kA] | In [A] | Parte de alim. | | | | | | | |
|-------------|----------------|----------|---------|----------------|---------|---------|--------|---------|---------|-------|------|
| | | | | S 200L | S200 | S200M | S200P | | S280 | S290 | S500 |
| | | | | C | B-C | B-C | B-C | B-C | B-C | C | B-C |
| | | | | 10 | 20 | 25 | 40 | 40 | 20 | 25 | 100 |
| | | | 6..40 | 0.5..63 | 0.5..63 | 0.5..25 | 32..63 | 80, 100 | 80..125 | 6..63 | |
| S931 N | C | 4.5 | 2..40 | 10 | 20 | 25 | 40 | 25 | 15 | 15 | 100 |
| S941 N | B,C | 6 | 2..40 | 10 | 20 | 25 | 40 | 25 | 15 | 15 | 100 |
| S951 N | B,C | 10 | 2..40 | 10 | 20 | 25 | 40 | 25 | 15 | 15 | 100 |
| S971 N | B,C | 10 | 2..40 | 10 | 20 | 25 | 40 | 25 | 15 | 15 | 100 |
| S200L | C | 10 | 6..40 | | 20 | 25 | 40 | 25 | 15 | 15 | 100 |
| S200 | B,C,K,Z | 20 | 0.5..63 | | | 25 | 40 | 25 | | | 100 |
| S200M | B,C,D | 25 | 0.5..63 | | | | 40 | | | | 100 |
| S200P | B, C, | 40 | 0.5..25 | | | | | | | | 100 |
| | D, K, Z | 25 | 32..63 | | | | | | | | 100 |
| S280 | B,C | 20 | 80, 100 | | | | | | | | |
| S290 | C,D | 25 | 80..125 | | | | | | | | |
| S500 | B,C,D | | 6..63 | | | | | | | | |

4 Coordinación de las protecciones

MCB - MCB @ 415V

| Aguas abajo | Característica | Icu [kA] | In [A] | Parte de alim. | S200L | S200 | S200M | S200P | | S280 | S290 | S500 |
|-------------|----------------|----------|---------|----------------|-------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|-------|
| | | | | | C | B-C | B-C | B-C | B-C | B-C | C | B-C |
| | | | | | 6 | 10 | 15 | 25 | 15 | 6 | 15 | 50 |
| | | | | | 6..40 | 0.5..63 | 0.5..63 | 0.5..25 | 32..63 | 80, 100 | 80..125 | 6..63 |
| S200L | C | 6 | 6..40 | | 10 | 15 | 25 | 15 | | 15 | 50 | |
| S200 | B,C,K,Z | 10 | 0.5..63 | | | 15 | 25 | 15 | | 15 | 50 | |
| S200M | B,C,D | 15 | 0.5..63 | | | | 25 | | | | 50 | |
| S200P | B, C, | 25 | 0.5..25 | | | | | | | | 50 | |
| | D, K, Z | 15 | 32..63 | | | | | | | | | |
| S280 | B,C | 6 | 80, 100 | | | | | | | | | |
| S290 | C,D | 15 | 80..125 | | | | | | | | | |
| S500 | B,C,D | 50 | 6..63 | | | | | | | | | |

MCCB - MCB @ 415V

| Aguas abajo | Característica | In [A] | Icu [kA] | Parte de alim. | T1 | T1 | T1 | T2 | T3 | T4 | T2 | T3 | T4 | T2 | T4 | T2 | T4 | T4 |
|-------------|----------------|---------|----------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| | | | | Versión | B | C | N | | | | S | | | H | | L | L | V |
| | | | | | 16 | 25 | 36 | | | | 50 | | | 70 | | 85 | 120 | 200 |
| S200L | C | 6..10 | 6 | 16 | 25 | 30 | 36 | 36 | 36 | 35 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | | 13..40 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S200 | B, C, K, Z | 0.5..10 | 10 | 16 | 25 | 30 | 36 | 36 | 36 | 35 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | | 13..63 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S200M | B, C, D | 0.5..10 | 15 | 16 | 25 | 30 | 36 | 36 | 36 | 50 | 40 | 40 | 70 | 40 | 85 | 60 | 40 | 40 |
| | | 13..63 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S200P | B, C, D, K, Z | 0.5..10 | 25 | | | 30 | 36 | 36 | 36 | 50 | 40 | 40 | 70 | 40 | 85 | 40 | 40 | 40 |
| | | 13..25 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 32..63 | 15 | 16 | 25 | 30 | 36 | 25 | 36 | 50 | 25 | 40 | 60 | 40 | 60 | 40 | 40 | |
| S280 | B, C | 80, 100 | 6 | 16 | 16 | 16 | 36 | 16 | 30 | 36 | 16 | 30 | 36 | 30 | 36 | 30 | 30 | 30 |
| S290 | C, D | 80,125 | 15 | 16 | 25 | 30 | 36 | 30 | 30 | 50 | 30 | 30 | 70 | 30 | 85 | 30 | 30 | |
| S500 | B, C, D | 6..63 | 50 | | | | | | | | | | 70 | 70 | 85 | 120 | 200 | |

* sólo para T4 250 o T4 320, con I1 calibrada a 250 A.

1SDC008035F0201

4 Coordinación de las protecciones

4.4 Tablas de coordinación entre interruptores automáticos y seccionadores

Las tablas que se muestran a continuación indican la corriente de cortocircuito (en kA) a la cual se verifica la protección de acompañamiento (back-up) en la combinación de interruptor automático e interruptor de maniobra seccionador, para tensiones entre 380 y 415 V. Las tablas incluyen las combinaciones posibles entre interruptores automáticos en caja moldeada ABB SACE serie Tmax, y los interruptores de maniobra seccionadores que se mencionan a continuación.

| 415 V | | | | | | |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
| | T1D 160 | T3D 250 | T4D 320 | T5D 400 | T5D 630 | T6D |
| T1B | ← | | | | | |
| T1C | ← | | | | | |
| T1N | ← | | | | | |
| T2N | ← | | | | | |
| T2S | ← | | | | | |
| T2H | ← | | | | | |
| T2L | ← | | | | | |
| T3N | | ← | | | | |
| T3S | | ← | | | | |
| T4N | | ← 36* | ← | | | |
| T4S | | ← 50* | ← | | | |
| T4H | | ← 70* | ← | | | |
| T4L | | ← 120* | ← | | | |
| T4V | | ← 200* | ← | | | |
| T5N | | | | ← | | |
| T5S | | | | ← | | |
| T5H | | | | ← | | |
| T5L | | | | ← | | |
| T5V | | | | ← | | |
| T6N | | | | | ← | |
| T6S | | | | | ← | |
| T6H | | | | | ← | |
| T6L | | | | | ← | |
| T7S | | | | | | ← |
| T7H | | | | | | ← |
| T7L | | | | | | ← |
| T7V | | | | | | ← |

* sólo para T4 250 o T4 320, con I1 calibrada a 250 A.

4 Coordinación de las protecciones

Notas para la lectura correcta de las tablas de coordinación:

| Tmax @ 415V ca | |
|----------------|----------|
| Versión | Icu [kA] |
| B | 16 |
| C | 25 |
| N | 36 |
| S | 50 |
| H | 70 |
| L (para T2) | 85 |
| L (para T4-T5) | 120 |
| L (para T6) | 100 |
| V (para T7) | 150 |
| V | 200 |

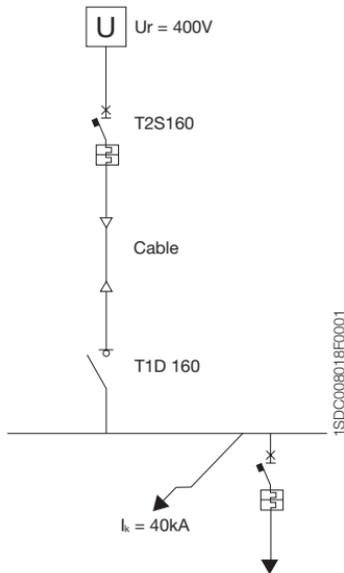
| INTERRUPTOR SECCIONADOR | | | | | |
|-------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 630 | T6D 800 | T6D 1000 | T7D 1000 | T7D 1250 | T7D 1600 |
| | 16 | | | | |
| | 25 | | | | |
| | 36 | | | | |
| | 36 | | | | |
| | 50 | | | | |
| | 70 | | | | |
| | 85 | | | | |
| | 36 | | | | |
| | 50 | | | | |
| | | 36 | | | |
| | | 50 | | | |
| | | 70 | | | |
| | | 120 | | | |
| | | 200 | | | |
| | | | 36 | | |
| | | | 50 | | |
| | | | 70 | | |
| | | | 120 | | |
| | | | 200 | | |
| | | | | 36 | |
| | | | | 50 | |
| | | | | 65 | |
| | | | | 100 | |
| | | | | 50 | |
| | | | | 70 | |
| | | | | 120 | |
| | | | | 150 | |

1SDC000037R0201

4 Coordinación de las protecciones

Ejemplo

De la tabla de coordinación de la página 218-219 se deduce que el interruptor automático T2S160 puede proteger al seccionador T1D160 hasta una intensidad de cortocircuito de 50 kA (mayor que la intensidad de cortocircuito en el punto de instalación). También se verifica la protección contra sobrecargas, ya que la intensidad nominal del interruptor automático no es superior al calibre del seccionador.



4 Coordinación de las protecciones

Ejemplo

Para una correcta elección de los componentes, el seccionador debe estar protegido contra sobrecargas por un dispositivo cuya intensidad nominal no supere el calibre del seccionador, mientras que en condiciones de cortocircuito es preciso verificar que:

$$I_{ow} \geq I_k$$

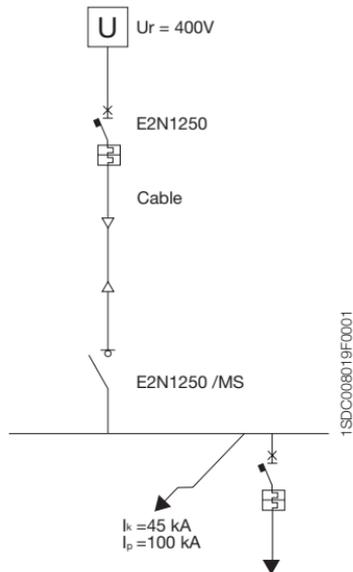
$$I_{cm} \geq I_p$$

En función de los valores eléctricos de los diversos dispositivos, se escoge un interruptor seccionador Emax E2N1250/MS y un interruptor automático E2N1250.

Esto es:

$$I_{ow}(E2N/MS) = 55 \text{ kA} > 45 \text{ kA}$$

$$I_{cm}(E2N/MS) = 121 \text{ kA} > 100 \text{ kA}.$$



5 Aplicaciones particulares

5.1 Redes en corriente continua

Principales aplicaciones de la corriente continua:

- Alimentación de servicios de emergencia o auxiliares:
La adopción de la corriente continua responde a la necesidad de disponer de una fuente de energía de reserva que permita alimentar servicios esenciales como sistemas de protección, luces de emergencia, sistemas de alarma, salas de hospitales, departamentos de fábricas o centros de cálculo, por ejemplo utilizando baterías de acumulación.
- Tracción eléctrica:
Las ventajas que ofrecen los motores de corriente continua en lo que respecta a la regulación, y la alimentación con una sola línea de contacto, hacen de este tipo de corriente la solución más utilizada para ferrocarriles de superficie o metropolitanos, tranvías, ascensores y medios de transporte en general.
- Instalaciones industriales especiales:
Pueden realizarse instalaciones particulares, por ejemplo para procesos electrolíticos o aplicaciones que exijan determinadas características de utilización de las máquinas eléctricas.
Las aplicaciones típicas de los interruptores automáticos son la protección de líneas y dispositivos, y la maniobra de motores.

Consideraciones sobre la interrupción de la corriente continua

La corriente continua presenta mayores problemas que la alterna en lo que respecta a la interrupción de corrientes elevadas. En la corriente alterna existe un paso natural de la corriente por el cero a cada semiperíodo, al cual corresponde un apagado espontáneo del arco que se forma cuando se abre el circuito.

En la corriente continua esto no sucede y, para extinguir el arco, es preciso que la corriente disminuya hasta anularse.

El tiempo de extinción de la corriente continua, si las demás condiciones permanecen invariables, es proporcional a la constante de tiempo del circuito $T = L/R$.

Es necesario que la interrupción se realice gradualmente, sin bruscas anulaciones de la corriente que darían lugar a elevadas sobretensiones. Para ello es posible alargar y enfriar el arco a fin de introducir en el circuito una resistencia cada vez más alta.

Los fenómenos de naturaleza energética que se desarrollan en el circuito dependen de la tensión de servicio de la instalación y obligan a instalar los interruptores automáticos según esquemas de conexión en los cuales los polos del interruptor se conectan en serie, lo que mejora las prestaciones durante el cortocircuito. En efecto, el poder de corte del aparato es tanto más alto cuando mayor es el número de contactos que abren el circuito y, por lo tanto, cuanto más alta es la tensión de arco aplicada.

Esto también significa que, si se aumenta la tensión de servicio de la instalación, también hay que aumentar el número de las interrupciones de corriente y, por consiguiente, de los polos conectados en serie.

5 Aplicaciones particulares

Cálculo de la intensidad de cortocircuito de una batería de acumuladores

La intensidad de cortocircuito en los bornes de una batería de acumuladores puede ser suministrada por el fabricante o calcularse mediante la relación:

$$I_k = \frac{U_{Max}}{R_i}$$

donde:

- $U_{M\acute{a}x.}$ es la tensión máxima de descarga (la tensión de vacío);
- R_i es la resistencia interna de los elementos que forman la batería.

Si el fabricante no la indica, la resistencia interna puede calcularse a partir de la característica de descarga, obtenible mediante una prueba como indica la norma IEC 60896-1 o IEC 60896-2.

Por ejemplo, una batería de 12.84 V con resistencia interna de 0.005 W suministra en los bornes una intensidad de cortocircuito de 2568 A.

En condiciones de cortocircuito, la intensidad crece muy rápidamente al principio pero, una vez alcanzado el valor máximo, empieza a decrecer porque disminuye la tensión de descarga de la batería. Naturalmente, este valor elevado de la corriente de defecto, sumado a la resistencia interna de la batería, provoca un intenso calentamiento interior de ésta que puede llevar incluso a su explosión. Por ello, en los sistemas de corriente continua alimentados por acumuladores es muy importante prevenir o minimizar las corrientes de cortocircuito.

Criterios para elegir el interruptor automático

A la hora de escoger el interruptor automático más adecuado para una red de corriente continua, es preciso tener en cuenta los siguientes factores:

1. la corriente de empleo, en función de la cual se determina el calibre del interruptor, y la calibración del relé magnetotérmico de máxima intensidad;
2. la tensión de servicio, en función de la cual se determina el número de polos que deben conectarse en serie para aumentar el poder de corte de los aparatos;
3. la intensidad de cortocircuito prevista en el punto de instalación del interruptor automático, que determina la elección de la versión de dicho interruptor;
4. el tipo de red, o sea, el tipo de conexión a tierra.

Nota: si se utilizan interruptores automáticos tetrapolares, el neutro debe tener una sección igual al 100% de la sección de las fases.

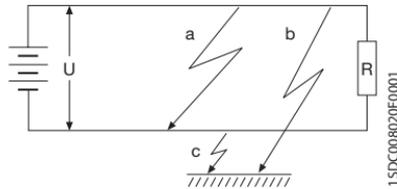
Tipos de redes de corriente continua

Las redes de corriente continua pueden realizarse:

- con ambas polaridades aisladas de tierra;
- con una polaridad conectada a tierra;
- con el punto medio de la alimentación conectado a tierra.

5 Aplicaciones particulares

Red con ambas polaridades aisladas de tierra



- Defecto a: el defecto franco entre las dos polaridades establece una corriente de cortocircuito a la cual contribuyen ambas polaridades a plena tensión, y en función de la cual se ha de elegir el poder de corte del interruptor automático.
- Defecto b: el defecto franco entre la polaridad y tierra no tiene consecuencias en el funcionamiento de la instalación.
- Defecto c: tampoco este defecto franco entre la polaridad y tierra tiene consecuencias en el funcionamiento de la instalación.

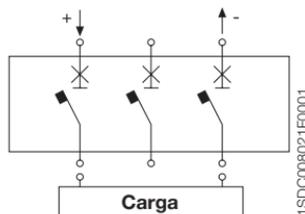
En la red aislada es necesario instalar un dispositivo que señale la presencia del primer defecto a tierra para que pueda eliminarse rápidamente. En las peores condiciones, en el caso de que se verifique un segundo defecto a tierra, el interruptor podría tener que interrumpir la corriente de cortocircuito con toda la tensión aplicada en una sola polaridad y, por consiguiente, con un poder de corte que podría no ser adecuado.

En la red con ambas polaridades (positiva y negativa) aisladas de tierra es conveniente repartir entre ellas el número de polos del interruptor necesarios para la interrupción, a fin de obtener también el seccionamiento del circuito.

Deben utilizarse los siguientes esquemas:

Esquema A

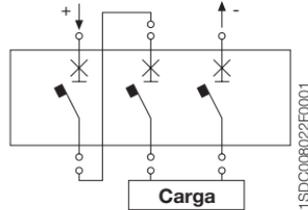
Interruptor automático tripolar con un polo por polaridad



5 Aplicaciones particulares

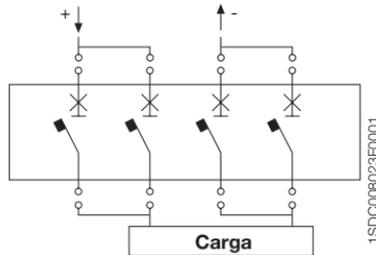
Esquema B

Interruptor automático tripolar con dos polos en serie en una polaridad y un polo en la otra (1)



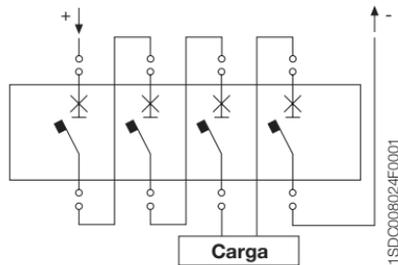
Esquema G

Interruptor automático tetrapolar con dos polos en paralelo por polaridad



Esquema E

Interruptor automático tetrapolar con tres polos en serie en una polaridad y un polo en la otra (1)

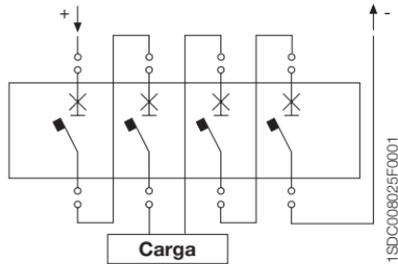


(1) No es conveniente repartir los polos del interruptor de manera desigual porque, en este tipo de red, un segundo defecto a tierra podría obligar al polo simple a trabajar en condiciones de defecto a plena tensión. En estos casos es indispensable instalar un dispositivo que señale el defecto a tierra o la disminución del aislamiento hacia tierra de una polaridad.

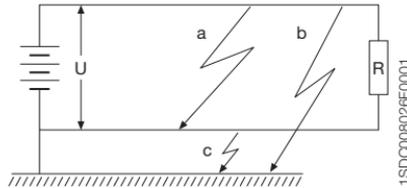
5 Aplicaciones particulares

Esquema F

Interrupor automático tetrapolar con dos polos en serie por polaridad



Red con una polaridad conectada a tierra



- Defecto a: el defecto franco entre las dos polaridades establece una corriente de cortocircuito a la cual contribuyen ambas polaridades a plena tensión U , y en función de la cual se ha de elegir el poder de corte del interruptor.
- Defecto b: el defecto en la polaridad no conectada a tierra establece una corriente que afecta a las protecciones de sobrecorriente en función de la resistencia del terreno.
- Defecto c: el defecto franco entre la polaridad conectada a tierra y la tierra no tiene consecuencias para el funcionamiento de la instalación.

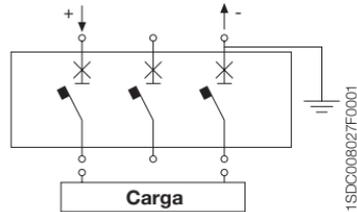
En la red con una polaridad conectada a tierra, todos los polos del interruptor automático necesarios para la protección deben conectarse en serie a la polaridad que no está a tierra. Si se desea obtener también el seccionamiento, es necesario contar con un polo de interrupción suplementario en la polaridad a tierra.

5 Aplicaciones particulares

Los esquemas con seccionamiento del circuito que deben utilizarse son los siguientes:

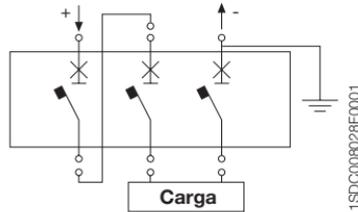
Esquema A

Interrupor automático tripolar con un polo por polaridad



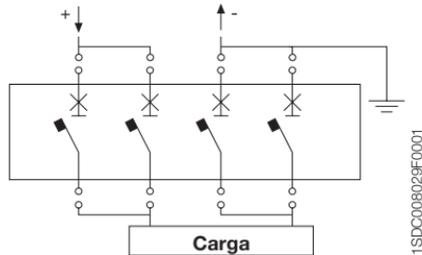
Esquema B

Interrupor automático tripolar con dos polos en serie en la polaridad no conectada a tierra y un polo en la otra



Esquema G

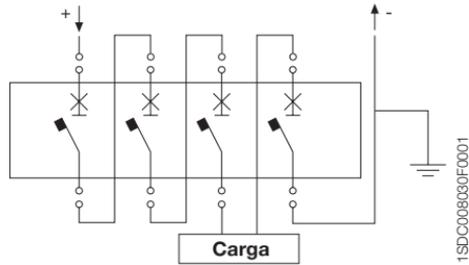
Interrupor automático tetrapolar con dos polos en paralelo por polaridad



5 Aplicaciones particulares

Esquema E

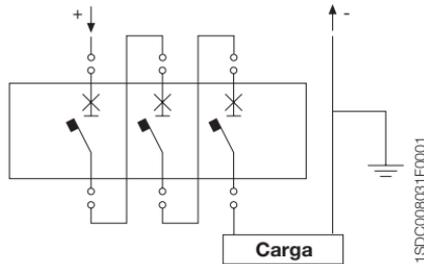
Interruptor automático tetrapolar con tres polos en serie en la polaridad no conectada a tierra y un polo en la otra



Los esquemas sin seccionamiento del circuito que deben utilizarse son los siguientes

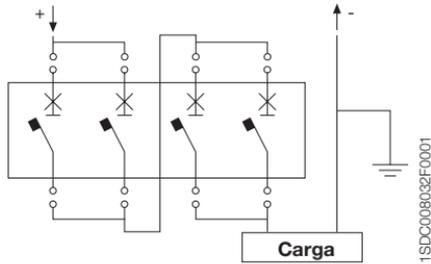
Esquema C

Interruptor automático tripolar con tres polos en serie



Esquema H

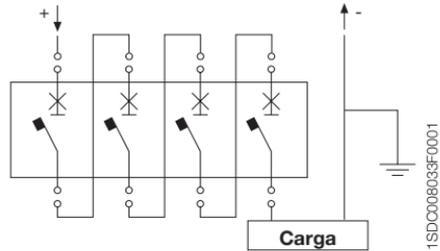
Interruptor automático tetrapolar con grupos en serie de dos polos en paralelo



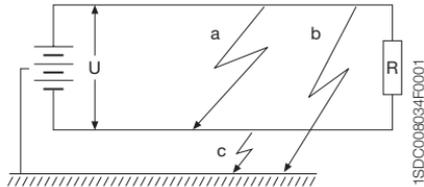
5 Aplicaciones particulares

Esquema D

Interruptor automático tetrapolar con cuatro polos en serie en la polaridad no conectada a tierra



Red con el punto medio de la alimentación conectado a tierra



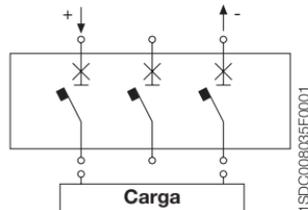
- Defecto a: el defecto franco entre las dos polaridades establece una corriente de cortocircuito a la cual contribuyen ambas polaridades a plena tensión U , y en función de la cual se ha de elegir el poder de corte del interruptor automático.
- Defecto b: el defecto franco entre la polaridad y tierra establece una corriente de cortocircuito inferior a la que presenta el defecto entre las dos polaridades, puesto que está alimentado por una tensión de $0,5 U$.
- Defecto c: el defecto franco en este caso es análogo al del caso anterior pero la polaridad afectada es la negativa.

En la red con el punto medio de la alimentación puesto a tierra, el interruptor automático debe montarse necesariamente en ambas polaridades.

Los esquemas que deben utilizarse son los siguientes:

Esquema A

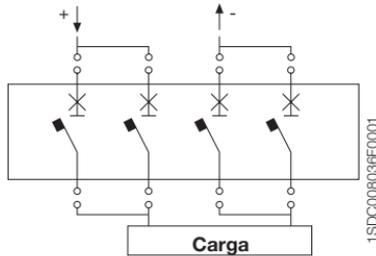
Interruptor automático tripolar con un polo por polaridad



5 Aplicaciones particulares

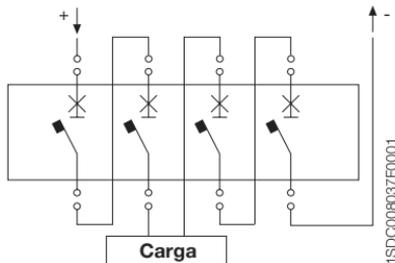
Esquema G

Interrupor automático tetrapolar con dos polos en paralelo por polaridad



Esquema F

Interrupor automático tetrapolar con dos polos en serie por polaridad



Empleo de los aparatos de corriente continua

Conexión en paralelo de los polos del interruptor automático

En función del número de polos conectados en paralelo, deben aplicarse los coeficientes indicados en la siguiente tabla:

Tabla 1: Factor de corrección para polos conectados en paralelo

| número de polos en paralelo | 2 | 3 | 4 (neutro 100%) |
|--|------------------|------------------|------------------|
| factor de reduc. de la corriente de empleo en c.c. | 0.9 | 0.8 | 0.7 |
| corriente de empleo del interruptor automático | $1.8 \times I_n$ | $2.4 \times I_n$ | $2.8 \times I_n$ |

Las conexiones a los terminales del interruptor automático deben ser realizadas por el usuario de tal forma que se garantice una distribución de la corriente en los polos lo más equilibrada posible.

5 Aplicaciones particulares

Ejemplo:

Para un interruptor automático Isomax S6N800 In800 con tres polos en paralelo se aplica el coeficiente 0.8; por lo cual la capacidad máxima será $0.8 \times 3 \times 800 = 1920$ A.

Comportamiento de los relés térmicos

El funcionamiento de estos relés se basa en el fenómeno térmico causado por el paso de la corriente, lo que permite emplearlos en corriente continua con la misma característica de actuación.

Comportamiento de los relés magnéticos

Los umbrales de actuación de los relés magnéticos para corriente alterna, cuando se los utiliza en corriente continua, deben multiplicarse por los siguientes coeficientes (k_m), en función del interruptor automático y del esquema de conexión:

Tabla 2: Coeficiente k_m

| Interr. automático | diagrama A | diagrama B | diagrama C | diagrama D | diagrama E | diagrama F | diagrama G | diagrama H |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| T1 | 1.3 | 1 | 1 | - | - | - | - | - |
| T2 | 1.3 | 1.15 | 1.15 | - | - | - | - | - |
| T3 | 1.3 | 1.15 | 1.15 | - | - | - | - | - |
| T4 | 1.3 | 1.15 | 1.15 | 1 | 1 | 1 | - | - |
| T5 | 1.1 | 1 | 1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | - | - |
| T6 | 1.1 | 1 | 1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.1 | 1 |

Ejemplo

Datos:

- red de corriente continua conectada a tierra
- tensión asignada $U_r = 250$ V
- intensidad de cortocircuito $I_k = 32$ kA
- intensidad asignada $I_b = 230$ A

En la Tabla 3 es posible elegir el interruptor automático Tmax T3N250 In = 250 A tripolar, utilizando la conexión representada en el esquema B (dos polos en serie para la polaridad no conectada a tierra y un polo en serie para la polaridad conectada a tierra).

En la Tabla 2, en correspondencia con el esquema B y con el interruptor automático Tmax T3, resulta $k_m = 1.15$; por lo tanto el disparo magnético nominal se producirá a 2875 A (teniendo en cuenta las tolerancias entre 2000 A y 3450 A).

5 Aplicaciones particulares

En la tabla siguiente figura el poder de corte de los diversos interruptores automáticos disponibles para corriente continua. Entre paréntesis se indica el número de polos que deben conectarse en serie para garantizar el poder de corte.

Tabla 3: Poder de corte en corriente continua en función de la tensión

| Interr. automático | Corriente asignada [A] | Poder de corte [kA] | | | |
|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------|---------|
| | | ≤ 125 [V] ¹ | 250 [V] | 500 [V] | 750 [V] |
| T1B160 | 16 ÷ 160 | 16 (1P) | 20 (3P) - 16 (2P) | 16 (3P) | |
| T1C160 | 25 ÷ 160 | 25 (1P) | 30 (3P) - 25 (2P) | 25 (3P) | |
| T1N160 | 32 ÷ 160 | 36 (1P) | 40 (3P) - 36 (2P) | 36 (3P) | |
| T2N160 | 1.6 ÷ 160 | 36 (1P) | 40 (3P) - 36 (2P) | 36 (3P) | |
| T2S160 | 1.6 ÷ 160 | 50 (1P) | 55 (3P) - 50 (2P) | 50 (3P) | |
| T2H160 | 1.6 ÷ 160 | 70 (1P) | 85 (3P) - 70 (2P) | 70 (3P) | |
| T2L160 | 1.6 ÷ 160 | 85 (1P) | 100 (3P) - 85 (2P) | 85 (3P) | |
| T3N250 | 63 ÷ 250 | 36 (1P) | 40 (3P) - 36 (2P) | 36 (3P) | |
| T3S250 | 63 ÷ 250 | 50 (1P) | 55 (3P) - 50 (2P) | 50 (3P) | |
| T4N250/320 | 20 ÷ 250 | 36 (1P) | 36 (2P) | 25 (2P) | 16 (3P) |
| T4S250/320 | 20 ÷ 250 | 50 (1P) | 50 (2P) | 36 (2P) | 25 (3P) |
| T4H250/320 | 20 ÷ 250 | 70 (1P) | 70 (2P) | 50 (2P) | 36 (3P) |
| T4L250/320 | 20 ÷ 250 | 100 (1P) | 100 (2P) | 70 (2P) | 50 (3P) |
| T4V250/320 | 20 ÷ 250 | 100 (1P) | 100 (2P) | 100 (2P) | 70 (3P) |
| T5N400/630 | 320 ÷ 500 | 36 (1P) | 36 (2P) | 25 (2P) | 16 (3P) |
| T5S400/630 | 320 ÷ 500 | 50 (1P) | 50 (2P) | 36 (2P) | 25 (3P) |
| T5H400/630 | 320 ÷ 500 | 70 (1P) | 70 (2P) | 50 (2P) | 36 (3P) |
| T5L400/630 | 320 ÷ 500 | 100 (1P) | 100 (2P) | 70 (2P) | 50 (3P) |
| T5V400/630 | 320 ÷ 500 | 100 (1P) | 100 (2P) | 100 (2P) | 70 (3P) |
| T6N630/800 | 630-800 | 36 (1P) | 36 (2P) | 20 (2P) | 16 (3P) |
| T6S630/800 | 630-800 | 50 (1P) | 50 (2P) | 35 (2P) | 20 (3P) |
| T6H630/800 | 630-800 | 70 (1P) | 70 (2P) | 50 (2P) | 36 (3P) |
| T6L630/800 | 630-800 | 100 (1P) | 100 (2P) | 65 (2P) | 50 (3P) |

¹ Tensión mínima admitida 24 Vcc.

5 Aplicaciones particulares

5.2 Redes con frecuencias particulares: 400 Hz y 16 2/3 Hz

Los interruptores automáticos de producción estandar pueden utilizarse en corriente alterna a frecuencias distintas de 50/60 Hz (frecuencias a las cuales se refieren las prestaciones asignadas del aparato en corriente alterna) siempre que se apliquen los oportunos coeficientes de desclasificación.

5.2.1 Redes de 400 Hz

A las frecuencias más altas, las prestaciones deben reclasificarse para tener en cuenta fenómenos como:

- el aumento del efecto pelicular y el incremento de la reactancia inductiva, directamente proporcional a la frecuencia, provocan un sobrecalentamiento de los conductores o de las partes de cobre conductoras de corriente del interruptor automático.
- el alargamiento del ciclo de histéresis y la disminución del valor de saturación magnética, con la consiguiente variación de las fuerzas asociadas al campo magnético a un determinado valor de corriente.

En general, estos fenómenos repercuten en el comportamiento de los relés magnetotérmicos y de las partes del interruptor automático que realizan el corte.

Las tablas siguientes se refieren a interruptores automáticos con relé magnetotérmico y con un poder de corte no superior a 36 kA. En general, este valor es más que suficiente para asegurar la protección en instalaciones donde se utiliza dicha frecuencia, caracterizadas normalmente por intensidades de cortocircuito bastante bajas.

Como puede apreciarse, el umbral de actuación del elemento térmico (I_n) disminuye al aumentar la frecuencia, debido a la menor conductividad de los materiales y al aumento de los fenómenos térmicos asociados: la reducción de esta prestación suele establecerse en el 10%.

Por el contrario, el umbral magnético (I_3) aumenta cuando se eleva la frecuencia, motivo por el cual se aconseja utilizar las versiones de 5- I_n .

5 Aplicaciones particulares

Tabla 1: Prestaciones de Tmax T1 16-63 A TMD

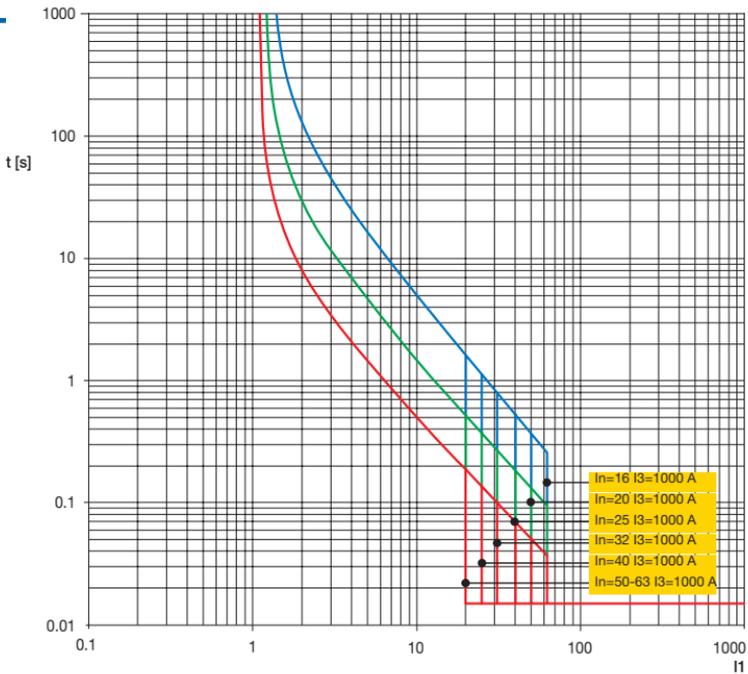
| | I1 (400Hz) | | | I3 | | | |
|---------|------------|-----|------|-----------|-------|------------|------|
| | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K_m | I3 (400Hz) | |
| T1B 160 | | | | | | | |
| T1C 160 | In16 | 10 | 12 | 14 | 500 | 2 | 1000 |
| T1N 160 | In20 | 12 | 15 | 18 | 500 | 2 | 1000 |
| | In25 | 16 | 19 | 22 | 500 | 2 | 1000 |
| | In32 | 20 | 24.5 | 29 | 500 | 2 | 1000 |
| | In40 | 25 | 30.5 | 36 | 500 | 2 | 1000 |
| | In50 | 31 | 38 | 45 | 500 | 2 | 1000 |
| | In63 | 39 | 48 | 57 | 630 | 2 | 1260 |

K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T1 B/C/N 160

In 16 a 63 A
TMD



5 Aplicaciones particulares

Tabla 2: Prestaciones de Tmax T1 80 A TMD

| | I1 (400Hz) | | | I3 | | |
|---------|------------|-----|-----|-----------|-------|------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K_m | I3 (400Hz) |
| T1B 160 | | | | | | |
| T1C 160 | In80 | | | | | |
| T1N 160 | 50 | 61 | 72 | 800 | 2 | 1600 |

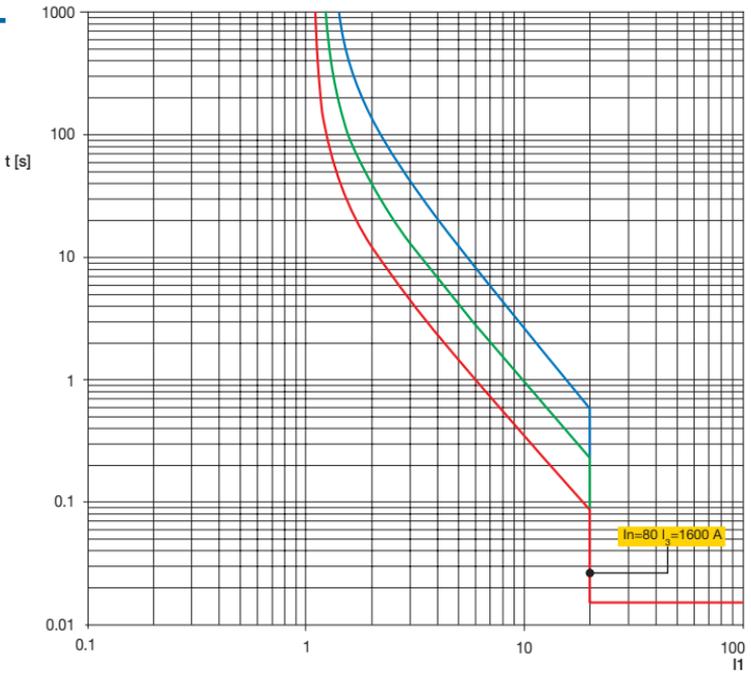
K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

1

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T1 B/C/N 160

In 80 A
TMD



5 Aplicaciones particulares

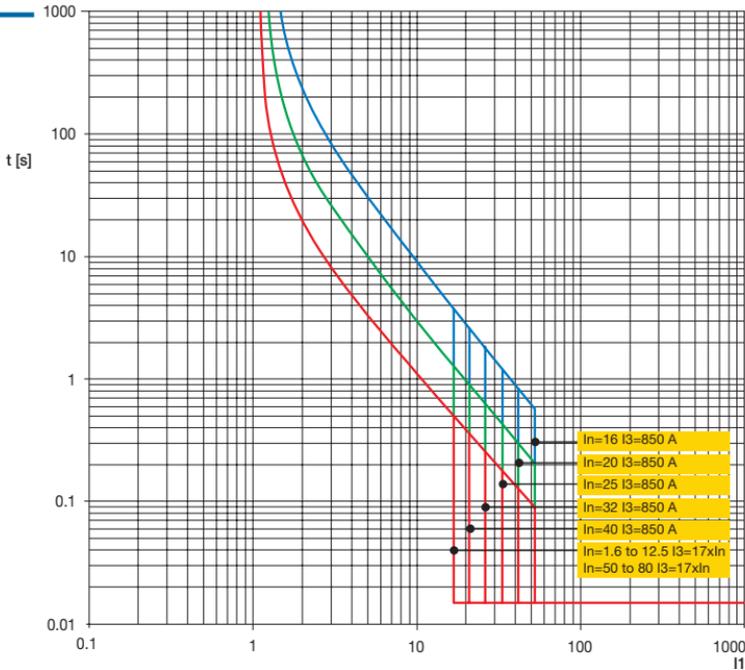
Tabla 3: Prestaciones de Tmax T2 1.6-80 A TMD

| T2N 160 | I1 (400Hz) | | | I3 | | |
|---------|------------|------|------|-----------|-------|------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K_m | I3 (400Hz) |
| In1.6 | 1 | 1.2 | 1.4 | 16 | 1.7 | 27.2 |
| In2 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 20 | 1.7 | 34 |
| In2.5 | 1.5 | 1.9 | 2.2 | 25 | 1.7 | 42.5 |
| In3.2 | 2 | 2.5 | 2.9 | 32 | 1.7 | 54.4 |
| In4 | 2.5 | 3 | 3.6 | 40 | 1.7 | 68 |
| In5 | 3 | 3.8 | 4.5 | 50 | 1.7 | 85 |
| In6.3 | 4 | 4.8 | 5.7 | 63 | 1.7 | 107.1 |
| In8 | 5 | 6.1 | 7.2 | 80 | 1.7 | 136 |
| In10 | 6.3 | 7.6 | 9 | 100 | 1.7 | 170 |
| In12.5 | 7.8 | 9.5 | 11.2 | 125 | 1.7 | 212.5 |
| In16 | 10 | 12 | 14 | 500 | 1.7 | 850 |
| In20 | 12 | 15 | 18 | 500 | 1.7 | 850 |
| In25 | 16 | 19 | 22 | 500 | 1.7 | 850 |
| In32 | 20 | 24.5 | 29 | 500 | 1.7 | 850 |
| In40 | 25 | 30.5 | 36 | 500 | 1.7 | 850 |
| In50 | 31 | 38 | 45 | 500 | 1.7 | 850 |
| In63 | 39 | 48 | 57 | 630 | 1.7 | 1071 |
| In80 | 50 | 61 | 72 | 800 | 1.7 | 1360 |

Curvas de actuación del relé termomagnético

T2 N 160

In 1.6 a 80 A
TMD



5 Aplicaciones particulares

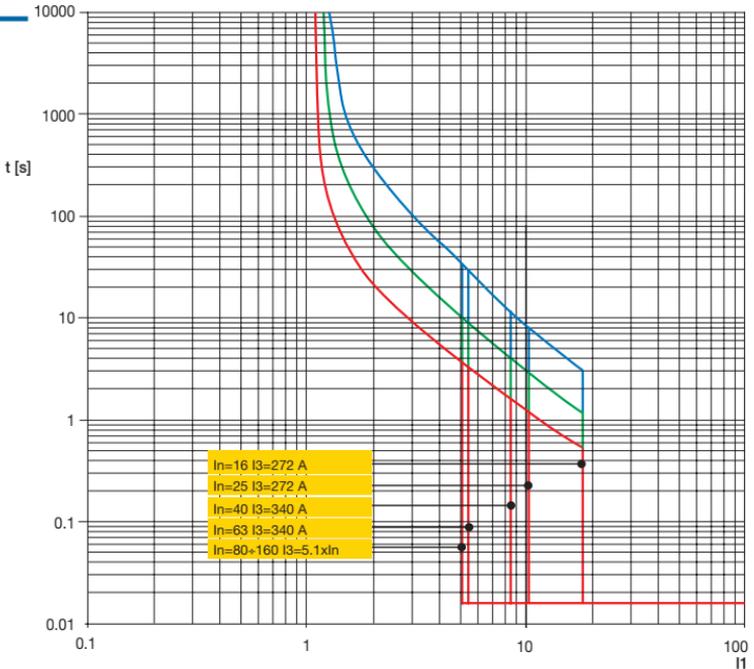
Tabla 4: Prestaciones de Tmax T2 16-160 A TMG

| T2N 160 | I1 (400Hz) | | | I3 | | |
|---------|------------|------|-----|-----------|-------|------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K_m | I3 (400Hz) |
| In16 | 10 | 12 | 14 | 160 | 1,7 | 272 |
| In25 | 16 | 19 | 22 | 160 | 1,7 | 272 |
| In40 | 25 | 30,5 | 36 | 200 | 1,7 | 340 |
| In63 | 39 | 48 | 57 | 200 | 1,7 | 340 |
| In80 | 50 | 61 | 72 | 240 | 1,7 | 408 |
| In100 | 63 | 76,5 | 90 | 300 | 1,7 | 510 |
| In125 | 79 | 96 | 113 | 375 | 1,7 | 637,5 |
| In160 | 100 | 122 | 144 | 480 | 1,7 | 816 |

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T2N 160

In 16 a 160 A
TMG



5 Aplicaciones particulares

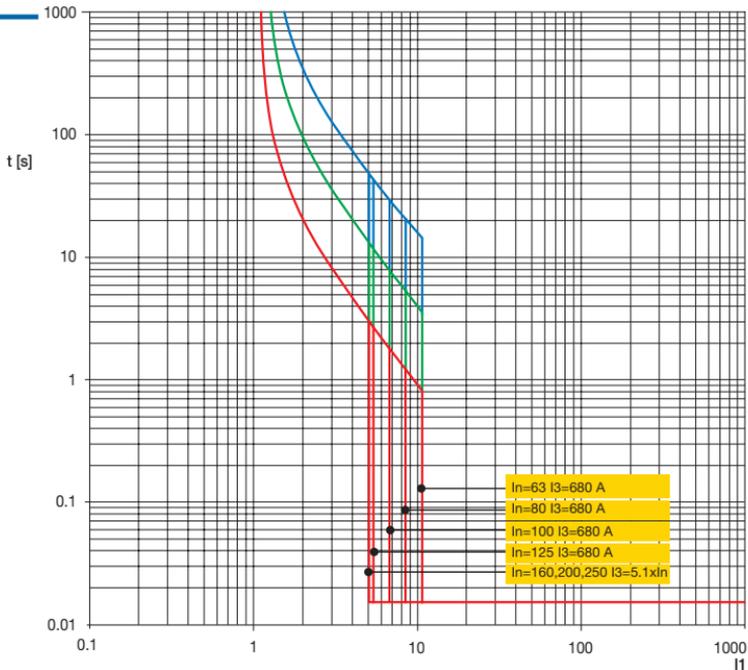
Tabla 4: Prestaciones de Tmax T3 63-250 A TMG

| T3N 250 | I1 (400Hz) | | | I3 (Low magnetic setting) | | |
|---------|------------|------|-----|---------------------------|-------|------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K_m | I3 (400Hz) |
| In63 | 39 | 48 | 57 | 400 | 1.7 | 680 |
| In80 | 50 | 61 | 72 | 400 | 1.7 | 680 |
| In100 | 63 | 76.5 | 90 | 400 | 1.7 | 680 |
| In125 | 79 | 96 | 113 | 400 | 1.7 | 680 |
| In160 | 100 | 122 | 144 | 480 | 1.7 | 816 |
| In200 | 126 | 153 | 180 | 600 | 1.7 | 1020 |
| In250 | 157 | 191 | 225 | 750 | 1.7 | 1275 |

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T3N 250

In 63 a 250 A
TMG



5 Aplicaciones particulares

Tabla 5: Prestaciones de Tmax T3 63-125 A TMD

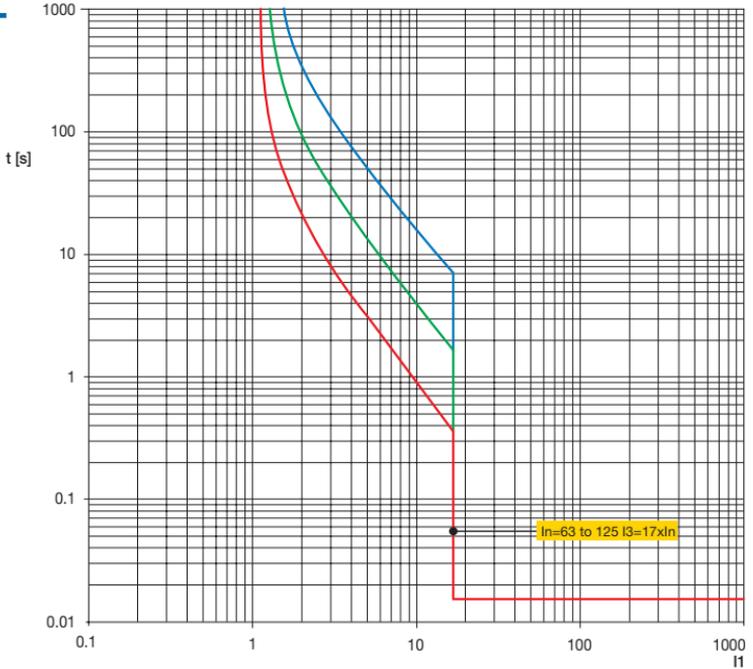
| T3N 250 | I1 (400Hz) | | | I3 | | |
|---------|------------|------|-----|-----------|-------|------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K_m | I3 (400Hz) |
| In63 | 39 | 48 | 57 | 630 | 1.7 | 1071 |
| In80 | 50 | 61 | 72 | 800 | 1.7 | 1360 |
| In100 | 63 | 76.5 | 90 | 1000 | 1.7 | 1700 |
| In125 | 79 | 96 | 113 | 1250 | 1.7 | 2125 |

1

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T3N 250

In 63 a 125 A
TMD



5 Aplicaciones particulares

Tabla 6: Prestaciones de Tmax T4 20-50 A TMD

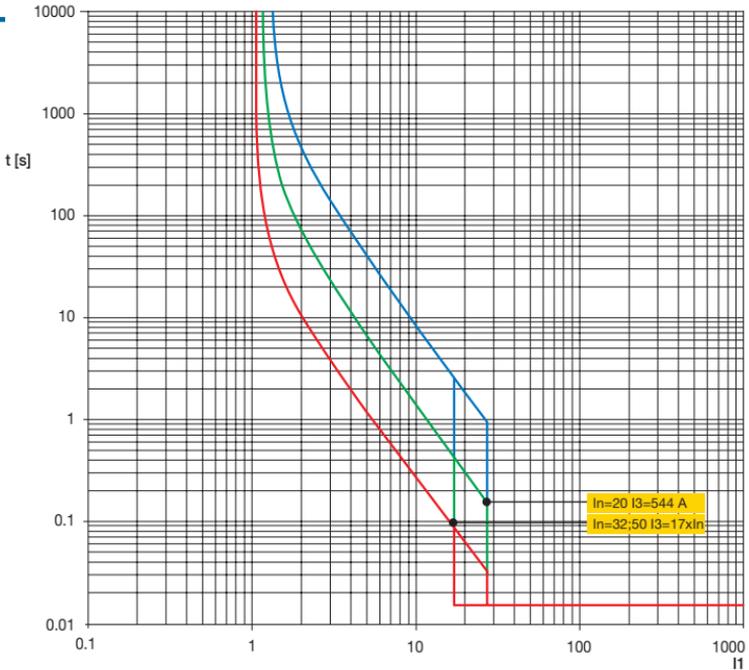
| T4N 250 | I1 (400Hz) | | | I3 | | |
|---------|------------|------|-----|-----------|-------|------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K_m | I3 (400Hz) |
| In20 | 12 | 15 | 18 | 320 | 1.7 | 544 |
| In32 | 20 | 24.5 | 29 | 320 | 1.7 | 544 |
| In50 | 31 | 38 | 45 | 500 | 1.7 | 850 |

K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T4 N 250

In 20 a 50 A
TMD



5 Aplicaciones particulares

Tabla 7: Prestaciones de Tmax T4N 80-250 A TMA

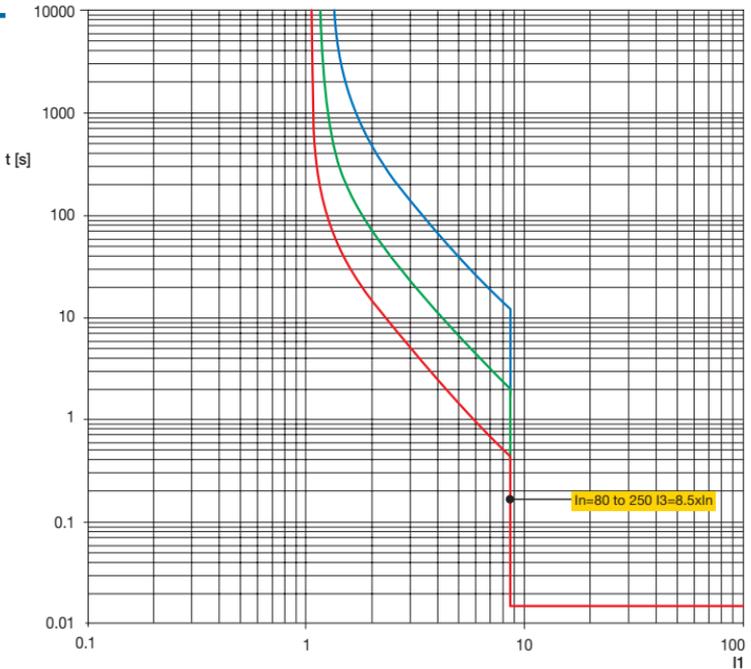
| T4N 250/320 | I1 (400Hz) | | | I3 setting (MIN=5xIn) | | |
|-------------|------------|------|-----|-----------------------|-------|-------------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 @ 5xIn (50Hz) | K_m | I3 @ 5xIn (400Hz) |
| In80 | 50 | 61 | 72 | 400 | 1.7 | 680 |
| In100 | 63 | 76.5 | 90 | 500 | 1.7 | 850 |
| In125 | 79 | 96 | 113 | 625 | 1.7 | 1060 |
| In160 | 100 | 122 | 144 | 800 | 1.7 | 1360 |
| In200 | 126 | 153 | 180 | 1000 | 1.7 | 1700 |
| In250 | 157 | 191 | 225 | 1250 | 1.7 | 2125 |

K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T4N 250/320

In 80 a 250 A
TMA



5 Aplicaciones particulares

Tabla 9: Prestaciones de Tmax T5N 320-500 A TMA

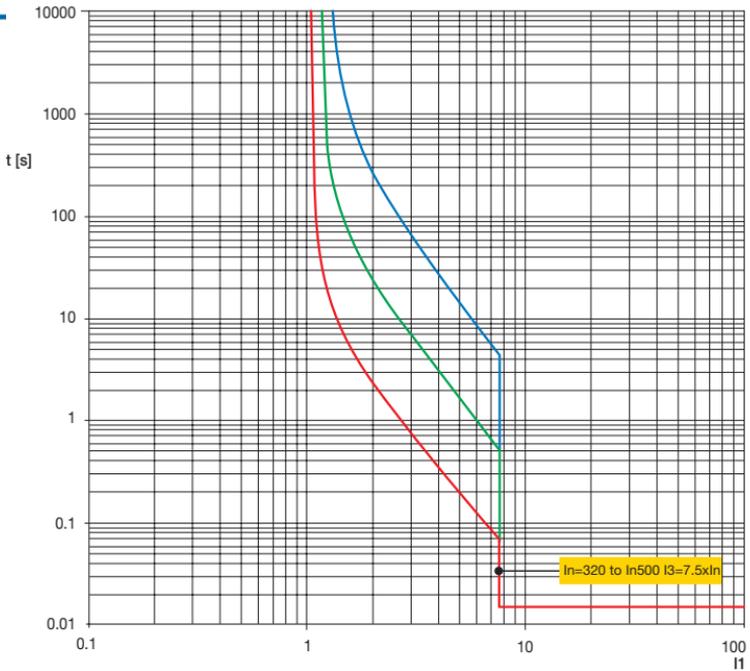
| T5N400/630 | I1 (400Hz) | | | I3 setting (MIN=5xIn) | | |
|------------|------------|-----|-----|-----------------------|-------|-------------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 @ 5xIn(50Hz) | K_m | I3 @ 5xIn (400)Hz |
| In320 | 201 | 244 | 288 | 1600 | 1.5 | 2400 |
| In400 | 252 | 306 | 360 | 2000 | 1.5 | 3000 |
| In500 | 315 | 382 | 450 | 2500 | 1.5 | 3750 |

K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T5 N 400/630

In 320 a 500 A
TMA



5 Aplicaciones particulares

Tabla 10: Prestaciones de Tmax T5N 320-500 A TMG

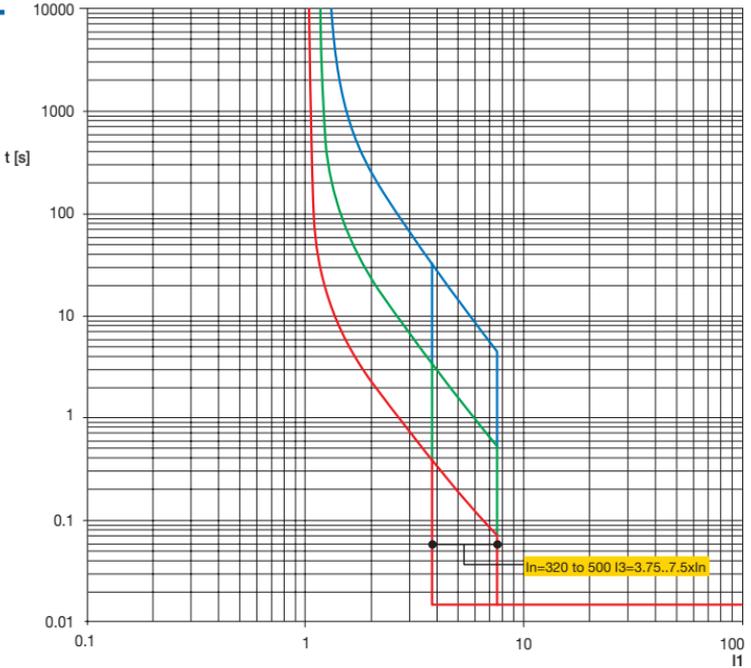
| T5N400/630 | I1 (400Hz) | | | I3 setting (2.5...5xIn) | | |
|------------|------------|-----|-----|-------------------------|-------|------------------------|
| | MIN | MED | MAX | I3 @ 2.5..5xIn (50Hz) | K_m | I3 @ 2.5..5xIn (400Hz) |
| In320 | 201 | 244 | 288 | 800...1600 | 1.5 | 1200...2400 |
| In400 | 252 | 306 | 360 | 1000...2000 | 1.5 | 1500...3000 |
| In500 | 315 | 382 | 450 | 1250...2500 | 1.5 | 1875...3750 |

K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T5N 400/630

In 320 a 500 A
TMG



5 Aplicaciones particulares

Tabla 11: Prestaciones de Tmax T6N 630 A TMA

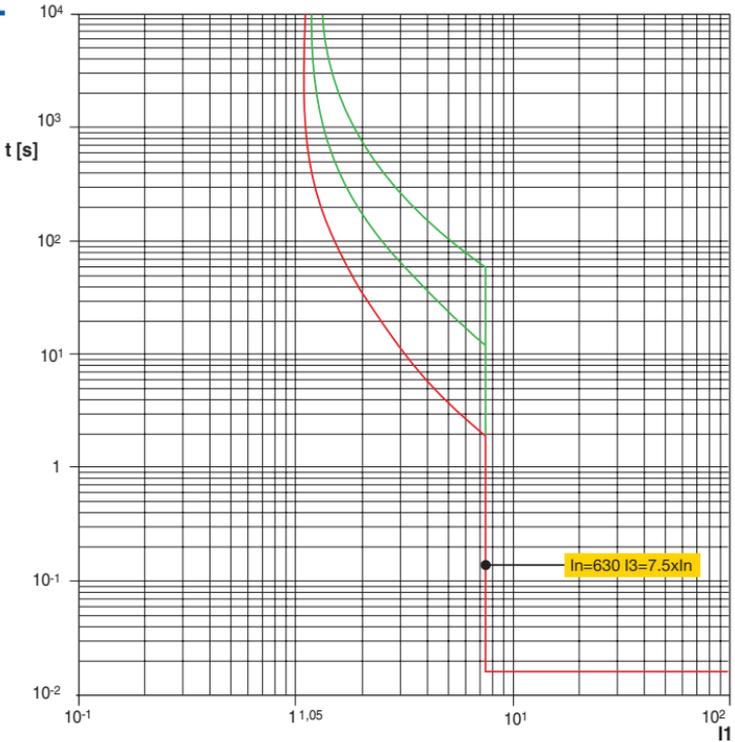
| T6N630 | In630 | I1 (400Hz) | | | I3 = 5·10In (set I3=5In) | | |
|--------|-------|------------|-----|-----|--------------------------|----------------|------------|
| | | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K _m | I3 (400Hz) |
| | | 397 | 482 | 567 | 3150 | 1.5 | 4725 |

K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T6N 630

In 630 A
TMA



5 Aplicaciones particulares

Tabla 12: Prestaciones de Tmax T6N 800 A TMA

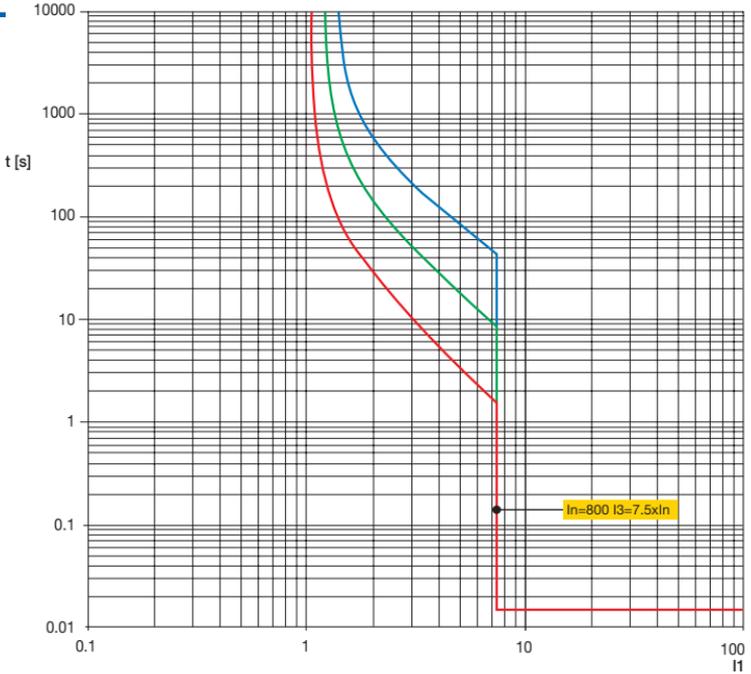
| T6N 800 | In800 | I1 (400Hz) | | | I3 = 5-10In (set I3=5In) | | |
|---------|-------|------------|-----|-----|--------------------------|----------------|------------|
| | | MIN | MED | MAX | I3 (50Hz) | K _m | I3 (400Hz) |
| | | 504 | 602 | 720 | 4000 | 1.5 | 6000 |

K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T6N 800

In 800 A
TMA



5 Aplicaciones particulares

5.2.2 Redes de 16 2/3 Hz

La distribución monofásica con frecuencia de 16 2/3 Hz fue desarrollada para los sistemas de tracción eléctrica como alternativa a los sistemas trifásicos de 50 Hz y a los sistemas de corriente continua.

A bajas frecuencias, el umbral de actuación térmica no sufre ninguna desclasificación, mientras que el umbral magnético necesita del coeficiente de corrección km indicado en las tablas siguientes.

Los interruptores automáticos en caja moldeada de la serie Tmax magnetotérmicos son idóneos para funcionar con frecuencias de 16 2/3Hz; a continuación se indican las prestaciones eléctricas y los esquemas de conexión.

Tabla 1: Poder de corte [kA]

| | | 250 V | 500 V | 750 V | 1000 V ⁽¹⁾ |
|------------|---------------|------------------|----------|------------------------|-----------------------|
| | In [A] | | | | |
| T1B160 | 16 ÷ 160 | 16 (2P) 20 (3P) | 16 (3P) | - | - |
| T1C160 | 25 ÷ 160 | 25 (2P) 30 (3P) | 25 (3P) | - | - |
| T1N160 | 32 ÷ 160 | 36 (2P) 40 (3P) | 36 (3P) | - | - |
| T2N160 | 1.6 ÷ 160 | 36 (2P) 40 (3P) | 36 (3P) | - | - |
| T2S160 | 1.6 ÷ 160 | 50 (2P) 55 (3P) | 50 (3P) | - | - |
| T2H160 | 1.6 ÷ 160 | 70 (2P) 85 (3P) | 70 (3P) | - | - |
| T2L160 | 1.6 ÷ 160 | 85 (2P) 100 (3P) | 85 (3P) | 50 (4P) ⁽²⁾ | - |
| T3N250 | 63 ÷ 250 | 36 (2P) 40 (3P) | 36 (3P) | - | - |
| T3S250 | 63 ÷ 250 | 50 (2P) 55 (3P) | 50 (3P) | - | - |
| T4N250/320 | 20 ÷ 250 | 36 (2P) | 25 (2P) | 16 (3P) | - |
| T4S250/320 | 20 ÷ 250 | 50 (2P) | 36 (2P) | 25 (3P) | - |
| T4H250/320 | 20 ÷ 250 | 70 (2P) | 50 (2P) | 36 (3P) | - |
| T4L250/320 | 20 ÷ 250 | 100 (2P) | 70 (2P) | 50 (3P) | - |
| T4V250/320 | 20 ÷ 250 | 150 (2P) | 100 (2P) | 70 (3P) | - |
| T4V250 | 32 ÷ 250 | | | | 40 (4P) |
| T5N400/630 | 320 ÷ 500 | 36 (2P) | 25 (2P) | 16 (3P) | - |
| T5S400/630 | 320 ÷ 500 | 50 (2P) | 36 (2P) | 25 (3P) | - |
| T5H400/630 | 320 ÷ 500 | 70 (2P) | 50 (2P) | 36 (3P) | - |
| T5L400/630 | 320 ÷ 500 | 100 (2P) | 70 (2P) | 50 (3P) | - |
| T5V400/630 | 320 ÷ 500 | 150 (2P) | 100 (2P) | 70 (3P) | - |
| T5V400/630 | 400 ÷ 500 | | | | 40 (4P) |
| T6N630/800 | 630 ÷ 800 | 36 (2P) | 20 (2P) | 16 (3P) | - |
| T6S630/800 | 630 ÷ 800 | 50 (2P) | 35 (2P) | 20 (3P) | - |
| T6H630/800 | 630 ÷ 800 | 70 (2P) | 50 (2P) | 36 (3P) | - |
| T6L630/800 | 630 ÷ 800 | 100 (2P) | 70 (2P) | 50 (3P) | 40 (4P) |

⁽¹⁾ Interruptores automáticos versión 1000V en cc, con neutro al 100%.

⁽²⁾ Interruptores automáticos con neutro al 100%.

5 Aplicaciones particulares

Tabla 2: Factor k_m

| | Esquema A | Esquema B-C | Esquema D-E-F |
|----|-----------|-------------|---------------|
| T1 | 1 | 1 | - |
| T2 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| T3 | 0,9 | 0,9 | - |
| T4 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| T5 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| T6 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |

Tabla 3: Conexiones posibles en función de la tensión, el tipo de distribución y el tipo de fallo

| | Neutro no puesto a tierra | | Neutro puesto a tierra* | |
|---------------------------|---------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| | Fallo L-N | Fallo L-E | Fallo L-N | Fallo L-E |
| 250 V 2 polos en serie | A1 | A2 | B2 | B2 |
| 250 V 3 polos en serie** | B1 | B2, C | B3 | B3 |
| 500 V 2 polos en serie | A1 | A2, B2 | B2, C | B2, C |
| 500 V 3 polos en serie** | B1 | B2, C | C | C |
| 750 V 3 polos en serie | B1 | B2, C | C | C |
| 750 V 4 polos en serie*** | E-F | E1, D | E1 | E1 |
| 1000 V 4 polos en serie | E-F | E1, C3 | E1 | E1 |

* En caso de que sólo sean posibles los fallos L-N o L-E (E=tierra) con impedancia no significativa, los esquemas mostrados son válidos. Si son posibles ambos fallos, se deben considerar los esquemas válidos para el fallo L-E.

** Sólo T1, T2, T3

*** Sólo T2

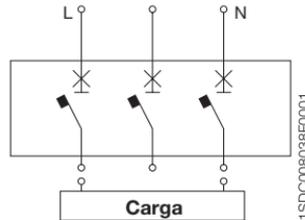
Esquemas de conexión

Esquema A1

Configuración con dos polos en serie (sin neutro puesto a tierra)

- interrupción por defecto fase-neutro: 2 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: no se considera

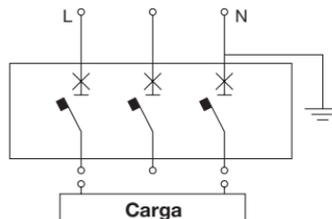
(La modalidad de instalación debe ser tal que la probabilidad de un segundo defecto a tierra sea despreciable.)



Esquema A2

Configuración con dos polos en serie (con neutro puesto a tierra)

- interrupción por defecto fase-neutro: 2 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: polo simple (igual poder que dos polos en serie pero limitado a 125 V)



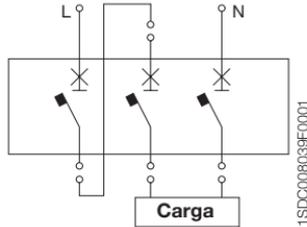
5 Aplicaciones particulares

Esquema B1

Configuración con tres polos en serie (sin neutro puesto a tierra)

- interrupción por defecto fase-neutro: 3 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: no se considera

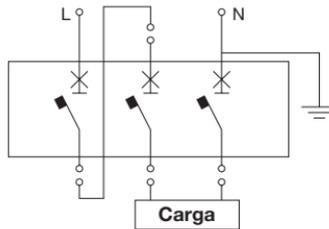
(La modalidad de instalación debe ser tal que la probabilidad de un segundo defecto a tierra sea despreciable.)



Esquema B2

Configuración con tres polos en serie (con neutro puesto a tierra e interrumpido)

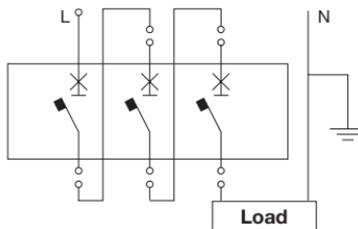
- interrupción por defecto fase-neutro: 3 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra : 2 polos en serie



Esquema C

Configuración con tres polos en serie (con neutro puesto a tierra pero no interrumpido)

- interrupción por defecto fase-neutro: 3 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: 3 polos en serie



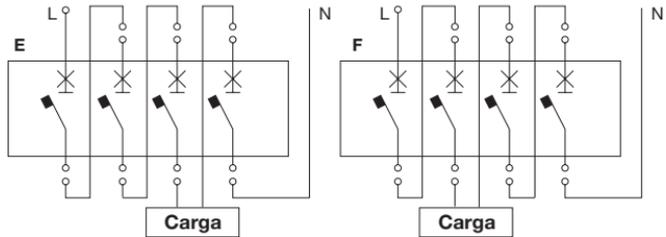
5 Aplicaciones particulares

Esquema E-F

Configuración con cuatro polos en serie (sin neutro puesto a tierra)

- interrupción por defecto fase-neutro: 4 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: no se considera

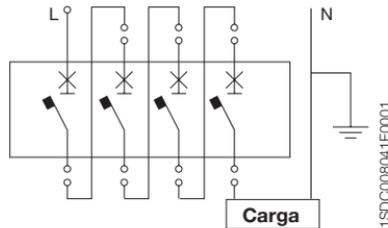
(La modalidad de instalación debe ser tal que la probabilidad de un segundo defecto a tierra sea despreciable.)



Esquema D

Interrupción con cuatro polos en serie (neutro puesto a tierra e interrumpido)

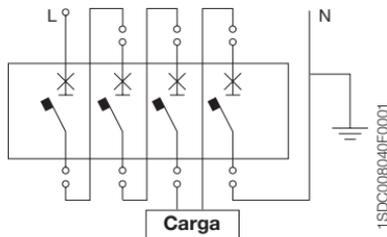
- interrupción por defecto fase-neutro: 4 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: 4 polos en serie



Esquema E1

Interrupción con cuatro polos en serie (neutro puesto a tierra e interrumpido)

- interrupción por defecto fase-neutro: 4 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: 3 polos en serie



5 Aplicaciones particulares

Ejemplo:

Datos de la red:
 Tensión asignada 250 V
 Frecuencia asignada 16 2/3 Hz
 Corriente de empleo 120 A
 Intensidad de cortocircuito fase neutro 45 kA
 Neutro puesto a tierra

Si la probabilidad de un defecto fase-tierra es despreciable, se puede utilizar la conexión A2, B2 o B3 de la Tabla 3.

En tal caso, es posible elegir un interruptor automático Tmax T2S160 In125 que, conectado según el esquema A2 (dos polos en serie), tiene un poder de corte de 50 kA, y según el esquema B2 o B3 (tres polos en serie) tiene un poder de corte de 55 kA (Tabla 1). Para determinar el disparo magnético hay que considerar el factor k_m de la Tabla 2. El umbral magnético será:

$$I_3 = 1250 \cdot 0.9 = 1125 \text{ A}$$

cualquiera que sea el esquema utilizado.

Si es posible que se verifique un defecto fase-tierra con impedancia no significativa, sólo pueden aplicarse los esquemas B2 o B3 de la Tabla 3. Con el esquema B2, dado que actúan sólo dos polos en serie, el poder de corte será de 50 kA (Tabla 1), mientras que en el esquema B3, con tres polos en serie, el poder de corte es de 55 kA.

5.3 Redes de 1000 Vcc y 1000 Vca

Los interruptores automáticos Tmax, SACE Isomax y Emax/E 1000 V están particularmente indicados para aplicaciones en minas, plantas petroquímicas y servicios relacionados con la tracción eléctrica (alumbrado de túneles).

5.3.1 Redes de 1000 Vcc

Interruptores automáticos en caja moldeada de 1000 Vcc Características generales

La gama de interruptores automáticos en caja moldeada Tmax, para instalaciones con tensión asignada de hasta 1000 V en corriente continua, cumple la norma internacional IEC 60947-2.

Se equipan con relés magnetotérmicos regulables y satisfacen cualquier exigencia de instalación con una gama de calibraciones entre 32 A y 800 A. Los interruptores automáticos en versión tetrapolar permiten alcanzar elevadas prestaciones gracias a la conexión en serie de los polos.

Los interruptores automáticos de la gama Tmax 1000 V tienen iguales dimensiones y puntos de fijación que los interruptores estándar. Además, pueden dotarse de todos los accesorios de la gama estándar, con excepción de los relés diferenciales.

También es posible utilizar los kits de transformación a interruptores enchufables y extraíbles, y los diversos kits de terminales.

5 Aplicaciones particulares

| Int. automáticos en caja moldeada 1000 V cc | | T4 | T5 | T6 |
|--|--------|-----------|-------------------|------------------------|
| Corriente permanente asignada, Iu [A] | | 250 | 400/630 | 630/800 |
| Polos Nr. | | 4 | 4 | 4 |
| Tensión asignada de servicio, Ue [V -] | | 1000 | 1000 | 1000 |
| Tensión asignada soportada a impulso, Uimp [kV] | | 8 | 8 | 8 |
| Tensión asignada de aislamiento, Ui [V] | | 1000 | 1000 | 1000 |
| Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min. [V] | | 3500 | 3500 | 3500 |
| Poder asignado de corte último en cortocircuito, Icu (4 polos en serie) [kA] | | V | V | L |
| Corr. asignada de corta duración admisible 1 s, Icw [kA] | | 40 | 40 | 40 |
| Corr. asignada de corta duración admisible 1 s, Icw [kA] | | - | 5 (400A) | 7.6 (630A) - 10 (800A) |
| Categoría de uso (EN 60947-2) | | A | B (400A)-A (630A) | B |
| Aptitud al seccionamiento | | ■ | ■ | ■ |
| IEC 60947-2, EN 60947-2 | | ■ | ■ | ■ |
| Relés magnetotérmicos TMD | | ■ | - | - |
| Relés magnetotérmicos TMA | | ■ | up to 500 A | ■ |
| Versiones | | F | F | F |
| Terminales Fijo | | FC Cu | FC Cu | F - FC CuAl - R |
| Durabilidad mecánica [Nº operaciones/operac./hora] | | 20000/240 | 20000/120 | 20000/120 |
| Dimensiones básicas, fijo | L [mm] | 140 | 184 | 280 |
| | D [mm] | 103.5 | 103.5 | 103.5 |
| | H [mm] | 205 | 205 | 268 |

LEYENDA TERMINALES

F = Anteriores

EF = Anteriores prolongados

ES = Anteriores prolongados separados

FC Cu = Anteriores para cables de cobre

FC CuAl = Anteriores para cables de cobre y aluminio

R = Posteriores roscados

HR = Posteriores en pletina horizontal

VR = Posteriores en pletina vertical

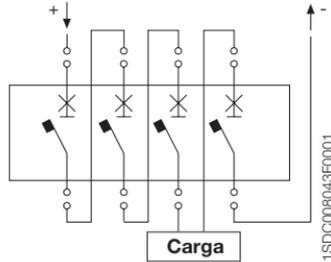
MC = Multicable

Esquemas de conexión

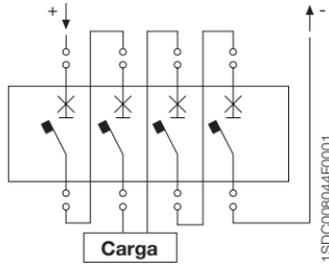
Se incluyen los esquemas de conexión posibles, según el tipo de sistema de distribución en que pueden utilizarse.

Red aislada de tierra

Pueden utilizarse los siguientes esquemas (las polaridades pueden invertirse).



5 Aplicaciones particulares



B) 2+2 polos en serie (1000 Vcc)

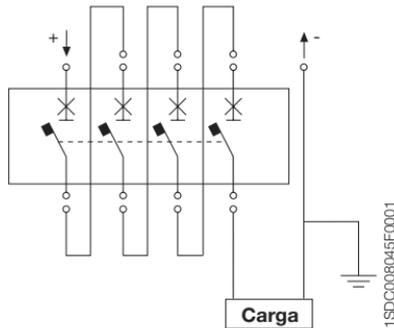
Se supone nulo el riesgo de doble defecto a tierra, en el cual el primer defecto se produce aguas abajo del interruptor en una polaridad, y el segundo aguas arriba del interruptor en la polaridad opuesta.

En esta condición, la corriente de defecto –que puede asumir valores elevados– afectaría sólo a algunos de los 4 polos necesarios para asegurar el poder de corte.

Es posible evitar un segundo defecto a tierra instalando, por ejemplo, un dispositivo que señale el fallo de aislamiento y determine la posición del primer defecto a tierra, permitiendo su rápida eliminación.

Red con una polaridad conectada a tierra

Puesto que no es necesario interrumpir la polaridad conectada a tierra (en el ejemplo se supone que la polaridad conectada a tierra es la negativa, aunque las consideraciones siguientes valen también para las polaridades invertidas), puede utilizarse un esquema con 4 polos conectados en serie a la polaridad que no está puesta a tierra.

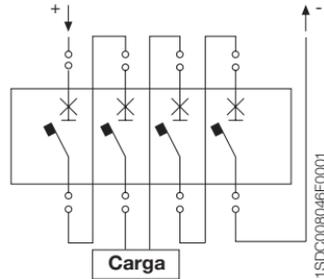


C) 4 polos en serie (1000 Vcc)

5 Aplicaciones particulares

Red con punto medio de la fuente de alimentación puesto a tierra

En presencia de un defecto a tierra de la polaridad positiva o negativa, los polos afectados por el defecto funcionan a $U/2$ (500 V). Debe utilizarse el esquema siguiente:



D) 2+2 polos en serie (1000 Vcc)

Factores de corrección para los umbrales de actuación

Para la protección contra sobrecargas no debe aplicarse ningún factor de corrección.

Si embargo, para los umbrales magnéticos que se utilizan con una corriente continua de 1000 V con los esquemas anteriormente indicados, se deben tener en cuenta los valores correspondientes para corriente alterna, multiplicados por los factores de corrección indicados en la siguiente tabla:

| Interruptor automático | k_m |
|------------------------|-------|
| T4V | 1 |
| T5V | 0.9 |
| T6L | 0.9 |

Interruptores automáticos con relé magnetotérmico para corriente continua

| I_n [A] | 32 (1) | 50 (1) | 80 (2) | 100 (2) | 125 (2) | 160 (2) | 200 (2) | 250 (2) | 320 (2) | 400 (2) | 500 (2) | 630 (2) | 800 (2) |
|-------------------------------------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| T4V 250 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | - | - | - | - | - |
| T5V 400 | - | - | - | - | - | - | - | - | ■ | ■ | - | - | - |
| T5V 630 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ■ | - | - |
| T6L 630 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ■ | - |
| T6L 800 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ■ |
| $I_3 = (10 \times I_n)$ [A] | 320 | 500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| $I_3 = (5 \cdot 10 \times I_n)$ [A] | - | - | 400-800 | 500-1000 | 625-1250 | 800-1600 | 1000-2000 | 1250-2500 | 1600-3200 | 2000-4000 | 2500-5000 | 3150-6300 | 4000-8000 |

(1) Umbral térmico regulable de 0.7 a $1 \times I_n$; umbral magnético fijo

(2) Umbral térmico regulable de 0.7 a $1 \times I_n$; umbral magnético regulable de 5 a $10 \times I_n$.

5 Aplicaciones particulares

Ejemplo

Se desea proteger un equipo alimentado por una red con las siguientes características:

| | |
|---|--------------------------|
| Tensión nominal | $U_r = 1000 \text{ Vcc}$ |
| Intensidad de cortocircuito | $I_k = 18 \text{ kA}$ |
| Intensidad nominal | $I_b = 420 \text{ A}$ |
| Red con ambas polaridades aisladas de tierra. | |

En la tabla de calibraciones disponibles, se observa que el interruptor automático adecuado es:

T5V 630 In=500 tetrapolar Icu@1000 Vcc=40 kA

Umbral de actuación térmica regulable de $(0.7 \text{ a } 1) \times I_n$, es decir, de 350 A a 500 A. Debe ajustarse a $0.84 \times I_n$.

Umbral de actuación magnética regulable de $(5-10) \times I_n$ que –con el factor de corrección $k_{rm}=0.9$ – ofrece el siguiente campo de regulación: de 2250 A a 4500 A. El umbral magnético debe ajustarse en relación con las posibles conducciones que haya que proteger.

La conexión de los polos ha de realizarse como se indica en el esquema A o B.

Es indispensable instalar un dispositivo que señale el primer defecto a tierra. Con las mismas características de la instalación, si la red funciona con una polaridad conectada a tierra, el interruptor automático debe conectarse como en el esquema C.

5 Aplicaciones particulares

Interruptores de maniobra seccionadores abiertos 1000 Vcc

Los interruptores de maniobra-seccionadores derivados de los interruptores abiertos Emax se definen con el nombre de la gama estándar más el sufijo "E MS".

Cumplen la norma internacional IEC 60947-3 y son particularmente idóneos para el empleo como acopladores de barras o seccionadores principales en instalaciones de corriente continua, por ejemplo en las relacionadas con la tracción eléctrica.

Tienen iguales dimensiones y puntos de fijación que los interruptores estándar y pueden equiparse con los diversos kits de terminales y con todos los accesorios comunes a la gama Emax. Se presentan en ejecución fija y extraíble, y en versión tripolar (hasta 750 Vcc) y tetrapolar (hasta 1000 Vcc).

Los interruptores extraíbles deben asociarse a las partes fijas en versión especial para aplicaciones a 750/1000 Vcc.

La gama permite satisfacer las más variadas exigencias de instalación hasta 1000 Vcc / 3200 A o hasta 750 Vcc / 4000 A.

El poder de corte de estos dispositivos, cuando están asociados a un relé externo apropiado, es igual a su intensidad asignada de corta duración.

En la tabla siguiente se detallan las versiones disponibles con las respectivas prestaciones eléctricas:

| | E1B/E MS | | E2N/E MS | | E3H/E MS | | E4H/E MS | | E6H/E MS | |
|--|----------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | [A] | [A] | [A] | [A] | [A] | [A] | [A] | [A] | [A] | [A] |
| Corriente asignada (a 40 °C) Iu | 800 | 1250 | 1250 | 1600 | 1600 | 2000 | 2000 | 2500 | 3200 | 5000 |
| | 1250 | 1600 | 1600 | 2000 | 2000 | 2500 | 3200 | 5000 | 6300 | |
| | | 2000 | 2000 | | | | | | | |
| | | | 2500 | | | | | | | |
| | | | | 3200 | | | | | | |
| Polos | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| Tensión de servicio asignada Ue | [V] | 750 1000 | 750 1000 | 750 1000 | 750 1000 | 750 1000 | 750 1000 | 750 1000 | 750 1000 | 1000 |
| Tensión de aislamiento asignada Ui | [V] | 1000 1000 | 1000 1000 | 1000 1000 | 1000 1000 | 1000 1000 | 1000 1000 | 1000 1000 | 1000 1000 | 1000 |
| Tensión de resistencia a impulso asignada Uimp | [kV] | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 12 | 12 |
| Corriente asignada de corta duración admisible Icw (1s) | [kA] | 20 20 ⁽¹⁾ | 25 25 ⁽¹⁾ | 40 40 ⁽¹⁾ | 65 65 | 65 65 | 65 65 | 65 65 | 65 65 | 65 |
| Poder asignado de cierre Icm | 750V DC | [kA] | 20 20 | 25 25 | 40 40 | 40 40 | 65 65 | 65 65 | 65 65 | 65 |
| | 1000V DC | | - 20 | - 25 | - 40 | - 65 | - 65 | - 65 | - 65 | 65 |

Note: el poder de cierre Icu, mediante un relé de protección externa con tiempo máximo de 500 ms es igual al valor de Icw (1s)

(1) El rendimiento a 750 V es:

para E1B/E MS Icw = 25 kA,

para E2N/E MS Icw = 40 kA y

para E3H/E MS Icw = 50 kA.

5 Aplicaciones particulares

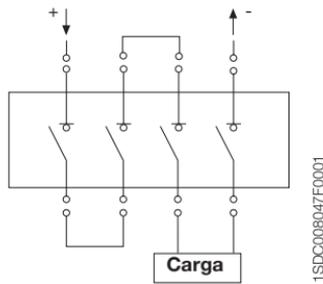
Esquemas de conexión

Se indican los esquemas de conexión que deben utilizarse para cada tipo de sistema de distribución.

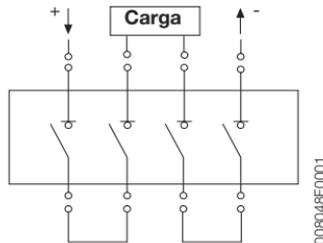
Se considera nulo el riesgo de doble defecto a tierra en distintas polaridades, en cuyo caso la corriente de defecto pasaría sólo por una parte de los polos de interrupción.

Red aislada de tierra

Pueden utilizarse los siguientes esquemas (las polaridades pueden invertirse).

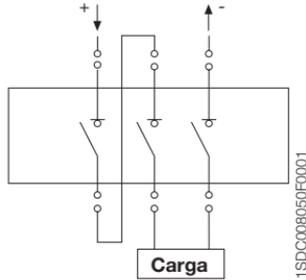


E) 3+1 polos en serie (1000 Vdc)



F) 2+2 polos en serie (1000 Vdc)

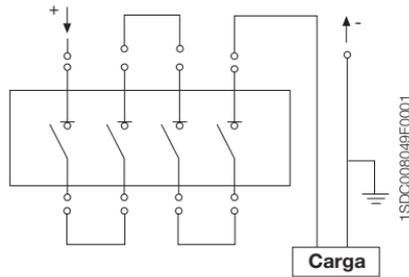
5 Aplicaciones particulares



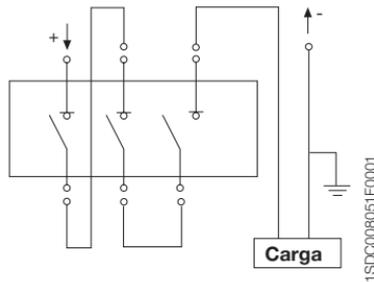
G) 2+1 polos en serie (750 Vcc)

Red con una polaridad conectada a tierra

No es necesario interrumpir la polaridad conectada a tierra (en los ejemplos se supone que la polaridad conectada a tierra es la negativa):



H) 4 polos en serie (1000 Vdc)



I) 3 polos en serie (750 Vdc)

Redes con punto medio de la fuente de alimentación puesto a tierra

Sólo se pueden utilizar interruptores tetrapolares como en la configuración del esquema **F**.

5 Aplicaciones particulares

5.3.2 Redes de 1000 Vca

Interruptores automáticos en caja moldeada hasta 1150 Vca

Características generales

Los interruptores automáticos de la gama Tmax hasta 1150 V cumplen con la norma internacional IEC 60947-2.

Estos interruptores automáticos se pueden equipar con relés magnetotérmicos (en los calibres más pequeños) y con relés electrónicos. Todos los requisitos de instalación se pueden satisfacer con un intervalo de calibraciones de 32 A a 800 A y poderes de corte hasta 20 kA a 1150 Vca.

Interruptores automáticos en caja moldeada hasta 1150 Vca

| | |
|---|--|
| Corriente permanente asignada, Iu | [A] |
| Polos | Nr. |
| Tensión asignada de servicio, Ue (ac) 50-60Hz | [V] |
| Tensión asignada de resistencia a impulso, Uimp | [kV] |
| Tensión asignada de aislamiento, Ui | [V] |
| Tensión de prueba a frecuencia industrial 1 min. | [V] |
| Poder asignado de corte último en cortocircuito, Icu | (ca) 50-60 Hz 1000 V [kA] (ca) 50-60 Hz 1150 V [kA] |
| Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito, Ics | (ca) 50-60 Hz 1000 V [kA] (ca) 50-60 Hz 1150 V [kA] |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito Icm | (ca) 50-60 Hz 1000 V [kA] (ca) 50-60 Hz 1150 V [kA] |
| Categoría de uso (EN 60947-2) | |
| Aptitud al seccionamiento | |
| Norma de referencia | |
| Relés termomagnéticos | TMD TMA |
| Relés electrónicos | PR221DS/LS PR221DS/I PR222DS/P-LSI PR222DS/P-LSIG PR222DS/PD-LSI PR222DS/PD-LSIG PR222MP |
| Terminales | |
| Versiones | |
| Durabilidad mecánica | [N° de maniobras] [N° de maniobras por hora] |
| Dimensiones básicas, versión fija ⁽⁵⁾ | 3 polos W [mm] 4 polos W [mm] D [mm] H [mm] |
| Peso | fijo 3/4 polos [kg] enchufable 3/4 polos [kg] extraíble 3/4 polos [kg] |

(1) Alimentación de potencia sólo por los terminales superiores

(2) Icw=5kA

(3) Icw=7.6kA (630A) - 10kA (800A)

(4) Tmax T5630 sólo disponible en la versión fija

(5) Interruptor automático sin cubiertas de terminales elevadas

5 Aplicaciones particulares

Los interruptores automáticos de la gama 1150 V tienen las mismas dimensiones que los interruptores automáticos estándar.

Estos interruptores automáticos también se pueden equipar con todos los accesorios de la gama estándar, con excepción de los relés diferenciales.

En las siguientes tablas se muestran las características eléctricas de la gama:

| T4 | | T5 | | T6 | |
|-------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------|--|
| 250 | | 400/630 | | 630/800 | |
| 3, 4 | | 3, 4 | | 3, 4 | |
| 1000 | 1150 | 1000 | 1150 | 1000 | |
| 8 | | 8 | | 8 | |
| 1000 | 1150 | 1000 | 1150 | 1000 | |
| 3500 | | 3500 | | 3500 | |
| L | V | L | V (1) | L (1) | |
| 12 | 20 | 12 | 20 | | |
| | 12 | | 12 | | |
| 12 | 12 | 10 | 10 | 6 | |
| | 6 | | 6 | | |
| 24 | 40 | 24 | 40 | 24 | |
| | 24 | | 24 | | |
| A | | B (400 A) (2)/A (630 A) | | B (3) | |
| ■ | | ■ | | ■ | |
| IEC 60947-2 | | IEC 60947-2 | | IEC 60947-2 | |
| - | ■ | - | - | - | |
| - | ■ | - | ■ | ■ | |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| ■ | - | ■ | - | - | |
| FC Cu | | FC Cu | | F-FC CuAl-R | |
| F, P, W | F | F, P, W (4) | F | F | |
| 20000 | | 20000 | | 20000 | |
| 240 | | 120 | | 120 | |
| 105 | | 140 | | 210 | |
| 140 | | 184 | | 280 | |
| 103.5 | | 103.5 | | 103.5 | |
| 205 | | 205 | | 268 | |
| 2.35/3.05 | 2.35/3.05 | 3.25/4.15 | 3.25/4.15 | 9.5/12 | |
| 3.6/4.65 | | 5.15/6.65 | | | |
| 3.85/4.9 | | 5.4/6.9 | | | |

LEYENDA TERMINALES

F=Anteriores

FC Cu= Anteriores para cables de cobre

FC CuAl=Anteriores para cables de cobre y aluminio

R= Posteriores roscados

5 Aplicaciones particulares

En las siguientes tablas se muestran los relés disponibles.

Interruptores automáticos con relé electrónico para corriente alterna

| | In100 | In250 | In320 | In400 | In630 | In800 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| T4 250 | ■ | ■ | - | - | - | - |
| T5 400 | - | - | ■ | ■ | - | - |
| T5 630 | - | - | - | - | ■ | - |
| T6L 630 | - | - | - | - | ■ | - |
| T6L 800 | - | - | - | - | - | ■ |
| $I_3 (1 \div 10 \times I_n) [A]^{(1)}$ | 100÷1000 | 250÷2500 | 320÷3200 | 400÷4000 | 630÷6300 | 800÷8000 |
| $I_3 (1.5 \div 12 \times I_n) [A]^{(2)}$ | 150÷1200 | 375÷3000 | 480÷3840 | 600÷4800 | 945÷7560 | 1200÷9600 |

(1) PR221

(2) PR222

Interruptores automáticos con relé magnetotérmico para corriente alterna

| In [A] | 32 (1) | 50 (1) | 80 (2) | 100 (2) | 125 (2) | 160 (2) | 200 (2) | 250 (2) | 320 (2) | 400 (2) | 500 (2) | 630 (2) | 800 (2) |
|------------------------------------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| T4V 250 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | - | - | - | - | - |
| T5V 400 | - | - | - | - | - | - | - | - | ■ | ■ | - | - | - |
| T5V 630 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ■ | - | - |
| T6L 630 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ■ | - |
| T6L 800 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | ■ |
| $I_3 = (10 \times I_n) [A]$ | 320 | 500 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| $I_3 = (5 \div 10 \times I_n) [A]$ | - | - | 400-800 | 500-1000 | 625-1250 | 800-1600 | 1000-2000 | 1250-2500 | 1600-3200 | 2000-4000 | 2500-5000 | 31500-6300 | 4000-8000 |

(1) Umbral térmico regulable de 0.7 a 1 x In; umbral magnético fijo

(2) Umbral térmico regulable de 0.7 a 1 x In; umbral magnético regulable de 5 a 10 x In.

Interruptores automáticos abiertos e interruptores de maniobra-seccionadores abiertos hasta 1150 Vca

Para instalaciones de 1150 V en corriente alterna están disponibles los siguientes dispositivos:

- **Interruptores automáticos conformes a la norma IEC 60947-2.**

Los interruptores de versión especial hasta 1150 Vca se identifican mediante el código de la gama estándar más el sufijo "E", y derivan de los correspondientes interruptores Emax estándar, de los cuales se conservan las versiones, los accesorios y las dimensiones generales.

La gama de interruptores automáticos Emax se presenta en ejecución fija y extraíble, con tres y cuatro polos, y se puede equipar con accesorios y con toda la gama de relés electrónicos y microprocesadores (PR332/P-PR333/P-PR121-PR122-PR123).

- **Interruptores de maniobra-seccionadores conformes a la norma IEC 60947-3.**

Estos interruptores se identifican mediante el código de la gama estándar de la cual derivan, más el sufijo "E MS". Se presentan en versión tripolar y tetrapolar en ejecución fija y extraíble, con las mismas dimensiones, características de equipamiento y de instalación de los interruptores de maniobra-seccionadores estándar.

5 Aplicaciones particulares

En las siguientes tablas se indican las características eléctricas de los dispositivos:

Interruptores automáticos abiertos (hasta 1150 Vca)

| | | X1B/E | | E2B/E | | E2N/E | | E3H/E | | | | E4H/E | | E6H/E | | | |
|--|------|------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Corriente asignada (a 40 °C) I _n | [A] | 630/800/1000/1250/1600 | | 1600 | 2000 | 1250 | 1600 | 2000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3200 | 3200 | 4000 | 5000 | 6300 |
| Tensión de servicio asignada U _e | [V-] | 1000 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 |
| Tensión aislamiento asignada U _i | [V-] | 1000 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 |
| Poder asignado de corte último en cortocircuito, I _{cu} | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 V | [kA] | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 30 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 1150 V | [kA] | | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| Poder asignado de corte de servicio en cortocircuito, I _{cs} | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 V | [kA] | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 30 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 1150 V | [kA] | | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| Corriente asignada de corta duración, I _{cw} (1s) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 V | [kA] | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 30 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 1150 V | [kA] | | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito (valor de cresta), I _{cm} | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1000 V | [kA] | 40 | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 63 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 143 | 143 | 143 | 143 |
| 1150 V | [kA] | | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 143 | 143 | 143 | 143 |

| | | X1B/E MS | E2B/E MS | E2N/E MS | E3H/E MS | E4H/E MS | E6H/E MS |
|--|------|----------|----------|----------|-------------------|----------|----------|
| Corriente asignada (a 40 °C) I _n | [A] | 1000 | 1600 | 1250 | 1250 | 3200 | 5000 |
| | [A] | 1250 | 2000 | 1600 | 1600 | 4000 | 6300 |
| | [A] | 1600 | | 2000 | 2000 | | |
| | [A] | | | | 2500 | | |
| | [A] | | | | 3200 | | |
| Polos | | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 | 3/4 |
| Tensión de servicio asignada U _e | [V] | 1000 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 |
| Tensión aislamiento asignada U _i | [V] | 1000 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 |
| Tensión resistencia a impulso asignada U _{imp} [kV] | | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Corriente asignada de corta duración I _{cw} (1s) [kA] | | 20 | 20 | 30 | 30 ⁽¹⁾ | 65 | 65 |
| Poder asignado de cierre en cortocircuito (valor de cresta), I _{cm} | [kA] | 40 | 40 | 63 | 63 ⁽²⁾ | 143 | 143 |

Nota: la capacidad de corte I_{cu} mediante un relé de protección externo, con un tiempo máximo de 500 ms, equivale al valor de I_{cw} (1s).

(1) El rendimiento a 1000 V es 50 kA

(2) El rendimiento a 1000 V es 105 kA

5 Aplicaciones particulares

5.4 ATS - Sistemas de conmutación automática

Para las empresas u organizaciones que necesitan una alimentación eléctrica muy fiable porque deben evitar interrupciones del servicio, pérdidas de datos o discontinuidad de la producción, la solución es instalar una línea de alimentación de emergencia.

Por este motivo se están utilizando cada vez más los dispositivos de conmutación, en especial para:

- alimentación eléctrica de hoteles y aeropuertos;
- quirófanos y servicios primarios de hospitales;
- alimentación de grupos UPS;
- bancos de datos, sistemas de telecomunicaciones y salas de ordenadores;
- alimentación de líneas industriales para procesos continuos.

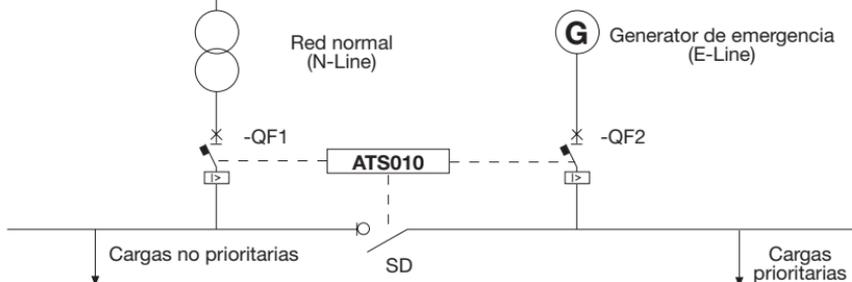
ABB ofrece la solución ATS010: un sistema con tecnología de microprocesador que conmuta automáticamente la alimentación eléctrica de la red principal a la línea de emergencia si la primera sufre alguna de las siguientes anomalías:

- sobretensión o subtensión;
- falta de una de las fases;
- asimetría entre fases;
- frecuencia fuera del intervalo especificado.

Posteriormente, cuando se restablece el suministro normal, el sistema conmuta nuevamente la alimentación a la red principal.

El caso típico en que se utiliza el dispositivo ATS010 es cuando hay dos líneas conectadas al mismo sistema de barras que funcionan independientemente (en isla). La primera línea se utiliza para la alimentación normal del sistema y la segunda es una línea de emergencia derivada de un grupo electrógeno. También puede instalarse un dispositivo que desconecte las cargas no prioritarias cuando el sistema se abastece con la línea de emergencia.

El siguiente esquema muestra una instalación con alimentación de emergencia:



1SDDC008038F0201

5 Aplicaciones particulares

- El dispositivo ATSO10 se conecta a través de los bornes correspondientes:
- con los interruptores automáticos de protección de las líneas normal y de emergencia, motorizados y enclavados mecánicamente, para detectar su estado y enviar los mandos de apertura y cierre conforme a los retardos programados;
 - con la tarjeta de control del grupo electrógeno, para controlar el estado del grupo y enviar los mandos de arranque y parada;
 - con otras señales procedentes de la instalación para bloquear la lógica de conmutación;
 - con la red de alimentación normal para detectar posibles anomalías, y con la de emergencia para verificar la presencia de tensión;
 - con un dispositivo que desconecte las cargas no prioritarias (si está previsto);
 - con una alimentación auxiliar de 24 Vc.c. \pm 20% (o 48 Vc.c. \pm 10%). Esta fuente también debe estar presente en el caso de que falte la corriente en ambas líneas, normal y de emergencia.

Los interruptores automáticos empleados para conmutar de la línea normal a la de emergencia deben estar adecuadamente equipados y enclavados para asegurar el funcionamiento correcto de la instalación. Hacen falta los siguientes accesorios:

Interruptores automáticos en caja moldeada Tmax (T4-T5-T6-T7):

- mando motorizado de 48 V a 110 Vc.c. o hasta 250 Vc.a.;
- contacto de señalización de disparo del relé;
- contacto de señalización de abierto o cerrado;
- contacto de señalización de posición en caso de interruptores enchufables o extraíbles;
- enclavamiento mecánico entre dos interruptores.

Interruptores automáticos abiertos Emax

- motor para la carga automática de los resortes de cierre;
- relé de apertura;
- relé de cierre;
- contacto de señalización de disparo del relé;
- contacto de señalización de abierto o cerrado;
- contacto de señalización de posición en caso de interruptores extraíbles;
- enclavamiento mecánico entre dos interruptores.

Estrategias de conmutación

Es posible emplear dos estrategias de conmutación según la aplicación en la cual se utilice el dispositivo ATSO10.

Estrategia 1: se utiliza solamente cuando hay una fuente auxiliar de tensión para alimentar los mandos motorizados de los interruptores automáticos. La secuencia de conmutación es la siguiente:

- detección de una anomalía en la red normal;
- apertura del interruptor automático de red y arranque del generador;
- espera a que la tensión del grupo electrógeno esté disponible y cierre del interruptor automático del grupo.

5 Aplicaciones particulares

La estrategia 1 se utiliza, por ejemplo, en sistemas donde hay una alimentación auxiliar de 110 V (cabinas MT/BT); la instalación está proyectada de modo que la tensión auxiliar siempre esté presente, aunque no estén activos ni la red ni el generador. En tal caso es posible utilizar la tensión auxiliar para alimentar los mandos motorizados y las bobinas de apertura y cierre de los interruptores. ATS010 maniobra los interruptores independientemente de la presencia de tensión de red o de generador.

Estrategia 2: esta estrategia de conmutación es indispensable cuando los accesorios eléctricos auxiliares de los interruptores se alimentan de la red o del grupo, y no disponen de un suministro de tensión auxiliar; en este caso, antes de maniobrar los interruptores se espera a que esté disponible una de las dos fuentes de alimentación (red o grupo). La secuencia de conmutación es la siguiente:

- detección de una anomalía en la red;
- arranque del grupo electrógeno;
- espera a que la tensión del grupo esté disponible y apertura del interruptor de la línea normal;
- cierre del interruptor del grupo.

Atención: en ambos casos es necesario disponer de una alimentación auxiliar para el ATS010.

Modos de funcionamiento

Mediante un selector es posible elegir uno de los seis modos de funcionamiento que se detallan a continuación:

TEST:

Resulta útil para comprobar el arranque automático del generador y para verificar el estado de la alimentación de emergencia sin desconectar la alimentación de la red.

AUTOMATIC:

La lógica de conmutación está activa y controla los interruptores y el generador. Por lo tanto, en caso de anomalía de la red se realiza la conmutación de la línea normal a la de emergencia, y al revés cuando vuelve la tensión de red.

5 Aplicaciones particulares

MANUAL:

En modo MANUAL es posible escoger entre las siguientes posibilidades:

1. Normal ON

En esta posición se fuerza la apertura del interruptor de la línea de emergencia y el cierre del interruptor de la línea normal; el generador se para y la conmutación queda excluida.

Esta posición del selector garantiza que la línea de emergencia no se cierre y que el generador no se ponga en marcha. Resulta útil para trabajar en la línea de emergencia o en el generador para efectuar el mantenimiento (en estos casos se aconseja también bloquear mecánicamente el interruptor de emergencia en posición de abierto).

2. Normal – Emergency OFF (mantenimiento)

En esta posición se fuerza la apertura de ambos interruptores (el de la línea normal y el de la línea de emergencia). Resulta útil para desconectar todas las cargas de las fuentes de alimentación, por ejemplo para hacer el mantenimiento de la instalación (en estos casos se aconseja también bloquear mecánicamente los interruptores en posición de abierto).

3. Gen Set START

En esta posición se activa el mando de arranque del generador mediante la salida correspondiente. Los interruptores no actúan y la lógica de conmutación está desactivada.

Cuando la tensión de la línea de emergencia está presente y se señala la habilitación para la conmutación, es posible poner el selector en la posición 'Emergency ON' y forzar la alimentación de las cargas con la línea de emergencia.

4. Emergency ON

En esta posición se fuerza la alimentación de las cargas con la línea de emergencia. Antes de conmutar a esta posición se pasa por la de 'Gen-Set START', donde ha de permanecer hasta que se habilite la conmutación como se indicó anteriormente.

5 Aplicaciones particulares

Configuración de los parámetros

Todos los ajustes para el funcionamiento de ATS010 se realizan fácilmente mediante conmutadores DIP o selectores.

Tensión asignada para instalación trifásica o monofásica

Mediante conmutadores DIP es posible seleccionar los distintos parámetros de la red normal de alimentación:

- tensión de red (de 100 V a 500 V);
- tipo de alimentación (trifásica o monofásica);
- frecuencia (50 Hz o 60 Hz);
- tipo de estrategia.

Nota. Con el uso de un transformador de tensión es posible alcanzar tensiones superiores a 500 V; en este caso, a la hora de ajustar el valor de tensión hay que tener en cuenta la relación de transformación.

1-4: UN

100V 220V
380V 400V

5: NOT USED

ON OFF

8
7
6
5
4
3
2
1

6: OFF=1~
ON=3~

7: OFF=50Hz
ON=60Hz

8: OFF=Strategy1
ON=Strategy2

1SD0008052F0001

En la figura siguiente se indican los valores de tensión que pueden ajustarse mediante los conmutadores DIP 1 a 4.

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 100V | 4 | | ■ |
| | 3 | | ■ |
| | 2 | | ■ |
| | 1 | | ■ |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 115V | 4 | | ■ |
| | 3 | | ■ |
| | 2 | | ■ |
| | 1 | ■ | |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 120V | 4 | | ■ |
| | 3 | | ■ |
| | 2 | ■ | |
| | 1 | | ■ |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 208V | 4 | | ■ |
| | 3 | | ■ |
| | 2 | ■ | |
| | 1 | ■ | |

5 Aplicaciones particulares

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 220V | 4 | | ■ |
| | 3 | ■ | |
| | 2 | | ■ |
| | 1 | | ■ |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 230V | 4 | | ■ |
| | 3 | ■ | |
| | 2 | | ■ |
| | 1 | ■ | |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 240V | 4 | | ■ |
| | 3 | ■ | |
| | 2 | ■ | |
| | 1 | | ■ |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 277V | 4 | | ■ |
| | 3 | ■ | |
| | 2 | ■ | |
| | 1 | ■ | |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 347V | 4 | ■ | |
| | 3 | | ■ |
| | 2 | | ■ |
| | 1 | | ■ |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 380V | 4 | ■ | |
| | 3 | | ■ |
| | 2 | | ■ |
| | 1 | ■ | |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 400V | 4 | ■ | |
| | 3 | | ■ |
| | 2 | ■ | |
| | 1 | | ■ |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 415V | 4 | ■ | |
| | 3 | | ■ |
| | 2 | ■ | |
| | 1 | ■ | |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 440V | 4 | ■ | |
| | 3 | ■ | |
| | 2 | | ■ |
| | 1 | | ■ |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 480V | 4 | ■ | |
| | 3 | ■ | |
| | 2 | | ■ |
| | 1 | ■ | |

| | | ON | OFF |
|------|---|----|-----|
| 500V | 4 | ■ | |
| | 3 | ■ | |
| | 2 | ■ | |
| | 1 | | ■ |

Nota: el cuadrado negro indica la posición del conmutador DIP.

5 Aplicaciones particulares

Umbral de sobretensión

En función de las características de la carga, es posible definir el campo de variación de la tensión fuera del cual la alimentación de la red no es aceptable y debe realizarse la conmutación a la línea de emergencia.



Definición del retardo de conmutación

Unos selectores permiten ajustar los retardos con que ATS010 efectuará la conmutación. A continuación se indican los tiempos de regulación y su finalidad:

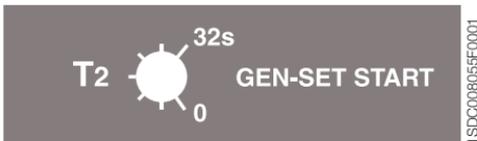
T1 = 0 ÷ 32 s CB-N open

Retardo de la apertura del interruptor de la línea de red tras la detección de una anomalía. Evita conmutaciones en caso de breves huecos de tensión.



T2 = 0 ÷ 32 s GEN-SET START

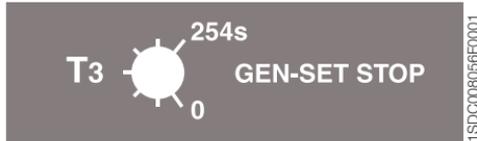
Retardo del arranque del generador tras el reconocimiento de una anomalía en la red. Evita que el generador arranque por un hueco de tensión.



5 Aplicaciones particulares

T3= 0 ÷ 254 s GEN-SET STOP

Retardo desde el retorno de la línea normal hasta el paro del generador. Se emplea cuando el generador de emergencia necesita un tiempo de enfriamiento tras la desconexión de la carga (apertura del interruptor automático de la línea de emergencia).



T4= 0 ÷ 254 s BACK TO NORMAL LINE OK

Retardo a la conmutación inversa después del restablecimiento de la red. Permite esperar a que se establezca la tensión de red antes de conmutar a la línea de alimentación normal.

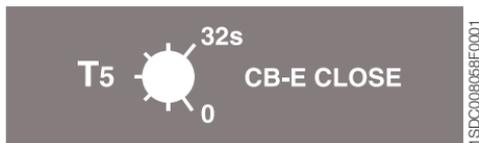


T5 = 0 ÷ 32 s CB-E CLOSE

Retardo para que se establezca la tensión del generador: después que el grupo electrógeno se ha puesto en marcha y se ha verificado la disponibilidad de tensión en la línea de emergencia, ATS010 espera a que transcurra un tiempo T5 antes de considerar dicha tensión estable.

En estrategia 1: una vez comprobada la presencia de tensión del grupo electrógeno ATS010 espera a que transcurra T5 antes de cerrar el interruptor de la línea de emergencia (CB-E).

En estrategia 2: ATS010 no puede abrir ni cerrar los interruptores hasta que la tensión de alimentación se establezca. Por lo tanto, espera a que transcurra T5 antes de abrir el interruptor de línea (CB-N). Si de cualquier modo no ha transcurrido el retardo T1 desde la caída de la tensión, ATS010 espera el tiempo T1 y sólo entonces acciona la apertura de CB-N.



5 Aplicaciones particulares

Controles en el sistema y en los interruptores automáticos

La instalación donde se utilice ATS010 ha de cumplir los siguientes requisitos:

- el generador debe funcionar independiente (en isla);
- la tensión y la frecuencia nominales deben estar entre los valores indicados;
- debe garantizarse la alimentación de ATS010 aunque falten las tensiones de red y de grupo al mismo tiempo.

Los dos interruptores controlados por ATS deben:

- estar enclavados mecánicamente;
- ser de tipo y calibre previstos;
- estar dotados de los accesorios indicados.

Normas de referencia

EN 50178 (1997): Equipos electrónicos para utilizar en instalaciones de potencia.

Conforme a la Directiva de Baja Tensión (LVD) 73/23/CEE y Compatibilidad Electromagnética (EMC) 89/336/CEE.

Compatibilidad electromagnética: EN 50081-2, EN 50082-2

Condiciones ambientales: CEI 60068-2-1, CEI 60068-2-2, CEI 60068-2-3.

Características generales del ATS010

| | |
|--|--|
| Tensión asignada de alimentación (galvánicamente aislada de tierra) | 24 Vcc \pm 20% 48 Vcc \pm 10% (ondulación máxima \pm 5%) |
| Potencia máxima absorbida | 5 W @ 24 Vcc 10 W @ 48 Vcc |
| Potencia asignada (red presente e interruptores no controlados) | 1,8 W @ 24 Vcc 4,5 W @ 48 Vcc |
| Temperatura de funcionamiento | -25 °C...+70 °C |
| Humedad máxima | 90% sin condensación |
| Temperatura de almacenamiento | -20 °C.....+80 °C |
| Grado de protección | IP54 (panel frontal) |
| Dimensiones [mm] | 144 x 144 x 85 |
| Peso [kg] | 0,8 |

Sensor de red

| | |
|--|--|
| Tensión asignada de la red controlada | 100 - 500 Vc.a. con conexión directa Más de 500 Vc.a. con TT externos |
| Frecuencia asignada | 50 Hz / 60 Hz |
| Tensión soportada a impulsos en las entradas L1, L2 y L3 | 6 kV |

Mandos motorizados y bobinas de mando compatibles

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| Tmax T4-T5-T6 | Hasta 250 Vca De 48 Vdc a 110 Vcc |
| Emax | Hasta 250 Vca De 24 Vdc a 110 Vcc |

6 Cuadros eléctricos

6.1 El cuadro eléctrico

El cuadro eléctrico consta de un conjunto de diversos aparatos de protección y maniobra agrupados en una o más envolventes adyacentes; este conjunto debe ensamblarse de forma apropiada, de manera de satisfacer los requisitos de seguridad y cumplir las funciones para las cuales ha sido diseñado.

Un cuadro eléctrico consiste en un contenedor –denominado envoltente por las normas (tiene la función de soporte y protección mecánica de los componentes que contiene)– y la aparamenta eléctrica constituida por los aparatos, las conexiones internas y los bornes de entrada y de salida para el conexionado con la instalación.

La norma de referencia es la IEC 60439-1 publicada en 1999, cuyo título es: “Conjuntos de aparamenta de baja tensión - Parte 1: Conjuntos de serie y conjuntos derivados de serie”, aprobada por el CENELEC con la sigla EN 60439-1.

Las guías de cálculo suplementarias son:

IEC 60890 “*Método para la determinación por extrapolación del calentamiento de los conjuntos de aparamenta de baja tensión derivados de serie (CDS)*”.

IEC 61117 “*Método para la determinación por extrapolación de la resistencia a los esfuerzos debidos a los cortocircuitos de los conjuntos de aparamenta de baja tensión derivados de serie (CDS)*”.

IEC 60865-1 “*Corrientes de cortocircuito – Cálculo de los efectos – Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo*”.

La norma IEC 60439-1 establece los requisitos referentes a la fabricación de los cuadros eléctricos, la seguridad y la posibilidad de mantenimiento de los mismos. En esta norma se identifican las características nominales, las condiciones ambientales de servicio, los requisitos mecánicos y eléctricos, así como también las disposiciones referentes a las prestaciones de los cuadros eléctricos. Por último, se describen los ensayos de tipo e individuales, las formas de ejecución de los mismos y los criterios de evaluación de los resultados.

La norma IEC 60439-1 distingue dos categorías de cuadros eléctricos: CS (conjunto de aparamenta de baja tensión de serie) y CDS (conjunto de aparamenta de baja tensión derivado de serie).

Por “conjunto de aparamenta de baja tensión de serie” (CS) se define un equipo conforme a un tipo o a un sistema constructivo preestablecido; en todo caso, sin diferencias tales como para que modifiquen de forma determinante las prestaciones respecto al equipo modelo ensayado de conformidad con lo dispuesto por la norma.

Los CS son realizaciones que proceden directamente de un prototipo que ha sido diseñado atentamente en todos los detalles y sometido a ensayos de tipo.

6 Cuadros eléctricos

Ya que los ensayos de tipo son muy complejos, se trata de cuadros eléctricos diseñados por un fabricante con sólidas bases técnicas y financieras. Los CS pueden ser montados por un instalador de cuadros eléctricos o un instalador genérico pero deben seguirse estrictamente las formas de ejecución indicadas por el fabricante; se admiten diferencias con el prototipo, sólo si no se modifican las prestaciones del mismo de forma determinante respecto al aparato sometido a los ensayos de tipo.

Por “conjunto de aparamenta de baja tensión derivado de serie” (CDS) se define un cuadro que se somete sólo a una parte de los ensayos de tipo. Algunos ensayos pueden ser reemplazados por extrapolaciones; es decir, cálculos basados sobre los resultados prácticos y obtenidos en cuadros cuyos ensayos de tipo han sido aprobados. Las verificaciones mediante cálculo o medidas simplificadas, permitidas en alternativa a los ensayos de tipo, se refieren al calentamiento, a la resistencia al cortocircuito y al aislamiento.

La norma IEC 60439-1 admite que algunas fases del montaje de los cuadros se realicen fuera del taller del fabricante, pero ajustándose siempre a las instrucciones del mismo.

El instalador puede entonces utilizar productos vendidos en kit por ensamblar para realizar la configuración del cuadro que precisa.

La misma norma indica una subdivisión de las responsabilidades entre el fabricante y el ensamblador a través de la Tabla 7: “Lista de verificaciones y ensayos a efectuar sobre los CS y los CDS”, en la cual se definen tanto los ensayos de tipo como los ensayos individuales que deben realizarse en el cuadro.

Los ensayos de tipo comprueban la correspondencia del prototipo con las disposiciones de la norma y por lo general corren por cuenta del fabricante; éste deberá también facilitar las instrucciones para la realización del cuadro eléctrico y el montaje del mismo. En cambio, el ensamblador es responsable de la elección de los componentes y del montaje de los mismos, por lo que debe cumplir con las instrucciones facilitadas, asimismo deberá controlar la correspondencia con la norma realizando las verificaciones anteriormente mencionadas en el caso de que el cuadro eléctrico sea diferente del prototipo ensayado; por último, deberá realizar los ensayos individuales en cada uno de los cuadros realizados.

La diferenciación entre cuadros eléctricos CS y CDS es despreciable en la declaración de conformidad a la norma IEC 60439-1, ya que el cuadro eléctrico debe ser conforme a la misma.

6 Cuadros eléctricos

Lista de verificaciones y ensayos a efectuar sobre los CS y los CDS

| Nº | Características a verificar | Apar-tados | CS | CDS |
|----|--|------------|--|---|
| 1 | Límites de calentamiento | 8.2.1 | Ensayo de tipo: verificación de los límites de calentamiento | Verificación de los límites de calentamiento por ensayo o por extrapolación |
| 2 | Propiedades dieléctricas | 8.2.2 | Ensayo de tipo: verificación de las propiedades dieléctricas | Verificación de las propiedades dieléctricas según los apartados 8.2.2 ó 8.3.2, o verificación de la resistencia de aislamiento según el apartado 8.3.4 (véanse números 9 y 11) |
| 3 | Resistencias a los cortocircuitos | 8.2.3 | Ensayo de tipo: verificación de la resistencia a los cortocircuitos | Verificación de la resistencia a los cortocircuitos o extrapolación a partir de dispositivos similares que satisfagan los ensayos de tipo |
| 4 | Eficiencia eléctrica del circuito de protección | 8.2.4 | | |
| | Conexión real entre la masa del CONJUNTO y el circuito de protección | 8.2.4.1 | Ensayo de tipo: verificación de la conexión real entre la masa del CONJUNTO y del circuito de protección por examen o por medición de la resistencia | Verificación de la conexión real entre las partes conductoras del CONJUNTO y el circuito de protección por examen o por medición de la resistencia |
| | Resistencia a los cortocircuitos del circuito de protección | 8.2.4.2 | Ensayo de tipo: verificación de la resistencia a los cortocircuitos en los circuitos de protección | Verificación de la resistencia a los cortocircuitos del circuito de protección por un ensayo o por un estudio apropiado del diseño del conductor de protección (véase apartado 7.4.3.1.1, último párrafo) |
| 5 | Distancias de aislamiento y líneas de fuga | 8.2.5 | Ensayo de tipo: verificación de las distancias de aislamiento y de las líneas de fuga | Verificación de las distancias de aislamiento y las líneas de fuga |
| 6 | Funcionamiento mecánico | 8.2.6 | Ensayo de tipo: verificación del funcionamiento mecánico | Verificación del funcionamiento mecánico |
| 7 | Grado de protección | 8.2.7 | Ensayo de tipo: verificación del grado de protección | Verificación del grado de protección |
| 8 | Cableado, funcionamiento eléctrico | 8.3.1 | Ensayo individual: inspección del CONJUNTO incluyendo la inspección de los cables y, en caso necesario, un ensayo de funcionamiento eléctrico | Inspección del CONJUNTO incluyendo la inspección de los cables y, en caso necesario, un ensayo de funcionamiento eléctrico |
| 9 | Aislamiento | 8.3.2 | Ensayo individual: ensayo dieléctrico | Ensayo dieléctrico o verificación de la resistencia de aislamiento según el apartado 8.3.4 (ver núms. 2 y 11) |
| 10 | Medida de protección | 8.3.3 | Ensayo individual: verificación de las medidas de protección y de la continuidad eléctrica de los circuitos de protección | Verificación de las medidas de protección |
| 11 | Resistencia de aislamiento | 8.3.4 | | Verificación de la resistencia de aislamiento salvo si el ensayo del apartado 8.2.2 o del apartado 8.3.2 ha sido efectuado (ver 2 y 9) |

6 Cuadros eléctricos

Grados de protección de un cuadro eléctrico

El grado de protección IP indica el nivel de protección de la envolvente contra el acceso a partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños y contra la entrada de agua. El código IP es el sistema de identificación de los grados de protección, conformemente a lo dispuesto por la norma IEC 60529.

Si el fabricante no lo especifica de otra forma, el grado de protección vale para el conjunto del cuadro eléctrico, montado e instalado para utilización normal (con la puerta cerrada). El fabricante puede también indicar los grados de protección referentes a configuraciones singulares que pueden presentarse durante el funcionamiento; por ejemplo, el grado de protección con las puertas abiertas y el grado de protección con aparatos extraídos.

Elementos del código IP y significados correspondientes

| Componente | Cifras o letras | Significado para la protecc. de la aparatura | Significado de la protecc. de las personas | Ref. |
|------------------------------|-----------------|---|--|------|
| Código letras | IP | | | |
| Primera cifra característica | | Contra la penetración de cuerpos sólidos extraños: (sin protección) | Contra el acceso a partes peligrosas con: (sin protección) | Cl.5 |
| | 0 | ≥ 50 mm de diámetro | dorso de la mano | |
| | 1 | ≥ 12.5 mm de diámetro | dedo | |
| | 2 | ≥ 2.5 mm de diámetro | herramienta | |
| | 3 | ≥ 1.0 mm de diámetro | alambre | |
| | 4 | protegido contra el polvo | alambre | |
| | 5 | estanco al polvo | alambre | |
| Segunda cifra característica | | Contra penetración de agua con efectos nocivos: (sin protección) | | Cl.6 |
| | 0 | caída vertical | | |
| | 1 | goteo de agua (15°) | | |
| | 2 | lluvia | | |
| | 3 | salpicaduras de agua | | |
| | 4 | chorros de agua | | |
| | 5 | chorros potentes | | |
| | 6 | inmersión temporal | | |
| | 7 | inmersión continua | | |
| 8 | | | | |
| Letra adicional (opcional) | | | Contra el acceso a partes peligrosas con: | Cl.7 |
| | A | | dorso de la mano | |
| | B | | dedo | |
| | C | | herramienta | |
| Letra adicional (opcional) | | Informaciones adicionales referentes a: | alambre | Cl.8 |
| | A | Aparatura de alta tensión | | |
| | B | Ens. con agua con apar. encend. | | |
| | C | Ens. con agua con apar. parada | | |
| | D | Condiciones atmosféricas | | |

6 Cuadros eléctricos

Formas de separación y clasificación de los cuadros eléctricos

Formas de separación interior

Por forma de separación se entiende el tipo de subdivisión que ha sido contemplada en el interior del cuadro eléctrico.

La separación mediante barreras o tabiques (metálicos o aislantes) pueden tener la finalidad de:

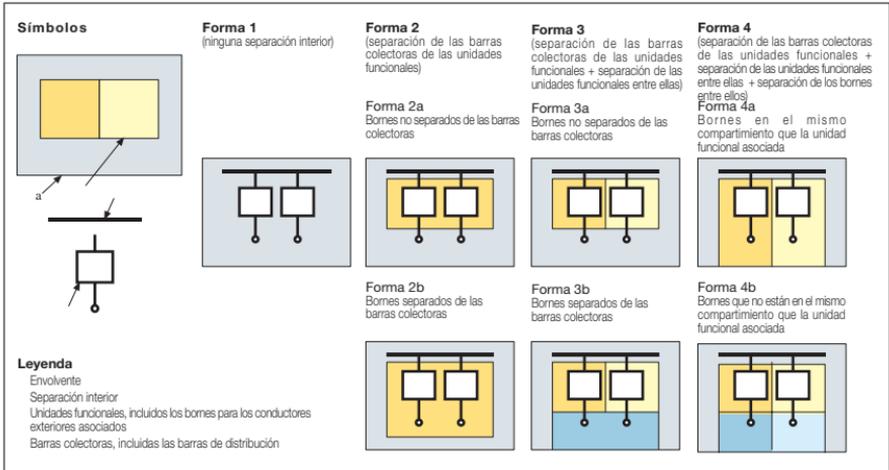
- garantizar la protección contra los contactos directos (por lo menos IPXXB), en caso de acceso a una parte del cuadro eléctrico puesta sin tensión respecto al resto del cuadro que ha quedado bajo tensión;
- reducir la probabilidad de cebado y propagación de un arco interno;
- impedir el paso de cuerpos sólidos entre partes diferentes del cuadro eléctrico (por lo menos grado de protección IP2X).

Por tabique se entiende el elemento de separación entre dos compartimientos, mientras que la barrera protege al operador contra los contactos directos y los efectos del arco de los aparatos de interrupción en la dirección habitual de acceso.

La siguiente tabla, incluida en la norma IEC 60439-1, indica las formas típicas de separación que pueden obtenerse mediante el uso de barreras o tabiques:

| criterio principal | Subcriterio | Forma |
|---|---|----------|
| Ninguna separación | | Forma 1 |
| Separación de los juegos de barras de las unidades funcionales | Bornes para conductores no separados de los juegos de barras. | Forma 2a |
| | Bornes para conductores exteriores separados de los juegos de barras. | Forma 2b |
| Separación de los juegos de barras de las unidades funcionales y separación de todas las unidades funcionales entre sí. Separación entre bornes para conductores externos de las unidades funcionales, pero no entre ellos. | Bornes para conductores exteriores no separados de las barras colectoras. | Forma 3a |
| | Bornes para conductores exteriores separados de los juegos de barras. | Forma 3b |
| Separación de los juegos de barras de las unidades funcionales y separación de todas las unidades funcionales entre sí, incluidos los bornes para conductores externos que forman parte integrante de la unidad funcional. | Bornes para conductores exteriores en el mismo compartimiento que la unidad funcional a la cual están asociados. | Forma 4a |
| | Bornes para conductores ext. que no están en el mismo compartimiento que la unidad funcional asociada, pero sí en los espacios protegidos o compartimientos individuales, separados y cerrados. | Forma 4b |

6 Cuadros eléctricos



Clasificación de los cuadros eléctricos

Existen diferentes clasificaciones para los cuadros eléctricos que dependen de diversos factores.

En base a la tipología constructiva, la norma IEC 60439-1 identifica ante todo entre cuadros abiertos y cuadros cerrados.

El cuadro eléctrico está cerrado cuando incluye paneles que lo protegen por todos los lados, tales como para garantizar un grado de protección contra los contactos directos no inferior a IPXXB. Los cuadros eléctricos que se utilizan en los ambientes corrientes deben estar cerrados.

Los cuadros eléctricos abiertos, con o sin protección frontal, son los denominados cuadros eléctricos abiertos, en los cuales las partes sometidas a tensión resultan asequibles: estos cuadros pueden utilizarse sólo en las plantas eléctricas.

Bajo el aspecto de la configuración exterior, los cuadros eléctricos se dividen de la siguiente manera:

- En armario

Se utilizan para grandes equipos de distribución y control; uniendo diversos armarios se obtienen cuadros con armarios múltiples.

6 Cuadros eléctricos

- En pupitre

Se utilizan para el control de máquinas o instalaciones complejas, tanto del sector de la industria mecánica como de la industria siderúrgica o química.

- En cofres

Se caracterizan por su colocación en pared, tanto sobre muro como empotrado; estos cuadros eléctricos se utilizan sobre todo para la distribución a nivel de departamento o de zona en los ambientes industriales y en el terciario.

- En cofres múltiples

Cada cofre, generalmente de tipo protegido, contiene una unidad funcional que puede ser un interruptor automático, un arrancador o una toma de corriente equipada con interruptor.

En relación a las funciones a las cuales están destinados, los cuadros eléctricos pueden dividirse de la siguiente manera:

- Cuadros eléctricos principales de distribución

Los cuadros eléctricos principales de distribución por lo general están instalados aguas abajo de los transformadores MT/bt o los generadores; se denominan también "power center". Estos cuadros eléctricos incluyen una o más unidades de entrada, eventuales acopladores de barras colectoras y un número relativamente reducido de unidades de salida.

- Cuadros eléctricos secundarios de distribución

Los cuadros eléctricos secundarios incluyen una amplia categoría de cuadros eléctricos destinados a la distribución de la energía y por lo general están provistos de una unidad de entrada y numerosas unidades de salida.

- Cuadros eléctricos de maniobra y protección de motores

Los cuadros eléctricos de maniobra de los motores están destinados al control y a la protección centralizada de los motores; en consecuencia, incluyen la aparamenta coordinada de maniobra y protección, así como también los auxiliares de mando y señalización.

- Cuadros eléctricos de mando, medida y protección

Los cuadros eléctricos de mando, medida y protección por lo general constan de pupitres que contienen principalmente aparamenta destinada al mando, monitorización y medida de instalaciones y procesos industriales.

- Cuadros eléctricos a bordo máquina

Los cuadros eléctricos a bordo máquina funcionalmente son similares a los anteriores; tienen la función de permitir el interfaz de la máquina con la fuente de energía eléctrica y con el operador.

- Cuadros eléctricos para obras (ASC)

Los cuadros eléctricos para obras tienen diversas dimensiones, que van desde la simple unidad de tomacorrientes para enchufes hasta cuadros eléctricos de distribución propiamente dichos en envoltorio metálica o material aislante. Por lo general son de tipo móvil o en todo caso transportable.

6 Cuadros eléctricos

Método de extrapolación para el análisis térmico de los cuadros eléctricos CDS

Para los cuadros eléctricos CDS, la evaluación de la sobrettemperatura puede determinarse mediante ensayos de laboratorio o mediante cálculo que puede realizarse de conformidad con la norma IEC 60890. Las fórmulas y los coeficientes que se indican en esta norma han sido deducidos de medidas realizadas en numerosos cuadros eléctricos y la validez del método ha sido comprobada mediante comparación con los resultados del ensayo.

Este método no contempla todos los casos de fabricación de los cuadros eléctricos de baja tensión, ya que ha sido desarrollado bajo especificaciones precisas que limitan la aplicación del mismo; en todo caso, puede ser corregido, adaptado e integrado con otros procedimientos de cálculo con los cuales pueda demostrarse el fundamento técnico.

La norma IEC 60890 tiene la finalidad de determinar la sobrettemperatura del aire en el interior del cuadro eléctrico por efecto de las potencias disipadas por los aparatos y los conductores instalados en el mismo.

Para calcular la sobrettemperatura del aire en el interior de una envolvente, una vez satisfechas las condiciones de aplicabilidad establecidas por la norma, deberán conocerse los siguientes datos:

- Dimensiones de la envolvente.
- Tipo de instalación:
 - envolvente expuesta al aire por todos los lados
 - envolvente montada en la pared
 - envolvente prevista para ser montada en en los extremos del cuadro
 - envolvente en posición intermedia de un cuadro constituido por diversos compartimientos
- Eventual presencia de aperturas de ventilación y dimensiones correspondientes.
- Número de separaciones horizontales internas.
- Potencia disipada a la corriente efectiva que circula a través de cada aparato y conductor instalados en el interior del propio cuadro o compartimiento.

La norma permite el cálculo de la sobrettemperatura del aire en la mitad de la altura del cuadro y en la parte superior del mismo. Una vez que han sido calculados dichos valores, se trata de evaluar si el cuadro eléctrico puede cumplir los requerimientos referentes a los límites impuestos en los distintos puntos del cuadro.

El Anexo B muestra el método de cálculo que se describe en la norma.

ABB pone a la disposición de sus clientes los softwares de cálculo que permiten determinar de forma rápida la sobrettemperatura en el interior del cuadro eléctrico.

6 Cuadros eléctricos

6.2 Cuadros MNS

Los sistemas MNS son idóneos para todas las aplicaciones relacionadas con la generación, distribución y utilización de energía eléctrica. Pueden emplearse como:

- cuadros principales y subcuadros para distribución de energía;
- alimentación de motores desde CCM (centros de control de motores);
- cuadros para automatización.

La elevada flexibilidad del sistema MNS se debe al empleo de una estructura ensamblada con tornillos, que no necesita mantenimiento, puede equiparse con componentes estandarizados y se adapta perfectamente a cualquier aplicación. La aplicación del concepto de modularidad tanto en la parte eléctrica como en la mecánica permite elegir la estructura, el equipamiento interno y el grado de protección más adecuados a las condiciones operativas y ambientales.

El diseño y los materiales empleados para el sistema MNS limitan marcadamente la formación de arcos eléctricos y, si éstos se producen, proveen a su inmediata extinción. El sistema MNS cumple los requisitos de las normas VDE 0660 Parte 500 y IEC 61641, y ha superado numerosas pruebas de extinción del arco accidental.

El sistema MNS ofrece al usuario muchas soluciones alternativas y notables ventajas respecto a las instalaciones convencionales:

- estructura compacta y de dimensiones reducidas;
- disposición en doble frente;
- distribución ideal de la energía en los compartimentos;
- diseño sencillo y funcional gracias a los componentes estandarizados;
- gran variedad de módulos estandarizados;
- distintas concepciones de proyecto según las condiciones operativas y ambientales;
- fácil combinación de distintos sistemas, por ejemplo módulos fijos y cajones extraíbles en el mismo compartimento;
- posibilidad de configuración a prueba de arco (diseño estándar con vanos fijos);
- posibilidad de construcción a prueba de sismos, vibraciones y golpes;
- facilidad de montaje sin herramientas especiales;
- facilidad de modificación y readaptación;
- mantenimiento muy espaciado en el tiempo;
- funcionamiento fiable;
- adecuada protección de las personas.

Los elementos básicos de la estructura son perfiles en C con orificios a intervalos de 25 mm con arreglo a las normas DIN 43660. Todas las partes del bastidor están fijadas con tornillos autorroscantes o tornillos de seguridad ESLOK. Los bastidores pueden aparejarse para cualquier tipo de compartimento, sin herramientas especiales, puesto que el módulo base mide 25 mm. Están disponibles cuadros de uno o más compartimentos, con uno o dos frentes.

También existen distintas versiones según el tipo de envolvente necesario:

- una puerta en la zona de la aparamenta;
- dos puertas en la zona de la aparamenta;
- puerta en las zonas de aparamenta y cables;
- puertas para los compartimentos o cajones extraíbles y puerta para el vano de los cables.

El fondo del compartimento puede dotarse de placas de base. El uso de placas con bridas permite instalar conductos para cables que satisfacen cualquier exigencia de instalación. Las puertas y las chapas de cubierta pueden llevar una o más aberturas de ventilación, los techos pueden dotarse de una red metálica (IP 30 – IP 40) o de una chimenea de ventilación (IP 40, 41 y 42).

6 Cuadros eléctricos

En función de las necesidades, es posible dividir la estructura en las siguientes zonas funcionales:

- zona de la aparatamenta;
- zona de las barras;
- zona de los cables.

La zona de la aparatamenta contiene las unidades funcionales, la de las barras contiene las barras principales y las de distribución, y la zona de los cables aloja los cables de entrada y de salida (por arriba o por abajo) con los accesorios necesarios para la interconexión de los cajones y los elementos de soporte (guías y canales para cables, conectores, conexiones paralelas, etc.). Las zonas funcionales de un compartimento, y los compartimentos entre sí, pueden separarse mediante barreras. Entre los compartimentos pueden colocarse barreras horizontales con aberturas de ventilación o sin ellas.

Todos los compartimentos de llegada, de acoplamiento y de salida contienen un aparato de maniobra. Éstos pueden ser interruptores de maniobra-seccionadores fijos, interruptores automáticos fijos o extraíbles en versión abierta o en caja moldeada.

Este tipo de compartimento se divide en zona de la aparatamenta y zona de las barras, con altura x anchura x profundidad de 2200 mm x 400...1200 mm x 600 mm. Asimismo, pueden realizarse compartimentos con interruptores automáticos abiertos de hasta 2000 A con la anchura más baja (400 mm).

Es posible interconectar los compartimentos para formar unidades de hasta 3000 mm de anchura.

6.3 Cuadros de distribución ArTu

La gama de cuadros de distribución ArTu de ABB SACE constituye una oferta completa de estructuras y sistemas en kit para realizar cuadros eléctricos de distribución primaria y secundaria en baja tensión.

Los cuadros ArTu permiten realizar, con una única gama de accesorios y a partir de prácticos kits de montaje, numerosas configuraciones equipadas con interruptores automáticos modulares, en caja moldeada o abiertos, con posibilidad de segregaciones interiores hasta la forma 4.

ABB SACE ofrece una serie de kits estandarizados, formados por placas y paneles perforados, para instalar sin necesidad de más taladros o adaptaciones toda la gama de interruptores automáticos System pro M, Isomax, Tmax y Emax E1, E2, E3 y E4.

Para facilitar el cableado, se han realizado alojamientos para la fijación horizontal o vertical del canal de plástico.

También la segregación interior del cuadro se ha estandarizado, convirtiéndose en una operación sencilla que no requiere ni la fabricación de cuadros a medida ni trabajo alguno de corte, plegado o taladrado de la chapa.

Los cuadros ArTu se distinguen por las siguientes características:

- Gama integrada de estructuras modulares hasta 4000 A con accesorios comunes.
- Posibilidad de satisfacer todas las exigencias de instalación (mural, de suelo, monobloque y armarios en kit) y de protección (grados IP31, IP41, IP43 e IP65).

6 Cuadros eléctricos

- Estructura en chapa de acero galvanizada en caliente.
- Máxima integración con la aparamenta modular y con los interruptores automáticos en caja moldeada y abiertos de ABB SACE.
- Extrema rapidez de montaje gracias a la simplicidad de los kits, a la estandarización de las piezas de fijación, a los elementos autoportantes y a la presencia de marcas para la ubicación de placas y paneles.
- Segregaciones en kit hasta la Forma 4.

La gama de cuadros ArTu comprende tres versiones que se completan con los mismos accesorios.

ArTu serie L

Está formada por una gama de cuadros componibles en kit, con capacidad de 24 módulos por fila y grado de protección IP31 (sin puerta) o IP43 (versión base con puerta). Pueden instalarse en la pared o en el suelo:

- ArTu L mural, con 600, 800, 1000 o 1200 mm de altura, 200 mm de profundidad y 700 mm de anchura. Permite instalar los aparatos modulares System pro M y los interruptores automáticos en caja moldeada Tmax T1-T2-T3.
- ArTu L de suelo, con 1400, 1600, 1800 o 2000 mm de altura, 240 mm de profundidad, 700 y 900 mm de anchura. Permite instalar los aparatos modulares System pro M, los interruptores automáticos en caja moldeada Tmax T1-T2-T3-T4-T5-T6 (versión fija con conexiones frontales).

ArTu serie M

Consta de una gama modular de cuadros monobloque para instalación mural (150 y 200 mm de profundidad con grado de protección IP65) o en el suelo (250 mm de profundidad y grado de protección IP31 o IP65), con posibilidad de montar en perfil DIN los aparatos modulares System pro M y los interruptores en caja moldeada Tmax T1-T2-T3. Los cuadros ArTu serie M de suelo pueden equiparse con los interruptores automáticos de la serie Tmax y tipo Isomax S6 800.

ArTu serie K

Está formada por una gama de cuadros componibles en kit para instalación en el suelo con profundidad de 250, 350, 600 y 800 mm y grado de protección IP31 (sin puerta frontal), IP41 (con puerta frontal y paneles laterales perforados) o IP65 (con puerta frontal y paneles laterales ciegos). Pueden alojar los aparatos modulares System pro M, la gama de interruptores en caja moldeada Tmax e Isomax y los interruptores automáticos Emax E1, E2, E3 y E4.

Los cuadros ArTu se presentan con tres anchuras:

- 400 mm para instalar interruptores automáticos en caja moldeada de hasta 630 A (T5),
- 600 mm, que es la dimensión base para instalar todos los aparatos,
- 800 mm, para realizar un vano para cables lateral dentro de la estructura de los cuadros de suelo o para utilizar paneles de la misma anchura.

La altura útil varía entre 600 mm (serie L de pared) y 2000 mm (series M de suelo y K), lo que permite resolver las más variadas exigencias de aplicación.

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT

La norma IEC 60439-1 dispone que el cuadro eléctrico esté realizado de modo que pueda resistir a las sollicitaciones térmicas y dinámicas que procedan de la corriente de cortocircuito hasta los valores asignados.

Además, el cuadro eléctrico debe estar protegido contra las corrientes de cortocircuito mediante interruptores automáticos, fusibles o la combinación de ambos que puedan instalarse tanto en el cuadro eléctrico como aguas arriba del mismo.

El utilizador deberá indicar, al colocar el pedido, las condiciones de cortocircuito en el punto de instalación.

Este capítulo considera los siguientes aspectos:

- **La necesidad o no de realizar la verificación de resistencia al cortocircuito del cuadro eléctrico.**
- **La idoneidad de un cuadro eléctrico para una instalación en marcha de la corriente de cortocircuito prevista de la instalación misma y de los parámetros de cortocircuito del cuadro eléctrico.**
- **La idoneidad de un sistema de barras en función de la corriente de cortocircuito y de los dispositivos de protección.**

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT

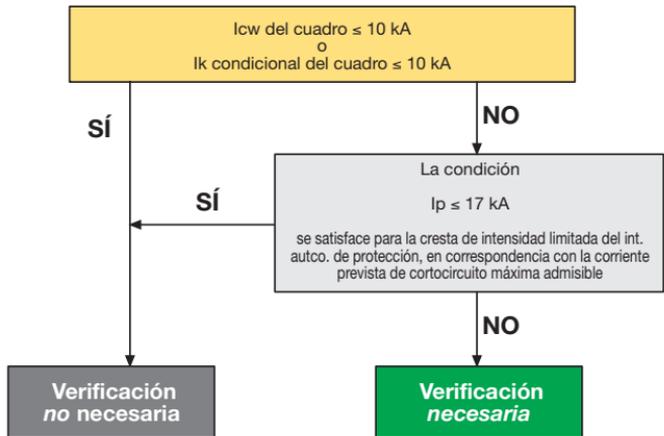
Verificación de la resistencia a los cortocircuitos

La verificación de la resistencia a los cortocircuitos se describe en la norma IEC 60439-1, que especifica los casos en que debe realizarse y los métodos de ensayo.

No es necesario controlar la resistencia a los cortocircuitos en los siguientes casos:

- En cuadros que tienen intensidad asignada de corta duración (I_{cw}) o intensidad asignada de cortocircuito condicional (I_{k}) no superior a 10 kA.
- En cuadros protegidos por dispositivos limitadores de corriente que tienen una intensidad de cresta limitada no superior a 17 kA en correspondencia con la intensidad prevista de cortocircuito máxima admisible en los terminales del circuito de entrada del cuadro.
- En los circuitos auxiliares del cuadro que deban conectarse a transformadores cuya potencia nominal no supere los 10 kVA con una tensión nominal secundaria no inferior a 110 V, o que no supere 1.6 kVA con una tensión nominal secundaria inferior a 110 V, y –en ambos casos– con tensión de cortocircuito no inferior al 4%.
- En todas las partes del cuadro (barras principales, soportes de las barras principales, conexiones a las barras, unidades de entrada y de salida, aparatos de protección y maniobra, etc.) que ya se hayan sometido a ensayos específicos para las condiciones existentes.

Desde el punto de vista de la instalación, la necesidad de verificar la resistencia a los cortocircuitos puede determinarse del siguiente modo:



Para los detalles sobre la ejecución del ensayo de cortocircuito, se aconseja consultar la norma IEC 60439-1.

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT

Intensidad de cortocircuito e idoneidad del cuadro para la instalación

La verificación de la resistencia a la intensidad de cortocircuito se basa en dos valores suministrados, alternativamente, por el fabricante:

- la intensidad de cortocircuito de corta duración I_{cw}
- la intensidad de cortocircuito condicional I_k

En función de estos dos valores es posible establecer si el cuadro es adecuado o no para montarlo en un punto determinado de la instalación.

Naturalmente, es preciso verificar que los poderes de corte de los aparatos montados dentro del cuadro sean compatibles con los valores de cortocircuito de la instalación.

La **intensidad de cortocircuito de corta duración** I_{cw} es un valor eficaz de intensidad de ensayo prefijado, al cual corresponde un determinado valor de cresta inicial, que se aplica al circuito de prueba del cuadro durante un tiempo dado (generalmente 1 s). El cuadro debe poder soportar los esfuerzos térmicos y electrodinámicos sin roturas o deformaciones que comprometan el funcionamiento del sistema. De este ensayo (si el cuadro lo supera) es posible deducir la energía específica pasante (I^2t) que el cuadro puede soportar:

$$I^2t = I_{cw}^2t$$

La prueba debe realizarse con un valor del factor de potencia especificado en la Tabla 4 de la norma IEC 60439-1, que se incluye más adelante. A este valor de $\cos\phi$ corresponde un factor "n" que permite determinar el valor de cresta de la intensidad de cortocircuito que soporta el cuadro, mediante la siguiente fórmula:

Tabla 4

| valor eficaz de la intensidad de cortocircuito | factor de potencia | |
|--|--------------------|-----|
| | $\cos\phi$ | n |
| $I \leq 5 \text{ kA}$ | 0.7 | 1.5 |
| $5 < I \leq 10 \text{ kA}$ | 0.5 | 1.7 |
| $10 < I \leq 20 \text{ kA}$ | 0.3 | 2 |
| $20 < I \leq 50 \text{ kA}$ | 0.25 | 2.1 |
| $50 < I$ | 0.2 | 2.2 |

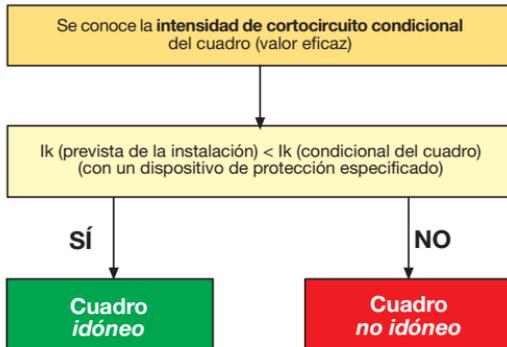
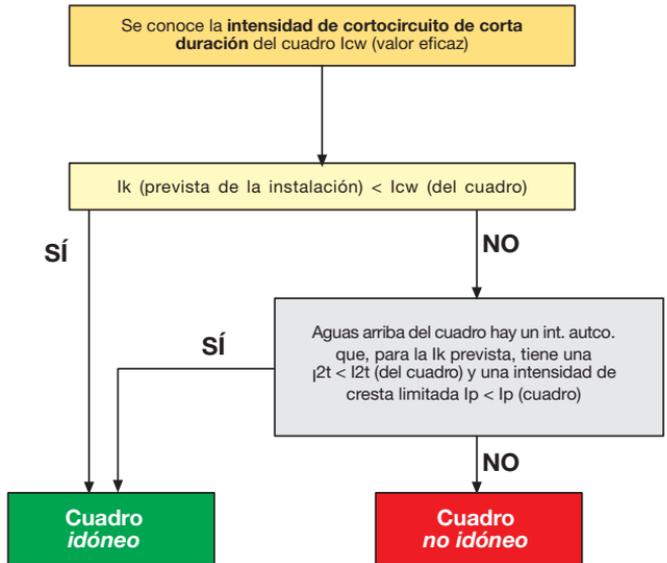
Los valores de la Tabla 4 son válidos para la mayoría de las aplicaciones. En zonas particulares, por ejemplo en proximidad de transformadores o generadores, el factor de potencia puede tener valores más bajos. Por lo tanto, en estos casos debe considerarse la cresta máxima de intensidad prevista en vez del valor eficaz de la intensidad de cortocircuito.

La **intensidad de cortocircuito condicional** es un valor eficaz de intensidad de ensayo prefijado, al cual corresponde un determinado valor de cresta inicial, que el cuadro puede soportar durante el tiempo de actuación de un aparato de protección específico. Generalmente, dicho aparato es el interruptor automático general del cuadro.

Comparando los valores I_{cw} e I_p con la intensidad de cortocircuito prevista de la instalación, es posible establecer si el cuadro es adecuado o no para montarlo en un punto determinado de la instalación.

Los diagramas siguientes ilustran el método para determinar la compatibilidad del cuadro con la instalación.

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT



Naturalmente, es preciso verificar que los poderes de corte de los aparatos montados dentro del cuadro sean compatibles con los valores de cortocircuito de la instalación.

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT

Ejemplo

Datos de la instalación existente: Tensión nominal $U_r=400\text{ V}$
 Frecuencia nominal $f_r=50\text{ Hz}$
 Intensidad de cortocircuito $I_k=35\text{ kA}$

Supóngase que en una instalación hay un cuadro eléctrico con I_{cw} de 35 kA y que, en el punto de montaje del cuadro, la intensidad de cortocircuito prevista es de 35 kA.

Se decide aumentar la potencia de la instalación y llevar la intensidad de cortocircuito a 60 kA.

Datos de la instalación tras la modific.: Tensión nominal $U_r=400\text{ V}$
 Frecuencia nominal $f_r=50\text{ Hz}$
 Intensidad de cortocircuito $I_k=60\text{ kA}$

Dado que la I_{cw} del cuadro es inferior a la intensidad de cortocircuito de la instalación, para verificar si el cuadro continúa siendo compatible es necesario:

- determinar los valores de I^2t y de I_p que deja pasar el interruptor automático situado aguas arriba del cuadro;
- verificar que los dispositivos de protección montados dentro del cuadro tengan un poder de corte adecuado (por sí solos o por acompañamiento back-up).

$I_{cw} = 35\text{ kA}$, luego:
 $I^2t_{\text{cuadro}} = 35^2 \times 1 = 1225\text{ MA}^2\text{s}$
 $I_{p_{\text{cuadro}}} = 73,5\text{ kA}$ (según la Tabla 4)

Supongamos que, aguas arriba del cuadro, se instala un Tmax T5H
($I_{cu}=70\text{ kA}@415\text{ V}$)
 $I^2t_{\text{interruptor}} < 4\text{ MA}^2\text{s}$
 $I_{p_{\text{interruptor}}} < 40\text{ kA}$

dado que
 $I^2t_{\text{cuadro}} > I^2t_{\text{interruptor}}$
 $I_{p_{\text{cuadro}}} > I_{p_{\text{interruptor}}}$

el cuadro (estructura y sistema de barras) es idóneo.

Con respecto a los dispositivos montados dentro del cuadro, supongamos que se trata de interruptores automáticos T1, T2 y T3 en versión N con **$I_{cu}=36\text{ kA}@415\text{ V}$** . En las tablas de protección de acompañamiento (back-up) (Cap. 4.3) se observa que los interruptores automáticos presentes en el cuadro son idóneos para la instalación, puesto que su poder de corte se eleva a 65 kA gracias al interruptor automático T5H situado aguas arriba.

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT

Elección del sistema de distribución en función de la resistencia a los cortocircuitos

Para dimensionar el sistema de distribución del cuadro se toman en cuenta la intensidad asignada que lo atraviesa y la intensidad de cortocircuito prevista de la instalación.

Los fabricantes suministran tablas que permiten determinar la sección de la barra en función de la intensidad asignada, y también las distancias a las cuales deben ubicarse los soportes de sujeción de las barras para garantizar la resistencia a los cortocircuitos.

Para elegir un sistema de distribución compatible con los valores de cortocircuito de la instalación, se utilizan los métodos siguientes:

- **Si se conoce el dispositivo de protección situado aguas arriba del sistema de distribución en examen**

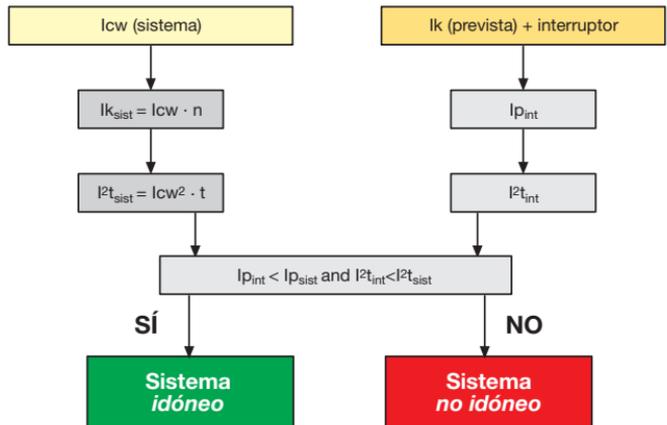
A partir de la I_{cw} del sistema de distribución se obtiene:

$I_{k_{sist}} = I_{cw} \cdot n$ donde n es el factor obtenido de la Tabla 4

$I^2 t_{sist} = I_{cw}^2 \cdot t$ donde t es igual a 1 segundo

En correspondencia con la intensidad de cortocircuito prevista de la instalación, se determina:

la intensidad de cresta limitada por el interruptor autocho $I_{p_{int}}$
la energía específica que deja pasar el interruptor autocho $I^2 t_{int}$
Si $I_{p_{int}} < I_{p_{sist}}$ e $I^2 t_{int} < I^2 t_{sist}$, el sistema de distribución es idóneo.



- **Si no se conoce el dispositivo de protección situado aguas arriba del sistema de distribución en examen**

Se debe verificar que:

$$I_k (\text{prevista}) < I_{cw} (\text{sistema})$$

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT

Ejemplo

Datos de la instalación: Tensión asignada $U_r=400$ V
Frecuencia asignada $f_r=50$ Hz
Intens. de cortocircuito $I_k=65$ kA

Supongamos que se debe utilizar un sistema de barras con perfil conformado de 400 A. En el "Catálogo general de cuadros de distribución ArTu" de ABB SACE es posible realizar la siguiente elección:

BA0400 In 400 A (IP65) Icw 35 kA.

Aguas arriba del sistema de barras hay un interruptor automático en caja moldeada tipo:

ABB SACE Tmax T5400 In400

A partir de la Icw del sistema de barras se obtiene:

$$I_{p\text{ sist}} = I_{cw} \cdot n = 35 \cdot 2.1 = 73.5 \text{ [kA]}$$

$$I^2 t_{\text{ sist}} = I_{cw}^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225 \text{ [(kA)}^2 \text{ s]}$$

En las curvas:

- de la página 118

I_k 65kA corresponde aproximadamente a I_{p int}=35 kA

- de la página 144

I_k 65kA corresponde aprox. a I²t_{int}=4 [(kA)²s]= 4 [MA²sec]

Dado que

$$I_{p\text{ int}} < I_{p\text{ sist}}$$

y

$$I^2 t_{\text{ int}} < I^2 t_{\text{ sist}}$$

el sistema de barras es compatible con la instalación.

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT

Elección de los conductores a instalar aguas arriba de los dispositivos de protección

La norma IEC 60439-1 dispone que, dentro de un cuadro, los conductores (incluidas las barras de distribución) situados entre las barras principales y el lado de la alimentación de cada unidad funcional, así como los componentes de estas unidades, pueden dimensionarse de acuerdo con las bajas solicitaciones de cortocircuito que se producen aguas abajo del dispositivo de protección contra cortocircuitos de la unidad.

Esto puede ser posible si los conductores están dispuestos en el interior del cuadro de modo tal que, en condiciones normales de servicio, las posibilidades de que haya un cortocircuito interno entre las fases, o entre las fases y tierra, pueda considerarse remota. Es aconsejable que estos conductores sean robustos y rígidos. La norma menciona a título de ejemplo conductores y prescripciones de instalación que minimizan las posibilidades de cortocircuito entre las fases o entre éstas y tierra.

1

| Tipo de conductor | Prescripciones de instalación |
|--|--|
| Conductores desnudos o conductores unipolares con aislamiento principal, por ejemplo cables conformes a IEC 60227-3. | Se debe evitar el contacto recíproco o el contacto con partes conductoras, por ejemplo mediante el uso de distanciadores. |
| Conductores unipolares con aislamiento principal y temperatura máxima de funcionamiento admitida para el conductor superior a 90°C, por ejemplo cables conformes a IEC 60245-3 o cables aislados en PVC resistentes al calor conformes a IEC 60227-3. | Se permite el contacto recíproco o con partes conductoras siempre que no se aplique una presión exterior. Se debe evitar el contacto con cantos vivos. No debe haber riesgo de daños mecánicos. Estos conductores deben alimentarse de modo tal que no se supere una temperatura de funcionamiento de 70 °C . |
| Conductores con aislamiento principal, como los cables conformes a IEC 60227-3 que tienen aislamiento secundario suplementario, por ejemplo revestidos individualmente con una funda termorretráctil o tendidos individualmente en tubos de material plástico. | |
| Conductores aislados con material de elevada resistencia mecánica, por ejemplo aislamiento FTFE, o conductores con doble aislamiento con una funda exterior reforzada para uso hasta 3 kV, como los cables conformes a IEC 60502. | Ninguna prescripción suplementaria si no hay riesgo de daños mecánicos. |
| Cables con una o más almas revestidos, por ejemplo los cables conformes a IEC 60245-4 o 60227-4. | |

Si se cumplen estas condiciones o si, de cualquier forma, el cortocircuito interno puede considerarse una posibilidad remota, se puede utilizar el procedimiento anteriormente descrito para verificar la idoneidad del sistema de distribución en condiciones de cortocircuito, cuando éstas se determinan en función de las características del interruptor automático instalado aguas abajo de las barras.

Anexo A: Protección contra los efectos del cortocircuito en los cuadros de BT

Ejemplo

Datos de la instalación:
Tensión nominal $U_r=400$ V
Frecuencia nominal $f_r=50$ Hz
Intensidad de cortocircuito $I_k=45$ kA

Consideremos el cuadro de la figura, en el cual las barras de distribución verticales se derivan de las barras principales.

Las barras de distribución verticales son barras de perfil conformado de 800 A con las siguientes características:

I_n (IP65) 800 A
 I_{cw} máx. 35 kA

Por tratarse de un sistema rígido con distanciadores, según la norma IEC 60439-1 el cortocircuito entre las barras es una posibilidad remota.

No obstante, es necesario verificar que las solicitaciones reducidas por los interruptores automáticos instalados aguas abajo del sistema sean compatibles con dicho sistema.

Supongamos que en las celdas están montados los interruptores:

ABB SACE T3S250
ABB SACE T2S160

Es necesario verificar que, si se produce un cortocircuito en cualquier salida, la limitación producida por el interruptor automático sea compatible con el sistema de barras. Para satisfacer este requisito, en correspondencia con la intensidad prevista de cortocircuito máxima admisible, el interruptor automático con valores más altos de intensidad de cresta y de energía específica pasante debe tener una capacidad de limitación suficiente para el sistema de barras. Luego, se ha de comprobar que el interruptor automático con menor capacidad de limitación de la cresta y de la energía sea igualmente suficiente para limitar de forma adecuada el sistema de barras.

En el ejemplo se trata del interruptor automático ABB SACE T3 S250 $I_n=250$. Realicemos entonces un cálculo análogo al que se describió en el apartado anterior.

De la I_{cw} del sistema de barras se deduce que:

$$I_{p\text{ sist}} = I_{cw} \cdot n = 35 \cdot 2.1 = 73.5 \quad [\text{kA}]$$

$$I^2 t_{\text{ sist}} = I_{cw}^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225 \quad [(\text{kA})^2 \text{ s}]$$

En las curvas de limitación y de energía específica pasante

- de la página 116 se observa que:

$$I_k = 45 \text{ kA} \quad \text{corresponde aproximadamente a } I_{p\text{ int}} = 30 \text{ kA}$$

- de la página 142 se observa que:

$$I_k = 45 \text{ kA} \quad \text{corresponde aproximadamente a } I^2 t_{\text{ int}} = 2 [(\text{kA})^2 \text{ s}]$$

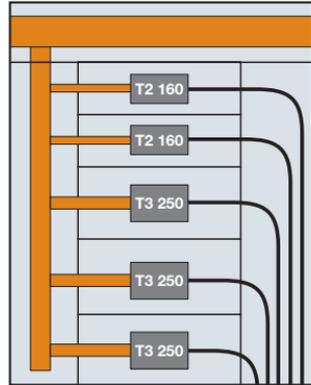
Luego, dado que

$$I_{p\text{ int}} < I_{p\text{ sist}}$$

y

$$I^2 t_{\text{ int}} < I^2 t_{\text{ sist}}$$

el sistema de barras es compatible con el cuadro.



Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

El método de cálculo propuesto por la norma IEC 60890 permite determinar la sobretemperatura del aire en el interior de la envolvente (CDS) Conjunto Derivado de Serie. Este método es aplicable sólo si se cumplen las siguientes condiciones:

- la distribución de la potencia disipada dentro de la envolvente debe ser sustancialmente uniforme;
- la aparatamenta instalada no ha de obstaculizar, salvo de forma reducida, la circulación del aire;
- la suma de las intensidades de los circuitos de alimentación de la aparatamenta instalada, para corriente continua o alterna de hasta 60 Hz inclusive, no supera los 3150 A;
- los conductores que trasportan corrientes de intensidad elevada y las partes estructurales tienen que ubicarse de manera tal que las pérdidas por inducción sean despreciables;
- en las envolventes con aberturas de ventilación, la sección de las aberturas de salida del aire ha de ser como mínimo 1.1 veces la sección de las aberturas de entrada;
- no debe haber más de tres diafragmas horizontales en el CDS o en cualquiera de sus columnas;
- si las envolventes con aberturas externas de ventilación están divididas en celdas, la superficie de las aberturas de ventilación de cada diafragma horizontal interior debe ser como mínimo igual al 50% de la sección horizontal de la celda.

El cálculo de la sobretemperatura del aire dentro de una envolvente se basa en los siguientes datos:

- dimensiones de la envolvente (altura, anchura y profundidad);
- tipo de instalación del la envolvente (con referencia a la Tabla 8);
- presencia de aberturas de ventilación;
- número de diafragmas horizontales interiores;
- potencia disipada efectiva de los dispositivos instalados en la envolvente (con referencia a las Tablas 13 y 14);
- potencia disipada efectiva (P_n) de los conductores en la envolvente, igual a la suma de la potencia disipada por cada conductor, conforme a las Tablas 1, 2 y 3.

Para dispositivos y conductores que no se utilizan a plena carga, es posible calcular la potencia disipada con la siguiente fórmula:

$$P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \quad (1)$$

donde:

P es la potencia disipada efectiva

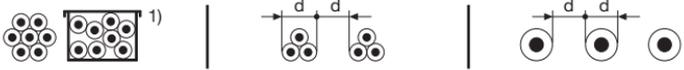
P_n es la potencia asignada disipada (a I_n)

I_b es la intensidad efectiva

I_n es la intensidad asignada

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Tabla 1: Intensidad de funcionamiento y potencia disipada por los conductores aislados

| Sección (Cu) | Temperatura máxima admitida del conductor: 70 °C | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| |  | | | | | | | | | | | |
| | Temperatura de aire en torno a los conductores dentro de la envoltura | | | | | | | | | | | |
| | 35 °C | | 55 °C | | 35 °C | | 55 °C | | 35 °C | | 55 °C | |
| | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 2) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 2) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 2) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 2) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 2) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 2) |
| mm ² | A | W/m | A | W/m | A | W/m | A | W/m | A | W/m | A | W/m |
| 1.5 | 12 | 2.1 | 8 | 0.9 | 12 | 2.1 | 8 | 0.9 | 12 | 2.1 | 8 | 0.9 |
| 2.5 | 17 | 2.5 | 11 | 1.1 | 20 | 3.5 | 12 | 1.3 | 20 | 3.5 | 12 | 1.3 |
| 4 | 22 | 2.6 | 14 | 1.1 | 25 | 3.4 | 18 | 1.8 | 25 | 3.4 | 20 | 2.2 |
| 6 | 28 | 2.8 | 18 | 1.2 | 32 | 3.7 | 23 | 1.9 | 32 | 3.7 | 25 | 2.3 |
| 10 | 38 | 3.0 | 25 | 1.3 | 48 | 4.8 | 31 | 2.0 | 50 | 5.2 | 32 | 2.1 |
| 16 | 52 | 3.7 | 34 | 1.6 | 64 | 5.6 | 42 | 2.4 | 65 | 5.8 | 50 | 3.4 |
| 25 | | | | | 85 | 6.3 | 55 | 2.6 | 85 | 6.3 | 65 | 3.7 |
| 35 | | | | | 104 | 7.5 | 67 | 3.1 | 115 | 7.9 | 85 | 5.0 |
| 50 | | | | | 130 | 7.9 | 85 | 3.4 | 150 | 10.5 | 115 | 6.2 |
| 70 | | | | | 161 | 8.4 | 105 | 3.6 | 175 | 9.9 | 149 | 7.2 |
| 95 | | | | | 192 | 8.7 | 125 | 3.7 | 225 | 11.9 | 175 | 7.2 |
| 120 | | | | | 226 | 9.6 | 147 | 4.1 | 250 | 11.7 | 210 | 8.3 |
| 150 | | | | | 275 | 11.7 | 167 | 4.3 | 275 | 11.7 | 239 | 8.8 |
| 185 | | | | | 295 | 10.9 | 191 | 4.6 | 350 | 15.4 | 273 | 9.4 |
| 240 | | | | | 347 | 12.0 | 225 | 5.0 | 400 | 15.9 | 322 | 10.3 |
| 300 | | | | | 400 | 13.2 | 260 | 5.6 | 460 | 17.5 | 371 | 11.4 |

| Conductores para los circuitos auxiliares | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-------|
| | | | | | Diám. |
| 0.12 | 2.6 | 1.2 | 1.7 | 0.5 | 0.4 |
| 0.14 | 2.9 | 1.3 | 1.9 | 0.6 | - |
| 0.20 | 3.2 | 1.1 | 2.1 | 0.5 | - |
| 0.22 | 3.6 | 1.3 | 2.3 | 0.5 | 0.5 |
| 0.30 | 4.4 | 1.4 | 2.9 | 0.6 | 0.6 |
| 0.34 | 4.7 | 1.4 | 3.1 | 0.6 | 0.6 |
| 0.50 | 6.4 | 1.8 | 4.2 | 0.8 | 0.8 |
| 0.56 | | 1.6 | | 0.7 | - |
| 0.75 | 8.2 | 1.9 | 5.4 | 0.8 | 1.0 |
| 1.00 | 9.3 | 1.8 | 6.1 | 0.8 | - |

1) Cualquier disposición, con los valores especificados para un haz de seis conductores con carga simultánea de 100%.

2) Longitud simple

1SDC008040F0201

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Tabla 2: Intensidad de funcionamiento y potencia disipada por las barras desnudas, con disposición vertical, sin conexión directa con el aparato

| Anchura y espesor | Sección (Cu) | Temperatura máxima admitida del conductor: 85 °C | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|--|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|--|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| | | Temperatura de aire en torno a los conductores dentro de la envolvente 35 °C | | | | | | | | Temperatura de aire en torno a los conductores dentro de la envolvente 55 °C | | | | | | | |
| | | 50 Hz hasta 60 Hz ca | | | | cc y ca hasta 16 2/3 Hz | | | | 50 Hz hasta 60 Hz ca | | | | cc y ca hasta 16 2/3 Hz | | | |
| | | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) |
| mm x mm | mm ² | A* | W/m | A** | W/m | A* | W/m | A** | W/m | A* | W/m | A** | W/m | A* | W/m | A** | W/m |
| 12 x 2 | 23.5 | 144 | 19.5 | 242 | 27.5 | 144 | 19.5 | 242 | 27.5 | 105 | 10.4 | 177 | 14.7 | 105 | 10.4 | 177 | 14.7 |
| 15 x 2 | 29.5 | 170 | 21.7 | 282 | 29.9 | 170 | 21.7 | 282 | 29.9 | 124 | 11.6 | 206 | 16.0 | 124 | 11.6 | 206 | 16.0 |
| 15 x 3 | 44.5 | 215 | 23.1 | 375 | 35.2 | 215 | 23.1 | 375 | 35.2 | 157 | 12.3 | 274 | 18.8 | 157 | 12.3 | 274 | 18.8 |
| 20 x 2 | 39.5 | 215 | 26.1 | 351 | 34.8 | 215 | 26.1 | 354 | 35.4 | 157 | 13.9 | 256 | 18.5 | 157 | 12.3 | 258 | 18.8 |
| 20 x 3 | 59.5 | 271 | 27.6 | 463 | 40.2 | 271 | 27.6 | 463 | 40.2 | 198 | 14.7 | 338 | 21.4 | 198 | 14.7 | 338 | 21.4 |
| 20 x 5 | 99.1 | 364 | 29.9 | 665 | 49.8 | 364 | 29.9 | 668 | 50.3 | 266 | 16.0 | 485 | 26.5 | 266 | 16.0 | 487 | 26.7 |
| 20 x 10 | 199 | 568 | 36.9 | 1097 | 69.2 | 569 | 36.7 | 1107 | 69.6 | 414 | 19.6 | 800 | 36.8 | 415 | 19.5 | 807 | 37.0 |
| 25 x 5 | 124 | 435 | 34.1 | 779 | 55.4 | 435 | 34.1 | 78 | 55.6 | 317 | 18.1 | 568 | 29.5 | 317 | 18.1 | 572 | 29.5 |
| 30 x 5 | 149 | 504 | 38.4 | 894 | 60.6 | 505 | 38.2 | 899 | 60.7 | 368 | 20.5 | 652 | 32.3 | 369 | 20.4 | 656 | 32.3 |
| 30 x 10 | 299 | 762 | 44.4 | 1410 | 77.9 | 770 | 44.8 | 1436 | 77.8 | 556 | 27.7 | 1028 | 41.4 | 562 | 23.9 | 1048 | 41.5 |
| 40 x 5 | 199 | 641 | 47.0 | 1112 | 72.5 | 644 | 47.0 | 1128 | 72.3 | 468 | 25.0 | 811 | 38.5 | 469 | 24.9 | 586 | 38.5 |
| 40 x 10 | 399 | 951 | 52.7 | 1716 | 88.9 | 968 | 52.6 | 1796 | 90.5 | 694 | 28.1 | 1251 | 47.3 | 706 | 28.0 | 1310 | 48.1 |
| 50 x 5 | 249 | 775 | 55.7 | 1322 | 82.9 | 782 | 55.4 | 1357 | 83.4 | 566 | 29.7 | 964 | 44.1 | 570 | 29.4 | 989 | 44.3 |
| 50 x 10 | 499 | 1133 | 60.9 | 2008 | 102.9 | 1164 | 61.4 | 2141 | 103.8 | 826 | 32.3 | 1465 | 54.8 | 849 | 32.7 | 1562 | 55.3 |
| 60 x 5 | 299 | 915 | 64.1 | 1530 | 94.2 | 926 | 64.7 | 1583 | 94.6 | 667 | 34.1 | 1116 | 50.1 | 675 | 34.4 | 1154 | 50.3 |
| 60 x 10 | 599 | 1310 | 68.5 | 2288 | 116.2 | 1357 | 69.5 | 2487 | 117.8 | 955 | 36.4 | 1668 | 62.0 | 989 | 36.9 | 1814 | 62.7 |
| 80 x 5 | 399 | 1170 | 80.7 | 1929 | 116.4 | 1200 | 80.8 | 2035 | 116.1 | 858 | 42.9 | 1407 | 61.9 | 875 | 42.9 | 1484 | 61.8 |
| 80 x 10 | 799 | 1649 | 85.0 | 2806 | 138.7 | 1742 | 85.1 | 3165 | 140.4 | 1203 | 45.3 | 2047 | 73.8 | 1271 | 45.3 | 1756 | 74.8 |
| 100 x 5 | 499 | 1436 | 100.1 | 2301 | 137.0 | 1476 | 98.7 | 2407 | 121.2 | 1048 | 53.3 | 1678 | 72.9 | 1077 | 52.5 | 1756 | 69.8 |
| 100 x 10 | 999 | 1982 | 101.7 | 3298 | 164.2 | 2128 | 102.6 | 3844 | 169.9 | 1445 | 54.0 | 2406 | 84.4 | 1552 | 54.6 | 2803 | 90.4 |
| 120 x 10 | 1200 | 2314 | 115.5 | 3804 | 187.3 | 2514 | 115.9 | 4509 | 189.9 | 1688 | 61.5 | 2774 | 99.6 | 1833 | 61.6 | 3288 | 101.0 |

) un conductor por fase **) dos conductores por fase 1) longitud simple

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Tabla 3: Intensidad de funcionamiento y potencia disipada por las barras desnudas utilizada como conexiones entre el aparato y las barras principales

| Anchura y espesor | Sección (Cu) | Temperatura máxima admitida del conductor: 65 °C | | | | | | | |
|-------------------|-----------------|--|------------------------|------------------------------|------------------------|--|------------------------|------------------------------|------------------------|
| | | Temperatura de aire en torno a los conductores dentro de la envolvente 35 °C | | | | Temperatura de aire en torno a los conductores dentro de la envolvente 55 °C | | | |
| | | 50 Hz hasta 60 Hz ca y cc | | | | | | | |
| | | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) | intensidad de funcionamiento | potencias disipadas 1) |
| mm x mm | mm ² | A* | W/m | A** | W/m | A* | W/m | A** | W/m |
| 12 x 2 | 23.5 | 82 | 5.9 | 130 | 7.4 | 69 | 4.2 | 105 | 4.9 |
| 15 x 2 | 29.5 | 96 | 6.4 | 150 | 7.8 | 88 | 5.4 | 124 | 5.4 |
| 15 x 3 | 44.5 | 124 | 7.1 | 202 | 9.5 | 102 | 4.8 | 162 | 6.1 |
| 20 x 2 | 39.5 | 115 | 6.9 | 184 | 8.9 | 93 | 4.5 | 172 | 7.7 |
| 20 x 3 | 59.5 | 152 | 8.0 | 249 | 10.8 | 125 | 5.4 | 198 | 6.8 |
| 20 x 5 | 99.1 | 218 | 9.9 | 348 | 12.7 | 174 | 6.3 | 284 | 8.4 |
| 20 x 10 | 199 | 348 | 12.8 | 648 | 22.3 | 284 | 8.6 | 532 | 15.0 |
| 25 x 5 | 124 | 253 | 10.7 | 413 | 14.2 | 204 | 7.0 | 338 | 9.5 |
| 30 x 5 | 149 | 288 | 11.6 | 492 | 16.9 | 233 | 7.6 | 402 | 11.3 |
| 30 x 10 | 299 | 482 | 17.2 | 960 | 32.7 | 402 | 11.5 | 780 | 21.6 |
| 40 x 5 | 199 | 348 | 12.8 | 648 | 22.3 | 284 | 8.6 | 532 | 15.0 |
| 40 x 10 | 399 | 648 | 22.7 | 1245 | 41.9 | 532 | 15.3 | 1032 | 28.8 |
| 50 x 5 | 249 | 413 | 14.7 | 805 | 27.9 | 338 | 9.8 | 655 | 18.5 |
| 50 x 10 | 499 | 805 | 28.5 | 1560 | 53.5 | 660 | 19.2 | 1280 | 36.0 |
| 60 x 5 | 299 | 492 | 17.2 | 960 | 32.7 | 402 | 11.5 | 780 | 21.6 |
| 60 x 10 | 599 | 960 | 34.1 | 1848 | 63.2 | 780 | 22.5 | 1524 | 43.0 |
| 80 x 5 | 399 | 648 | 22.7 | 1256 | 42.6 | 532 | 15.3 | 1032 | 28.8 |
| 80 x 10 | 799 | 1256 | 45.8 | 2432 | 85.8 | 1032 | 30.9 | 1920 | 53.5 |
| 100 x 5 | 499 | 805 | 29.2 | 1560 | 54.8 | 660 | 19.6 | 1280 | 36.9 |
| 100 x 10 | 999 | 1560 | 58.4 | 2680 | 86.2 | 1280 | 39.3 | 2180 | 57.0 |
| 120 x 10 | 1200 | 1848 | 68.3 | 2928 | 85.7 | 1524 | 46.5 | 2400 | 57.6 |

*) un conductor por fase

**) dos conductores por fase

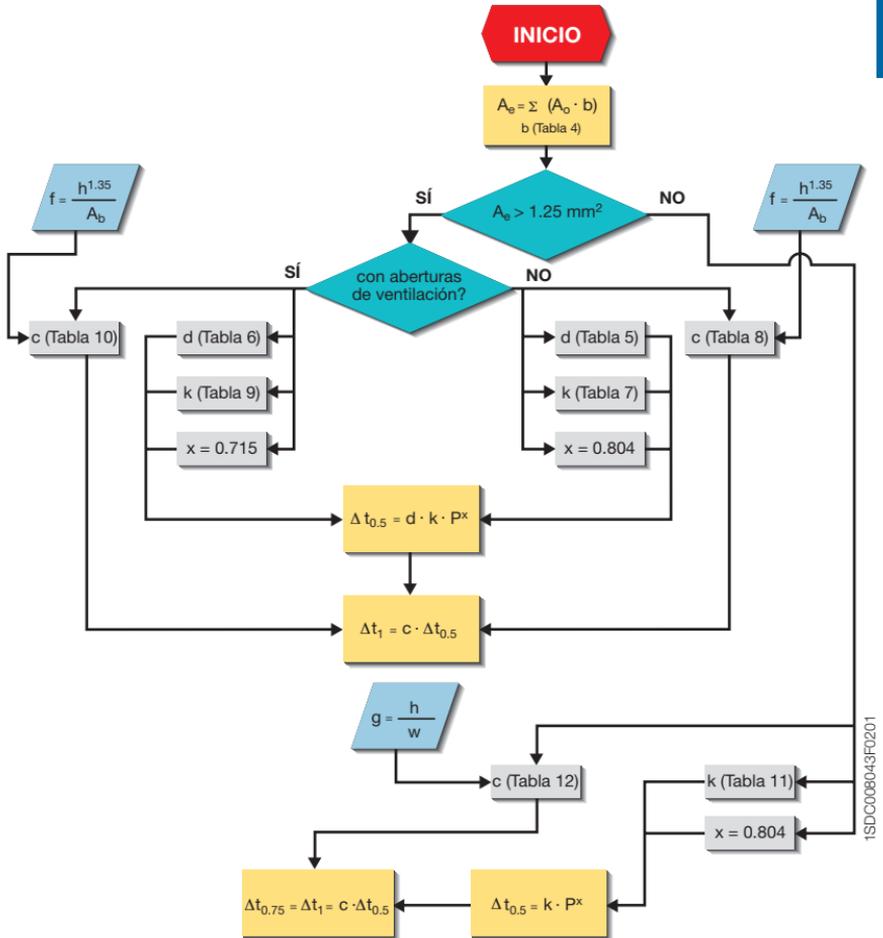
1) longitud simple

1SDC008042F0201

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Cuando las envolventes, sin diafragmas verticales ni compartimentos individuales, tienen una superficie efectiva de enfriamiento superior a 11.5 m² o una anchura superior a 1.5 m aproximadamente, por exigencias de cálculo conviene dividirlos en compartimentos ficticios cuyas dimensiones se aproximen a estos valores.

El diagrama siguiente ilustra el método de cálculo la sobretemperatura.



Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

| Tipo de instalación | Factor de superficie b |
|--|------------------------|
| Superficie superior expuesta | 1.4 |
| Superficie superior cubierta, por ejemplo envolventes empotradas | 0.7 |
| Caras laterales expuestas, por ejemplo paredes frontal, posterior y laterales | 0.9 |
| Caras laterales cubiertas, por ejemplo cara posterior de la envolvente con montaje mural | 0.5 |
| Caras laterales de envolventes centrales | 0.5 |
| Superficie de la base | no se considera |

No se toman en cuenta las caras laterales de los compartimentos ficticios creados sólo a los fines del cálculo.

Tabla 5: Factor d para envolventes sin aberturas de ventilación y con superficie de enfriamiento efectiva $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

| Número de diafragmas horiz. n | Factor d |
|---------------------------------|------------|
| 0 | 1 |
| 1 | 1.05 |
| 2 | 1.15 |
| 3 | 1.3 |

Tabla 6: Factor d para envolventes con aberturas de ventilación y superficie de enfriamiento efectiva $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

| Número de diafragmas horiz. n | Factor d |
|---------------------------------|------------|
| 0 | 1 |
| 1 | 1.05 |
| 2 | 1.1 |
| 3 | 1.15 |

Tabla 7: Constante k para envolventes sin aberturas de ventilación y con superficie de enfriamiento efectiva $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

| A_e [m ²] | k | A_e [m ²] | k |
|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| 1.25 | 0.524 | 6.5 | 0.135 |
| 1.5 | 0.45 | 7 | 0.13 |
| 2 | 0.35 | 7.5 | 0.125 |
| 2.5 | 0.275 | 8 | 0.12 |
| 3 | 0.225 | 8.5 | 0.115 |
| 3.5 | 0.2 | 9 | 0.11 |
| 4 | 0.185 | 9.5 | 0.105 |
| 4.5 | 0.17 | 10 | 0.1 |
| 5 | 0.16 | 10.5 | 0.095 |
| 5.5 | 0.15 | 11 | 0.09 |
| 6 | 0.14 | 11.5 | 0.085 |

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Tabla 9: Constante k para envoltentes con aberturas de ventilación y superficie de enfriamiento efectiva $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

| Aberturas de ventilación en cm^2 | $A_e \text{ [m}^2\text{]}$ | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| 50 | 0.36 | 0.33 | 0.3 | 0.28 | 0.26 | 0.24 | 0.22 | 0.208 | 0.194 | 0.18 | 0.165 | 0.145 | 0.135 |
| 100 | 0.293 | 0.27 | 0.25 | 0.233 | 0.22 | 0.203 | 0.187 | 0.175 | 0.165 | 0.153 | 0.14 | 0.128 | 0.119 |
| 150 | 0.247 | 0.227 | 0.21 | 0.198 | 0.187 | 0.173 | 0.16 | 0.15 | 0.143 | 0.135 | 0.123 | 0.114 | 0.107 |
| 200 | 0.213 | 0.196 | 0.184 | 0.174 | 0.164 | 0.152 | 0.143 | 0.135 | 0.127 | 0.12 | 0.11 | 0.103 | 0.097 |
| 250 | 0.19 | 0.175 | 0.165 | 0.155 | 0.147 | 0.138 | 0.13 | 0.121 | 0.116 | 0.11 | 0.1 | 0.095 | 0.09 |
| 300 | 0.17 | 0.157 | 0.148 | 0.14 | 0.133 | 0.125 | 0.118 | 0.115 | 0.106 | 0.1 | 0.093 | 0.088 | 0.084 |
| 350 | 0.152 | 0.141 | 0.135 | 0.128 | 0.121 | 0.115 | 0.109 | 0.103 | 0.098 | 0.093 | 0.087 | 0.082 | 0.079 |
| 400 | 0.138 | 0.129 | 0.121 | 0.117 | 0.11 | 0.106 | 0.1 | 0.096 | 0.091 | 0.088 | 0.081 | 0.078 | 0.075 |
| 450 | 0.126 | 0.119 | 0.111 | 0.108 | 0.103 | 0.099 | 0.094 | 0.09 | 0.086 | 0.083 | 0.078 | 0.074 | 0.07 |
| 500 | 0.116 | 0.11 | 0.104 | 0.1 | 0.096 | 0.092 | 0.088 | 0.085 | 0.082 | 0.078 | 0.073 | 0.07 | 0.067 |
| 550 | 0.107 | 0.102 | 0.097 | 0.093 | 0.09 | 0.087 | 0.083 | 0.08 | 0.078 | 0.075 | 0.07 | 0.068 | 0.065 |
| 600 | 0.1 | 0.095 | 0.09 | 0.088 | 0.085 | 0.082 | 0.079 | 0.076 | 0.073 | 0.07 | 0.067 | 0.065 | 0.063 |
| 650 | 0.094 | 0.09 | 0.086 | 0.083 | 0.08 | 0.077 | 0.075 | 0.072 | 0.07 | 0.068 | 0.065 | 0.063 | 0.061 |
| 700 | 0.089 | 0.085 | 0.08 | 0.078 | 0.076 | 0.074 | 0.072 | 0.07 | 0.068 | 0.066 | 0.064 | 0.062 | 0.06 |

Tabla 10: Factor de distribución de la temperatura c para envoltentes con aberturas de ventilación y superficie efectiva de enfriamiento $A_e > 1.25 \text{ m}^2$

| Aberturas de ventilación en cm^2 | $f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$ | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1.5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 50 | 1.3 | 1.35 | 1.43 | 1.5 | 1.57 | 1.63 | 1.68 | 1.74 | 1.78 | 1.83 |
| 100 | 1.41 | 1.46 | 1.55 | 1.62 | 1.68 | 1.74 | 1.79 | 1.84 | 1.88 | 1.92 |
| 150 | 1.5 | 1.55 | 1.63 | 1.69 | 1.75 | 1.8 | 1.85 | 1.9 | 1.94 | 1.97 |
| 200 | 1.56 | 1.61 | 1.67 | 1.75 | 1.8 | 1.85 | 1.9 | 1.94 | 1.97 | 2.01 |
| 250 | 1.61 | 1.65 | 1.73 | 1.78 | 1.84 | 1.88 | 1.93 | 1.97 | 2.01 | 2.04 |
| 300 | 1.65 | 1.69 | 1.75 | 1.82 | 1.86 | 1.92 | 1.96 | 2 | 2.03 | 2.06 |
| 350 | 1.68 | 1.72 | 1.78 | 1.85 | 1.9 | 1.94 | 1.97 | 2.02 | 2.05 | 2.08 |
| 400 | 1.71 | 1.75 | 1.81 | 1.87 | 1.92 | 1.96 | 2 | 2.04 | 2.07 | 2.1 |
| 450 | 1.74 | 1.77 | 1.83 | 1.88 | 1.94 | 1.97 | 2.02 | 2.05 | 2.08 | 2.12 |
| 500 | 1.76 | 1.79 | 1.85 | 1.9 | 1.95 | 1.99 | 2.04 | 2.06 | 2.1 | 2.13 |
| 550 | 1.77 | 1.82 | 1.88 | 1.93 | 1.97 | 2.01 | 2.05 | 2.08 | 2.11 | 2.14 |
| 600 | 1.8 | 1.83 | 1.88 | 1.94 | 1.98 | 2.02 | 2.06 | 2.09 | 2.12 | 2.15 |
| 650 | 1.81 | 1.85 | 1.9 | 1.95 | 1.99 | 2.04 | 2.07 | 2.1 | 2.14 | 2.17 |
| 700 | 1.83 | 1.87 | 1.92 | 1.96 | 2 | 2.05 | 2.08 | 2.12 | 2.15 | 2.18 |

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Tabla 11: Constante k para envoltentes sin aberturas de ventilación y con superficie de enfriamiento efectiva $A_e \leq 1.25 \text{ m}^2$

| A_e [m ²] | k | A_e [m ²] | k |
|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| 0.08 | 3.973 | 0.65 | 0.848 |
| 0.09 | 3.643 | 0.7 | 0.803 |
| 0.1 | 3.371 | 0.75 | 0.764 |
| 0.15 | 2.5 | 0.8 | 0.728 |
| 0.2 | 2.022 | 0.85 | 0.696 |
| 0.25 | 1.716 | 0.9 | 0.668 |
| 0.3 | 1.5 | 0.95 | 0.641 |
| 0.35 | 1.339 | 1 | 0.618 |
| 0.4 | 1.213 | 1.05 | 0.596 |
| 0.45 | 1.113 | 1.1 | 0.576 |
| 0.5 | 1.029 | 1.15 | 0.557 |
| 0.55 | 0.960 | 1.2 | 0.540 |
| 0.6 | 0.9 | 1.25 | 0.524 |

Tabla 12: Factor de distribución de la temperatura c para envoltentes sin aberturas de ventilación y con superficie efectiva de enfriamiento $A_e \leq 1.25 \text{ m}^2$

| g | c | g | c |
|-----|-------|-----|-------|
| 0 | 1 | 1.5 | 1.231 |
| 0.1 | 1.02 | 1.6 | 1.237 |
| 0.2 | 1.04 | 1.7 | 1.24 |
| 0.3 | 1.06 | 1.8 | 1.244 |
| 0.4 | 1.078 | 1.9 | 1.246 |
| 0.5 | 1.097 | 2 | 1.249 |
| 0.6 | 1.118 | 2.1 | 1.251 |
| 0.7 | 1.137 | 2.2 | 1.253 |
| 0.8 | 1.156 | 2.3 | 1.254 |
| 0.9 | 1.174 | 2.4 | 1.255 |
| 1 | 1.188 | 2.5 | 1.256 |
| 1.1 | 1.2 | 2.6 | 1.257 |
| 1.2 | 1.21 | 2.7 | 1.258 |
| 1.3 | 1.22 | 2.8 | 1.259 |
| 1.4 | 1.226 | | |

donde g es la relación entre la altura y la anchura de la envoltente.

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Potencia disipada total (3/4 polos) en W

Tabla 13: MCCB - potencia disipada

| Relés | In[A] | T11P | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 S,H,L | T7 V | S7 | |
|---------|-------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|-------|-------|
| | F | F | F | P | F | P | F | P/W | F | W | F | W |
| | 1 | | | 4.5 | 5.1 | | | | | | | |
| | 1.6 | | | 6.3 | 7.5 | | | | | | | |
| | 2 | | | 7.5 | 8.7 | | | | | | | |
| | 2.5 | | | 7.8 | 9 | | | | | | | |
| | 3.2 | | | 8.7 | 10.2 | | | | | | | |
| | 4 | | | 7.8 | 9 | | | | | | | |
| | 5 | | | 8.7 | 10.5 | | | | | | | |
| | 6.3 | | | 10.5 | 12.3 | | | | | | | |
| | 8 | | | 8.1 | 9.6 | | | | | | | |
| | 10 | | | 9.3 | 10.8 | | | | | | | |
| | 12.5 | | | 3.3 | 3.9 | | | | | | | |
| | 16 | 1.5 | 4.5 | 4.2 | 4.8 | | | | | | | |
| TMF | 20 | 1.8 | 5.4 | 5.1 | 6 | | 10.8 | 10.8 | | | | |
| TMD | 25 | 2 | 6 | 6.9 | 8.4 | | | | | | | |
| TMA | 32 | 2.1 | 6.3 | 8.1 | 9.6 | | 11.1 | 11.1 | | | | |
| MF | 40 | 2.6 | 7.8 | 11.7 | 13.8 | | | | | | | |
| MA | 50 | 3.7 | 11.1 | 12.9 | 15 | | 11.7 | 12.3 | | | | |
| | 63 | 4.3 | 12.9 | 15.3 | 18 | 12.9 | 15.3 | | | | | |
| | 80 | 4.8 | 14.4 | 18.3 | 21.6 | 14.4 | 17.4 | 13.8 | 15 | | | |
| | 100 | 7 | 21 | 25.5 | 30 | 16.8 | 20.4 | 15.6 | 17.4 | | | |
| | 125 | 10.7 | 32.1 | 36 | 44.1 | 19.8 | 23.7 | 18.6 | 21.6 | | | |
| | 160 | 15 | 45 | 51 | 60 | 23.7 | 28.5 | 22.2 | 27 | | | |
| | 200 | | | | | 39.6 | 47.4 | 29.7 | 37.2 | | | |
| | 250 | | | | | 53.4 | 64.2 | 41.1 | 52.8 | | | |
| | 320 | | | | | | | 40.8 | 62.7 | | | |
| | 400 | | | | | | | 58.5 | 93 | | | |
| | 500 | | | | | | | 86.4 | 110.1 | | | |
| | 630 | | | | | | | | 92 | 117 | | |
| | 800 | | | | | | | | 93 | 119 | | |
| | 10 | | | 1.5 | 1.8 | | | | | | | |
| | 25 | | | 3 | 3.6 | | | | | | | |
| | 63 | | | 10.5 | 12 | | | | | | | |
| | 100 | | | 24 | 27.6 | | 5.1 | 6.9 | | | | |
| | 160 | | | 51 | 60 | | 13.2 | 18 | | | | |
| PR21... | 250 | | | | | | 32.1 | 43.8 | | | | |
| PR22... | 320 | | | | | | 52.8 | 72 | 31.8 | 53.7 | | |
| PR33... | 400 | | | | | | | 49.5 | 84 | | 15 | 27 |
| | 630 | | | | | | | 123 | 160.8 | 90 | 115 | 36 |
| | 800 | | | | | | | | 96 | 125 | 57.9 | 105.9 |
| | 1000 | | | | | | | | | 90 | 165 | 150 |
| | 1250 | | | | | | | | | | 225 | 102 |
| | 1600 | | | | | | | | | | 258 | 234.9 |
| | 2000 | | | | | | | | | | 351.9 | 160 |
| | 2500 | | | | | | | | | | 423 | 260 |
| | 3200 | | | | | | | | | | | 360 |

Los valores indicados en la tabla hacen referencia a cargas equilibradas con una intensidad de corriente igual a la In, y valen tanto para interruptores automáticos como para seccionadores en versión tripolar y tetrapolar. Para estos últimos, la corriente del neutro es nula por definición.

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Potencia disipada total (3/4 polos) en W

Tabla 14: Emax - potencia disipada

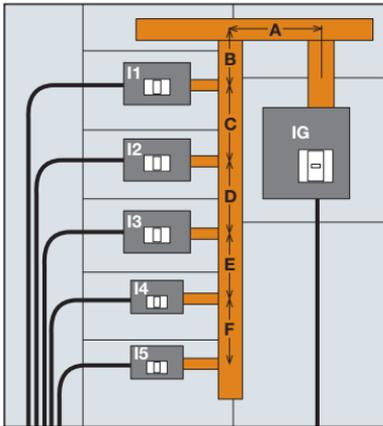
| | X1-BN | | X1-L | | E1B-N | | E2B-N-S | | E2L | | E3N-S-H-V | | E3L | | E4S-H-V | | E6H-V | | | |
|---------|-------|-----|------|-----|-------|-----|---------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|---------|-----|-------|-----|-----|------|
| | F | W | F | W | F | W | F | W | F | W | F | W | F | W | F | W | F | W | | |
| In=630 | 31 | 60 | 61 | 90 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| In=800 | 51 | 104 | 99 | 145 | 65 | 95 | 29 | 53 | | | 22 | 36 | | | | | | | | |
| In=1000 | 79 | 162 | 155 | 227 | 96 | 147 | 45 | 83 | | | 38 | 58 | | | | | | | | |
| In=1250 | 124 | 293 | 242 | 354 | 150 | 230 | 70 | 130 | 105 | 165 | 60 | 90 | | | | | | | | |
| In=1600 | 209 | 415 | | | 253 | 378 | 115 | 215 | 170 | 265 | 85 | 150 | | | | | | | | |
| In=2000 | | | | | | | 180 | 330 | | | 130 | 225 | 215 | 330 | | | | | | |
| In=2500 | | | | | | | | | | | 205 | 350 | 335 | 515 | | | | | | |
| In=3200 | | | | | | | | | | | 330 | 570 | | | 235 | 425 | 170 | 290 | | |
| In=4000 | | | | | | | | | | | | | | | 360 | 660 | 265 | 445 | | |
| In=5000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 415 | 700 |
| In=6300 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 650 | 1100 |

Ejemplo

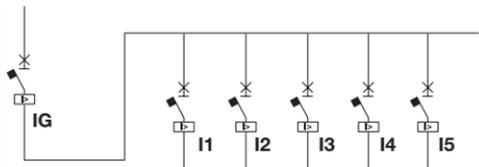
A continuación se detalla un ejemplo de cálculo de la sobretemperatura en un cuadro con las siguientes características:

- envoltorio sin aberturas de ventilación
- ninguna segregación interior
- envoltorio separada para montaje mural
- un interruptor automático principal
- cinco interruptores automáticos de salidas
- barras y sistemas de cables

Envoltorio

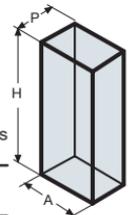


Esquema del circuito



Dimensiones [mm]

| Altura | Ancho | Prof. | Número de diafragmas horizontales = 0 |
|--------|-------|-------|---------------------------------------|
| 2000 | 1440 | 840 | Envoltorio separada de montaje mural |



Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

La potencia disipada por cada componente del cuadro anteriormente descrito se calcula de la siguiente manera.

Para los interruptores, la potencia disipada resulta de: $P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2$
donde I_n y P_n se obtienen de las Tablas 14 y 15.

En la tabla siguiente se indican los valores para cada interruptor del cuadro mencionado:

| Interruptores automáticos | | I_n [A] | I_b [A] | Potencia disipada [W] |
|--|------------|-----------|-----------|-----------------------|
| IG | E2 1600 EL | 1600 | 1340 | 80.7 |
| I1 | T5 400 EL | 400 | 330 | 33.7 |
| I2 | T5 400 EL | 400 | 330 | 33.7 |
| I3 | T5 400 EL | 400 | 330 | 33.7 |
| I4 | T3 250 TMD | 250 | 175 | 26.2 |
| I5 | T3 250 TMD | 250 | 175 | 26.2 |
| Potencia total disipada por los interruptores [W] | | | | 234 |

Para las barras, la potencia disipada resulta de $P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \cdot (3 \cdot \text{Long.})$
donde I_n y P_n se obtienen de la Tabla 2.

La tabla siguiente muestra la potencia disipada por las barras:

| Barras | Sección nx[mm]x[mm] | Longitud [m] | I_b [A] | Potencia disipada [W] |
|---|---------------------|--------------|-----------|-----------------------|
| A | 2x60x10 | 0.393 | 1340 | 47.2 |
| B | 80x10 | 0.332 | 1340 | 56 |
| C | 80x10 | 0.300 | 1010 | 28.7 |
| D | 80x10 | 0.300 | 680 | 13 |
| E | 80x10 | 0.300 | 350 | 3.5 |
| F | 80x10 | 0.300 | 175 | 0.9 |
| Potencia total disipada por las barras [W] | | | | 149 |

Para los conductores desnudos que conectan las barras a los interruptores,

la potencia disipada resulta de $P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \cdot (3 \cdot \text{Long.})$
donde I_n y P_n se obtienen de la Tabla 2.

A continuación se indican los valores de cada sección:

| Conductores desnudos de conexión | Sección nx[mm]x[mm] | Longitud [m] | I_b [A] | Potencia disipada [W] |
|---|---------------------|--------------|-----------|-----------------------|
| Ig | 2x60x10 | 0.450 | 1340 | 54 |
| I1 | 30x10 | 0.150 | 330 | 3.8 |
| I2 | 30x10 | 0.150 | 330 | 3.8 |
| I3 | 30x10 | 0.150 | 330 | 3.8 |
| I4 | 20x10 | 0.150 | 175 | 1.6 |
| I5 | 20x10 | 0.150 | 175 | 1.6 |
| Potencia total disipada por los conductores desnudos [W] | | | | 68 |

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

Para los cables que conectan los interruptores a la alimentación y a las cargas:

la potencia disipada resulta de $P = P_n \left(\frac{I_b}{I_n} \right)^2 \cdot (3 \cdot \text{Longitud})$
donde I_n y P_n se obtienen de la Tabla 4.

A continuación se indica la potencia disipada por cada conexión:

| Cables | Sección [n]xmm ² | Longitud [m] | I _b [A] | Potencia disipada [W] |
|---|--------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| IG | 4x240 | 1.0 | 1340 | 133.8 |
| I1 | 240 | 2.0 | 330 | 64.9 |
| I2 | 240 | 1.7 | 330 | 55.2 |
| I3 | 240 | 1.4 | 330 | 45.4 |
| I4 | 120 | 1.1 | 175 | 19 |
| I5 | 120 | 0.8 | 175 | 13.8 |
| Potencia total disipada por los cables [W] | | | | 332 |

Luego, la pérdida total de potencia dentro del cuadro es: **P = 784 [W]**

Considerando las dimensiones geométricas del cuadro, la superficie de enfriamiento efectiva A_e se determina del siguiente modo:

| | Dimensiones[m]x[m] | A ₀ [m ²] | Factor b | A ₀ |
|-----------------|--------------------|----------------------------------|---|----------------|
| Parte superior | 0.840x1.44 | 1.21 | 1.4 | 1.69 |
| Parte frontal | 2x1.44 | 1.64 | 0.9 | 2.59 |
| Parte posterior | 2x1.44 | 1.64 | 0.5 | 1.44 |
| Lado izquierdo | 2x0.840 | 1.68 | 0.9 | 1.51 |
| Lado derecho | 2x0.840 | 1.68 | 0.9 | 1.51 |
| | | | A_e=Σ(A₀·b) | 8.75 |

El procedimiento ilustrado en el diagrama anterior permite calcular el aumento de temperatura del cuadro.

Anexo B: Cálculo de las sobretemperaturas según la norma IEC 60890

De la Tabla 7 se deduce que $k = 0.112$ (valor interpolado)

Dado que $x = 0.804$, la sobretemperatura de la envolvente a media altura es:

$$\Delta t_{0,5} = d \cdot k \cdot P^x = 1 \cdot 0.112 \cdot 784^{0.804} = 23.8 \text{ k}$$

Para calcular el aumento de la temperatura en la parte superior del cuadro, es necesario calcular el factor c a partir del factor f :

$$f = \frac{h^{1.35}}{A_b} = \frac{2^{1.35}}{1.44 \cdot 0.84} = 2.107 \quad (A_b \text{ es el área de la base del cuadro})$$

De la Tabla 8, columna 3 (envolvente separada para montaje mural) se deduce que $c = 1.255$ (valor interpolado)

$$\Delta t_1 = c \cdot \Delta t_{0,5} = 1.255 \cdot 23.8 = 29.8 \text{ k}$$

Considerando una temperatura ambiente de 35°C , como establece la norma, dentro de la envolvente se tendrán las siguientes temperaturas:

$$t_{0,5} = 35 + 23.8 \approx 59^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 35 + 29.8 \approx 65^\circ\text{C}$$

Con las tablas del capítulo 3.5 se puede verificar si los interruptores elegidos pueden soportar las corrientes de carga, teniendo en cuenta la desclasificación por temperatura ambiente distinta de 40°C .

| | | | |
|------------------------------|----------------------|---|------------------------------------|
| E2 1600 a 65°C | $I_n=1538[\text{A}]$ | > | $I_g = 1340 [\text{A}]$ |
| T5 400 a 65°C | $I_n=384 [\text{A}]$ | > | $I_1 = I_2 = I_3 = 330 [\text{A}]$ |
| T3 250 a 60°C | $I_n=216 [\text{A}]$ | > | $I_4 = I_5 = 175 [\text{A}]$ |

Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

Doble regulación

Gracias a los nuevos relés PR123 y PR333, existe la posibilidad de programar dos grupos de parámetros diferentes y, a través de una orden externa, cambiar de un grupo a otro.

Esta función resulta útil si existe una fuente de emergencia (generador) en el sistema, que sólo suministra tensión en caso de potencia dispada en la parte de la red.

Ejemplo:

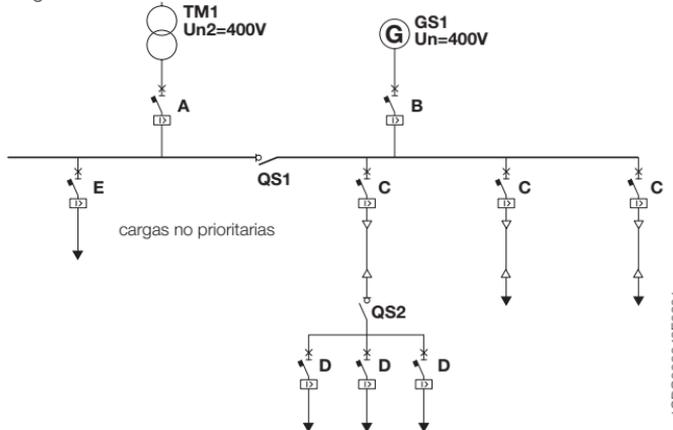
En el sistema que se describe a continuación, en caso de una pérdida del suministro normal en la parte de la red, mediante un interruptor de transferencia automático de ABB SACE ATS010 es posible cambiar el suministro de la red a la unidad de potencia de emergencia, y desconectar las cargas no primarias con la apertura del interruptor seccionador QS1.

En condiciones de trabajo normales de la instalación, los interruptores automáticos C están programados para ser selectivos tanto con los interruptores automáticos A, en la parte de la alimentación, como con los interruptores automáticos D, en la parte de la carga.

Al cambiar de la red a la unidad de potencia de emergencia, el interruptor automático B pasa a ser el interruptor automático de referencia en la parte de la alimentación de los interruptores automáticos C. Este interruptor automático, que actúa de protección de un generador, se debe programar con tiempos de actuación más cortos que A y, por tanto, puede que los valores de los interruptores automáticos en la parte de la carga no garanticen la selectividad con B.

Mediante la función de "doble regulación" de los relés PR123 y PR 333, es posible cambiar los interruptores automáticos C de un grupo de parámetros que garantiza la selectividad con A, por otro grupo que los hace selectivos con B.

Sin embargo, estas nuevas regulaciones podrían hacer que la combinación entre los interruptores automáticos C y los interruptores automáticos en la parte de la carga sea no selectiva.

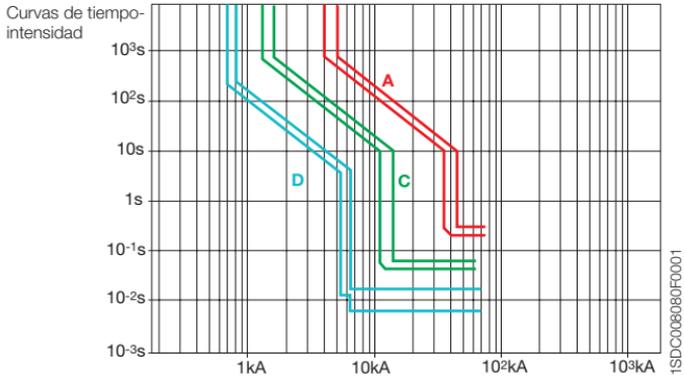


1SDC008049F0201

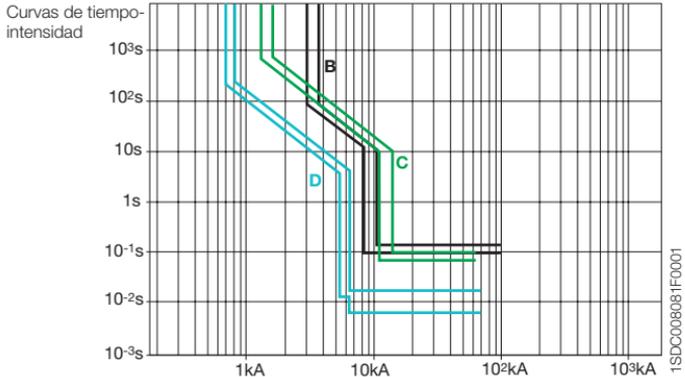
Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

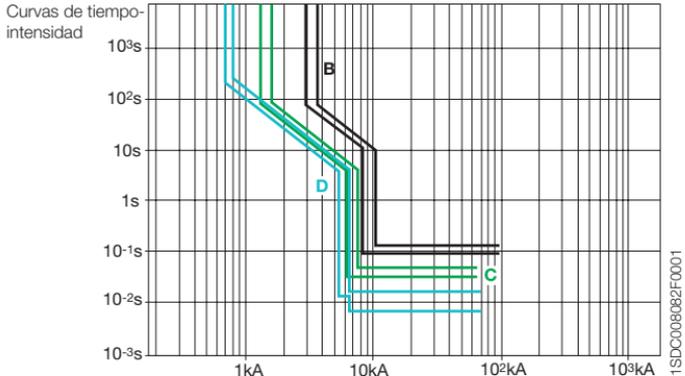
Esta figura indica las curvas de tiempo-intensidad de la instalación en condiciones normales de funcionamiento. Los valores configurados no permiten una intersección de las curvas.



Esta figura muestra la situación en que, después de la conmutación, la potencia es suministrada por la unidad de interruptor automático B. Si las regulaciones del interruptor automático C no se modifican, no habrá selectividad con el interruptor automático B principal.



Esta última figura muestra cómo es posible cambiar a un grupo de parámetros que garantiza la selectividad de los interruptores automáticos C con B mediante la función "doble regulación".



Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

Doble G

El tipo de interruptores automáticos Emax, equipados con los relés electrónicos PR123 y PR333, permiten dos curvas independientes para la protección G:

- una para la protección interna (función G sin toroide externo);
- una para la protección externa (función G con toroide externo)

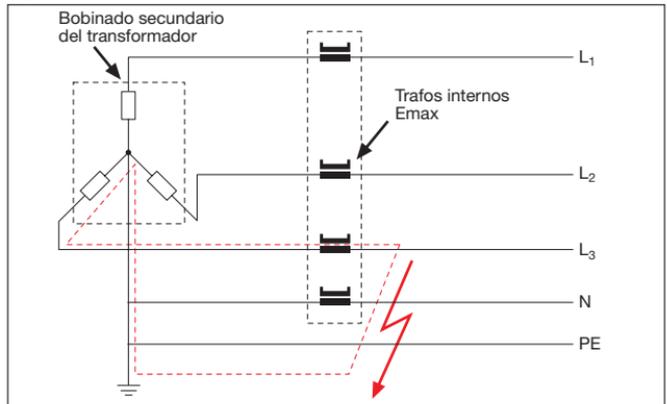
Una aplicación típica de la función doble G consiste en la protección simultánea contra fallos de puesta a tierra del secundario del transformador y de sus cables de conexión a los terminales del interruptor automático (protección de fallo a tierra limitada), así como contra fallos de puesta a tierra en la parte de la carga del interruptor automático (fuera de la protección de fallo a tierra limitada).

1

Ejemplo:

En la figura 1 se muestra un fallo en la parte de la carga de un interruptor automático Emax: la corriente de fallo fluye sólo por una fase y, si la suma vectorial de las corrientes detectadas por los cuatro transformadores de corriente (CTs) es superior al umbral establecido, el relé electrónico activa la función G (y se dispara el interruptor automático).

Figura 1



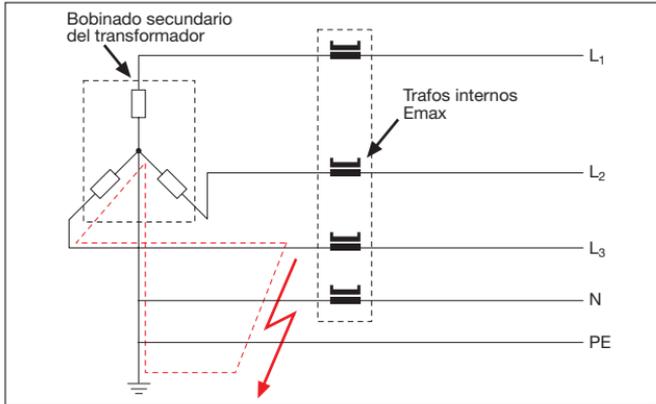
1SDCC08050F0201

Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

Con la misma configuración, un fallo en la parte de la alimentación del interruptor automático (figura 2) no provoca la intervención de la función G, dado que la corriente de fallo no afecta al CT de la fase ni del neutro.

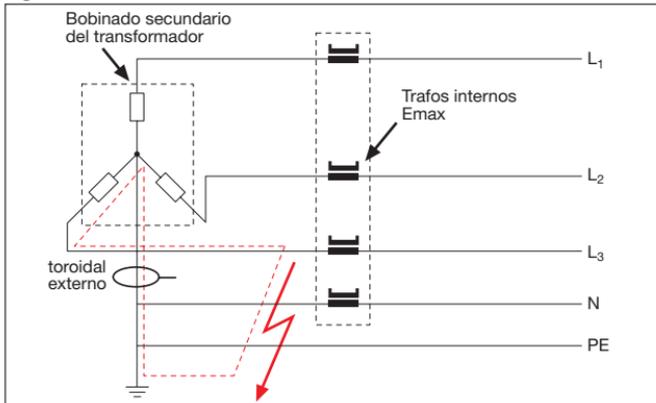
Figura 2



1SDC008051F0201

El uso de la función "doble G" permite instalar un toroide externo, como se muestra en la figura 3, de modo que también se pueden detectar los fallos a tierra en la parte de la alimentación de Emax CB. En este caso, el contacto de alarma de la segunda G se activa para disparar el interruptor automático de la primera y garantizar la desconexión del fallo.

Figura 3



1SDC008052F0201

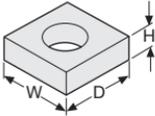
Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

Si, con la misma configuración que en la figura 3, se produce un fallo en la parte de la carga del interruptor automático Emax, la corriente de fallo afectaría tanto al toroide como a los transformadores de corriente de las fases. Para definir qué interruptor automático se debe activar (el interruptor automático MV o LV), debe existir una coordinación adecuada de los tiempos de activación: especialmente, es necesario configurar los tiempos de modo que el interruptor automático que se abre debido a la función interna G sea más rápido que la señal de alarma que proviene del toroide externo. Así, gracias a la selectividad tiempo-corriente entre las dos funciones de protección G, antes de que el interruptor automático MV en el primario del transformador reciba la orden de activación, el interruptor automático de la parte LV puede eliminar el fallo a tierra. Obviamente, si el fallo se produce en la parte de la alimentación del interruptor automático LV, sólo se activaría el interruptor automático en la parte MV.

En la tabla se muestran las características principales de la gama de toroides (disponible sólo en la versión cerrada).

Características de la gama de toroides

| Corriente asignada | 100 A, 250 A, 400 A, 800 A |
|---|----------------------------|
| Dimensiones externas del toroidal | |
|  | W = 165 mm |
| | D = 160 mm |
| | H = 112 mm |
| Diámetro interno del toroidal | Ø = 112 mm |

1SDC008058F0201

Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

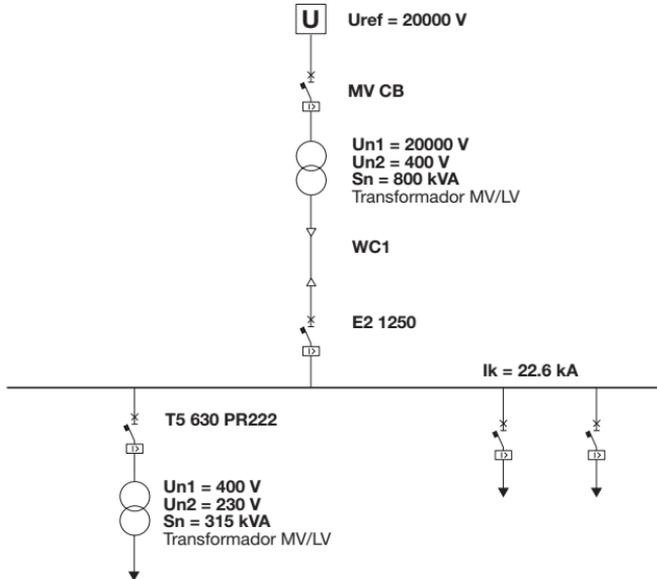
Doble S

Gracias a los nuevos relés PR123 y PR333, que permiten configurar de forma independiente y activar simultáneamente dos umbrales de la función de protección S, también se puede conseguir la selectividad en condiciones muy críticas.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo, utilizando el relé nuevo, es posible obtener un mejor nivel de selectividad en comparación con el uso de un relé sin "doble S".

Éste es el diagrama de conexiones del sistema objeto de examen; especialmente, se debe centrar la atención en:

- la presencia, en la parte de la alimentación, de un interruptor automático MV que, por razones de selectividad, utiliza valores de regulación bajos para el interruptor automático Emax en la parte LV
- la presencia de un transformador LV/LV que, debido a corrientes de arranque, utiliza valores de regulación elevados para los interruptores automáticos en su parte primaria

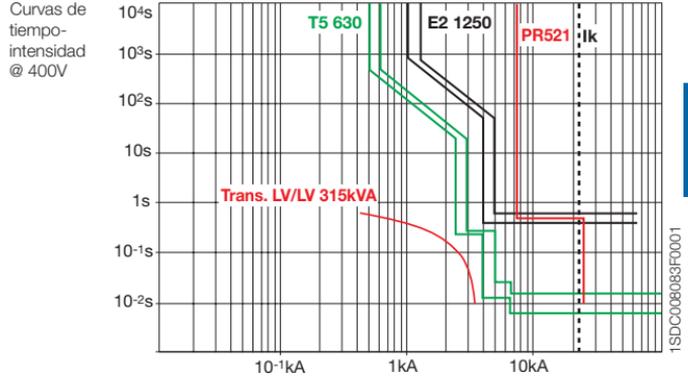


1SDC008054F0201

Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

Solución con un relé sin “doble S”



MV CB (PR521)

| | | |
|-----------|-------------|--------|
| 50 | (I>): 50A | t=0.5s |
| 51 | (I>>): 500A | t=0s |

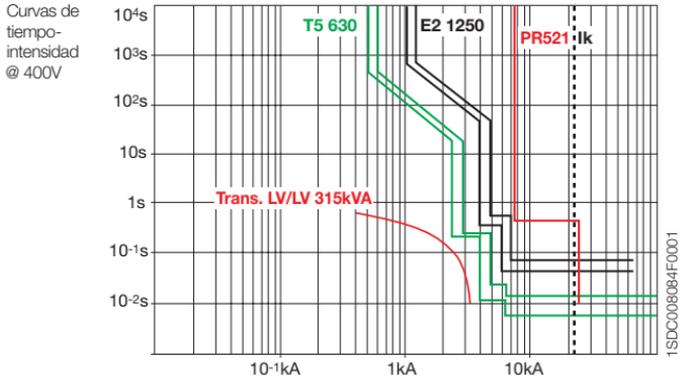
| | | E2N 1250 PR122 | T5V 630 PR222DS/P |
|----------------------|------------|-----------------------|--------------------------|
| | | LSIG R1250 | LSIG R630 |
| L | Regulación | 0.8 | 0.74 |
| | Curva | 108s | 12s |
| S t=constante | Regulación | 3.5 | 4.2 |
| | Curva | 0.5s | 0.25s |
| I | Regulación | OFF | 7 |

En caso de cortocircuito, el interruptor automático Emax E2 y el interruptor automático MV se abrirán simultáneamente con esta solución. Es necesario tener en cuenta el hecho de que, a causa del valor Ik, el funcionamiento del interruptor automático E2 se debe desactivar (I3=OFF) de modo que esté garantizada la selectividad con el T5 en la parte de la carga.

Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

Solución con el relé PR123 con “doble S”



MV CB (PR521)

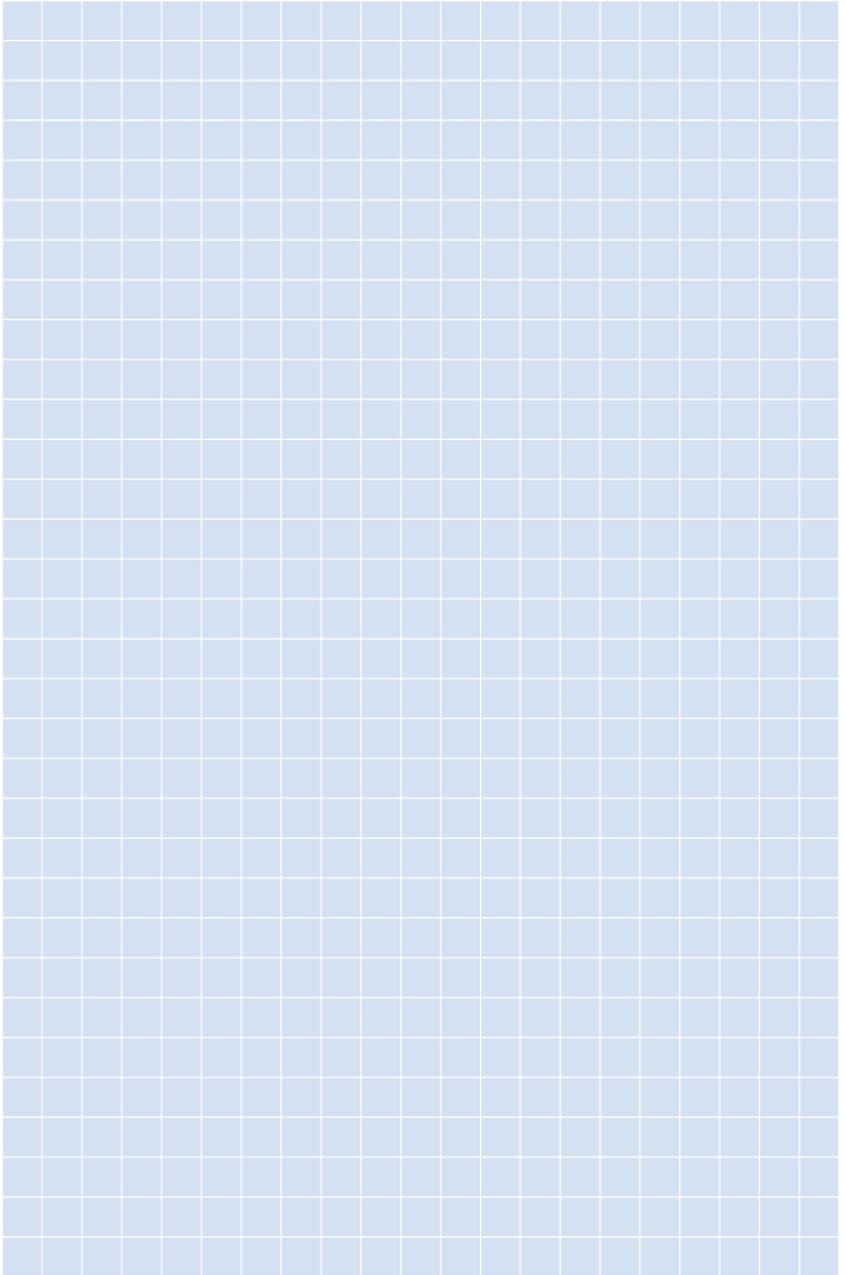
| | | |
|-----------|-------------|--------|
| 50 | (I>): 50A | t=0.5s |
| 51 | (I>>): 500A | t=0s |

| | | E2N 1250 PR123 | T5V 630 PR222DS/P |
|-----------------------|------------|----------------|-------------------|
| | | LSIG R1250 | LSIG R630 |
| L | Regulación | 0.8 | 0.74 |
| | Curva | 108s | 12s |
| S t=constante | Regulación | 3.5 | 4.2 |
| | Curva | 0.5s | 0.25s |
| S2 t=constante | Regulación | 5 | - |
| | Curva | 0.05s | - |
| I | Regulación | OFF | 7 |

Como es lógico, mediante la función “doble S” se puede conseguir la selectividad tanto con el interruptor automático T5 en la parte de la carga como con el interruptor automático MV en la parte de la alimentación.

Una ventaja adicional del uso de la función “doble S” es la disminución del tiempo de permanencia de los valores de corriente elevados en condiciones de cortocircuito, lo que da como resultado una tensión térmica y dinámica inferior en las barras y en otros componentes de la instalación.

Notas



Manual Técnico de instalaciones eléctricas

Tomo 2

La instalación eléctrica



2

Índice

| | |
|--|-----|
| Introducción | 356 |
| 1 Normas | |
| 1.1 Aspectos generales | 357 |
| 1.2 Normas IEC para instalaciones eléctricas | 369 |
| 2 Protección de los circuitos de alimentación | |
| 2.1 Introducción | 376 |
| 2.2 Instalación y dimensionamiento de los cables | 379 |
| 2.2.1 Capacidad y modo de instalación | 379 |
| Instalación de cables no enterrados | 385 |
| Instalación de cables en el terreno | 398 |
| 2.2.2 Caídas de tensión | 410 |
| 2.2.3 Pérdidas por efecto Joule | 420 |
| 2.3 Protección contra sobrecargas | 421 |
| 2.4 Protección contra cortocircuitos | 424 |
| 2.5 Conductores de neutro y de protección | 432 |
| 2.6 Conductos de barras prefabricados (BTS) | 440 |
| 3 Protección de la instalación eléctrica | |
| 3.1 Protección y maniobra de circuitos de alumbrado | 455 |
| 3.2 Protección y maniobra de generadores | 464 |
| 3.3 Protección y maniobra de motores | 469 |
| 3.4 Protección y maniobra de transformadores | 489 |
| 4 Corrección del factor de potencia | |
| 4.1 Aspectos generales | 504 |
| 4.2 Tipos de corrección del factor de potencia | 510 |
| 4.3 Interruptores para la protección y maniobra de baterías de condensadores | 517 |
| 5 Protección de las personas | |
| 5.1 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano | 520 |
| 5.2 Sistemas de distribución | 523 |
| 5.3 Protección contra contactos directos e indirectos | 526 |
| 5.4 Sistema de distribución TT | 529 |
| 5.5 Sistema de distribución TN | 532 |
| 5.6 Sistema de distribución IT | 535 |
| 5.7 Dispositivos diferenciales | 537 |
| 5.8 Longitud máxima protegida para la seguridad de las personas | 540 |
| 6 Cálculo de la corriente de cortocircuito | |
| 6.1 Generalidades | 557 |
| 6.2 Tipologías de fallos | 557 |
| 6.3 Determinación de la corriente de cortocircuito: "método de las potencias" | 559 |
| 6.3.1 Cálculo de la corriente de cortocircuito | 559 |
| 6.3.2 Cálculo de la tensión de cortocircuito en el lugar del defecto | 562 |
| 6.3.3 Cálculo de la corriente de cortocircuito | 563 |
| 6.3.4 Ejemplos | 565 |
| 6.4 Determinación de la corriente de cortocircuito I_k aguas abajo de un cable en función de la corriente aguas arriba | 569 |
| 6.5 Álgebra de secuencias | 571 |
| 6.5.1 Generalidades | 571 |
| 6.5.2 Sistemas de secuencia positiva, negativa y nula | 572 |
| 6.5.3 Cálculo de la corriente de cortocircuito con el álgebra de secuencias | 573 |
| 6.5.4 Impedancias de cortocircuito de secuencia positiva, negativa y nula del equipo eléctrico | 576 |
| 6.5.5 Fórmulas para calcular las corrientes de fallo como una función de los parámetros eléctricos de la instalación | 579 |
| 6.6 Cálculo del valor máximo de la corriente de cortocircuito | 582 |
| 6.7 Consideraciones sobre la contribución de UPS al cortocircuito | 583 |
| Anexo A: Herramientas de cálculo | |
| A.1 DOCWin | 586 |
| Anexo B: Cálculo de la corriente de empleo I_b | 590 |
| Anexo C: Armónicos | 594 |
| Anexo D: Cálculo del coeficiente k para los cables | 602 |
| Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas | 607 |
| Soluciones ABB | 614 |

Introducción

Alcance y objetivos

El objetivo de este manual técnico es facilitar al proyectista y al usuario de instalaciones eléctricas un instrumento de trabajo de consulta rápida y de utilización inmediata. Dicho manual técnico no pretende ser ni una exposición teórica ni un catálogo técnico sino que, además de eso, tiene como finalidad ayudar a la correcta definición de la aparamenta en numerosas situaciones de instalación comunes en la práctica.

El dimensionamiento de una instalación eléctrica requiere el conocimiento de numerosos factores relativos, por ejemplo, a los equipos instalados, a los conductores eléctricos y a otros componentes; dichos conocimientos implican la consulta, por parte del proyectista, de numerosos documentos y catálogos técnicos. Por el contrario, con este manual técnico se pretende ofrecer, en un único documento, las tablas para la definición rápida de los principales parámetros de los componentes de la instalación eléctrica, así como la selección de los interruptores automáticos de protección en las distintas aplicaciones de instalaciones. Para facilitar la comprensión de las tablas de selección también se incluyen ejemplos de aplicación.

Destinatarios del manual técnico

El manual técnico constituye un instrumento adecuado para todos aquellos que se ocupan de instalaciones eléctricas: sirve de ayuda tanto a los técnicos de instalación o de mantenimiento, mediante breves pero importantes referencias electrotécnicas, así como a los técnicos comerciales mediante tablas de selección rápida.

Validez del manual técnico

Algunas tablas muestran valores aproximados debido a la generalización del proceso de selección, por ejemplo en lo que respecta a las características constructivas de la maquinaria eléctrica. En cada caso, y en la medida de lo posible, aparecen indicados factores correctivos para remitirse a condiciones reales distintas de las supuestas. Las tablas siempre se han redactado de forma conservadora, en favor de la seguridad; para un cálculo más exacto se aconseja utilizar el software DOCWin para el dimensionamiento de las instalaciones eléctricas.

1 Normas

1.1 Aspectos generales

En cualquier ámbito técnico, y de modo particular en el sector eléctrico, para realizar una instalación que satisfaga las exigencias del cliente y de la comunidad, es condición suficiente –aunque no siempre necesaria– respetar todas las normas jurídicas y técnicas sobre la materia.

El conocimiento de las normas es, entonces, la premisa fundamental para resolver todos los aspectos de una instalación a fin de conseguir un **nivel de seguridad aceptable**, ya que no es posible alcanzar una seguridad absoluta.

Normas jurídicas

Disposiciones que reglamentan el comportamiento de las personas que están bajo la soberanía de un Estado.

Normas técnicas

Conjunto de prescripciones con arreglo a las cuales deben diseñarse, fabricarse y ensayarse los equipos, materiales, máquinas e instalaciones para garantizar un funcionamiento correcto y seguro.

Las normas técnicas, publicadas por organismos nacionales e internacionales, están redactadas de modo muy detallado y pueden adquirir relevancia jurídica cuando ésta les es atribuida por una disposición legislativa

| | Campo de aplicación | | |
|--------------------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| | Electrotécnica y electrónica | Telecomunicaciones | Mecánica, ergonomía y seguridad |
| Organismo internacional | IEC | ITU | ISO |
| Organismo europeo | CENELEC | ETSI | CEN |

En este manual técnico se consideran solamente los organismos específicos para los sectores eléctrico y electrónico.

IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)

Este organismo, creado en 1906 y formado por Comités Nacionales de más de cuarenta países, se propone favorecer la cooperación internacional en materia de normalización y certificación para los sectores eléctrico y electrónico.

IEC publica normas internacionales, guías e informes técnicos que constituyen la base o una importante referencia para las actividades normativas de la Unión Europea y de sus países miembros.

Las normas IEC se redactan generalmente en dos idiomas: inglés y francés.

En 1991, IEC suscribió convenios de colaboración con CENELEC (organismo normalizador europeo) para la planificación común de nuevas actividades normativas y para el voto paralelo sobre los proyectos de normas.

1 Normas

CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica)

Fundado en 1973, tiene la representación de veintisiete países (Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza) y la colaboración de otros ocho afiliados (Albania, Bosnia Herzegovina, Bulgaria, Chipre, Croacia, Rumanía, Turquía y Ucrania) que primero adjuntaron las normas EN de CENELEC a los documentos nacionales y después sustituyeron éstos por los Documentos Armonizados (HD).

La diferencia entre las normas EN y los Documentos Armonizados radica en que las primeras deben ser recogidas por los diversos países de manera idéntica y sin ningún agregado o modificación, mientras que los segundos pueden tener diferencias y condiciones nacionales particulares.

Las normas EN se presentan generalmente en tres idiomas: inglés, francés y alemán.

Desde 1991, CENELEC colabora con IEC para acelerar la elaboración de las normas.

CENELEC considera asuntos específicos, para los cuales existe una particular urgencia de normalización.

En el caso de que IEC ya haya comenzado a estudiar un tema, CENELEC puede decidir sobre su adopción o, si es necesario, sobre la adaptación de los trabajos ya realizados por la comisión internacional.

DIRECTIVAS COMUNITARIAS

La Comunidad Europea tiene entre sus funciones institucionales la de promulgar directivas que los países miembros deben transponer a sus respectivas legislaciones.

Una vez recogidas en los diversos países, estas directivas adquieren plena validez jurídica y se convierten tanto en referencias técnicas como en normas de obligado cumplimiento para fabricantes, instaladores y comerciantes.

Las directivas se fundan en los siguientes principios:

- La armonización se limita a los requisitos esenciales.
- Sólo los productos que respetan los requisitos esenciales pueden lanzarse al mercado y ponerse en servicio.
- Las normas armonizadas, cuyos números de referencia se publican en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas, y que son transpuestas a los ordenamientos nacionales, se consideran conformes a los correspondientes requisitos esenciales.
- La aplicación de las normas armonizadas o de otras especificaciones técnicas es facultativa y los fabricantes son libres de escoger otras soluciones técnicas que garanticen el cumplimiento de los requisitos esenciales.
- Los fabricantes pueden elegir entre los distintos procedimientos de valoración de la conformidad considerados por la directiva aplicable.

La finalidad de la directiva es que los fabricantes adopten las medidas necesarias para que el producto no perjudique a personas, animales o bienes materiales.

1 Normas

Directiva Baja Tensión 73/23/CEE – 93/68/CEE

La Directiva de Baja Tensión concierne a todo el material eléctrico que deba utilizarse con una tensión asignada comprendida entre 50 V y 1000 V con corriente alterna, y entre 75 V y 1500 V con corriente continua.

En particular, se aplica a todos los dispositivos utilizados para la producción, conversión, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, como máquinas, transformadores, equipos, instrumentos de medición, aparatos de protección y materiales de conexión.

No se incluyen en el campo de aplicación de esta Directiva las siguientes categorías de productos:

- materiales eléctricos para utilizar en ambientes con peligro de explosión;
- materiales eléctricos para radiología y uso clínico;
- partes eléctricas de ascensores y montacargas;
- contadores eléctricos;
- enchufes (tomas de corriente y clavijas) para uso doméstico;
- dispositivos de alimentación de recintos eléctricos;
- perturbaciones radioeléctricas;
- materiales eléctricos especiales destinados al uso en navíos, aviones o ferrocarriles, conformes a las disposiciones de seguridad establecidas por organismos internacionales en los cuales participen los países miembros.

Directiva CEM 89/336/CEE (Compatibilidad Electromagnética)

La Directiva de Compatibilidad Electromagnética concierne a todos los aparatos eléctricos y electrónicos, así como a los equipos e instalaciones que contienen componentes eléctricos o electrónicos. En particular, los dispositivos reglamentados por la Directiva se dividen de acuerdo con sus características en las siguientes categorías:

- receptores de radiodifusión y televisión privados;
- equipos industriales;
- equipos radiomóviles;
- equipos radiomóviles y radiotelefónicos comerciales;
- equipos médicos y científicos;
- equipos de tecnología de la información (ETI);
- aparatos electrodomésticos y electrónicos para uso doméstico;
- aparatos de radio para la aeronáutica y la marina;
- aparatos didácticos electrónicos;
- redes y aparatos de telecomunicación;
- emisoras de radio y distribución por cable;
- iluminación y lámparas fluorescentes.

Los equipos deben fabricarse de modo que:

- a) las perturbaciones electromagnéticas generadas se limiten a un nivel que permita a los aparatos de radio y telecomunicación, y a otros aparatos en general, funcionar de modo conforme a su destino de uso;
- b) los aparatos tengan un adecuado nivel de inmunidad intrínseca a las perturbaciones electromagnéticas, que les permita funcionar de modo conforme a su destino de uso.

Se considera que un dispositivo satisface los requisitos a) y b) cuando cumple las normas armonizadas específicas para su familia de productos o, en su defecto, las normas genéricas.

1 Normas

Marcado CE

El marcado CE atestigua el cumplimiento de todas las obligaciones impuestas a los fabricantes, con respecto a sus productos, por las directivas comunitarias correspondientes.



La marca CE constituye una declaración de la persona física o jurídica que la ha aplicado o que es responsable de hacerlo, y certifica que el producto cumple todas las disposiciones aplicables sobre la materia y se ha sometido a los procedimientos de valoración de dicha conformidad. Los países miembros no pueden limitar la introducción en el mercado y la puesta en servicio de productos con la marca CE, salvo que se haya demostrado la no conformidad de los mismos.

Diagrama de flujo para los procedimientos de valoración de la conformidad establecidos en la Directiva 73/23/CEE sobre material eléctrico destinado a ser utilizado dentro de límites específicos de tensión:



Homologaciones navales

Las condiciones ambientales marinas suelen diferir de las que existen en una industria normal en tierra. En las aplicaciones marinas, es posible que los interruptores automáticos deban instalarse en:

- ambientes con temperatura y humedad elevadas e incluso con alta concentración de sal en el aire (ambiente cálido, húmedo y salino);
- ambientes a bordo de naves, como la sala de máquinas, donde se generan vibraciones de amplitud y duración considerables.

Para garantizar el funcionamiento correcto en tales condiciones, los registros exigen que los aparatos se sometan a ensayos específicos de homologación, sobre todo en lo que respecta a la resistencia a vibraciones, inclinación, humedad y calor seco.

1 Normas

Los interruptores automáticos ABB SACE (Isomax-Tmax-Emax) están homologados por los siguientes registros navales:

| | | |
|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| • RINA | Registro Italiano Navale | registro naval italiano |
| • DNV | Det Norske Veritas | registro naval noruego |
| • BV | Bureau Veritas | registro naval francés |
| • GL | Germanischer Lloyd | registro naval alemán |
| • LRs | Lloyd's Register of Shipping | registro naval inglés |
| • ABS | American Bureau of Shipping | registro naval estadounidense |

Se recomienda consultar siempre con ABB SACE por los tipos y las prestaciones de los interruptores homologados, o ver la sección Certificados de la página web <http://bol.it.abb.com>.

Marcas de conformidad a las respectivas normas nacionales e internacionales

En la tabla siguiente se indican las marcas de conformidad internacionales y de algunos países en particular.

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-----------|---|---------------------------|--|
| EUROPA |  | – | Marca de conformidad a las normas europeas armonizadas incluida en el Acuerdo ENEC |
| AUSTRALIA |  | Marca AS | Productos eléctricos y no eléctricos. Certifica el cumplimiento de las normas SAA (Standard Association of Australia). |
| AUSTRALIA |  | Marca S.A.A. | Standards Association of Australia (S.A.A.) The Electricity Authority of New South Wales Sidney Australia |
| AUSTRIA |  | Marca de prueba austriaca | Aparatos y material de instalación |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|--------------------|---|----------------------------|--|
| AUSTRIA |  | Distintivo OVE | Cables |
| BÉLGICA |  | Marca CEBEC | Material de instalación y equipos eléctricos |
| BÉLGICA |  | Marca CEBEC | Tubos, conductores y cables flexibles |
| BÉLGICA |  | Certificado de conformidad | Material de instalación y equipos eléctricos (en ausencia de una norma nacional o de criterios equivalentes) |
| CANADÁ |  | Marca CSA | Productos eléctricos y no eléctricos. Certifica el cumplimiento de las normas CSA (Canadian Standard Association). |
| CHINA |  | Marca CCEE | Great Wall Mark Commission for Certification of Electrical Equipment |
| República Checa |  | Marca EZU | Electrotechnical Testing Institute |
| República Eslovaca |  | Marca EVPU | Electrotechnical Research and Design Institute |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-----------|---------------|---|---|
| CROACIA | | KONČAR | Electrical Engineering Institute |
| DINAMARCA | | Marca de aprobación DEMKO | Material de baja tensión. Certifica la conformidad a las prescripciones (seguridad) de las Heavy Current Regulations. |
| FINLANDIA | | Marca de aprobación de seguridad de la Inspección Eléctrica | Material de baja tensión. Certifica la conformidad a las prescripciones (seguridad) de las Heavy Current Regulations. |
| FRANCIA | | Marca ESC | Aparatos electrodomésticos |
| FRANCIA | | Marca NF | Conductores y cables - Tubos - Material de instalación |
| FRANCIA | | Distintivo NF | Cables |
| FRANCIA | | Marca NF | Herramientas de motor portátiles |
| FRANCIA | | Marca NF | Aparatos electrodomésticos |

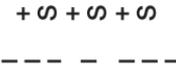
1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|----------|---|------------------------------------|---|
| ALEMANIA |  | Marca VDE | Para accesorios de instalación, como tomas de corriente, clavijas, fusibles, hilos y cables, y otros componentes como condensadores, sistemas de puesta a tierra, portalámparas y equipos electrónicos. |
| ALEMANIA |  | Distintivo VDE | Cables y conductores |
| ALEMANIA |  | Marca VDE para cables | Cables, conductores aislados, conductos y canales de instalación |
| ALEMANIA |  | Marca VDE-GS para equipos técnicos | Marca de seguridad para equipos técnicos controlados y aprobados por el Laboratorio VDE de Offenbach; la marca de conformidad es la VDE, que puede utilizarse sola o junto a la GS. |
| HUNGRÍA |  | MEEI | Hungarian Institute for Testing and Certification of Electrical Equipment |
| JAPÓN |  | JIS Mark | Marca que garantiza la conformidad a las normas industriales japonesas |
| IRLANDA |  | IIRS Mark | Productos eléctricos |
| IRLANDA |  | IIRS Mark | Productos eléctricos |

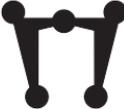
1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-----------|---|------------------------------|---|
| ITALIA |  | Marca IMQ | Marca para material eléctrico destinado a usuarios genéricos; certifica el cumplimiento de las normas europeas. |
| NORUEGA |  | Marca de aprobación noruega | Aprobación obligatoria de seguridad para el material y los aparatos de baja tensión |
| HOLANDA |  | KEMA-KEUR | Para todos los equipos en general |
| POLONIA |  | KWE | Productos eléctricos |
| RUSIA |  | Certificación de conformidad | GOSSTANDART |
| SINGAPUR |  | SISIR | Productos eléctricos y no eléctricos |
| ESLOVENIA |  SIQ - Slovenia | SIQ | Slovenian Institute of Quality and Metrology |
| ESPAÑA |  | AEE | Productos eléctricos. Se aplica bajo el control de la Asociación Electrotécnica Española. |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-------------|---|---------------------------|---|
| ESPAÑA |  | AENOR | Asociación Española de Normalización y Certificación |
| SUECIA |  | Marca de aprobación SEMKO | Aprobación obligatoria de seguridad para el material y los aparatos de baja tensión |
| SUIZA |  | Marca de seguridad | Material de baja tensión suizo sujeto a aprobación obligatoria (seguridad) |
| SUIZA |  | - | Cables sujetos a aprobación obligatoria |
| SUIZA |  | Marca de calidad SEV | Material de baja tensión sujeto a aprobación obligatoria |
| REINO UNIDO |  | Marca ASTA | Conformidad a las normas británicas respectivas |
| REINO UNIDO |  | Marca BASEC | Conformidad a las normas británicas para conductores, cables y productos auxiliares |
| REINO UNIDO |  | Distintivo BASEC | Cables |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|-------------|---|---|--|
| REINO UNIDO |  | BEAB marca de seguridad | Conformidad a las normas británicas para aparatos electrodomésticos |
| REINO UNIDO |  | BSI marca de seguridad | Conformidad a las normas británicas |
| REINO UNIDO |  | BEAB Kitemark | Conformidad a las normas británicas concernientes a seguridad o prestaciones |
| EE.UU |  | Marca UL (UNDERWRITERS LABORATORIES) | Productos eléctricos y no eléctricos |
| EE.UU |  | Marca UL (UNDERWRITERS LABORATORIES) | Productos eléctricos y no eléctricos |
| EE.UU |  | Reconocimiento UL | Productos eléctricos y no eléctricos |
| CEN |  | Marca CEN | Marca del Comité Europeo de Normalización (CEN); certifica el cumplimiento de las normas europeas. |
| CENELEC |  | Marca para cables | Cables |

1 Normas

| ORIGEN | Signo gráfico | Nombre | Aplicación |
|----------------|---|------------------------|--|
| CENELEC |  | Distintivo para cables | Certifica la conformidad del cable a las normas armonizadas CENELEC |
| EC |  | Marca Ex EUROPEA | Certifica el cumplimiento de las normas europeas por parte de los productos destinados a ser utilizados en lugares con peligro de explosión. |
| CEEel |  | Marca CEEel | Aplicable sólo a algunos electrodomésticos (afeitadoras, relojes eléctricos, aparatos de masaje, etc.) |

Declaración de conformidad

La declaración CE de conformidad es una atestación del fabricante, quien, bajo su responsabilidad, declara que los equipos, procedimientos o servicios cumplen determinadas directivas u otros documentos normativos.

La Declaración CE debe contener los siguientes elementos:

- nombre y dirección del fabricante o de su mandatario establecido en la Comunidad Europea;
- descripción del producto;
- referencia a las normas armonizadas y a las directivas concernientes;
- si corresponde, referencia a las especificaciones a las cuales se declara la conformidad;
- últimos dos dígitos del año en que se aplicó el marcado CE;
- identificación del firmante.

El fabricante o su mandatario deben conservar una copia de la declaración CE de conformidad junto a la documentación técnica del producto.

1 Normas

1.2 Normas IEC para instalaciones eléctricas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|------------------|------|---|
| IEC 60027-1 | 1992 | Símbolos literales utilizados en electrotecnia. Parte 1: Generalidades |
| IEC 60034-1 | 2004 | Máquinas eléctricas rotativas. Parte 1: especificaciones y funcionamiento |
| IEC 60617-DB-12M | 2001 | Símbolos gráficos empleados en diagramas. Suscripción de 12 meses a la base de datos online; incluye las partes 2 a 11 de IEC 60617 |
| IEC 61082-1 | 1991 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia. Parte 1: requisitos generales |
| IEC 61082-2 | 1993 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia. Parte 2: diagramas de las funciones |
| IEC 61082-3 | 1993 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia. Parte 3: diagramas de conexiones, tablas y listados |
| IEC 61082-4 | 1996 | Preparación de documentos utilizados en electrotecnia. Parte 4: documentos de localización e instalación |
| IEC 60038 | 2002 | Tensión de red según IEC |
| IEC 60664-1 | 2002 | Coordinación del aislamiento para equipos con sistemas de baja tensión. Parte 1: principios básicos, requisitos y pruebas |
| IEC 60909-0 | 2001 | Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente. Parte 0: cálculo de corrientes |
| IEC 60865-1 | 1993 | Corrientes de cortocircuito. Cálculo de efectos. Parte 1: definiciones y métodos de cálculo |
| IEC 60781 | 1989 | Guía de aplicación para el cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas radiales de baja tensión |
| IEC 60076-1 | 2000 | Transformadores de potencia. Parte 1: generalidades |
| IEC 60076-2 | 1993 | Transformadores de potencia. Parte 2: aumento de temperatura |
| IEC 60076-3 | 2000 | Transformadores de potencia. Parte 3: niveles de aislamiento, pruebas dieléctricas y agentes externos en el aire |
| IEC 60076-5 | 2006 | Transformadores de potencia. Parte 5: capacidad de resistencia a cortocircuito |
| IEC/TR 60616 | 1978 | Marcas de terminales y tomas de los transformadores de potencia |
| IEC 60076-11 | 2004 | Transformadores de potencia. Parte 11: transformadores de tipo seco |
| IEC 60445 | 1999 | Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, marcas e identificación. Identificación de los terminales del equipo y de las terminaciones de determinados conductores, incluidas las normas generales del sistema alfanumérico |
| IEC 60073 | 2002 | Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, marcas e identificación. Codificación de dispositivos de indicación y accionadores |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|---------------|------|---|
| IEC 60446 | 1999 | Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, marcas e identificación. Identificación de conductores por colores o números |
| IEC 60447 | 2004 | Principios básicos y de seguridad para la interfaz hombre-máquina, marcas e identificación. Principios de maniobra |
| IEC 60947-1 | 2004 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 1: normas generales |
| IEC 60947-2 | 2003 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 2: interruptores automáticos |
| IEC 60947-3 | 2005 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 3: interruptores, seccionadores, interruptor-seccionador y unidades de combinación de fusibles |
| IEC 60947-4-1 | 2002 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 4-1: contactores y arrancadores de motor. Contactores electromecánicos y arrancadores de motor |
| IEC 60947-4-2 | 2002 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 4-2: contactores y arrancadores de motor. Controladores de motor semiconductores CA y arrancadores |
| IEC 60947-4-3 | 1999 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 4-3: contactores y arrancadores de motor. Controladores semiconductores CA y contactores para cargas sin motor |
| IEC 60947-5-1 | 2003 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 5-1: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Dispositivos de circuito de control electromecánicos |
| IEC 60947-5-2 | 2004 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 5-2: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Interruptores de proximidad |
| IEC 60947-5-3 | 2005 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 5-3: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Requisitos de los dispositivos de proximidad con régimen definido en condiciones de fallo |
| IEC 60947-5-4 | 2002 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 5: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Apartado 4: método de evaluación del rendimiento de los contactos de baja energía. Pruebas especiales |
| IEC 60947-5-5 | 2005 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 5-5: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Dispositivo eléctrico de parada de emergencia con función de bloqueo mecánica |
| IEC 60947-5-6 | 1999 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 5-6: dispositivos de circuito de control y elementos de conmutación. Interfaz CC para sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (NAMUR) |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|---------------|------|--|
| IEC 60947-6-1 | 2005 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 6-1: equipos de funciones múltiples. Equipo de conmutación de transferencia automática |
| IEC 60947-6-2 | 2002 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 6-2: equipos de funciones múltiples. Dispositivos (o equipos) de conmutación de control y protección (CPS) |
| IEC 60947-7-1 | 2002 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 7: equipo auxiliar. Apartado 1: bloques de terminales para conductores de cobre |
| IEC 60947-7-2 | 2002 | Aparamenta de Baja Tensión. Parte 7: equipo auxiliar. Apartado 2: bloques de terminales de conductor protector para conductores de cobre |
| IEC 60439-1 | 2004 | Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión y de control. Parte 1: conjuntos de tipo probado y de tipo parcialmente probado |
| IEC 60439-2 | 2005 | Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión y de control. Parte 2: requisitos particulares para sistemas de canalización prefabricada (conductos para barras colectoras) |
| IEC 60439-3 | 2001 | Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión y de control. Parte 3: requisitos particulares para conjuntos de interruptores de baja tensión y de control que se van a instalar en lugares a los que tienen acceso personas que no tienen los conocimientos necesarios. Placas de distribución |
| IEC 60439-4 | 2004 | Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión y de control. Parte 4: requisitos particulares para conjuntos destinados a lugares de construcción (ACS) |
| IEC 60439-5 | 1998 | Conjuntos de Aparamenta de Baja Tensión y de control. Parte 5: requisitos particulares para conjuntos que se van a instalar en el exterior en lugares públicos. Armarios de distribución de cables (CDCs) para la distribución de potencia en las redes |
| IEC 61095 | 2000 | Contactores electromecánicos para aplicaciones domésticas y análogas |
| IEC/TR 60890 | 1987 | Método de evaluación por extrapolación del calentamiento de los conjuntos parcialmente probados (PTTA) de interruptores de baja tensión y de control |
| IEC/TR 61117 | 1992 | Método de evaluación de resistencia a cortocircuito de los conjuntos parcialmente probados (PTTA) |
| IEC 60092-303 | 1980 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 303: equipo. Transformadores de potencia e iluminación |
| IEC 60092-301 | 1980 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 301: equipo. Generadores y motores |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|----------------|------|---|
| IEC 60092-101 | 2002 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 101: definiciones y requisitos generales |
| IEC 60092-401 | 1980 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 401: instalación y prueba de la instalación completa |
| IEC 60092-201 | 1994 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 201: diseño del sistema. Generalidades |
| IEC 60092-202 | 1994 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones.- Parte 202: diseño del sistema. Protección |
| IEC 60092-302 | 1997 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 302: Conjuntos de interruptores de baja tensión y de control. |
| IEC 60092-350 | 2001 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 350: cables de potencia en embarcaciones. Estructura general y requisitos de pruebas |
| IEC 60092-352 | 2005 | Instalaciones eléctricas en embarcaciones. Parte 352: elección e instalación de los cables eléctricos |
| IEC 60364-5-52 | 2001 | Instalaciones eléctricas en edificios. Parte 5-52: selección y montaje del equipo eléctrico. Sistemas de conexión |
| IEC 60227 | | Cables aislados con policloruro de vinilo de tensiones asignadas inferiores o iguales a 450/750 V |
| | 1998 | Parte 1: requisitos generales |
| | 2003 | Parte 2: métodos de prueba |
| | 1997 | Parte 3: cables no blindados para conexiones fijas |
| | 1997 | Parte 4: cables blindados para conexiones fijas |
| | 2003 | Parte 5: cables flexibles (conductores flexibles) |
| | 2001 | Parte 6: cables de suspensión y cables para conexiones flexibles |
| | 2003 | Parte 7: cables flexibles apantallados y no apantallados con dos o más conductores |
| IEC 60228 | 2004 | Conductores de cables aislados |
| IEC 60245 | | Cables aislados con goma. Tensiones asignadas inferiores o iguales a 450/750 V |
| | 2003 | Parte 1: Generalidades |
| | 1998 | Parte 2: métodos de prueba |
| | 1994 | Parte 3: Cables aislados con silicona resistentes al calor |
| | 1994 | Parte 4: Conductores y cables flexibles |
| | 2004 | Parte 4: conductores y cables flexibles |
| | 1994 | Parte 5: cables de suspensión |
| | 1994 | Parte 6: cables de soldadura por arco eléctrico |
| | 1994 | Parte 7: cables resistentes al calor aislados con goma de acetato de etileno-vinilo |
| | 2004 | Parte 8: cables para aplicaciones que requieren una alta flexibilidad |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|---------------|------|---|
| IEC 60309-2 | 2005 | Enchufes, bases de tomas de corriente y acopladores para instalaciones industriales. Parte 2: requisitos de intercambiabilidad dimensionales para accesorios de patilla y tubo de contacto |
| IEC 61008-1 | 2002 | Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCCBs). Parte 1: normas generales |
| IEC 61008-2-1 | 1990 | Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCCBs). Parte 2-1: aplicabilidad de las normas generales a RCCB desde el punto de vista funcional, independientemente de la tensión de la línea |
| IEC 61008-2-2 | 1990 | Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCCBs). Parte 2-2: aplicabilidad de las normas generales a RCCB desde el punto de vista funcional dependiendo de la tensión de la línea |
| IEC 61009-1 | 2003 | Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCBOs). Parte 1: normas generales |
| IEC 61009-2-1 | 1991 | Interruptores automáticos por corriente residual con protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCBOs) Parte 2-1: aplicabilidad de las normas generales a RCBO desde el punto de vista funcional, independientemente de la tensión de la línea |
| IEC 61009-2-2 | 1991 | Interruptores automáticos por corriente residual con protección integral contra sobretensiones para aplicaciones domésticas y análogas (RCBOs). Parte 2-2: aplicabilidad de las normas generales a RCBO desde el punto de vista funcional dependiendo de la tensión de la línea |
| IEC 60670-1 | 2002 | Cajones y armarios para accesorios eléctricos para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas. Parte 1: requisitos generales |
| IEC 60669-2-1 | 2002 | Interruptores para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas. Parte 2-1: requisitos especiales. Interruptores electrónicos |
| IEC 60669-2-2 | 2002 | Interruptores para instalaciones eléctricas fijas domésticas y análogas. Parte 2: requisitos especiales. Apartado 2: Interruptores de control remoto (RCS) |
| IEC 60669-2-3 | 1997 | Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2-3: Particular requirements – Time-delay switches (TDS) |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|----------------|------|--|
| IEC 60079-10 | 2002 | Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: clasificación de emplazamientos peligrosos |
| IEC 60079-14 | 2002 | Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 14: instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (excepto las minas) |
| IEC 60079-17 | 2002 | Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 17: inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (excepto las minas) |
| IEC 60269-1 | 2005 | Fusibles de baja tensión. Parte 1: requisitos generales |
| IEC 60269-2 | 1986 | Fusibles de baja tensión. Parte 2: requisitos adicionales de los fusibles para su uso por personas autorizadas (fusibles utilizados principalmente para aplicaciones industriales) |
| IEC 60269-3-1 | 2004 | LFusibles de baja tensión. Parte 3-1: requisitos adicionales de los fusibles para su uso por personas no especializadas (fusibles utilizados principalmente para aplicaciones domésticas y análogas). Apartados I a IV: Ejemplos de fusibles homologados |
| IEC 60127-1/10 | | Fusibles miniatura |
| | 2003 | Parte 1: definiciones de fusibles miniatura y requisitos generales de los fusibles miniatura |
| | 2003 | Parte 2: cartuchos fusibles |
| | 1988 | Parte 3: fusibles subminiatura |
| | 2005 | Parte 4: fusibles modulares universales (UMF) en perforaciones y montados en superficie |
| | 1988 | Parte 5: directrices para evaluar la calidad de los fusibles miniatura |
| | 1994 | Parte 6: conjunto portador para cartuchos fusibles miniatura |
| | 2001 | Parte 10: guía de usuario para fusibles miniatura |
| IEC 60730-2-7 | 1990 | Controles eléctricos automáticos para aplicaciones domésticas y análogas. Parte 2: requisitos especiales para temporizadores e interruptores de tiempo |
| IEC 60364-1 | 2005 | Instalaciones eléctricas de baja tensión Parte 1: principios básicos, evaluación de las características generales, definiciones |
| IEC 60364-4-41 | 2005 | Instalaciones eléctricas de baja tensión Parte 4-41: protección para garantizar la seguridad. Protección contra descargas eléctricas |
| IEC 60364-4-42 | 2001 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 4-42: protección para garantizar la seguridad. Protección contra efectos térmicos |
| IEC 60364-4-43 | 2001 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 4-43: protección para garantizar la seguridad. Protección contra sobrecorrientes |

1 Normas

| NORMA | AÑO | TÍTULO |
|------------------|-------------|---|
| IEC 60364-4-44 | 2003 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 4-44: protección para garantizar la seguridad. Protección contra perturbaciones de tensión y perturbaciones electromagnéticas |
| IEC 60364-5-51 | 2005 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-51: selección y montaje del equipo eléctrico. Normas comunes |
| IEC 60364-5-52 | 2001 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-52: selección y montaje del equipo eléctrico. Sistemas de conexiones |
| IEC 60364-5-53 | 2002 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-53: selección y montaje del equipo eléctrico. Aislamiento, conmutación y control |
| IEC 60364-5-54 | 2002 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-54: selección y montaje del equipo eléctrico. Disposiciones de puesta a tierra, conductores de protección y conductores de conexión de protección |
| IEC 60364-5-55 | 2002 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 5-55: selección y montaje del equipo eléctrico. Otros equipos |
| IEC 60364-6-61 | 2001 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 6-61: verificación. Verificación inicial |
| IEC 60364-7 | 1984...2005 | Instalaciones eléctricas de edificios Parte 7: requisitos para instalaciones o emplazamientos especiales |
| IEC 60529 | 2001 | Grados de protección de los armarios (según códigos IP) |
| IEC 61032 | 1997 | Protección de los armarios para personas y equipos. Pruebas de verificación |
| IEC/TR 61000-1-1 | 1992 | Compatibilidad electromagnética (EMC). Parte 1: generalidades. Apartado 1: aplicación e interpretación de las definiciones y los términos fundamentales |
| IEC/TR 61000-1-2 | 2001 | Compatibilidad electromagnética (EMC). Parte 1-2: generalidades. Métodos para lograr la seguridad funcional de los equipos eléctricos y electrónicos en lo que respecta a los fenómenos electromagnéticos |
| IEC/TR 61000-1-3 | 2002 | Compatibilidad electromagnética (EMC). Parte 1-3: generalidades. Efectos de la altitud elevada EMP (HEMP) en equipos y sistemas civiles |

2 Protección de los circuitos de alimentación

2.1 Introducción

A continuación se indican las principales definiciones referentes a la instalación eléctrica, tomadas de la Norma IEC 60050.

Características de la instalación eléctrica

Instalación eléctrica (de un edificio) Conjunto de componentes eléctricos, eléctricamente asociados, con el fin de cumplir con objetivos específicos y que tienen características coordinadas.

Origen de una instalación utilizadora Punto de suministro de la energía eléctrica a la instalación utilizadora.

Conductor de neutro (símbolo N). Conductor conectado con el punto de neutro del sistema y capaz de contribuir a la transmisión de la energía eléctrica.

Conductor de protección PE Conductor contemplado por algunas medidas de protección contra los contactos indirectos para el conexionado de algunas de las siguientes partes:

- masas
- masas extrañas
- colector (o nodo) principal de tierra
- dispersor
- punto de tierra de la fuente o neutro artificial.

Conductor PEN Conductor que realiza simultáneamente las funciones, tanto de conductor de protección como de conductor de neutro.

Temperatura ambiente Temperatura del aire o de otro medio en el lugar en el cual el componente eléctrico debe utilizarse.

Tensiones

Tensión nominal (de una instalación). Tensión para la cual una instalación o una parte de la misma ha sido diseñada.

Nota: La tensión real puede diferir de la tensión nominal dentro de los límites de tolerancia permitidos.

Corrientes

Corriente de empleo (de un circuito). Corriente que puede circular por un circuito en funcionamiento normal.

Capacidad de corriente admisible (de un conductor) Valor máximo de la corriente que puede circular por un conductor, en condiciones de régimen permanente y en determinadas condiciones, sin que su temperatura supere un valor especificado.

Sobreintensidad. Corriente que supera el valor asignado. Para los conductores, el valor asignado es la capacidad de corriente admisible.

Corriente de sobrecarga (de un circuito). Sobreintensidad que se produce en un circuito eléctricamente sano.

Corriente de cortocircuito. Sobreintensidad que se produce tras un defecto de impedancia despreciable entre dos puntos y entre los cuales existe tensión en condiciones normales de funcionamiento.

Corriente convencional de funcionamiento (de un dispositivo de protección). Valor de corriente especificado que provoca la actuación del dispositivo

2 Protección de los circuitos de alimentación

de protección en un tiempo especificado, denominado tiempo convencional.

Detección de sobreintensidad. Función que permite establecer que la intensidad de corriente en un circuito supera un valor determinado en un período de tiempo especificado.

Corriente de fuga Corriente eléctrica que circula por un camino conductor indeseado.

Corriente de defecto

Corriente que se establece tras un fallo del aislamiento o cuando el aislamiento está cortocircuitado.

Sistemas de cableado

Sistema de cableado. Conjunto constituido por un cable, cables o barras y las correspondientes partes de sujeción y envolventes de protección.

Circuitos eléctricos

Circuito eléctrico (de una instalación). Conjunto de componentes de una instalación alimentada desde un mismo punto y protegida contra las sobreintensidades por un mismo dispositivo(s) de protección.

Circuito de distribución (de edificios). Circuito que alimenta un cuadro de distribución.

Circuito terminal (de edificio). Circuito conectado directamente con los aparatos utilizadores o los tomacorrientes.

Otros equipos eléctricos

Equipo eléctrico. Cada componente que se utiliza para la producción, la transformación, la transmisión, la distribución o la utilización de energía eléctrica, tales como máquinas, transformadores, equipos, instrumentos de medida, aparatos de protección, componentes para sistemas de cableado y dispositivos.

Aparato utilizador. Componente que transforma la energía eléctrica en otra forma de energía, por ejemplo luminosa, térmica y mecánica.

Aparamenta Conjunto de componentes de la instalación destinados a ser incorporados en un circuito eléctrico para realizar una o más de las siguientes funciones: protección, control, seccionamiento y conexión.

Equipo portátil Aparato que el usuario puede desplazar para su utilización o que puede mover fácilmente de un lugar a otro mientras está conectado con el circuito de alimentación.

Equipo manual Aparato utilizador (móvil) destinado para ser agarrado por la mano durante su uso corriente, en el cual el motor, si existe, forma parte integrante del mismo aparato.

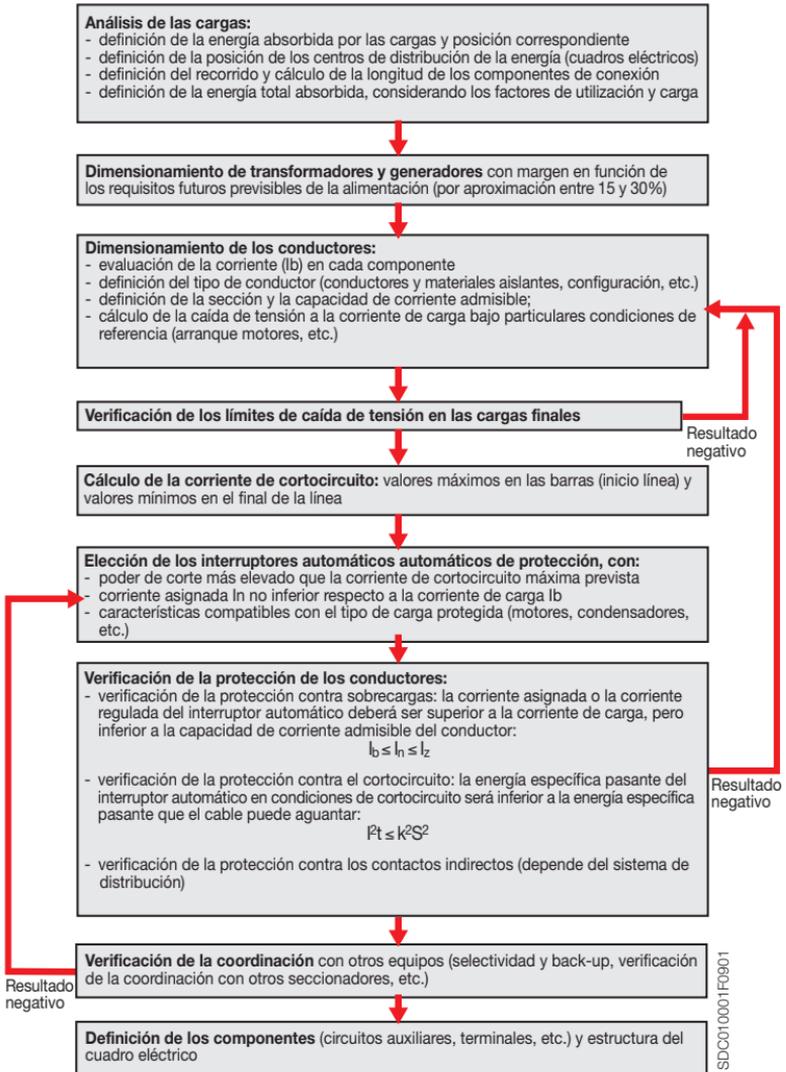
Equipo fijo Aparato utilizador fijo o aparato utilizador desprovisto de asideros para el transporte o con un peso tal como para no que no pueda ser transportado fácilmente.

Equipo fijo no transportable. Aparato utilizador sujetado con un soporte o fijado firmemente en un lugar específico.

2 Protección de los circuitos de alimentación

Dimensionamiento de la instalación

Para dimensionar correctamente una instalación, en general, se procede en base la secuencia que se describe en el siguiente diagrama de flujo.



2 Protección de los circuitos de alimentación

2.2 Instalación y dimensionamiento de los cables

Para un correcto dimensionado de un cable es necesario:

- escoger el tipo de cable y el tipo de instalación;
- escoger la sección de acuerdo con la corriente de carga;
- verificar la caída de tensión.

2.2.1 Capacidad de corriente admisible y sistemas de instalación

Elección del tipo de cable

La norma internacional referente a la instalación y al cálculo de la capacidad de corriente admisible de los cables en un entorno doméstico o industrial es la IEC 60364-5-52 Electrical installations of buildings – Part 5-52 Selection and erection of electrical equipment- Wiring systems.

Los parámetros para elegir el tipo de cable son:

- el material conductor (cobre o aluminio). La elección está sujeta a exigencias de precio, dimensiones, peso, resistencia a los ambientes agresivos (reactivos químicos o elementos oxidantes). En general, a igualdad de sección, la capacidad de corriente admisible en un conductor de cobre es aproximadamente un 30% superior a la de un conductor de aluminio. A igual sección, un conductor de aluminio tiene una resistencia de aproximadamente un 60% superior y un peso inferior (entre la mitad y un tercio del de uno de cobre);
- el material aislante (ninguno, PVC, XLPE-EPR): el material aislante conlleva una temperatura máxima distinta tanto en condiciones normales como en cortocircuito. Y en consecuencia una elección distinta de la sección (ver capítulo "Protección contra el cortocircuito);
- el tipo de conductor (conductor desnudo, cable unipolar sin cubierta, cable unipolar con cubierta, cable multipolar) se define en función de la resistencia mecánica, del grado de aislamiento y de las dificultades de colocación en obra (curvas, acoplamientos a lo largo del recorrido, presencia de barreras, etc.) requeridas por el sistema de instalación.

La Tabla 1 indica de forma resumida los tipos de conductores permitidos en función de los sistemas de instalación:

Tabla 1: Elección de los sistemas de cableado

| Conductores y cables | Sistemas de instalación | | | | | | | |
|--|-------------------------|------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|---|
| | Sin fijación | Fijación directa | Canales (incluidos de zócalo y de suelo) | Conductos de sección no circular | Bandejas deCable escalera Soportes | Sobre aisladores | Cables fijadores | |
| Conductores desnudos | - | - | - | - | - | - | - | |
| Conductores aislados | - | - | + | + | + | - | + | |
| Cables con cubierta multip. (incluidos cables armados y con aislamiento mineral) | Cable | + | + | + | + | + | 0 | + |
| | Cable unip. | 0 | + | + | + | + | 0 | + |

+ Admitido

- No admitido

0 No aplicable o no se utiliza en la práctica

2 Protección de los circuitos de alimentación

Para instalaciones tipo industrial el cable multipolar pocas veces se utiliza con secciones superiores a 95 mm².

Sistema de instalación

Para definir la capacidad de corriente admisible del conductor y, en consecuencia, identificar la sección adecuada para la corriente de carga impuesta, se deberá definir cuál, de entre los sistemas de instalación estandarizados descritos por la Norma de referencia ya mencionada, representa mejor la situación real de instalación.

Utilizando las Tablas 2 y 3 es posible determinar el número de identificación de la instalación, el método de instalación de referencia (A1, A2, B1, B2, C, D, E, F, G) y las tablas que han sido utilizadas para definir la capacidad de corriente admisible teórica del conductor, así como los eventuales factores de corrección que se necesitan para tener en cuenta las situaciones ambientales y de instalación particulares.

Tabla 2: Sistemas de instalación

| Situaciones | Sistemas de instalación | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|--------------|--|----------------------------------|--|--------------------|------------------|
| | Sin fijación | Fijación directa | Tubos | Canales (incluidas canales de zócalo y de suelo) | Conductos de sección no circular | Bandejas de Cable escalera Bandejas Soportes | Sobre a aisladores | Cables fijadores |
| Huecos de la construcción | 40, 46, 15, 16 | 0 | 15, 16 | - | 0 | 30, 31, 32, 33, 34 | - | - |
| Canal de obra | 56 | 56 | 54, 55 | 0 | 44 | 30, 31, 32, 33, 34 | - | - |
| Enterrados | 72, 73 | 0 | 70, 71 | - | 70, 71 | 0 | - | - |
| Empotrados en las estructuras | 57, 58 | 3 | 1, 2, 59, 60 | 50, 51, 52, 53 | 44, 45 | 0 | - | - |
| En montaje superficial | - | 20, 21 | 4, 5 | 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 | 6, 7, 8, 9 | 30, 31, 32, 33, 34 | 36 | - |
| Aéreo | - | - | 0 | 10, 11 | - | 30, 31, 32, 33, 34 | 36 | 35 |

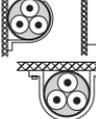
Los números que se indican en las casillas hacen alusión al n° de referencia del sistema de instalación correspondiente en la Tabla 3.

- No admitido

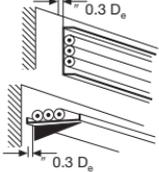
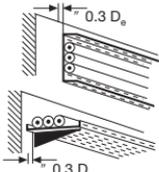
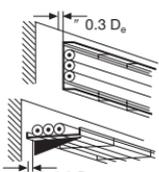
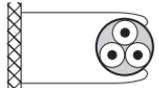
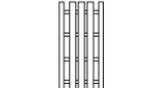
0 No aplicable o no se utiliza en la práctica

2 Protección de los circuitos de alimentación

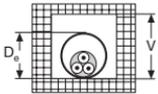
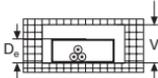
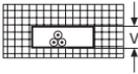
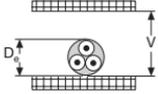
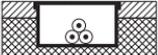
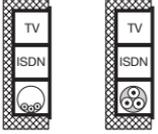
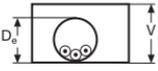
Tabla 3: Ejemplos de sistemas de instalación

| Tipo de instalación | Referencia | Descripción | Método de referencia de instalación a utilizar para obtener la capacidad de corriente admisible |
|---|------------|--|---|
|  | Room 1 | Conductores aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes | A1 |
|  | Room 2 | Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes | A2 |
|  | Room 3 | Cables multiconductores directamente en paredes térmicamente aislantes | A1 |
|  | 4 | Conductores aislados en tubos sobre pared de madera o mampostería o separados a una distancia inferior 0,3 veces el diámetro del tubo | B1 |
|  | 5 | Cables multiconductores en tubos sobre pared de madera o mampostería o separados a una distancia inferior 0,3 veces el diámetro del tubo | B2 |
|  | 6 7 | Conductores aislados o cables unipolares en conductos de sección no circular instalados sobre pared de madera – recorrido horizontal (6) – recorrido vertical (7) | B1 |
|  | 8 9 | Conductores aislados en canales para instalaciones suspendidas (8) Cables multiconductores en canales para instalaciones suspendidas (9) | B1 (8) or B2 (9) |
|  | 12 | Conductores aislados o cables unipolares en molduras | A1 |
|  | 13 14 | Conductores aislados o cables unipolares dentro de zócalos acanalados (13) Cables multiconductores dentro de zócalos acanalados (14) | B1 (13) or B2 (14) |
|  | 15 | Conductores aislados en conductos o cables uni o multiconductores dentro de los marcos de las puertas | A1 |
|  | 16 | Conductores aislados en tubos o cables uni o multiconductores, dentro de los marcos de ventanas | A1 |
|  | 20 21 | Cables uni o multipolares: – fijados sobre pared de madera o espaciados 0,3 veces el diámetro del cable (20) – fijados directamente bajo el techo de madera (21) | C |

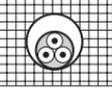
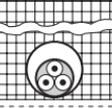
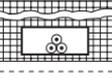
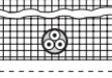
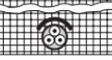
2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tipo de instalación | Referencia | Descripción | Método de referencia de instalación a utilizar para obtener la capacidad de corriente admisible |
|--|------------|---|---|
|  | 30 | Sobre bandejas no perforadas ¹ | C |
|  | 31 | Sobre bandejas perforadas ¹ | E o F |
|  | 32 | Sobre soportes ¹ | E o F |
|  | 33 | Fijadas por abrazaderas (collarines) y separadas de la pared más de 0,3 veces el diámetro del cable | E o F o G |
|  | 34 | Sobre bandejas de escalera | E o F |
|  | 35 | Cables uni o multiconductores suspendidos de un cable portador o autoportante | E o F |
|  | 36 | Conductores desnudos o aislados sobre aisladores | G |

2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tipo de instalación | Referencia | Descripción | Método de referencia de instalación a utilizar para obtener la capacidad de corriente admisible |
|--|------------|---|---|
|  | 40 | Cables uni o multiconductores en tubos dentro de huecos de obra de fábrica ² | $1.5 D_e \text{ " } V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1 |
|  | 24 | Conductores aislados en conductos de sección no circular en huecos de obra de fábrica ² | $1.5 D_e \text{ " } V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1 |
|  | 44 | Conductores aislados en conductos de sección no circular embebidos en obra de fábrica con una resistividad térmica no superior a 2 K·m/W | $1.5 D_e \text{ " } V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \text{ " } V < 50 D_e$ B1 |
|  | 46 | Cables uni o multiconductores: Single-core or multi-core cable: - en falsos techos - en techos suspendidos ¹ | $1.5 D_e \text{ " } V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \text{ " } V < 50 D_e$ B1 |
|  | 50 | Conductores aislados o cables unipolares en canales para instalaciones empotradas en el suelo | B1 |
|  | 51 | Cables multiconductores en canales para instalaciones empotradas en el suelo | B2 |
|  | 52 53 | Conductores aislados o cables unipolares en zócalos acanalados empotrados (52) Cables multipolares en zócalos acanalados empotrados (53) | B1 (52) o B2 (53) |
|  | 54 | Conductores aislados en tubos en canales de obra no ventilados, en recorrido horizontal o vertical ² | $1.5 D_e \text{ " } V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tipo de instalación | Referencia | Descripción | Método de referencia de instalación a utilizar para obtener la capacidad de corriente admisible |
|--|------------|--|---|
|  | 55 | Conductores aislados en tubos en canales de obra ventilados | B1 |
|  | 56 | Cables con cubierta uni o multiconductores en canales de obra abiertos o ventilados con recorrido horizontal o vertical | B1 |
|  | 57 | Cables uni o multiconductores empotrados directamente en paredes, cuya resistividad térmica no sea superior a 2 K·m/W, sin protección mecánica complement. | C |
|  | 58 | Cables uni o multiconductores empotrados directamente en paredes, cuya resistividad térmica no sea superior a 2 K·m/W, con protección mecánica complement. | C |
|  | 59 | Conductores aislados en conductos empotrados en pared de obra | B1 |
|  | 60 | Cables multiconductores en conductos empotrados en pared de obra | B2 |
|  | 70 | Cables multiconductores en tubo o en conducto de cables en el terreno | D |
|  | 71 | Cables unipolares en tubo o en conducto de cables en el terreno | D |
|  | 72 | Cables uni o multipolares con cubierta directamente en el terreno - sin protección mecánica complementaria | D |
|  | 73 | Cables uni o multipolares con cubierta directamente en el terreno - con protección mecánica complementaria | D |

¹D_e es el diámetro externo del cable multiconductor:

- 2,2 x el diámetro del cable cuando los tres cables unipolares están colocados en trefil, o

- 3 x el diámetro del cable cuando los tres cables unipolares están colocados en plano.

²D_e es el diámetro externo del tubo o la altura del conducto.

V es la mínima dimensión o diámetro del hueco de la construcción.

La profundidad de un hueco es más importante que su anchura.

1SDC010003F0201

2 Protección de los circuitos de alimentación

Instalación no enterrada: elección de la sección en función de la capacidad de corriente admisible del cable y los sistemas de instalación

La capacidad de corriente admisible de un cable no enterrado se obtiene a través de la siguiente relación:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 = I_0 k_{\text{tot}}$$

donde:

- I_0 es la capacidad de corriente admisible al aire a 30 °C del conductor individual
- k_1 es el factor de corrección que debe aplicarse si la temperatura ambiente es diferente de 30 °C
- k_2 es el factor de corrección para los cables instalados en haz o en capas, o para cables instalados en capa sobre diversos soportes.

Factor de corrección k_1

La capacidad de corriente admisible de los cables no enterrados se refiere a una temperatura ambiente de referencia de 30 °C. Si la temperatura ambiente del lugar de instalación es distinta de la de referencia, se deberá utilizar el factor de corrección k_1 que se indica en la Tabla 4, en función del tipo de material aislante.

Tabla 4: Factor de corrección para temperatura ambiente diversa de 30°C

| Temperatura ambiente ^(a) °C | Aislamiento | | | |
|---|------------------------------------|------------|---|---|
| | Aislamiento mineral ^(a) | | | |
| | PVC | XLPE y EPR | Cable desnudo o recubierto de PVC expuesto a contacto 70 °C | Cable desnudo no expuesto a contacto 105 °C |
| 10 | 1.22 | 1.15 | 1.26 | 1.14 |
| 15 | 1.17 | 1.12 | 1.20 | 1.11 |
| 20 | 1.12 | 1.08 | 1.14 | 1.07 |
| 25 | 1.06 | 1.04 | 1.07 | 1.04 |
| 35 | 0.94 | 0.96 | 0.93 | 0.96 |
| 40 | 0.87 | 0.91 | 0.85 | 0.92 |
| 45 | 0.79 | 0.87 | 0.87 | 0.88 |
| 50 | 0.71 | 0.82 | 0.67 | 0.84 |
| 55 | 0.61 | 0.76 | 0.57 | 0.80 |
| 60 | 0.50 | 0.71 | 0.45 | 0.75 |
| 65 | – | 0.65 | – | 0.70 |
| 70 | – | 0.58 | – | 0.65 |
| 75 | – | 0.50 | – | 0.60 |
| 80 | – | 0.41 | – | 0.54 |
| 85 | – | – | – | 0.47 |
| 90 | – | – | – | 0.40 |
| 95 | – | – | – | 0.32 |

(a) Para temperaturas ambiente más elevadas, consultar al fabricante.

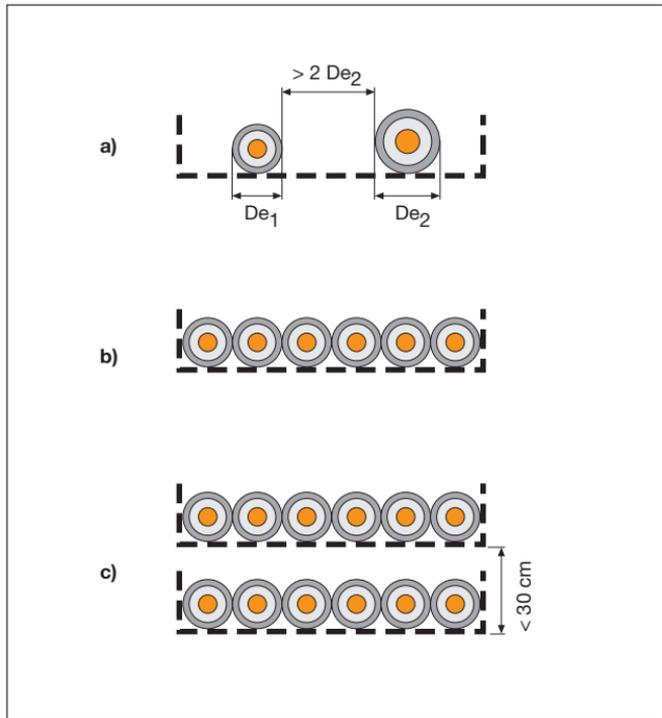
2 Protección de los circuitos de alimentación

Factor de corrección k_2

La capacidad de corriente admisible de un cable queda influenciada por la presencia de otros cables instalados en las cercanías. Las condiciones de disipación de calor son distintas si el cable está solo o está instalado junto a otros. El factor k_2 ha sido indicado en la tabla en función de la instalación para cables instalados cercanos entre ellos, en capa o en haz.

Por capa o haz se entiende:

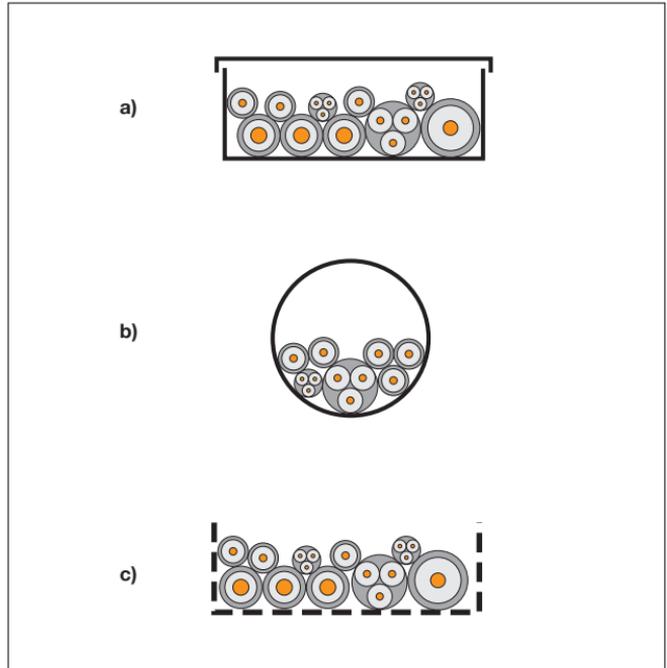
capa: conjunto de diversos circuitos realizados con cables instalados adyacentes, espaciados o no, dispuestos en horizontal o en vertical. Los cables en capa se instalan en paredes, bandejas, techos, suelos o bandejas de escalera;



Cables en capas: a) espaciados; b) no espaciados; c) doble capa.

haz: conjunto de diversos circuitos realizados con cables no espaciados y no instalados en capa; diversas capas superpuestas en un único soporte (por ej. bandejas) se consideran un haz.

2 Protección de los circuitos de alimentación



Cables en haz: a) en canales; b) en tubos; c) en bandejas perforadas.

El factor de corrección k_2 tiene un valor unitario cuando:

- los cables están espaciados:
 - dos cables unipolares, pertenecientes a circuitos distintos, están espaciados cuando la distancia entre ellos supera dos veces el diámetro exterior del cable de mayor sección;
 - dos cables multipolares están espaciados cuando la distancia entre ellos es por lo menos igual al diámetro exterior del cable más grande;
- los cables adyacentes están cargados hasta máximo el 30% de su capacidad de corriente admisible.

Los factores de corrección para cables en haz o en capa han sido calculados suponiendo que los haces estén constituidos por cables similares y uniformemente cargados. Un grupo de cables se considera constituido por cables similares cuando el cálculo de la capacidad de corriente admisible se basa sobre la misma temperatura máxima admisible de funcionamiento y cuando la variación de la sección de los conductores está incluida entre tres secciones adyacentes unificadas (por ejemplo, entre 10 y 25 mm²).

El cálculo de los factores de reducción para haces que contienen cables con secciones diferentes depende del número total de cables y de sus secciones; dichos factores no han sido tabulados pero deben calcularse por cada haz o capa.

2 Protección de los circuitos de alimentación

El factor de reducción para un grupo que contiene diferentes secciones de conductores aislados o cables en tubos, en canales o en conductos de sección no circular es:

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

donde:

- k_2 es el factor de reducción de grupo
- n es el número de circuitos del haz.

El factor de reducción calculado de esta forma limita el peligro de sobrecarga para los cables de sección más pequeña, pero puede causar la sub-utilización de los cables de sección superior; es posible evitarlo no instalando cables de sección muy diferente en el mismo grupo.

En las siguientes tablas se indican los coeficientes de reducción (k_2).

Tabla 5: Factor de reducción para cables agrupados

| Posi- cion | Disposición (cables en contacto) | Número de circuitos o cables multipolares | | | | | | | | | | | | A utilizar con métodos de ref. y capacidad de corriente admisible |
|---------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 | 20 | |
| 1 | Agrupados en haz, en una superficie, empotrados o encerrados | 1.00 | 0.80 | 0.70 | 0.65 | 0.60 | 0.57 | 0.54 | 0.52 | 0.50 | 0.45 | 0.41 | 0.38 | Métodos A a F |
| 2 | Capa única en pared, suelo o bandeja no perforada | 1.00 | 0.85 | 0.79 | 0.75 | 0.73 | 0.72 | 0.72 | 0.71 | 0.70 | | | | |
| 3 | Capa única fijada directamente bajo el techo de madera | 0.95 | 0.81 | 0.72 | 0.68 | 0.66 | 0.64 | 0.63 | 0.62 | 0.61 | Ningún ulterior factor de reducción | | | Método C |
| 4 | Capa única en bandeja perforada horizontal o vertical | 1.00 | 0.88 | 0.82 | 0.77 | 0.75 | 0.73 | 0.73 | 0.72 | 0.72 | para más de nueve circuitos o cables | | | |
| 5 | Capa única en bandeja de escalera o engrapada a un soporte | 1.00 | 0.87 | 0.82 | 0.80 | 0.80 | 0.79 | 0.79 | 0.78 | 0.78 | multipolares | | | Métodos E y F |

Nota 1: Estos factores pueden aplicarse para haz o capa de cables similares, uniformemente carg

Nota 2: Donde las distancias horizontales entre cables adyacentes, pertenecientes a circuitos dive veces el diámetro exterior del cable de sección superior, no hace falta aplicar el factor de corrección.

Nota 3: Pueden aplicarse los mismos factores para:

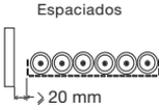
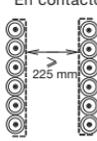
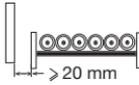
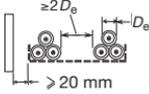
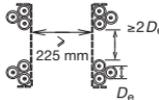
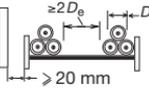
- circuitos de cables unipolares;
- cables multipolares.

Nota 4: Si un sistema consta tanto de cables bipolares como de cables tripolares, el número de cables se toma como el número de los circuitos y el correspondiente factor se aplica a las tablas para dos conductores cargados para los cables bipolares y a la tabla para tres conductores cargados para cables tripolares.

Nota 5: Si un haz o capa consta de n cables unipolares cargados, pueden considerarse como $n/2$ circuitos de dos conductores cargados, o $n/3$ circuitos de tres conductores cargados.

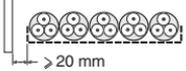
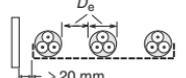
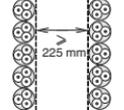
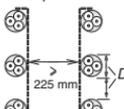
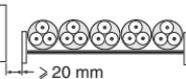
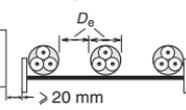
2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 6: Factor de reducción para cables unipolares con sistemas de instalación tipo F

| Sistemas de instalación en Tabla 3 | | | Número de bandejas | Número de circuitos trifásicos (Nota 4) | | | Utilizado para |
|---|----|--|--------------------|---|------|------|----------------------------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | |
| Bandejas perforadas (Nota 1) | 31 |  <p>Espaciados $> 20 \text{ mm}$</p> | 1 | 0.98 | 0.91 | 0.87 | 3 cables en formación horizontal |
| | | | 2 | 0.96 | 0.87 | 0.81 | |
| | | | 3 | 0.95 | 0.85 | 0.78 | |
| Bandejas verticales perforadas (Nota 3) | 31 |  <p>En contacto $> 225 \text{ mm}$</p> | 1 | 0.96 | 0.86 | – | 3 cables en formación vertical |
| | | | 2 | 0.95 | 0.84 | – | |
| Bandejas de escalera, elemento de soporte, etc. (Nota 2) | 32 |  <p>En contacto $> 20 \text{ mm}$</p> | 1 | 1.00 | 0.97 | 0.96 | 3 cables en formación horizontal |
| | 33 | | 2 | 0.98 | 0.93 | 0.89 | |
| | 34 | | 3 | 0.97 | 0.90 | 0.86 | |
| Bandejas perforadas (Nota 1) | 31 |  <p>En contacto $\geq 2D_e$ $> 20 \text{ mm}$</p> | 1 | 1.00 | 0.98 | 0.96 | |
| | | | 2 | 0.97 | 0.93 | 0.89 | |
| | | | 3 | 0.96 | 0.92 | 0.86 | |
| Bandejas verticales perforadas (Nota 3) | 31 |  <p>Espaciados $\geq 2D_e$ $> 225 \text{ mm}$</p> | 1 | 1.00 | 0.91 | 0.89 | 3 cables en formación en trebol |
| | | | 2 | 1.00 | 0.90 | 0.86 | |
| Bandejas de escalera, elemento de soporte, etc. (Nota 2) | 32 |  <p>En contacto $\geq 2D_e$ $> 20 \text{ mm}$</p> | 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| | 33 | | 2 | 0.97 | 0.95 | 0.93 | |
| | 34 | | 3 | 0.96 | 0.94 | 0.90 | |
| <p>Nota 1: Los factores se facilitan por cada capa de cables (o agrupados en trebol), tal y como se indica en la tabla y no pueden aplicarse en el caso de cables instalados en más de una capa en contacto. Los valores para estos sistemas de instalación pueden ser mucho más bajos y deben determinarse con un método apropiado.</p> <p>Nota 2: Los valores referentes a las distancias verticales entre las bandejas de 300 mm. Para distancias verticales inferiores, los factores deberían ser reducidos.</p> <p>Nota 3: Los valores referentes a las distancias horizontales entre las bandejas de 225 mm, con bandejas montadas dorso a dorso. Para distancias inferiores, los factores deberían ser reducidos.</p> <p>Nota 4: Para circuitos que tienen más de un cable en paralelo por fase, cada grupo de tres conductores debería considerarse como un circuito según la presente tabla.</p> | | | | | | | |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 7: Factor de reducción para cables multipolares con sistemas de instalación tipo E

| Sistemas de instalación en Tabla 3 | | | Número de bandejas | Número de cables | | | | | | | |
|---|--|---|--------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | | |
| Bandejas perforadas (Nota 1) | 31 | en contacto | 1 | 1.00 | 0.88 | 0.82 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | | |
| | |  | 2 | 1.00 | 0.87 | 0.80 | 0.77 | 0.73 | 0.68 | | |
| | | | 3 | 1.00 | 0.86 | 0.79 | 0.76 | 0.71 | 0.66 | | |
| | | espaciados | 1 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.95 | 0.91 | - | | |
| | |  | 2 | 1.00 | 0.99 | 0.96 | 0.92 | 0.87 | - | | |
| | | | 3 | 1.00 | 0.98 | 0.95 | 0.91 | 0.85 | - | | |
| Bandejas verticales perforadas (Nota 3) | 31 | en contacto | 1 | 1.00 | 0.88 | 0.82 | 0.78 | 0.73 | 0.72 | | |
| | |  | 2 | 1.00 | 0.88 | 0.81 | 0.76 | 0.71 | 0.70 | | |
| | | espaciados | 1 | 1.00 | 0.91 | 0.89 | 0.88 | 0.87 | - | | |
| | |  | 2 | 1.00 | 0.91 | 0.88 | 0.87 | 0.85 | - | | |
| | | Bandejas de escalera, elemento de soporte, etc. (Nota 2) | 32 | en contacto | 1 | 1.00 | 0.87 | 0.82 | 0.80 | 0.79 | 0.78 |
| | | | |  | 2 | 1.00 | 0.86 | 0.80 | 0.78 | 0.76 | 0.73 |
| | 3 | | | 1.00 | 0.85 | 0.79 | 0.76 | 0.73 | 0.70 | | |
| 34 | espaciados | | 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | - | | |
| |  | | 2 | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | - | | |
| | | | 3 | 1.00 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.93 | - | | |

Nota 1 Los factores aplican a grupos de cables instalados en capa única tal como se ve en la figura y no aplican para más de una capa. Los valores para más de una capa pueden ser significativamente inferiores y deben ser determinados por un método apropiado.

Nota 2: Los valores referentes a las distancias verticales entre las bandejas de 300 mm. Para distancias verticales inferiores, los factores deberían ser reducidos.

Nota 3: Los valores referentes a las distancias horizontales entre las bandejas de 225 mm, con bandejas montadas dorso a dorso. Para distancias inferiores, los factores deberían ser reducidos.

2 Protección de los circuitos de alimentación

En resumen:

Para determinar la sección del cable se debe proceder de la siguiente manera:

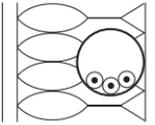
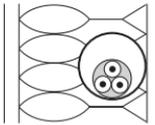
1. identificar el método de instalación en la Tabla 3;
2. determinar a través de la Tabla 4 el factor de corrección k_1 en función del aislante y de la temperatura ambiente;
3. determinar, a través de la Tabla 5 para cables instalados en capa o haz, la Tabla 6 para cables unipolares en capa sobre diversos soportes y la Tabla 7 para cables multipolares en capa sobre diversos soportes o utilizando la fórmula indicada en el caso de grupos de cables no similares, el factor de corrección k_2 en función del número de circuitos o cables multipolares;
4. obtener el valor de la corriente I'_b dividiendo la corriente de empleo I_b (o la corriente asignada del dispositivo de protección) por el producto de los factores de corrección que acaban de calcularse:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}}$$

5. a través de la Tabla 8 o la Tabla 9, en función del método de instalación, del aislante y del número de conductores activos, se determina la sección del cable con capacidad de corriente admisible $I_0 \geq I'_b$;
6. se calcula la capacidad de corriente admisible efectiva del cable como $I_z = I_0 k_1 k_2$.

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 8: Capacidad de corriente admisible de los cables con aislamiento en PVC o EPR/XLPE (método A-B-C)

| Método de instalación | A1 | | | | | | | | A2 | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|-----|------|------|----------|-----|------|------|----------|------|------|------|----------|-----|------|------|----------|-----|
| |   | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Cu | | | | Al | | | | Cu | | | | Al | | | | Cu | |
| Aislamiento | XLPE EPR | | PVC | | XLPE EPR | | PVC | | XLPE EPR | | PVC | | XLPE EPR | | PVC | | XLPE EPR | |
| | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| S[mm²] | Conductores cargados | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 19 | 17 | 14.5 | 13.5 | | | | | 18.5 | 16.5 | 14 | 13 | | | | | 23 | 20 |
| 2.5 | 26 | 23 | 19.5 | 18 | 20 | 19 | 14.5 | 14 | 25 | 22 | 18.5 | 17.5 | 19.5 | 18 | 14.5 | 13.5 | 31 | 28 |
| 4 | 35 | 31 | 26 | 24 | 27 | 25 | 20 | 18.5 | 33 | 30 | 25 | 23 | 26 | 24 | 20 | 17.5 | 42 | 37 |
| 6 | 45 | 40 | 34 | 31 | 35 | 32 | 26 | 24 | 42 | 38 | 32 | 29 | 33 | 31 | 25 | 23 | 54 | 48 |
| 10 | 61 | 54 | 46 | 42 | 48 | 44 | 36 | 32 | 57 | 51 | 43 | 39 | 45 | 41 | 33 | 31 | 75 | 66 |
| 16 | 81 | 73 | 61 | 56 | 64 | 58 | 48 | 43 | 76 | 68 | 57 | 52 | 60 | 55 | 44 | 41 | 100 | 88 |
| 25 | 106 | 95 | 80 | 73 | 84 | 76 | 63 | 57 | 99 | 89 | 75 | 68 | 78 | 71 | 58 | 53 | 133 | 117 |
| 35 | 131 | 117 | 99 | 89 | 103 | 94 | 77 | 70 | 121 | 109 | 92 | 83 | 96 | 87 | 71 | 65 | 164 | 144 |
| 50 | 158 | 141 | 119 | 108 | 125 | 113 | 93 | 84 | 145 | 130 | 110 | 99 | 115 | 104 | 86 | 78 | 198 | 175 |
| 70 | 200 | 179 | 151 | 136 | 158 | 142 | 118 | 107 | 183 | 164 | 139 | 125 | 145 | 131 | 108 | 98 | 253 | 222 |
| 95 | 241 | 216 | 182 | 164 | 191 | 171 | 142 | 129 | 220 | 197 | 167 | 150 | 175 | 157 | 130 | 118 | 306 | 269 |
| 120 | 278 | 249 | 210 | 188 | 220 | 197 | 164 | 149 | 253 | 227 | 192 | 172 | 201 | 180 | 150 | 135 | 354 | 312 |
| 150 | 318 | 285 | 240 | 216 | 253 | 226 | 189 | 170 | 290 | 259 | 219 | 196 | 230 | 206 | 172 | 155 | | |
| 185 | 362 | 324 | 273 | 245 | 288 | 256 | 215 | 194 | 329 | 295 | 248 | 223 | 262 | 233 | 195 | 176 | | |
| 240 | 424 | 380 | 321 | 286 | 338 | 300 | 252 | 227 | 386 | 346 | 291 | 261 | 307 | 273 | 229 | 207 | | |
| 300 | 486 | 435 | 367 | 328 | 387 | 344 | 289 | 261 | 442 | 396 | 334 | 298 | 352 | 313 | 263 | 237 | | |
| 400 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 630 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2 Protección de los circuitos de alimentación

| B1 | | | | | | B2 | | | | | | C | | | | | | | | | |
|----------|------|----------|-----|----------|------|----------|------|----------|-----|----------|-----|----------|------|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PVC | | Al | | PVC | | Cu | | Al | | PVC | | Cu | | Al | | | | | | | |
| XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE/EPR | PVC | | | | | | |
| 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | | | | |
| 17.5 | 15.5 | | | | | 22 | 19.5 | 16.5 | 15 | | | 24 | 22 | 19.5 | 17.5 | | | | | | |
| 24 | 21 | 25 | 22 | 18.5 | 16.5 | 30 | 26 | 23 | 20 | 23 | 21 | 17.5 | 15.5 | 33 | 30 | 27 | 24 | 26 | 24 | 21 | 18.5 |
| 32 | 28 | 33 | 29 | 25 | 22.0 | 40 | 35 | 30 | 27 | 31 | 28 | 24 | 21 | 45 | 40 | 36 | 32 | 35 | 32 | 28 | 25 |
| 41 | 36 | 43 | 38 | 32 | 28 | 51 | 44 | 38 | 34 | 40 | 35 | 30 | 27.0 | 58 | 52 | 46 | 41 | 45 | 41 | 36 | 32 |
| 57 | 50 | 59 | 52 | 44 | 39 | 69 | 60 | 52 | 46 | 54 | 48 | 41 | 36 | 80 | 71 | 63 | 57 | 62 | 57 | 49 | 44 |
| 76 | 68 | 79 | 71 | 60 | 53 | 91 | 80 | 69 | 62 | 72 | 64 | 54 | 48 | 107 | 96 | 85 | 76 | 84 | 76 | 66 | 59 |
| 101 | 89 | 105 | 93 | 79 | 70 | 119 | 105 | 90 | 80 | 94 | 84 | 71 | 62 | 138 | 119 | 112 | 96 | 101 | 90 | 83 | 73 |
| 125 | 110 | 130 | 116 | 97 | 86 | 146 | 128 | 111 | 99 | 115 | 103 | 86 | 77 | 171 | 147 | 138 | 119 | 126 | 112 | 103 | 90 |
| 151 | 134 | 157 | 140 | 118 | 104 | 175 | 154 | 133 | 118 | 138 | 124 | 104 | 92 | 209 | 179 | 168 | 144 | 154 | 136 | 125 | 110 |
| 192 | 171 | 200 | 179 | 150 | 133 | 221 | 194 | 168 | 149 | 175 | 156 | 131 | 116 | 269 | 229 | 213 | 184 | 198 | 174 | 160 | 140 |
| 232 | 207 | 242 | 217 | 181 | 161 | 265 | 233 | 201 | 179 | 210 | 188 | 157 | 139 | 328 | 278 | 258 | 223 | 241 | 211 | 195 | 170 |
| 269 | 239 | 281 | 251 | 210 | 186 | 305 | 268 | 232 | 206 | 242 | 216 | 181 | 160 | 382 | 322 | 299 | 259 | 280 | 245 | 226 | 197 |
| | | | | | | | | | | | | | | 441 | 371 | 344 | 299 | 324 | 283 | 261 | 227 |
| | | | | | | | | | | | | | | 506 | 424 | 392 | 341 | 371 | 323 | 298 | 259 |
| | | | | | | | | | | | | | | 599 | 500 | 461 | 403 | 439 | 382 | 352 | 305 |
| | | | | | | | | | | | | | | 693 | 576 | 530 | 464 | 508 | 440 | 406 | 351 |

1SD0010006F0201

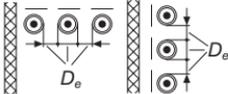
2

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 9: Capacidad de corriente admisible de los cables con aislamiento en PVC o EPR/XLPE (método E-F-G)

| | Método de instalación | E | | | | | | | | F | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|---|-----|----------|-----|---|-----|----------|------|---|------|----------|-----|---|-----|----------|-----|--|
| | |  | | | |  | | | |  | | | |  | | | | |
| | | Cu | | Al | | Cu | | Al | | Cu | | Al | | Cu | | Al | | |
| Aislamiento | | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | |
| S[mm ²] | Conductores cargados | 2 | | | | 3 | | | | 2 | | | | 3 | | | | |
| | | 1.5 | | 26 | 22 | | | 23 | 18.5 | | | | | | | | | |
| 2.5 | | 36 | 30 | 28 | 23 | 32 | 2 | 24 | 19.5 | | | | | | | | | |
| 4 | | 49 | 40 | 38 | 31 | 42 | 34 | 32 | 26 | | | | | | | | | |
| 6 | | 63 | 51 | 49 | 39 | 54 | 43 | 42 | 33 | | | | | | | | | |
| 10 | | 86 | 70 | 67 | 54 | 75 | 60 | 58 | 46 | | | | | | | | | |
| 16 | | 115 | 94 | 91 | 73 | 100 | 80 | 77 | 61 | | | | | | | | | |
| 25 | | 149 | 119 | 108 | 89 | 127 | 101 | 97 | 78 | 161 | 131 | 121 | 98 | 13 | 110 | 103 | 84 | |
| 35 | | 185 | 148 | 135 | 111 | 158 | 126 | 120 | 96 | 200 | 162 | 150 | 122 | 169 | 137 | 129 | 105 | |
| 50 | | 225 | 180 | 164 | 135 | 192 | 153 | 146 | 117 | 242 | 196 | 184 | 149 | 207 | 167 | 159 | 128 | |
| 70 | | 289 | 232 | 211 | 173 | 246 | 196 | 187 | 150 | 310 | 251 | 237 | 192 | 268 | 216 | 206 | 166 | |
| 95 | | 352 | 282 | 257 | 210 | 298 | 238 | 227 | 183 | 377 | 304 | 289 | 235 | 328 | 264 | 253 | 203 | |
| 120 | | 410 | 328 | 300 | 244 | 346 | 276 | 263 | 212 | 437 | 352 | 337 | 273 | 383 | 308 | 296 | 237 | |
| 150 | | 473 | 379 | 346 | 282 | 399 | 319 | 304 | 245 | 504 | 406 | 389 | 316 | 444 | 356 | 343 | 274 | |
| 185 | | 542 | 434 | 397 | 322 | 456 | 364 | 347 | 280 | 575 | 463 | 447 | 363 | 510 | 409 | 395 | 315 | |
| 240 | | 641 | 514 | 470 | 380 | 538 | 430 | 409 | 330 | 679 | 546 | 530 | 430 | 607 | 485 | 471 | 375 | |
| 300 | | 741 | 593 | 543 | 439 | 621 | 497 | 471 | 381 | 783 | 629 | 613 | 497 | 703 | 561 | 547 | 434 | |
| 400 | | | | | | | | | | 940 | 754 | 740 | 600 | 823 | 656 | 663 | 526 | |
| 500 | | | | | | | | | | 1083 | 868 | 856 | 694 | 946 | 749 | 770 | 610 | |
| 630 | | | | | | | | | | 1254 | 1005 | 996 | 808 | 1088 | 855 | 899 | 711 | |

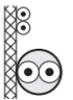
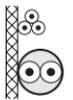
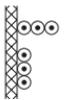
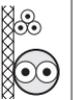
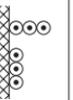
2 Protección de los circuitos de alimentación

| | | | | G | | | | | | | |
|--|-----|----------|-----|---|------|----------|------|----------|------|----------|-----|
|  | | | |  | | | | | | | |
| Cu | | Al | | Cu | | | | Al | | | |
| XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR | PVC |
| 3 | | | | 3H | 3V | 3H | 3V | 3H | 3V | 3H | 3V |
| 141 | 114 | 107 | 87 | 182 | 161 | 146 | 130 | 138 | 122 | 112 | 99 |
| 176 | 143 | 135 | 109 | 226 | 201 | 181 | 162 | 172 | 153 | 139 | 124 |
| 216 | 174 | 165 | 133 | 275 | 246 | 219 | 197 | 210 | 188 | 169 | 152 |
| 279 | 225 | 215 | 173 | 353 | 318 | 281 | 254 | 271 | 244 | 217 | 196 |
| 342 | 275 | 264 | 212 | 430 | 389 | 341 | 311 | 332 | 300 | 265 | 241 |
| 400 | 321 | 308 | 247 | 500 | 454 | 396 | 362 | 387 | 351 | 308 | 282 |
| 464 | 372 | 358 | 287 | 577 | 527 | 456 | 419 | 448 | 408 | 356 | 327 |
| 533 | 427 | 413 | 330 | 661 | 605 | 521 | 480 | 515 | 470 | 407 | 376 |
| 634 | 507 | 492 | 392 | 781 | 719 | 615 | 569 | 611 | 561 | 482 | 447 |
| 736 | 587 | 571 | 455 | 902 | 833 | 709 | 659 | 708 | 652 | 557 | 519 |
| 868 | 689 | 694 | 552 | 1085 | 1008 | 852 | 795 | 856 | 792 | 671 | 629 |
| 998 | 789 | 806 | 640 | 1253 | 1169 | 982 | 920 | 991 | 921 | 775 | 730 |
| 1151 | 905 | 942 | 746 | 1454 | 1362 | 1138 | 1070 | 1154 | 1077 | 900 | 852 |

TSDC010100F0201

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 10: Capacidad de corriente admisible de los cables con aislamiento mineral

| | Método de instalación | C | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|--|-----|--|
| | | Cubierta metálica temperatura 70 °C | | | Cubierta metálica temperatura 105 °C | | | Cubierta metálica temperatura | | |
| | | Cable recubierto en PVC o desnudo expuesto a contacto | | | Cable desnudo no expuesto a contacto | | | Cable recubierto en PVC o desnudo expuesto a contacto | | |
| Conductores cargados |  |  |  |  |  |  |  |  | | |
| | S(mm ²) | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | |
| 500 V | 1.5 | 23 | 19 | 21 | 28 | 24 | 27 | 25 | 21 | |
| | 2.5 | 31 | 26 | 29 | 38 | 33 | 36 | 33 | 28 | |
| | 4 | 40 | 35 | 38 | 51 | 44 | 47 | 44 | 37 | |
| | 6 | 57 | 48 | 52 | 70 | 59 | 67 | 60 | 51 | |
| 750 V | 1.5 | 25 | 21 | 23 | 31 | 26 | 30 | 26 | 22 | |
| | 2.5 | 34 | 28 | 31 | 42 | 35 | 41 | 36 | 30 | |
| | 4 | 45 | 37 | 41 | 55 | 47 | 53 | 47 | 40 | |
| | 6 | 57 | 48 | 52 | 70 | 59 | 67 | 60 | 51 | |
| | 10 | 77 | 65 | 70 | 96 | 81 | 91 | 82 | 69 | |
| | 16 | 102 | 86 | 92 | 127 | 107 | 119 | 109 | 92 | |
| | 25 | 133 | 112 | 120 | 166 | 140 | 154 | 142 | 120 | |
| | 35 | 163 | 137 | 147 | 203 | 171 | 187 | 174 | 147 | |
| | 50 | 202 | 169 | 181 | 251 | 212 | 230 | 215 | 182 | |
| | 70 | 247 | 207 | 221 | 307 | 260 | 280 | 264 | 223 | |
| | 95 | 296 | 249 | 264 | 369 | 312 | 334 | 317 | 267 | |
| | 120 | 340 | 286 | 303 | 424 | 359 | 383 | 364 | 308 | |
| 150 | 388 | 327 | 346 | 485 | 410 | 435 | 416 | 352 | | |
| 185 | 440 | 371 | 392 | 550 | 465 | 492 | 472 | 399 | | |
| 240 | 514 | 434 | 457 | 643 | 544 | 572 | 552 | 466 | | |

Notas: Para los cables unipolares, las cubiertas de los cables del circuito están conectadas juntas por ambos extremos.

Para cables desnudos expuestos al toque, los valores deberían multiplicarse por 0,9.

D_e es el diámetro exterior del cable.

Con la temperatura de la cubierta metálica de 105 °C, no hace falta aplicar factor de corrección alguno por agrupamiento

2 Protección de los circuitos de alimentación

| E o F | | | | G | | | |
|-------|--------------------------------------|-----|-----|---|-----|--------------------------------------|-----|
| 70 °C | Cubierta metálica temperatura 105 °C | | | Cubierta metálica temperatura 70 °C | | Cubierta metálica temperatura 105 °C | |
| | Cable desnudo no expuesto a contacto | | | Cable recubierto en PVC o desnudo expuesto a contacto | | Cable desnudo no expuesto a contacto | |
| | | | | | | | |
| 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 23 | 31 | 26 | 29 | 26 | 29 | 33 | 37 |
| 31 | 41 | 35 | 39 | 34 | 39 | 43 | 49 |
| 41 | 54 | 46 | 51 | 45 | 51 | 56 | 64 |
| 26 | 33 | 28 | 32 | 28 | 32 | 35 | 40 |
| 34 | 45 | 38 | 43 | 37 | 43 | 47 | 54 |
| 45 | 60 | 50 | 56 | 49 | 56 | 61 | 70 |
| 57 | 76 | 64 | 71 | 62 | 71 | 78 | 89 |
| 77 | 104 | 87 | 96 | 84 | 95 | 105 | 120 |
| 102 | 137 | 115 | 127 | 110 | 125 | 137 | 157 |
| 132 | 179 | 150 | 164 | 142 | 162 | 178 | 204 |
| 161 | 220 | 184 | 200 | 173 | 197 | 216 | 248 |
| 198 | 272 | 228 | 247 | 213 | 242 | 266 | 304 |
| 241 | 333 | 279 | 300 | 259 | 294 | 323 | 370 |
| 289 | 400 | 335 | 359 | 309 | 351 | 385 | 441 |
| 331 | 460 | 385 | 411 | 353 | 402 | 441 | 505 |
| 377 | 526 | 441 | 469 | 400 | 454 | 498 | 565 |
| 426 | 596 | 500 | 530 | 446 | 507 | 557 | 629 |
| 496 | 697 | 584 | 617 | 497 | 565 | 624 | 704 |

1SDC010007F0201

2 Protección de los circuitos de alimentación

Instalación en el terreno: elección de la sección en función de la capacidad de corriente admisible y los sistemas de instalación

La capacidad de corriente admisible de un cable enterrado se obtiene a través de la siguiente relación:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3 = I_0 k_{tot}$$

donde:

- I_0 es la capacidad de corriente admisible ordinaria de cada conductor para instalación en el terreno a 20 °C
- k_1 es el factor de corrección que debe aplicarse si la temperatura del terreno es diferente de 20 °C;
- k_2 es el factor de corrección para los cables adyacentes;
- k_3 es factor de corrección que debe aplicarse si la resistividad térmica del terreno es diferente del valor de referencia de 2,5 Km/W.

Factor de corrección k_1

La capacidad de corriente admisible de los cables enterrados se refiere a una temperatura del terreno de 20 °C. Si la temperatura del terreno es diferente, deberá aplicarse el factor de corrección k_1 que se indica en la Tabla 10 en función del material aislante.

Tabla 11: Factor de corrección para temperatura ambiente del terreno diferente de 20°C

| Temperatura del terreno °C | Aislamiento | |
|-------------------------------|-------------|------------|
| | PVC | XLPE e EPR |
| 10 | 1.10 | 1.07 |
| 15 | 1.05 | 1.04 |
| 25 | 0.95 | 0.96 |
| 30 | 0.89 | 0.93 |
| 35 | 0.84 | 0.89 |
| 40 | 0.77 | 0.85 |
| 45 | 0.71 | 0.80 |
| 50 | 0.63 | 0.76 |
| 55 | 0.55 | 0.71 |
| 60 | 0.45 | 0.65 |
| 65 | – | 0.60 |
| 70 | – | 0.53 |
| 75 | – | 0.46 |
| 80 | – | 0.38 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Factor de corrección k_2

La capacidad de corriente admisible de un cable se ve influenciada por la presencia de otros cables instalados en las cercanías. Las condiciones de disipación de calor son distintas si el cable está solo o está instalado junto a otros. El factor de corrección k_2 se obtiene de la siguiente relación:

$$k_2 = k_2' \cdot k_2''$$

En las Tablas 12, 13 y 14 se indican los valores del factor k_2' para cables unipolares y multipolares directamente enterrados o en tubos enterrados, en función de la distancia de otros cables o entre los conductos.

Tabla 12: Factor de reducción para cables instalados directamente en el terreno

| Número de circuitos | Distancia de cable a cable (a) | | | | |
|---------------------|--------------------------------|----------------------|---------|--------|-------|
| | Nula (cables en contacto) | Un diámetro de cable | 0.125 m | 0.25 m | 0.5 m |
| 2 | 0.75 | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.90 |
| 3 | 0.65 | 0.70 | 0.75 | 0.80 | 0.85 |
| 4 | 0.60 | 0.60 | 0.70 | 0.75 | 0.80 |
| 5 | 0.55 | 0.55 | 0.65 | 0.70 | 0.80 |
| 6 | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |

Cables multipolares



Cables unipolares



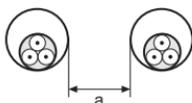
NOTA: Los valores facilitados se refieren a una profundidad de instalación de 0.7 m y a una resistividad térmica del terreno de 2.5 K-m/W

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 13: Factor de reducción para cables multipolares en tubos enterrados

| Número de circuitos | Distancia de cable a cable (a) | | | |
|---------------------|--------------------------------|--------|-------|-------|
| | Nula (cables en contacto) | 0.25 m | 0.5 m | 1.0 m |
| 2 | 0.85 | 0.90 | 0.95 | 0.95 |
| 3 | 0.75 | 0.85 | 0.90 | 0.95 |
| 4 | 0.70 | 0.80 | 0.85 | 0.90 |
| 5 | 0.65 | 0.80 | 0.85 | 0.90 |
| 6 | 0.60 | 0.80 | 0.80 | 0.90 |

Cables multipolares



NOTA: Los valores facilitados se refieren a una profundidad de instalación de 0.7 m y a una resistividad térmica del terreno de 2.5 K-m/W

Tabla 14: Factor de reducción para cables unipolares en tubos enterrados

| Número de circuitos unipolares de dos o tres cables | Distancia de tubo a tubo (a) | | | |
|---|------------------------------|--------|-------|-------|
| | Nula (tubos en contacto) | 0.25 m | 0.5 m | 1.0 m |
| 2 | 0.80 | 0.90 | 0.90 | 0.95 |
| 3 | 0.70 | 0.80 | 0.85 | 0.90 |
| 4 | 0.65 | 0.75 | 0.80 | 0.90 |
| 5 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 |
| 6 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 |

Cables unipolares



NOTA: Los valores facilitados se refieren a una profundidad de instalación de 0.7 m y a una resistividad térmica del terreno de 2.5 K-m/W

2 Protección de los circuitos de alimentación

En lo referente a k_2 :

- para cables instalados directamente en el terreno o en el caso de que no estén presentes otros conductores en el interior del mismo conducto, el factor de corrección k_2 vale 1;
- si en el mismo conducto están presentes diversos conductores de tamaños similares (para la definición de "grupo de conductores similares", véanse los apartados anteriores) el factor k_2 se obtiene a través de la primera línea de Tabla 5;
- en el caso que los conductores no tengan tamaños iguales, el factor de corrección debe calcularse de acuerdo a la siguiente relación:

$$k_2^n = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

donde:

n es el número de circuitos en el conducto.

Factor de corrección k_3

La resistividad térmica del terreno influye en la disipación de calor del cable. Un terreno con una baja resistividad térmica facilita la disipación de calor contrariamente a lo que ocurre para un terreno con una resistividad térmica elevada. La Norma IEC 60364-5-52 indica como valor de referencia 2.5 K·m/W.

Tabla 15: Factores de corrección para resistividad térmica del terreno diferente de 2.5 K·m/W

| Resistividad térmica K·m/W | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 |
|-----------------------------|------|-----|------|-----|------|
| Factor de corrección | 1.18 | 1.1 | 1.05 | 1 | 0.96 |

Nota 1: la precisión total de los factores de corrección es $\pm 5\%$.

Nota 2: Los factores de corrección se aplican a cables con instalación en tubos enterrados; para los cables enterrados directamente en el terreno, los factores de corrección con resistividad térmica inferior a 2.5 K·m/W serán más elevados. Si se requirieran valores más puntuales, es posible calcularlos con los métodos que se indican en la norma IEC 60287.

Nota 3: Los factores de corrección pueden aplicarse a tubos enterrados con profundidad de hasta 0.8 m.

2 Protección de los circuitos de alimentación

En resumen

Para determinar la sección del cable se debe proceder de la siguiente manera:

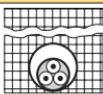
1. determinar a través de la Tabla 10 el factor de corrección k_1 en función del aislante y de la temperatura ambiente;
2. determinar a través de la Tabla 11, la Tabla 12, la Tabla 13 o utilizando la fórmula indicada en el caso de grupos de cables no similares, el factor de corrección k_2 en función de la distancia entre los cables o entre los conductos;
3. determinar a través de la Tabla 14 el factor k_3 en correspondencia con la resistividad térmica del terreno;
4. obtener el valor de la corriente I'_b dividiendo la corriente de empleo I_b (o la corriente asignada del dispositivo de protección) por el producto de los factores de corrección que acaban de calcularse:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2 k_3} = \frac{I_b}{k_{tot}}$$

5. a través de la Tabla 15, determinar la sección del cable en correspondencia con una capacidad de corriente admisible $I_0 \geq I'_b$ en función del método de instalación, del aislante, del número de conductores activos;
6. calcular la capacidad de corriente admisible del cable como

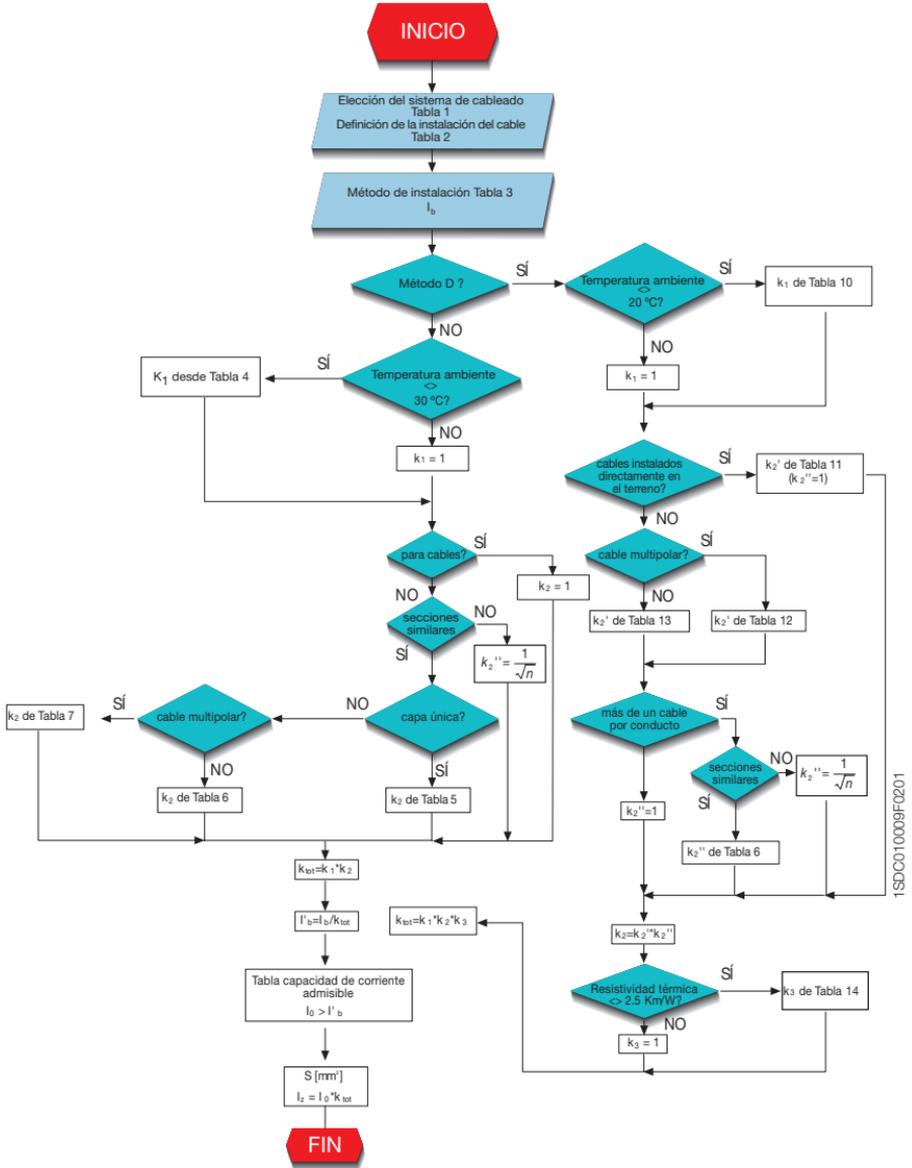
$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3$$

Tabla 16: Capacidad de corriente admisible de los cables enterrados

| S[mm ²] | Método de instalación | | D | | | | | | | |
|----------------------|---|----------|-----|-----|-----|----------|-----|------|---|--|
| |  | | | | | | | | | |
| | Conductor | | | | Al | | | | | |
| Aislamiento | | XLPE EPR | | PVC | | XLPE EPR | | PVC | | |
| Conductores cargados | | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | |
| 1.5 | 26 | 22 | 22 | 18 | | | | | | |
| 2.5 | 34 | 29 | 29 | 24 | 26 | 22 | 22 | 18.5 | | |
| 4 | 44 | 37 | 38 | 31 | 34 | 29 | 29 | 24 | | |
| 6 | 56 | 46 | 47 | 39 | 42 | 36 | 36 | 30 | | |
| 10 | 73 | 61 | 63 | 52 | 56 | 47 | 48 | 40 | | |
| 16 | 95 | 79 | 81 | 67 | 73 | 61 | 62 | 52 | | |
| 25 | 121 | 101 | 104 | 86 | 93 | 78 | 80 | 66 | | |
| 35 | 146 | 122 | 125 | 103 | 112 | 94 | 96 | 80 | | |
| 50 | 173 | 144 | 148 | 122 | 132 | 112 | 113 | 94 | | |
| 70 | 213 | 178 | 183 | 151 | 163 | 138 | 140 | 117 | | |
| 95 | 252 | 211 | 216 | 179 | 193 | 164 | 166 | 138 | | |
| 120 | 287 | 240 | 246 | 203 | 220 | 186 | 189 | 157 | | |
| 150 | 324 | 271 | 278 | 230 | 249 | 210 | 213 | 178 | | |
| 185 | 363 | 304 | 312 | 258 | 279 | 236 | 240 | 200 | | |
| 240 | 419 | 351 | 361 | 297 | 322 | 272 | 277 | 230 | | |
| 300 | 474 | 396 | 408 | 336 | 364 | 308 | 313 | 260 | | |

1SDC01008F0201

2 Protección de los circuitos de alimentación



2 Protección de los circuitos de alimentación

Nota para las tablas de capacidad de corriente admisible y los conductores cargados

Las Tablas 8, 9 y 15 facilitan la capacidad de corriente admisible de los conductores cargados (conductores que transportan corriente) en condiciones normales de servicio.

En los circuitos monofásicos el número de conductores cargados que debe considerarse es dos.

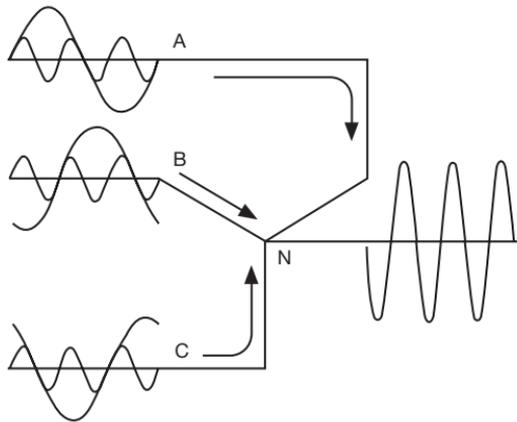
En los circuitos trifásicos equilibrados o poco desequilibrados el número de conductores cargados que debe considerarse es tres, ya que son despreciables las corrientes que circulan por el neutro.

En los sistemas trifásicos con fuertes desequilibrios, en los cuales en el conductor de neutro de un cable multipolar está presente una corriente que es el resultado de un desequilibrio de las corrientes de fase, el aumento de temperatura debido a la corriente del neutro está equilibrada por la reducción de calor generada por uno o más conductores de fase; en este caso, el dimensionamiento del conductor se elegirá en base a la corriente de fase más elevada. En todo caso, el conductor del neutro deberá tener una sección apropiada.

Efecto de las corrientes armónicas sobre los sistemas trifásicos equilibrados: factores de reducción para corrientes armónicas en cables de cuatro conductores y de cinco conductores con corriente transportada por cuatro conductores

En el caso en el cual el conductor del neutro transporte corriente sin una correspondiente reducción de la carga de los conductores de fase, para determinar la capacidad de corriente del circuito deberá considerarse la corriente que circula por el conductor del neutro.

Esta corriente en el neutro se debe a los componentes armónicos de las corrientes de fase que no se anulan mutuamente, sino que se suman en el neutro. El armónico más significativo que no se anula en el neutro generalmente es el tercer armónico. El valor de la corriente en el neutro, debida al tercer armónico, puede ser superior al valor de la corriente de fase a la frecuencia fundamental; en este caso, la corriente en el neutro tendrá un efecto significativo sobre la capacidad de corriente admisible de los cables del circuito.



1SDC010007F0001

2 Protección de los circuitos de alimentación

Equipos que generan corrientes armónicas significativas son, por ejemplo, lámparas fluorescentes y fuentes de alimentación de c.c. como las de los ordenadores personales (para más información sobre las perturbaciones causadas por los armónicos, consultar la norma IEC 61000).

Los factores de reducción que se indican en la Tabla 16 se aplican sólo en los circuitos trifásicos equilibrados (la corriente en el cuarto conductor se debe sólo a los armónicos) con cables en los cuales el conductor del neutro forma parte de un cable de cuatro o cinco conductores, es del mismo material y tiene la misma sección de los conductores de fase. Dichos factores de reducción han sido calculados en base a las corrientes del tercer armónico. Si pueden darse armónicos significativos superiores al 10% (p.e. el noveno, el décimosegundo, etc), o bien si está presente un desequilibrio entre fases superior al 50%, es posible aplicar factores de reducción más bajos: estos factores pueden calcularse sólo considerando la evolución real de la corriente en las fases cargadas.

En el caso de que se espere una corriente en el neutro más elevada que la corriente de fase, el cable deberá dimensionarse en base a la corriente en el neutro.

En el caso de que el dimensionamiento del cable se base en una corriente del neutro no significativamente más elevada de la corriente de fase, se deberá reducir la capacidad de corriente admisible indicada en la tabla para tres conductores cargados.

Si la corriente en el neutro es superior al 135% de la corriente de fase y el cable está dimensionado en base a la corriente en el neutro, entonces los conductores trifásicos no se cargarán completamente. La reducción de calor generada por los conductores de fase compensa el calor generado por el conductor del neutro hasta el punto que no hace falta aplicar factor de reducción alguno a la capacidad de corriente admisible para tres conductores cargados.

Tabla 17: Factores de reducción para corrientes armónicas en cables tetrapolares y pentapolares

| Contenido de tercer armónico de la corriente de fase | Factor de reducción | | | |
|--|---|--|--|--|
| | Elección de la sección basada en la corriente de fase | Corriente que debe considerarse para la elección del cable I'_b | Elección de la sección basada en la corriente del neutro | Corriente que debe considerarse para la elección del cable I'_N |
| 0 ÷ 15 | 1 | $I'_b = \frac{I_b}{k_{tot}}$ | - | - |
| 15 ÷ 33 | 0.86 | $I'_b = \frac{I_b}{k_{tot} \cdot 0.86}$ | - | - |
| 33 ÷ 45 | - | - | 0.86 | $I'_N = \frac{I_N}{0.86}$ |
| > 45 | - | - | 1 | $I'_N = I_N$ |

Donde I_N es la corriente que fluye por el neutro, calculada en base a la siguiente $I_N = \frac{I_b}{k_{tot}} \cdot 3 \cdot k_{III}$

I_b es la corriente de carga

k_{tot} es el factor de corrección total

k_{III} es el contenido del tercer armónico de la corriente de fase.

2 Protección de los circuitos de alimentación

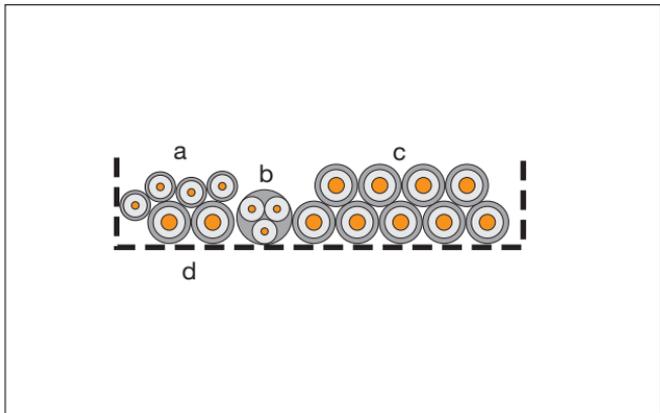
Ejemplo de dimensionamiento de un cable en un circuito trifásico equilibrado en ausencia de armónicos

Se desea dimensionar un cable eléctrico con las siguientes características:

- Material del conductor : cobre
- Material aislante : PVC
- Tipo de cable : multipolar
- Instalación : cables agrupados en bandejas perforadas horizontal
- Corriente de carga : 100 A

Condiciones de instalación:

- Temperatura ambiente : 40°C
- Circuitos adyacentes de sección:
 - a) circuito trifásico constituido por 4 cables unipolares 4x50 mm²;
 - b) circuito trifásico constituido por 1 cable multipolar 1x(3x50) mm²;
 - c) circuito trifásico constituido por 9 cables unipolares (3 por fase) 9x95 mm²;
 - d) circuito monofásico constituido por 2 cables unipolares 2x70 mm².



2 Protección de los circuitos de alimentación

Procedimiento:

Tipo de instalación

A través de la Tabla 3 se obtiene el número de referencia de la instalación y el método de instalación que debe utilizarse para los cálculos; en el caso en cuestión, se trata de la instalación de referencia 31, correspondiente al método E (cable multipolar en bandejas).

Factor de corrección de la temperatura k_1

A través de la Tabla 4, en correspondencia con la temperatura de 40°C y del material aislante PVC se obtiene:

$$k_1 = 0.87$$

Factor de corrección para cables adyacentes k_2

Para los cables multipolares agrupados en bandejas perforadas se debe considerar la Tabla 5.

Primero, se determina el número de circuitos o cables multipolares presentes; dado que:

- los circuitos a), b) y d) constituyen un circuito cada uno;
- el circuito c) constituye tres circuitos, dado que se trata de tres cables en paralelo;
- el cable que debe dimensionarse es multipolar, por lo que constituye un circuito único

El número total de circuitos es 7.

En correspondencia con la línea referente a la disposición (haz de cables) y la columna correspondiente al número de circuitos 7 se obtiene:

$$k_2 = 0.54$$

Determinados k_1 y k_2 se calcula I'_b :

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{100}{0.87 \cdot 0.54} = 212.85A$$

A través de la Tabla 8, en correspondencia con el tipo de cable, multipolar de cobre aislado en PVC, método de instalación E, con tres conductores cargados se obtiene la sección con una capacidad de corriente admisible $I_0 \geq I'_b = 212,85A$. Un cable con sección de 95 mm², en las condiciones de referencia, tiene una capacidad de corriente admisible de 238 A.

La capacidad de corriente admisible efectiva del cable, a las condiciones de instalación indicadas, es $I_2 = 238 \cdot 0.87 \cdot 0.54 = 111.81 A$

2 Protección de los circuitos de alimentación

Ejemplo de dimensionamiento de un cable en un circuito trifásico equilibrado con contenido significativo del tercer armónico

Se desea dimensionar un cable eléctrico con las siguientes características:

- Material del conductor : cobre
- Material aislante : PVC
- Tipo de conductor : multipolar
- Instalación : capa en bandejas perforadas horizontal
- Corriente de empleo : 115 A

Condiciones de instalación:

- Temperatura ambiente : 30°C
- No están presentes circuitos adyacentes.

Procedimiento:

Tipo de instalación

A través de la Tabla 3 se obtiene el número de referencia de la instalación y el método de instalación que debe utilizarse para los cálculos; en el caso en cuestión se trata de la instalación de referencia 31, que corresponde al método E (cable multipolar en bandejas).

Factor de corrección de la temperatura k_1

A través de la Tabla 4, en correspondencia con la temperatura de 30°C y el material aislante PVC, se obtiene:

$$k_1 = 1$$

Factor de corrección para cables adyacentes k_2

Ya que no están presentes cables adyacentes se tiene:

$$k_2 = 1$$

Determinados k_1 y k_2 se calcula I'_b :

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = 115A$$

2 Protección de los circuitos de alimentación

En ausencia de armónicos, a través de la Tabla 8, en correspondencia con el tipo de cable, multipolar de cobre aislado en PVC, método de instalación E, con tres conductores cargados se obtiene la sección con una capacidad de corriente admisible $I_0 \geq I'_b = 115$ A. Un cable con sección de 35 mm^2 , bajo las condiciones de referencia, tiene una capacidad de 126 A.

La capacidad de corriente admisible efectiva del cable es $I_z = 126$ A, ya que los coeficientes k_1 y k_2 son iguales a uno.

Supóngase un contenido del tercer armónico del 28%.

La Tabla 16, en correspondencia con el contenido del tercer armónico 28%, indica que debe dimensionarse el cable en base a la corriente que circula por los conductores de fase, pero se debe aplicar un coeficiente de reducción de 0,86. La corriente I'_b se convierte:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 \cdot k_2 \cdot 0.86} = \frac{115}{0.86} = 133.7 \text{ A}$$

A través de la Tabla 8 se debe elegir un cable de 50 mm^2 con una capacidad de corriente admisible de 153 A.

Suponiendo un contenido del tercer armónico del 40%, la Tabla 16 indica que debe dimensionarse el cable en base a la corriente que circula por el conductor de neutro y debe aplicarse un coeficiente de reducción de 0,86.

La corriente que circula por el neutro será:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}} \cdot 3 \cdot k_{\text{III}} = 115 \cdot 3 \cdot 0.4 = 138 \text{ A}$$

y la corriente I'_b vale:

$$I'_b = \frac{I_N}{0.86} = \frac{138}{0.86} = 160.5 \text{ A}$$

A través de la Tabla 8 se debe elegir un cable de 70 mm^2 con una capacidad de corriente admisible de 196 A.

Suponiendo un contenido del tercer armónico del 60%, la Tabla 16 indica que debe dimensionarse el cable en base a la corriente que circula por el conductor de neutro pero debe aplicarse un coeficiente de reducción de 1.

La corriente que circula por el neutro será:

$$I_N = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}} \cdot 3 \cdot k_{\text{III}} = 115 \cdot 3 \cdot 0.6 = 207 \text{ A}$$

y la corriente I'_b vale:

$$I'_b = I_N = 207 \text{ A}$$

A través de la Tabla 8 se debe elegir un cable de 95 mm^2 con una capacidad de corriente admisible de 238 A.

2 Protección de los circuitos de alimentación

2.2.2 Caída de tensión

La evaluación de la caída de tensión desde el punto de suministro hasta el punto de utilización, en una instalación eléctrica, cumple un rol sumamente importante.

Un aparato utilizador, alimentado con una tensión diferente al de su valor asignado, puede estar sujeto a una pérdida de sus prestaciones.

Por ejemplo:

- **motores:** el par motor es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación; por tanto, si disminuye la tensión, disminuye también el par de arranque y en consecuencia resulta muy difícil el arranque; disminuye también el par máximo.
- **lámparas de incandescencia:** al disminuir la tensión, se reduce sensiblemente también el flujo luminoso y el tono de la luz se acerca al rojizo.
- **lámparas de descarga:** por lo general no son muy sensibles a las pequeñas variaciones de tensión; sin embargo, en algunos casos, fuertes variaciones de tensión pueden provocar incluso el apagado de las mismas.
- **aparatos electrónicos:** son muy sensibles a las variaciones de tensión y es por ello que están provistos de dispositivos de estabilización.
- **dispositivos electromecánicos:** en conformidad con la normativa de referencia, para dispositivos tales como contactores y relés auxiliares, existe una tensión mínima por debajo de la cual no pueden garantizarse las prestaciones del aparato; por ejemplo, para un contactor, la presión de los contactos se vuelve insuficiente por debajo del 85% de su tensión asignada.

Para reducir estos problemas, las normas establecen los siguientes límites:

- IEC 60364-5-52 *"Electrical installations of buildings Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems"* en el apartado 525 se aconseja que la caída de tensión entre el origen de la instalación utilizadora y cualquier aparato utilizador, en la práctica, no sea superior al 4% de la tensión asignada de la instalación; sin embargo, pueden admitirse caídas de tensión más elevadas para los motores durante el arranque o para otros componentes eléctricos que requieran una asociación de corriente elevada. Las posibles condiciones transitorias debidas a un funcionamiento no ordinario pueden despreciarse.
- IEC 60204-1 *"Safety of machinery – Electrical equipment of machines – General requirements"* en el apartado 13.5 se aconseja que: la caída de tensión en el punto de entrada de la alimentación de la carga no sea superior al 5% de la tensión asignada en condiciones de funcionamiento corriente.
- IEC 60364-7-714 *"Electrical installations of buildings - Requirements for special installations or locations - External lighting installations"* el apartado 714.512 indica que la caída de tensión –en condiciones de servicio corriente– debe ser compatible con las condiciones que se derivan de la corriente de encendido de las lámparas.

2 Protección de los circuitos de alimentación

Cálculo de la caída de tensión

En una línea eléctrica con impedancia Z , la caída de tensión se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta U = kZ I_b = k I_b \frac{L}{n} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \text{ [V]} \quad (1)$$

donde:

- k es un coeficiente que vale:
 - 2 para los sistemas monofásicos y los bifásicos
 - $\sqrt{3}$ para los sistemas trifásicos
 - I_b [A] es la corriente absorbida por la carga; en ausencia de informaciones debe utilizarse la capacidad I_c de la conducción
 - L [km] es la longitud de la línea
 - n es el número de los conductores en paralelo por fase
 - r [Ω /km] es la resistencia de cada cable por kilómetro
 - x [Ω /km] es la reactancia de cada cable por kilómetro
- $\cos \varphi$ es la corrección del factor de potencia de la carga

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}.$$

Generalmente se calcula el valor porcentual respecto al valor asignado U_r :

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_r} 100 \quad (2)$$

Los valores de las resistencias y las reactancias por unidad de longitud se indican en la siguiente tabla, en función de la sección y la formación del cable para 50 Hz; en el caso de 60 Hz, el valor de la reactancia deberá multiplicarse por 1.2.

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 1: Resistencias y reactancias por unidad de longitud de los cables de cobre

| S [mm ²] | Cable unipolar | | Cable bipolar/tripolar | |
|-------------------------|----------------------|---------|------------------------|---------|
| | r[Ω/km] @ 80 [°C] | x[Ω/km] | r[Ω/km] @ 80 [°C] | x[Ω/km] |
| 1.5 | 14.8 | 0.168 | 15.1 | 0.118 |
| 2.5 | 8.91 | 0.156 | 9.08 | 0.109 |
| 4 | 5.57 | 0.143 | 5.68 | 0.101 |
| 6 | 3.71 | 0.135 | 3.78 | 0.0955 |
| 10 | 2.24 | 0.119 | 2.27 | 0.0861 |
| 16 | 1.41 | 0.112 | 1.43 | 0.0817 |
| 25 | 0.889 | 0.106 | 0.907 | 0.0813 |
| 35 | 0.641 | 0.101 | 0.654 | 0.0783 |
| 50 | 0.473 | 0.101 | 0.483 | 0.0779 |
| 70 | 0.328 | 0.0965 | 0.334 | 0.0751 |
| 95 | 0.236 | 0.0975 | 0.241 | 0.0762 |
| 120 | 0.188 | 0.0939 | 0.191 | 0.074 |
| 150 | 0.153 | 0.0928 | 0.157 | 0.0745 |
| 185 | 0.123 | 0.0908 | 0.125 | 0.0742 |
| 240 | 0.0943 | 0.0902 | 0.0966 | 0.0752 |
| 300 | 0.0761 | 0.0895 | 0.078 | 0.075 |

Tabla 2: Resistencias y reactancias por unidad de longitud de los cables de aluminio

| S [mm ²] | Cable unipolar | | Cable bipolar/tripolar | |
|-------------------------|----------------------|---------|------------------------|---------|
| | r[Ω/km] @ 80 [°C] | x[Ω/km] | r[Ω/km] @ 80 [°C] | x[Ω/km] |
| 1.5 | 24.384 | 0.168 | 24.878 | 0.118 |
| 2.5 | 14.680 | 0.156 | 14.960 | 0.109 |
| 4 | 9.177 | 0.143 | 9.358 | 0.101 |
| 6 | 6.112 | 0.135 | 6.228 | 0.0955 |
| 10 | 3.691 | 0.119 | 3.740 | 0.0861 |
| 16 | 2.323 | 0.112 | 2.356 | 0.0817 |
| 25 | 1.465 | 0.106 | 1.494 | 0.0813 |
| 35 | 1.056 | 0.101 | 1.077 | 0.0783 |
| 50 | 0.779 | 0.101 | 0.796 | 0.0779 |
| 70 | 0.540 | 0.0965 | 0.550 | 0.0751 |
| 95 | 0.389 | 0.0975 | 0.397 | 0.0762 |
| 120 | 0.310 | 0.0939 | 0.315 | 0.074 |
| 150 | 0.252 | 0.0928 | 0.259 | 0.0745 |
| 185 | 0.203 | 0.0908 | 0.206 | 0.0742 |
| 240 | 0.155 | 0.0902 | 0.159 | 0.0752 |
| 300 | 0.125 | 0.0895 | 0.129 | 0.075 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

En las siguientes tablas se indican los valores de DU_x [V/(A·km)] en función de la sección y la formación del cable, en correspondencia con los valores de factor de potencia ($\cos\varphi$) más comunes.

Tabla 3: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=1$ para cables de cobre

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 1$ | | | |
|---------------------|-------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar Monofásico | C. tripolar Trifásico |
| | Monofásico | Trifásico | | |
| 1.5 | 29.60 | 25.63 | 30.20 | 26.15 |
| 2.5 | 17.82 | 15.43 | 18.16 | 15.73 |
| 4 | 11.14 | 9.65 | 11.36 | 9.84 |
| 6 | 7.42 | 6.43 | 7.56 | 6.55 |
| 10 | 4.48 | 3.88 | 4.54 | 3.93 |
| 16 | 2.82 | 2.44 | 2.86 | 2.48 |
| 25 | 1.78 | 1.54 | 1.81 | 1.57 |
| 35 | 1.28 | 1.11 | 1.31 | 1.13 |
| 50 | 0.95 | 0.82 | 0.97 | 0.84 |
| 70 | 0.66 | 0.57 | 0.67 | 0.58 |
| 95 | 0.47 | 0.41 | 0.48 | 0.42 |
| 120 | 0.38 | 0.33 | 0.38 | 0.33 |
| 150 | 0.31 | 0.27 | 0.31 | 0.27 |
| 185 | 0.25 | 0.21 | 0.25 | 0.22 |
| 240 | 0.19 | 0.16 | 0.19 | 0.17 |
| 300 | 0.15 | 0.13 | 0.16 | 0.14 |

Tabla 4: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=0.9$ para cables de cobre

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 0.9$ | | | |
|---------------------|---------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar Monofásico | C. tripolar Trifásico |
| | Monofásico | Trifásico | | |
| 1.5 | 26.79 | 23.20 | 27.28 | 23.63 |
| 2.5 | 16.17 | 14.01 | 16.44 | 14.24 |
| 4 | 10.15 | 8.79 | 10.31 | 8.93 |
| 6 | 6.80 | 5.89 | 6.89 | 5.96 |
| 10 | 4.14 | 3.58 | 4.16 | 3.60 |
| 16 | 2.64 | 2.28 | 2.65 | 2.29 |
| 25 | 1.69 | 1.47 | 1.70 | 1.48 |
| 35 | 1.24 | 1.08 | 1.25 | 1.08 |
| 50 | 0.94 | 0.81 | 0.94 | 0.81 |
| 70 | 0.67 | 0.58 | 0.67 | 0.58 |
| 95 | 0.51 | 0.44 | 0.50 | 0.43 |
| 120 | 0.42 | 0.36 | 0.41 | 0.35 |
| 150 | 0.36 | 0.31 | 0.35 | 0.30 |
| 185 | 0.30 | 0.26 | 0.29 | 0.25 |
| 240 | 0.25 | 0.22 | 0.24 | 0.21 |
| 300 | 0.22 | 0.19 | 0.21 | 0.18 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 5: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=0.85$ para cables de cobre

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 0.85$ | | | |
|---------------------|----------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar Monofásico | C. tripolar Trifásico |
| | Monofásico | Trifásico | | |
| 1.5 | 25.34 | 21.94 | 25.79 | 22.34 |
| 2.5 | 15.31 | 13.26 | 15.55 | 13.47 |
| 4 | 9.62 | 8.33 | 9.76 | 8.45 |
| 6 | 6.45 | 5.59 | 6.53 | 5.65 |
| 10 | 3.93 | 3.41 | 3.95 | 3.42 |
| 16 | 2.51 | 2.18 | 2.52 | 2.18 |
| 25 | 1.62 | 1.41 | 1.63 | 1.41 |
| 35 | 1.20 | 1.04 | 1.19 | 1.03 |
| 50 | 0.91 | 0.79 | 0.90 | 0.78 |
| 70 | 0.66 | 0.57 | 0.65 | 0.56 |
| 95 | 0.50 | 0.44 | 0.49 | 0.42 |
| 120 | 0.42 | 0.36 | 0.40 | 0.35 |
| 150 | 0.36 | 0.31 | 0.35 | 0.30 |
| 185 | 0.30 | 0.26 | 0.29 | 0.25 |
| 240 | 0.26 | 0.22 | 0.24 | 0.21 |
| 300 | 0.22 | 0.19 | 0.21 | 0.18 |

Tabla 6: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=0.8$ para cables de cobre

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 0.8$ | | | |
|---------------------|---------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar Monofásico | C. tripolar Trifásico |
| | Monofásico | Trifásico | | |
| 1.5 | 23.88 | 20.68 | 24.30 | 21.05 |
| 2.5 | 14.44 | 12.51 | 14.66 | 12.69 |
| 4 | 9.08 | 7.87 | 9.21 | 7.98 |
| 6 | 6.10 | 5.28 | 6.16 | 5.34 |
| 10 | 3.73 | 3.23 | 3.74 | 3.23 |
| 16 | 2.39 | 2.07 | 2.39 | 2.07 |
| 25 | 1.55 | 1.34 | 1.55 | 1.34 |
| 35 | 1.15 | 0.99 | 1.14 | 0.99 |
| 50 | 0.88 | 0.76 | 0.87 | 0.75 |
| 70 | 0.64 | 0.55 | 0.62 | 0.54 |
| 95 | 0.49 | 0.43 | 0.48 | 0.41 |
| 120 | 0.41 | 0.36 | 0.39 | 0.34 |
| 150 | 0.36 | 0.31 | 0.34 | 0.29 |
| 185 | 0.31 | 0.26 | 0.29 | 0.25 |
| 240 | 0.26 | 0.22 | 0.24 | 0.21 |
| 300 | 0.23 | 0.20 | 0.21 | 0.19 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 7: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=0.75$ para cables de cobre

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 0.75$ | | | |
|---------------------|----------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar Monofásico | C. tripolar Trifásico |
| | Monofásico | Trifásico | | |
| 1.5 | 22.42 | 19.42 | 22.81 | 19.75 |
| 2.5 | 13.57 | 11.75 | 13.76 | 11.92 |
| 4 | 8.54 | 7.40 | 8.65 | 7.49 |
| 6 | 5.74 | 4.97 | 5.80 | 5.02 |
| 10 | 3.52 | 3.05 | 3.52 | 3.05 |
| 16 | 2.26 | 1.96 | 2.25 | 1.95 |
| 25 | 1.47 | 1.28 | 1.47 | 1.27 |
| 35 | 1.10 | 0.95 | 1.08 | 0.94 |
| 50 | 0.84 | 0.73 | 0.83 | 0.72 |
| 70 | 0.62 | 0.54 | 0.60 | 0.52 |
| 95 | 0.48 | 0.42 | 0.46 | 0.40 |
| 120 | 0.41 | 0.35 | 0.38 | 0.33 |
| 150 | 0.35 | 0.31 | 0.33 | 0.29 |
| 185 | 0.30 | 0.26 | 0.29 | 0.25 |
| 240 | 0.26 | 0.23 | 0.24 | 0.21 |
| 300 | 0.23 | 0.20 | 0.22 | 0.19 |

Tabla 8: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=1$ para cables de aluminio

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 1$ | | | |
|---------------------|-------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar Monofásico | C. tripolar Trifásico |
| | Monofásico | Trifásico | | |
| 1.5 | 48.77 | 42.23 | 49.76 | 43.09 |
| 2.5 | 29.36 | 25.43 | 29.92 | 25.91 |
| 4 | 18.35 | 15.89 | 18.72 | 16.21 |
| 6 | 12.22 | 10.59 | 12.46 | 10.79 |
| 10 | 7.38 | 6.39 | 7.48 | 6.48 |
| 16 | 4.65 | 4.02 | 4.71 | 4.08 |
| 25 | 2.93 | 2.54 | 2.99 | 2.59 |
| 35 | 2.11 | 1.83 | 2.15 | 1.87 |
| 50 | 1.56 | 1.35 | 1.59 | 1.38 |
| 70 | 1.08 | 0.94 | 1.10 | 0.95 |
| 95 | 0.78 | 0.67 | 0.79 | 0.69 |
| 120 | 0.62 | 0.54 | 0.63 | 0.55 |
| 150 | 0.50 | 0.44 | 0.52 | 0.45 |
| 185 | 0.41 | 0.35 | 0.41 | 0.36 |
| 240 | 0.31 | 0.27 | 0.32 | 0.28 |
| 300 | 0.25 | 0.22 | 0.26 | 0.22 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 9: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=0.9$ para cables de aluminio

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 0.9$ | | | |
|---------------------|---------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar Monofásico | C. tripolar Trifásico |
| | Monofásico | Trifásico | | |
| 1.5 | 44.04 | 38.14 | 44.88 | 38.87 |
| 2.5 | 26.56 | 23.00 | 27.02 | 23.40 |
| 4 | 16.64 | 14.41 | 16.93 | 14.66 |
| 6 | 11.12 | 9.63 | 11.29 | 9.78 |
| 10 | 6.75 | 5.84 | 6.81 | 5.89 |
| 16 | 4.28 | 3.71 | 4.31 | 3.73 |
| 25 | 2.73 | 2.36 | 2.76 | 2.39 |
| 35 | 1.99 | 1.72 | 2.01 | 1.74 |
| 50 | 1.49 | 1.29 | 1.50 | 1.30 |
| 70 | 1.06 | 0.92 | 1.06 | 0.91 |
| 95 | 0.78 | 0.68 | 0.78 | 0.68 |
| 120 | 0.64 | 0.55 | 0.63 | 0.55 |
| 150 | 0.53 | 0.46 | 0.53 | 0.46 |
| 185 | 0.44 | 0.38 | 0.44 | 0.38 |
| 240 | 0.36 | 0.31 | 0.35 | 0.30 |
| 300 | 0.30 | 0.26 | 0.30 | 0.26 |

Tabla 10: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=0.85$ para cables de aluminio

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 0.85$ | | | |
|---------------------|----------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar Monofásico | C. tripolar Trifásico |
| | Monofásico | Trifásico | | |
| 1.5 | 41.63 | 36.05 | 42.42 | 36.73 |
| 2.5 | 25.12 | 21.75 | 25.55 | 22.12 |
| 4 | 15.75 | 13.64 | 16.02 | 13.87 |
| 6 | 10.53 | 9.12 | 10.69 | 9.26 |
| 10 | 6.40 | 5.54 | 6.45 | 5.58 |
| 16 | 4.07 | 3.52 | 4.09 | 3.54 |
| 25 | 2.60 | 2.25 | 2.63 | 2.27 |
| 35 | 1.90 | 1.65 | 1.91 | 1.66 |
| 50 | 1.43 | 1.24 | 1.43 | 1.24 |
| 70 | 1.02 | 0.88 | 1.01 | 0.88 |
| 95 | 0.76 | 0.66 | 0.76 | 0.65 |
| 120 | 0.63 | 0.54 | 0.61 | 0.53 |
| 150 | 0.53 | 0.46 | 0.52 | 0.45 |
| 185 | 0.44 | 0.38 | 0.43 | 0.37 |
| 240 | 0.36 | 0.31 | 0.35 | 0.30 |
| 300 | 0.31 | 0.27 | 0.30 | 0.26 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 11: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=0.8$ para cables de aluminio

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 0.8$ | | | |
|---------------------|---------------------|-----------|---------------|-------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar | C. tripolar |
| | Monofásico | Trifásico | Monofásico | Trifásico |
| 1.5 | 39.22 | 33.96 | 39.95 | 34.59 |
| 2.5 | 23.67 | 20.50 | 24.07 | 20.84 |
| 4 | 14.85 | 12.86 | 15.09 | 13.07 |
| 6 | 9.94 | 8.61 | 10.08 | 8.73 |
| 10 | 6.05 | 5.24 | 6.09 | 5.27 |
| 16 | 3.85 | 3.34 | 3.87 | 3.35 |
| 25 | 2.47 | 2.14 | 2.49 | 2.16 |
| 35 | 1.81 | 1.57 | 1.82 | 1.57 |
| 50 | 1.37 | 1.18 | 1.37 | 1.18 |
| 70 | 0.98 | 0.85 | 0.97 | 0.84 |
| 95 | 0.74 | 0.64 | 0.73 | 0.63 |
| 120 | 0.61 | 0.53 | 0.59 | 0.51 |
| 150 | 0.51 | 0.45 | 0.50 | 0.44 |
| 185 | 0.43 | 0.38 | 0.42 | 0.36 |
| 240 | 0.36 | 0.31 | 0.34 | 0.30 |
| 300 | 0.31 | 0.27 | 0.30 | 0.26 |

Tabla 12: Caída de tensión específica con $\cos\varphi=0.75$ para cables de aluminio

| S[mm ²] | $\cos\varphi = 0.75$ | | | |
|---------------------|----------------------|-----------|---------------|-------------|
| | Cable unipolar | | Cable bipolar | C. tripolar |
| | Monofásico | Trifásico | Monofásico | Trifásico |
| 1.5 | 36.80 | 31.87 | 37.47 | 32.45 |
| 2.5 | 22.23 | 19.25 | 22.58 | 19.56 |
| 4 | 13.95 | 12.08 | 14.17 | 12.27 |
| 6 | 9.35 | 8.09 | 9.47 | 8.20 |
| 10 | 5.69 | 4.93 | 5.72 | 4.96 |
| 16 | 3.63 | 3.15 | 3.64 | 3.15 |
| 25 | 2.34 | 2.02 | 2.35 | 2.03 |
| 35 | 1.72 | 1.49 | 1.72 | 1.49 |
| 50 | 1.30 | 1.13 | 1.30 | 1.12 |
| 70 | 0.94 | 0.81 | 0.92 | 0.80 |
| 95 | 0.71 | 0.62 | 0.70 | 0.60 |
| 120 | 0.59 | 0.51 | 0.57 | 0.49 |
| 150 | 0.50 | 0.43 | 0.49 | 0.42 |
| 185 | 0.42 | 0.37 | 0.41 | 0.35 |
| 240 | 0.35 | 0.31 | 0.34 | 0.29 |
| 300 | 0.31 | 0.27 | 0.29 | 0.25 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Ejemplo 1

Se pretende calcular la caída de tensión en una línea trifásica que presenta los siguientes datos:

- tensión asignada: 400 V
- longitud de la línea: 25 m
- formación de la línea: cable de cobre unipolar 3x50 mm²
- corriente absorbida por la carga I_b : 100 A
- factor de potencia ($\cos\varphi$): 0.9.

A través de la Tabla 4, en correspondencia del cable unipolar de 50 mm², se lee una caída de tensión ΔU_x equivalente a 0,81 [V/(A·km)]; multiplicando este valor por la longitud en km y por la corriente en A, se obtiene:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0.81 \cdot 100 \cdot 0.025 = 2.03 \text{ V}$$

a lo que le corresponde un valor porcentual equivalente a:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{2.03}{400} \cdot 100 = 0.51\%$$

Ejemplo 2

Se pretende calcular la caída de tensión en una línea trifásica que presenta los siguientes datos:

- tensión asignada: 690 V
- longitud de la línea: 50 m
- formación de la línea: cable de cobre multipolar 2x(3x10) mm²
- corriente absorbida por la carga I_b : 50 A
- factor de potencia ($\cos\varphi$): 0.85.

A través de la Tabla 5, en correspondencia con el cable multipolar de 10 mm², se lee una caída de tensión ΔU_x equivalente a 3.42 [V/(A·km)]; multiplicando dicho valor por la longitud en km, por la corriente en A y dividiendo por el número de cables en paralelo, se obtiene:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot \frac{L}{2} = 3.42 \cdot 50 \cdot \frac{0.05}{2} = 4.28 \text{ V}$$

a lo que le corresponde un valor porcentual equivalente a:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{4.28}{690} \cdot 100 = 0.62\%$$

2 Protección de los circuitos de alimentación

Método para definir la sección del conductor en función de la caída de tensión en el caso de líneas de longitud elevada

En el caso de líneas de longitud elevada o cuando exigencias específicas de diseño impongan bajos límites para la caída de tensión máxima, la verificación utilizando como referencia la sección calculada en función de consideraciones térmicas (cálculo en base al Cap. 2.2.1 "Capacidad de corrientes admisibles y sistemas de instalación") puede dar resultado negativo.

Para definir la sección correcta, el valor máximo de $\Delta U_{x\text{máx}}$, calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta U_{x\text{máx}} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} \quad (3)$$

se compara con los correspondientes de las Tablas 4 a 12, eligiendo la sección más pequeña con un valor de ΔU_x inferior a $\Delta U_{x\text{máx}}$.

Ejemplo:

Alimentación de una carga trifásica P_u de 35 kW ($U_r=400$ V, $f_r=50$ Hz, $\cos\varphi=0.9$) con una línea de 140 metros de longitud, instalada en bandeja perforada, constituida por un cable multipolar de cobre y aislada con EPR.

Caída de tensión máxima admitida = 2%.

La corriente de carga I_b resulta equivalente a:

$$I_b = \frac{P_u}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos\varphi} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.9} = 56 \text{ A}$$

A través de la Tabla 8 del Cap. 2.2.1 resulta $S = 10 \text{ mm}^2$.

En la Tabla 4, en correspondencia con el cable multipolar de 10 mm^2 , se lee una caída de tensión por amperio y por kilómetro equivalente a $3.60 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{km})$; multiplicando dicho valor por la longitud en km y por la corriente en A, se obtiene:

$$\Delta U = 3.60 \cdot I_b \cdot L = 3.6 \cdot 56 \cdot 0.14 = 28.2 \text{ V}$$

a lo que le corresponde un valor porcentual equivalente a:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{28.2}{400} \cdot 100 = 7.05\%$$

Dicho valor resulta demasiado elevado.

A través de la fórmula (3) resulta:

$$\Delta U_{x\text{máx}} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} = \frac{2\% \cdot 400}{100 \cdot 56 \cdot 0.14} = 1.02 \text{ V}/(\text{A} \cdot \text{km})$$

2 Protección de los circuitos de alimentación

A través de la Tabla 4 puede escogerse una sección de 50 mm². Para dicha sección resulta $\Delta U_x = 0.81 < 1.02$ [V/(A·km)].

Utilizando este valor se obtiene:

$$\Delta U = \Delta U_x \cdot I_b \cdot L = 0.81 \cdot 56 \cdot 0.14 = 6.35 \text{ V}$$

a lo que le corresponde un valor porcentual equivalente a:

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100 = \frac{6.35}{400} \cdot 100 = 1.6\%$$

2.2.3 Pérdidas por efecto Joule

Las pérdidas por efecto Joule se deben a la resistencia eléctrica del cable.

La energía perdida se disipa en calor y contribuye al calentamiento de la conducción y del ambiente.

Las pérdidas, en primera aproximación y en régimen trifásico, valen:

$$P_j = \frac{3 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]}$$

mientras que en régimen monofásico, valen:

$$P_j = \frac{2 \cdot r \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]}$$

donde:

- I_b es la corriente de empleo [A]
- r es la resistencia de fase por unidad de longitud del cable a 80 °C [Ω /km] (véase la Tabla 1)
- L es la longitud del cable [m].

Tabla 1: Resistencia [Ω /km] de los cables unipolares y multipolares de cobre y aluminio a 80°C

| S [mm ²] | Cable unipolar | | Cable bipolar/tripolar | |
|-------------------------|----------------|--------|------------------------|--------|
| | Cu | Al | Cu | Al |
| 1.5 | 14.8 | 24.384 | 15.1 | 24.878 |
| 2.5 | 8.91 | 14.680 | 9.08 | 14.960 |
| 4 | 5.57 | 9.177 | 5.68 | 9.358 |
| 6 | 3.71 | 6.112 | 3.78 | 6.228 |
| 10 | 2.24 | 3.691 | 2.27 | 3.740 |
| 16 | 1.41 | 2.323 | 1.43 | 2.356 |
| 25 | 0.889 | 1.465 | 0.907 | 1.494 |
| 35 | 0.641 | 1.056 | 0.654 | 1.077 |
| 50 | 0.473 | 0.779 | 0.483 | 0.796 |
| 70 | 0.328 | 0.540 | 0.334 | 0.550 |
| 95 | 0.236 | 0.389 | 0.241 | 0.397 |
| 120 | 0.188 | 0.310 | 0.191 | 0.315 |
| 150 | 0.153 | 0.252 | 0.157 | 0.259 |
| 185 | 0.123 | 0.203 | 0.125 | 0.206 |
| 240 | 0.0943 | 0.155 | 0.0966 | 0.159 |
| 300 | 0.0761 | 0.125 | 0.078 | 0.129 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

2.3 Protección contra sobrecargas

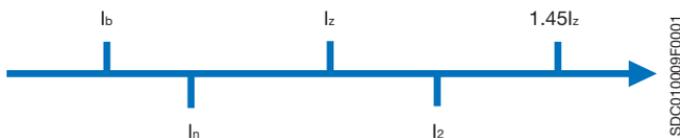
La norma IEC 60364-4-43 "Electrical installation of buildings - Protection against overcurrent" especifica que se realice la coordinación entre los conductores y los dispositivos de protección contra sobrecargas (generalmente puestos al inicio de la conducción que debe protegerse), de modo que se cumplan las dos siguientes condiciones:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z \quad (2)$$

Donde:

- I_b es la corriente para la cual el circuito ha sido dimensionado
- I_z es la capacidad en condiciones de régimen permanente de la conducción
- I_n es la corriente asignada del dispositivo de protección; para los dispositivos de protección regulables, la corriente I_n es la corriente regulada
- I_2 es la corriente que garantiza el funcionamiento efectivo del dispositivo de protección en el tiempo convencional de actuación.



Para elegir correctamente el dispositivo de protección, en base a la condición (1), se deberá controlar que el interruptor automático tenga una corriente asignada (o regulada) que sea:

- superior a la corriente de empleo de la instalación para evitar disparos intempestivos;
- inferior a la capacidad de la conducción para evitar la sobrecarga de la misma.

La norma permite la circulación de una corriente de sobrecarga que puede ser de hasta un 45% superior a la capacidad del cable, pero solo por un tiempo limitado (tiempo de actuación convencional de la protección).

En el caso de interruptores automáticos no hace falta que se realice la comprobación de la condición (2), ya que el dispositivo de protección actúa automáticamente si:

- $I_2 = 1.3 \cdot I_n$ para interruptores automáticos conformes a la norma IEC 60947-2 (interruptores automáticos para uso industrial);
- $I_2 = 1.45 \cdot I_n$ para interruptores automáticos conformes a la norma IEC 60898 (interruptores automáticos para uso doméstico o similar).

En consecuencia, si para los interruptores automáticos resulta $I_n \leq I_z$, con toda seguridad se cumplirá también la condición $I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$.

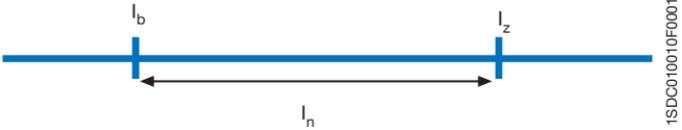
Si el dispositivo de protección es un fusible, se deberá comprobar también la ecuación (2), ya que la norma IEC 60269-2-1 "Low-voltage fuses" para los fusibles establece que una corriente de $1.6 \cdot I_n$ provocará automáticamente la fusión del fusible; en este caso, la ecuación (2) se convertirá $1.6 \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I_z$, o sea $I_n \leq 0.9 \cdot I_z$.

2 Protección de los circuitos de alimentación

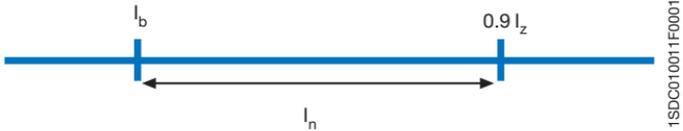
Resumiendo: realizando la protección contra las sobrecargas con un fusible, se deberá cumplir con la siguiente ecuación:

$$I_b \leq I_n \leq 0.9 \cdot I_z$$

lo cual conlleva un menor aprovechamiento del cable.



Interruptor automático: elección de la corriente asignada



Fusible: elección de la corriente asignada

En los casos en los cuales el uso de un solo conductor por fase no sea factible y las corrientes en los conductores en paralelo sean distintas, la corriente de diseño y los requisitos para la protección contra la sobrecarga para cada conductor deberán considerarse por separado.

Ejemplos

Ejemplo 1

Características de la carga

$P_r = 70 \text{ kW}$; $U_r = 400 \text{ V}$; $\cos \varphi = 0.9$; carga trifásica so $I_b = 112 \text{ A}$

Características del cable

$I_z = 134 \text{ A}$

Características del dispositivo de protección

T1B160 TMD $I_n 125$; corriente regulada $I1 = 125 \text{ A}$

2 Protección de los circuitos de alimentación

Ejemplo 2

Características de la carga

$P_r = 80 \text{ kW}$; $\cos\varphi = 0.9$; $U_r = 400 \text{ V}$; carga trifásica so $I_b = 128 \text{ A}$

Características del cable

$I_z = 171 \text{ A}$

Características del dispositivo de protección

T2N160 PR221DS-LS $I_n 160$; corriente regulada $I1 = 0.88 \times I_n = 140.8 \text{ A}$

Ejemplo 3

Características de la carga

$P_r = 100 \text{ kW}$; $\cos\varphi = 0.9$; $U_r = 400 \text{ V}$; carga trifásica so $I_b = 160 \text{ A}$

Características del cable

$I_z = 190 \text{ A}$

Características del dispositivo de protección

T3N250 TMD $I_n 200$; corriente regulada $I1 = 0.9 \times I_n = 180 \text{ A}$

Ejemplo 4

Características de la carga

$P_r = 25 \text{ kW}$; $\cos\varphi = 0.9$; $U_r = 230 \text{ V}$; carga monofásica $I_b = 121 \text{ A}$

Características del cable

$I_z = 134 \text{ A}$

Características del dispositivo de protección

T1B160 1P TMF $I_n 125$

2 Protección de los circuitos de alimentación

2.4 Protección contra cortocircuitos

Un cable resulta protegido contra cortocircuito si la energía específica que deja circular el dispositivo de protección (I^2t) es inferior o igual a la energía específica que puede soportar el cable (k^2S^2)

$$I^2t \leq k^2S^2 \quad (1)$$

Donde:

- I^2t es la energía específica que deja circular el dispositivo de protección obtenible de las curvas facilitadas por el fabricante (véase Tomo 1, Cap. 3.4 "Curvas de la energía específica pasante") o del cálculo directo en el caso de dispositivos no limitadores y retardados
- S es la sección del cable en [mm^2]; en el caso de diversos conductores en paralelo, es la sección de cada conductor
- k es un factor que depende del material aislante y el material conductor del cable. En la Tabla 1 se indican los valores referentes a las situaciones de instalación más comunes; para un cálculo más detallado, véase lo indicado en el Apéndice D.

Tabla 1: Valores de k para conductor de fase

| | Desnudo | | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|---------|----------------------|
| | PVC $\leq 300 \text{ mm}^2$ | PVC $> 300 \text{ mm}^2$ | EPR XLPE | Rubber 60 °C | Mineral | |
| | | | | | PVC | Bare |
| Temperatura inicial °C | 70 | 70 | 90 | 60 | 70 | 105 |
| Temperatura final °C | 160 | 140 | 250 | 200 | 160 | 250 |
| Material del conductor | | | | | | |
| Cobre | 115 | 103 | 143 | 141 | 115 | 135/115 ^a |
| Aluminio | 76 | 68 | 94 | 93 | - | - |
| Juntas soldadas con estaño en conductores de cobre | 115 | - | - | - | - | - |

^a Este valor debe utilizarse para cables desnudos expuestos al contacto

Nota 1: Se están estudiando otros valores de k para:

- pequeños conductores (en particular, para secciones inferiores a 10 mm^2)
- duración del cortocircuito superior a 5 seg
- otros tipos de unión en los conductores
- conductores desnudos

Nota 2: La corriente asignada del dispositivo de protección contra el cortocircuito puede ser superior a la capacidad del cable.

Nota 3: Los valores referidos se basan en la norma IEC 60724.

1SDC010010F0201

2 Protección de los circuitos de alimentación

En la Tabla 2 se indican los valores de energía específica admisible por los cables en función de la sección, del material conductor y del tipo de aislante, calculados utilizando los parámetros de la Tabla 1.

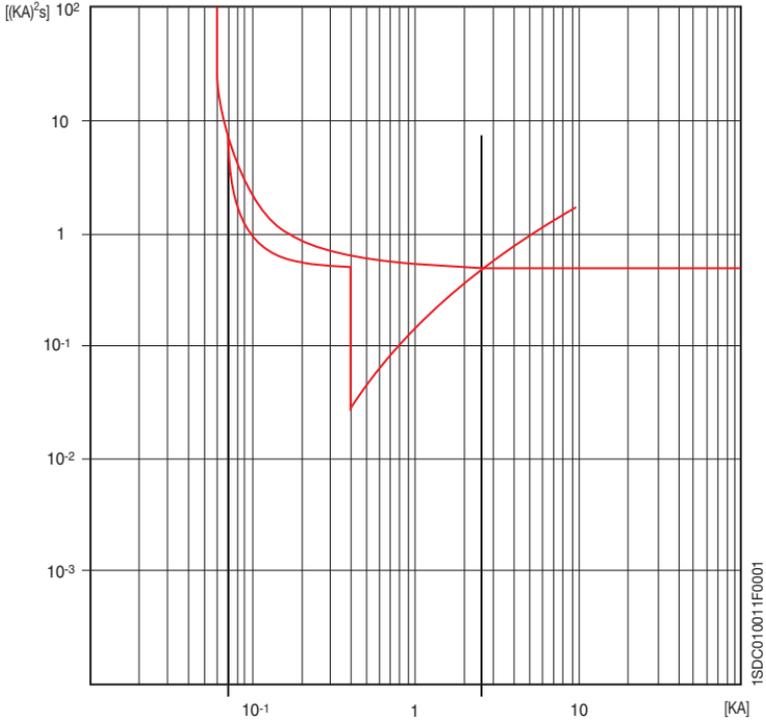
Tabla 2: Valores de energía específica admisible por los cables $k^2 S^2$ [(kA)²s]

| | | Secciones [mm ²] | | | | | | | | |
|----------|----|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|-------------------|-------------------|
| Cable | | k | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 |
| PVC | Cu | 115 | $2.98 \cdot 10^{-2}$ | $8.27 \cdot 10^{-2}$ | $2.12 \cdot 10^{-1}$ | $4.76 \cdot 10^{-1}$ | 1.32 | 3.39 | 8.27 | $1.62 \cdot 10^1$ |
| | Al | 76 | $1.30 \cdot 10^{-2}$ | $3.61 \cdot 10^{-2}$ | $9.24 \cdot 10^{-2}$ | $2.08 \cdot 10^{-1}$ | $5.78 \cdot 10^{-1}$ | 1.48 | 3.61 | 7.08 |
| EPR/XLPE | Cu | 143 | $4.60 \cdot 10^{-2}$ | $1.28 \cdot 10^{-1}$ | $3.27 \cdot 10^{-1}$ | $7.36 \cdot 10^{-1}$ | 2.04 | 5.23 | $1.28 \cdot 10^1$ | $2.51 \cdot 10^1$ |
| | Al | 94 | $1.99 \cdot 10^{-2}$ | $5.52 \cdot 10^{-2}$ | $1.41 \cdot 10^{-1}$ | $3.18 \cdot 10^{-1}$ | $8.84 \cdot 10^{-1}$ | 2.26 | 5.52 | $1.08 \cdot 10^1$ |
| Caucho | Cu | 141 | $4.47 \cdot 10^{-2}$ | $1.24 \cdot 10^{-1}$ | $3.18 \cdot 10^{-1}$ | $7.16 \cdot 10^{-1}$ | 1.99 | 5.09 | $1.24 \cdot 10^1$ | $2.44 \cdot 10^1$ |
| | Al | 93 | $1.95 \cdot 10^{-2}$ | $5.41 \cdot 10^{-2}$ | $1.38 \cdot 10^{-1}$ | $3.11 \cdot 10^{-1}$ | $8.65 \cdot 10^{-1}$ | 2.21 | 5.41 | $1.06 \cdot 10^1$ |

| | | Secciones [mm ²] | | | | | | | | |
|----------|----|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Cable | | k | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 |
| PVC | Cu | 115 | $3.31 \cdot 10^1$ | $6.48 \cdot 10^1$ | $1.19 \cdot 10^2$ | $1.90 \cdot 10^2$ | $2.98 \cdot 10^2$ | $4.53 \cdot 10^2$ | $7.62 \cdot 10^2$ | $1.19 \cdot 10^3$ |
| | Al | 76 | $1.44 \cdot 10^1$ | $2.83 \cdot 10^1$ | $5.21 \cdot 10^1$ | $8.32 \cdot 10^1$ | $1.30 \cdot 10^2$ | $1.98 \cdot 10^2$ | $3.33 \cdot 10^2$ | $5.20 \cdot 10^2$ |
| EPR/XLPE | Cu | 143 | $5.11 \cdot 10^1$ | $1.00 \cdot 10^2$ | $1.85 \cdot 10^2$ | $2.94 \cdot 10^2$ | $4.60 \cdot 10^2$ | $7.00 \cdot 10^2$ | $1.18 \cdot 10^3$ | $1.84 \cdot 10^3$ |
| | Al | 94 | $2.21 \cdot 10^1$ | $4.33 \cdot 10^1$ | $7.97 \cdot 10^1$ | $1.27 \cdot 10^2$ | $1.99 \cdot 10^2$ | $3.02 \cdot 10^2$ | $5.09 \cdot 10^2$ | $7.95 \cdot 10^2$ |
| G2 | Cu | 141 | $4.97 \cdot 10^1$ | $9.74 \cdot 10^1$ | $1.79 \cdot 10^2$ | $2.86 \cdot 10^2$ | $4.47 \cdot 10^2$ | $6.80 \cdot 10^2$ | $1.15 \cdot 10^3$ | $1.79 \cdot 10^3$ |
| | Al | 93 | $2.16 \cdot 10^1$ | $4.24 \cdot 10^1$ | $7.81 \cdot 10^1$ | $1.25 \cdot 10^2$ | $1.95 \cdot 10^2$ | $2.96 \cdot 10^2$ | $4.98 \cdot 10^2$ | $7.78 \cdot 10^2$ |

La ecuación (1) debe cumplirse para toda la longitud del cable. Dada la particular forma de la curva de energía específica pasante de un interruptor automático, en general es suficiente verificar la fórmula (1) sólo para el valor máximo y el valor mínimo de corriente de cortocircuito que pueda presentarse en el conductor. El valor máximo por lo general es el valor de la corriente de cortocircuito trifásica que se tiene al inicio de la línea, mientras que el valor mínimo es el valor de la corriente de cortocircuito fase-neutro (fase-fase si el neutro no está distribuido) o fase-tierra al final de la conducción.

2 Protección de los circuitos de alimentación



La comprobación puede simplificarse comparando el valor de energía específica pasante que deja circular el interruptor automático, a la corriente máxima de cortocircuito, con la energía soportada por el cable y asegurando que la actuación del dispositivo sea instantánea a la corriente mínima de cortocircuito: el umbral de la protección contra el cortocircuito del relé (considerando también las tolerancias) debe ser por tanto inferior a la corriente de cortocircuito mínima al final de la línea.

2 Protección de los circuitos de alimentación

Cálculo de la corriente de cortocircuito al final de la línea

Es posible calcular la corriente mínima de cortocircuito con las siguientes fórmulas aproximadas:

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_f \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} \quad \text{con conductor de neutro sin distribuir} \quad (2.1)$$

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{L}{S}} \quad \text{con conductor de neutro distribuido} \quad (2.2)$$

donde:

- I_{kmin} es el valor mínimo de la corriente de cortocircuito prevista en kA
- U_f es la tensión entre fases de alimentación en V
- U_0 es la tensión de fase de alimentación en V
- ρ es la resistividad a 20°C del material de los conductores en $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ y vale:
 - 0.018 para el cobre
 - 0.027 para el aluminio
- L es la longitud de la conducción protegida en m
- S es la sección del conductor en mm^2
- k_{sec} es el factor de corrección para considerar la reactancia de los cables con sección superior a 95 [mm^2]:

| | | | | | |
|---------------------|-----|------|------|------|------|
| S [mm^2] | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 |
| k_{sec} | 0.9 | 0.85 | 0.80 | 0.75 | 0.72 |

- k_{par} es el coeficiente de corrección para los conductores en paralelo

| | | | | |
|-----------------------------------|---|-----|---|-----|
| número de conductores en paralelo | 2 | 3 | 4 | 5 |
| k_{par}^* | 2 | 2.7 | 3 | 3.2 |

* $k_{par} = 4(n-1)/n$ donde: n = número de conductores en paralelo por fase)

- m es la relación entre la resistencia del conductor de neutro y la resistencia del conductor de fase (en el caso de que estén constituidos por el mismo material, m es la relación entre la sección del conductor de fase y la del conductor de neutro).

Calculada la corriente mínima de cortocircuito, se deberá verificar que:

$$I_{kmin} > 1.2 \cdot I_3 \quad (3)$$

donde:

- I_3 es la corriente de actuación de la protección magnética del interruptor automático
- 1.2 es la tolerancia en el umbral de actuación.

2 Protección de los circuitos de alimentación

Ejemplo

Elección de IA 1

Datos de la instalación:

Tensión asignada 400 V

$I_k = 30 \text{ kA}$

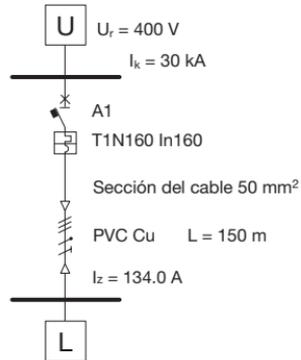
Datos del cable:

Conductor de cobre aislado en PVC

Longitud = 150 m

$S = 50 \text{ mm}^2$

$I_z = 134 \text{ A}$



1SDC010011F0201

Protección contra el cortocircuito al inicio de la línea

T1N160 In160 (poder de corte 36kA@400V)

$I^2t (@30\text{kA}) = 7.5 \cdot 10^1 \text{ (kA)}^2\text{s}$ (a través de las curvas de energía específica pasante, véase Tomo 1, Cap. 3.4)

$k^2S^2 = 115^2 \cdot 50^2 = 3.31 \cdot 10^1 \text{ (kA)}^2\text{s}$

En consecuencia, el cable resulta protegido contra el cortocircuito al inicio de la línea.

Protección contra el cortocircuito al final de la línea

La corriente de cortocircuito mínima al final de la línea ($k_{\text{sec}}=1$ y $k_{\text{par}}=1$) vale:

$$I_{\text{kmin}} = \frac{0.8 \cdot U \cdot k_{\text{sec}} \cdot k_{\text{par}}}{1.5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} = 1.98 \text{ kA}$$

El umbral magnético del interruptor automático T1N160 In160 está fijado en 1600 A. Considerando el 20% de tolerancia se tiene la actuación segura para valores superiores a 1920 A; en consecuencia, el cable resulta también protegido contra cortocircuito al final de la línea.

Longitud máxima protegida

La ecuación (3), indicada en función de la longitud, permite obtener la longitud máxima protegida por el dispositivo de protección con un determinado umbral de actuación instantáneo. En la Tabla 3 es posible identificar, en función de la sección del cable y la regulación del umbral de la protección instantánea contra cortocircuito del interruptor automático, la longitud máxima protegida, suponiendo:

- sistema trifásico con tensión asignada 400 V
- neutro sin distribuir
- conductor de cobre con resistividad de $0.018 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

En los valores de la tabla ya ha sido considerado el coeficiente de tolerancia del 20% sobre el valor de actuación magnética, el aumento de la resistividad del cable por el calentamiento debido a la corriente de cortocircuito y el descenso de la tensión respecto al valor asignado por efecto de la falta.

Cuando las condiciones de instalación difieren de las de referencia, deberán aplicarse los factores de corrección que se indican después de la tabla.

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 3: Longitud máxima protegida

| I ₃ [A] | sección [mm ²] | | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 |
|--------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1.5 | 2.5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 370 | 617 | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 246 | 412 | 658 | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 185 | 309 | 494 | 741 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 148 | 247 | 395 | 593 | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 123 | 206 | 329 | 494 | | | | | | | | | | | | |
| 70 | 105 | 176 | 282 | 423 | 705 | | | | | | | | | | | |
| 80 | 92 | 154 | 246 | 370 | 617 | | | | | | | | | | | |
| 90 | 82 | 137 | 219 | 329 | 549 | | | | | | | | | | | |
| 100 | 74 | 123 | 197 | 296 | 494 | 790 | | | | | | | | | | |
| 120 | 61 | 102 | 164 | 246 | 412 | 658 | | | | | | | | | | |
| 140 | 52 | 88 | 141 | 211 | 353 | 564 | | | | | | | | | | |
| 150 | 49 | 82 | 131 | 197 | 329 | 527 | | | | | | | | | | |
| 160 | 46 | 77 | 123 | 185 | 309 | 494 | 772 | | | | | | | | | |
| 180 | 41 | 68 | 109 | 164 | 274 | 439 | 686 | | | | | | | | | |
| 200 | 37 | 61 | 98 | 148 | 247 | 395 | 617 | | | | | | | | | |
| 220 | 33 | 56 | 89 | 134 | 224 | 359 | 561 | 786 | | | | | | | | |
| 250 | 29 | 49 | 79 | 118 | 198 | 316 | 494 | 691 | | | | | | | | |
| 280 | 26 | 44 | 70 | 105 | 176 | 282 | 441 | 617 | | | | | | | | |
| 300 | 24 | 41 | 65 | 98 | 165 | 263 | 412 | 576 | | | | | | | | |
| 320 | 23 | 38 | 61 | 92 | 154 | 247 | 386 | 540 | 772 | | | | | | | |
| 350 | 21 | 35 | 56 | 84 | 141 | 226 | 353 | 494 | 705 | | | | | | | |
| 380 | 19 | 32 | 52 | 78 | 130 | 208 | 325 | 455 | 650 | | | | | | | |
| 400 | 18 | 30 | 49 | 74 | 123 | 198 | 309 | 432 | 617 | | | | | | | |
| 420 | 17 | 29 | 47 | 70 | 118 | 188 | 294 | 412 | 588 | | | | | | | |
| 450 | 16 | 27 | 43 | 65 | 110 | 176 | 274 | 384 | 549 | 768 | | | | | | |
| 480 | 15 | 25 | 41 | 61 | 103 | 165 | 257 | 360 | 514 | 720 | | | | | | |
| 500 | 14 | 24 | 39 | 59 | 99 | 158 | 247 | 346 | 494 | 691 | | | | | | |
| 520 | 14 | 23 | 38 | 57 | 95 | 152 | 237 | 332 | 475 | 665 | | | | | | |
| 550 | 13 | 22 | 35 | 53 | 90 | 144 | 224 | 314 | 449 | 629 | | | | | | |
| 580 | 12 | 21 | 34 | 51 | 85 | 136 | 213 | 298 | 426 | 596 | 809 | | | | | |
| 600 | 12 | 20 | 32 | 49 | 82 | 132 | 206 | 288 | 412 | 576 | 782 | | | | | |
| 620 | 11 | 19 | 31 | 47 | 80 | 127 | 199 | 279 | 398 | 558 | 757 | | | | | |
| 650 | 11 | 19 | 30 | 45 | 76 | 122 | 190 | 266 | 380 | 532 | 722 | | | | | |
| 680 | 10 | 18 | 29 | 43 | 73 | 116 | 182 | 254 | 363 | 508 | 690 | | | | | |
| 700 | 10 | 17 | 28 | 42 | 71 | 113 | 176 | 247 | 353 | 494 | 670 | 847 | | | | |
| 750 | 16 | 26 | 39 | 66 | 105 | 165 | 230 | 329 | 461 | 626 | 790 | 840 | | | | |
| 800 | 15 | 24 | 37 | 62 | 99 | 154 | 216 | 309 | 432 | 586 | 667 | 787 | | | | |
| 850 | 14 | 23 | 34 | 58 | 93 | 145 | 203 | 290 | 407 | 552 | 627 | 741 | | | | |
| 900 | 13 | 21 | 32 | 55 | 88 | 137 | 192 | 274 | 384 | 521 | 593 | 700 | | | | |
| 950 | 13 | 20 | 31 | 52 | 83 | 130 | 182 | 260 | 364 | 494 | 561 | 663 | | | | |
| 1000 | 12 | 19 | 29 | 49 | 79 | 123 | 173 | 247 | 346 | 469 | 533 | 630 | 731 | | | |
| 1250 | 15 | 23 | 40 | 63 | 99 | 138 | 198 | 277 | 375 | 427 | 504 | 585 | 711 | | | |
| 1500 | 13 | 19 | 33 | 53 | 82 | 115 | 165 | 230 | 313 | 356 | 420 | 487 | 593 | | | |
| 1600 | 12 | 18 | 31 | 49 | 77 | 108 | 154 | 216 | 293 | 333 | 394 | 457 | 556 | 667 | | |
| 2000 | | 14 | 25 | 40 | 62 | 86 | 123 | 173 | 235 | 267 | 315 | 365 | 444 | 533 | | |
| 2500 | | 11 | 20 | 32 | 49 | 69 | 99 | 138 | 188 | 213 | 252 | 292 | 356 | 427 | | |
| 3000 | | | 16 | 26 | 41 | 58 | 82 | 115 | 156 | 178 | 210 | 244 | 296 | 356 | | |
| 3200 | | | 15 | 25 | 39 | 54 | 77 | 108 | 147 | 167 | 197 | 228 | 278 | 333 | | |
| 4000 | | | 12 | 20 | 31 | 43 | 62 | 86 | 117 | 133 | 157 | 183 | 222 | 267 | | |
| 5000 | | | 10 | 16 | 25 | 35 | 49 | 69 | 94 | 107 | 126 | 146 | 178 | 213 | | |
| 6300 | | | | 13 | 20 | 27 | 39 | 55 | 74 | 85 | 100 | 116 | 141 | 169 | | |
| 8000 | | | | 10 | 15 | 22 | 31 | 43 | 59 | 67 | 79 | 91 | 111 | 133 | | |
| 9600 | | | | | 13 | 18 | 26 | 36 | 49 | 56 | 66 | 76 | 93 | 111 | | |
| 10000 | | | | | 12 | 17 | 25 | 35 | 47 | 53 | 63 | 73 | 89 | 107 | | |
| 12000 | | | | | 10 | 14 | 21 | 29 | 39 | 44 | 52 | 61 | 74 | 89 | | |
| 15000 | | | | | | 12 | 16 | 23 | 31 | 36 | 42 | 49 | 59 | 71 | | |
| 20000 | | | | | | 12 | 17 | 23 | 27 | 31 | 37 | 44 | 53 | | | |
| 24000 | | | | | | | 10 | 14 | 20 | 22 | 26 | 30 | 37 | 44 | | |
| 30000 | | | | | | | | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 40 | 49 | | |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Factor de corrección para tensiones diversas de 400 V: k_v

Se debe multiplicar el valor de longitud obtenido de la tabla por el siguiente factor de corrección k_v :

| U_r [V] (valor trifásico) | k_v |
|--------------------------------|-------|
| 230 ⁽¹⁾ | 0.58 |
| 400 | 1 |
| 440 | 1.1 |
| 500 | 1.25 |
| 690 | 1.73 |

⁽¹⁾ 230 V en monofásico equivale a un sistema de 400 V trifásico con neutro distribuido y con la sección del conductor de fase igual a la del conductor de neutro, por lo que k_v vale 0.58.

Factor de corrección para neutro distribuido: k_d

Se debe multiplicar el valor de longitud obtenido en la tabla por el siguiente factor de corrección k_d :

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S}{S_N}}$$

donde:

- S es la sección de la fase en mm^2
- S_N es la sección del neutro en mm^2 .

En particular:

$$\text{if } S = S_N \rightarrow k_d \text{ is } 0.58;$$

$$\text{if } S = 2 \cdot S_N \rightarrow k_d \text{ is } 0.39.$$

Factor de corrección para conductores de aluminio: k_a

Si el cable es de aluminio, se deberá multiplicar el valor de longitud obtenido a través de la tabla por el factor de corrección k_a equivalente a 0.67.

2 Protección de los circuitos de alimentación

En resumen:

A través de la tabla, en correspondencia con la sección y el umbral de actuación magnético, se lee un valor L_0 de la longitud máxima protegida; de precisarse, luego se deberá multiplicar dicha longitud por los factores de corrección, con objeto de obtener un valor coherente con las condiciones de funcionamiento de la instalación:

$$L = L_0 k_v k_d k_r$$

Ejemplo 1

Neutro sin distribuir

Tensión asignada = 400 V

Dispositivo de protección: T2N160 TMD In100

Regulación del umbral magnético: $I_3 = 1000$ A

Sección de la fase = Sección del neutro = 70 mm²

En la tabla, en correspondencia con $I_3 = 1000$ A, el cable de 70 mm² resulta protegido hasta una longitud de 346 m.

Ejemplo 2

Neutro distribuido

Tensión asignada = 400 V

Dispositivo de protección: T3S250 TMD In200

Regulación del umbral magnético: $I_3 = 2000$ A

Sección de la fase = 300 mm²

Sección del neutro = 150 mm²

En correspondencia con $I_3 = 2.000$ A y $S = 300$ mm² se obtendría una longitud protegida igual a $L_0 = 533$ m.

Aplicando el coeficiente de corrección k_d requerido cuando el neutro está distribuido:

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S}{S_N}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{300}{150}} = 0.39$$

$$L = L_0 \cdot 0.39 = 533 \cdot 0.39 = 207.9 \text{ m}$$

longitud máxima protegida para red con neutro distribuido.

2 Protección de los circuitos de alimentación

2.5 Conductores de neutro y de protección

Conductor de neutro

El conductor de neutro es un conductor conectado con el punto de neutro del sistema (generalmente, pero no necesariamente coincide con el centro estrella del arrollamiento secundario del transformador o del generador). Capaz de contribuir a la transmisión de la energía eléctrica, haciendo disponible una tensión distinta de la existente entre fases. En ciertos casos y condiciones indicadas es posible combinar en un solo conductor (PEN) las funciones de conductor de neutro y conductor de protección.

Protección e interrupción del conductor de neutro

En condiciones de falta, en el conductor de neutro se puede presentar una tensión respecto a tierra. Esto puede ser causado por un cortocircuito entre fase y neutro, y por la interrupción del conductor de neutro por ruptura accidental o actuación de dispositivos unipolares (fusibles o interruptores automáticos unipolares).

Si en un circuito tetrapolar solamente se desconecta el conductor de neutro la tensión de alimentación de las cargas monofásicas se altera ya que quedan alimentadas a una tensión distinta a la de fase-neutro U_0 (tal y como se muestra en la Figura 1); en consecuencia, deben tomarse todas las precauciones posibles para evitar que ocurra ese tipo de defecto; por ejemplo, evitando proteger el conductor de neutro con dispositivos unipolares.

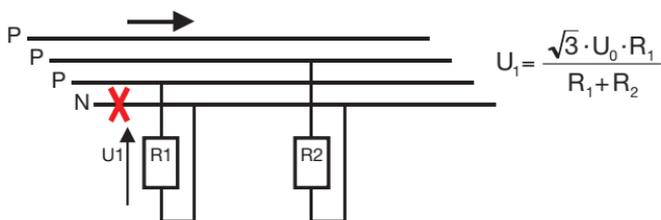


Figura 1: Interrupción del conductor de neutro

Además en el sistema de distribución TN-C la aparición de una tensión respecto a tierra en el conductor de neutro constituye un peligro para las personas ya que, cumpliendo este conductor también las funciones de conductor de protección, dicha tensión se presenta también en las masas conectadas al mismo. Para el sistema TN-C las normas establecen secciones mínimas (véase el apartado siguiente) del conductor de neutro, con el fin de poder considerar despreciable la posibilidad de una rotura del mismo por causas accidentales y prohíben la utilización de cualquier dispositivo (unipolar o multipolar) que pueda seccionar el PEN.

La necesidad de protección en el conductor de neutro y la posibilidad de una interrupción del mismo depende del sistema de distribución:

2 Protección de los circuitos de alimentación

Sistemas TT o TN:

- cuando la sección del conductor de neutro es igual o superior a la sección de fase no hace falta detectar las sobrecorrientes en el conductor de neutro, ni tampoco prever un dispositivo de interrupción en dicho conductor (neutro sin proteger ni seccionar); obsérvese que dicha disposición tiene validez sólo en ausencia de armónicos que originen valores eficaces de la corriente en el conductor de neutro superiores a la corriente máxima medida en los conductores de fase;
- cuando la sección del conductor de neutro es inferior a la del conductor de fase deben detectarse las sobrecorrientes en el conductor de neutro, de manera de provocar la interrupción de los conductores de fase, pero no necesariamente la del conductor de neutro (neutro protegido pero no seccionado); en este caso, no hace falta detectar las sobrecorrientes en el conductor de neutro si al mismo tiempo se cumplen las siguientes condiciones:
 1. el conductor de neutro está protegido contra el cortocircuito por el dispositivo de protección de los conductores de fase del circuito;
 2. la corriente máxima que puede circular a través del conductor de neutro en funcionamiento ordinario es inferior a la capacidad de corriente admisible del conductor.

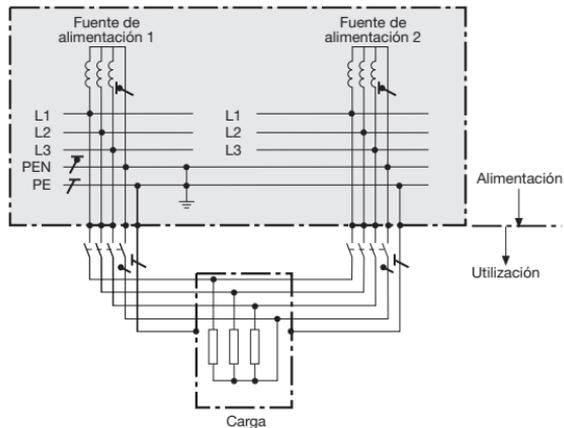
En los sistemas TN-S, es posible no desconectar el neutro si las condiciones de alimentación son tales que la conexión del conductor de neutro al potencial de tierra puede ser considerada fiable.

En los sistemas TN-C, como ya se ha dicho anteriormente, el conductor de neutro tiene también la función de conductor de protección, por lo que no puede seccionarse; además, si se interrumpiera, las masas de los aparatos usuarios monofásicos podrían estar sometidos a la tensión a tierra del sistema.

En algunos casos específicos, la interrupción del conductor de neutro resulta necesaria para evitar la presencia de corrientes que circulan entre las fuentes de alimentación en paralelo (véanse las Figuras 2 y 3)

Figura 2: Alimentación alternativa trifásica con un interruptor tetrapolar

NOTA: Este método garantiza la posibilidad de prevenir campos electromagnéticos debidos a corrientes errantes en el circuito principal de alimentación de una instalación. La suma en cada cable debe ser nula. Esto garantiza el paso de la corriente de neutro solamente en el conductor de neutro del circuito activo relativo. La corriente de tercer armónico (150 Hz) será sumada con el mismo ángulo de fase a la corriente del conductor de neutro.

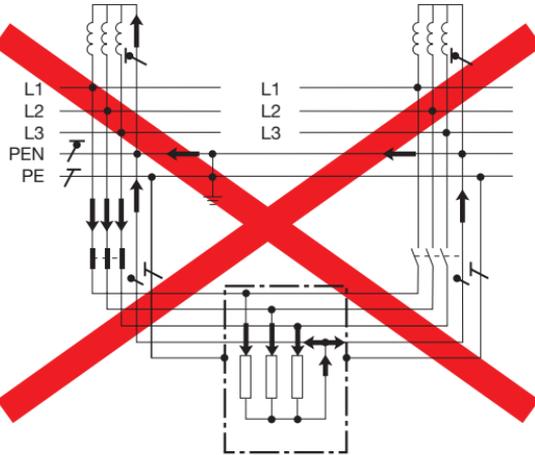


2

1SDC010012F0201

2 Protección de los circuitos de alimentación

Figura 3: Alimentación alternativa trifásica con un interruptor tripolar no apropiado



NOTA: Una fuente de alimentación alternativa trifásica con un interruptor automático tripolar no es adecuada ya que origina corrientes errantes que circulan indeseadamente y que generan campos electromagnéticos.

1SDC010014F0001

Sistemas IT:

La norma aconseja no distribuir el neutro en los sistemas IT.

Si el conductor de neutro está distribuido, deberán detectarse las sobrecorrientes en el conductor de neutro de cada circuito de manera de provocar la interrupción de todos los conductores activos del circuito correspondiente, incluido el conductor de neutro (neutro protegido y seccionado).

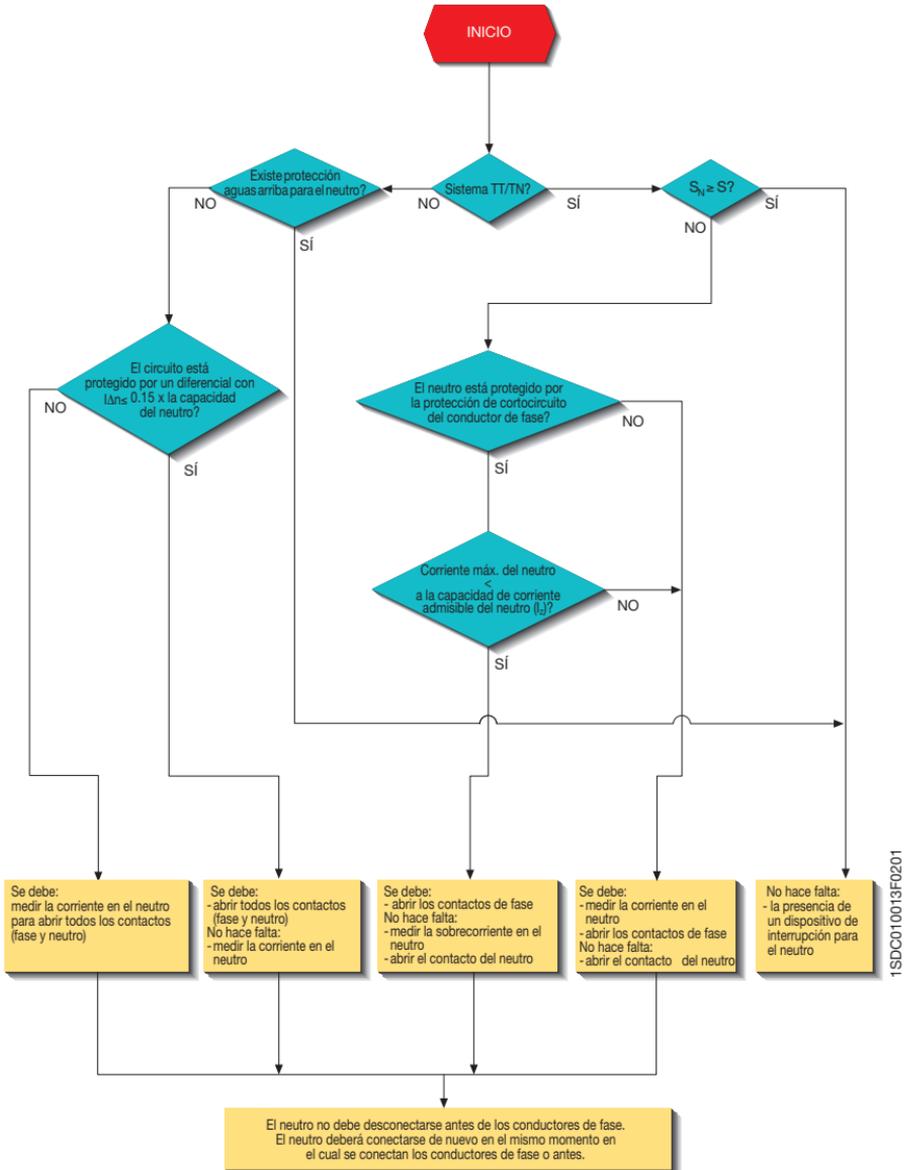
No hace falta detectar las sobrecorrientes en el conductor de neutro, si se da alguno de los siguientes casos:

- el conductor de neutro está protegido contra los cortocircuitos por un dispositivo de protección puesto aguas arriba;
- el circuito está protegido por un dispositivo diferencial con corriente asignada diferencial no superior a 0,15 veces la capacidad de corriente admisible del conductor de neutro correspondiente; este dispositivo tiene que abrir todos los conductores activos, incluido el conductor de neutro.

Para todos los sistemas de distribución, la desconexión y la conexión del conductor de neutro, debe ser tal que:

- el conductor de neutro no se desconecte antes que los conductores de fase;
- el conductor de neutro se conecte en el mismo momento o antes que los conductores de fase.

2 Protección de los circuitos de alimentación



2 Protección de los circuitos de alimentación

Determinación de la sección mínima del conductor de neutro

El conductor de neutro debe tener la misma sección que la del conductor de fase:

- en los circuitos monofásicos con dos conductores cualquiera que sea la sección;
- en los circuitos polifásicos y los circuitos monofásicos con tres conductores, cuando la sección de los conductores de fase es inferior o igual a 16 mm² si son de cobre o 25 mm² si son de aluminio.¹

Cuando los conductores de fase tengan una sección superior a 16 mm² (si son de cobre) o a 25 mm² (si son de aluminio), el conductor de neutro podrá tener una sección inferior a la de los conductores de fase si se cumplen al mismo tiempo las siguientes condiciones:

- a sección del conductor de neutro sea por lo menos igual a 16 mm² para los conductores de cobre o a 25 mm² para los conductores de aluminio;
- no estén presentes fuertes distorsiones armónicas de la corriente de carga; en presencia de fuertes distorsiones armónicas (el contenido del armónico es superior al 10%); por ejemplo, en el caso de aparatos con lámparas de descarga, la sección del conductor de neutro no puede ser inferior a la de los conductores de fase.

Tabla 1: Secciones mínimas del conductor de neutro

| | Sección fase S [mm ²] | Sección mínima neutro S _N [mm ²] |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Circuitos monofásico/bifásicos | | |
| Cu/Al | Cualquiera | S' |
| Circuitos trifásico | S ≤ 16 | S' |
| Cu | S > 16 | 16 |
| Circuitos trifásico | S ≤ 25 | S' |
| Al | S > 25 | 25 |

¹ en los sistemas de distribución TN-C las normas establecen una sección mínima de 10 mm² si es de cobre y de 16 mm² si es de aluminio

¹ La sección de los conductores de fase debe dimensionarse de conformidad con lo indicado en el capítulo 2.2.1 "Capacidad de corriente admisible y sistemas de instalación"

2 Protección de los circuitos de alimentación

Conductor de protección

Determinación de las secciones mínimas

La sección mínima del conductor de protección puede determinarse utilizando la siguiente tabla:

Tabla 2: Sección del conductor de protección

| Sección del conductor de línea S [mm ²] | Sección mínima del conductor de protección correspondiente [mm ²] | |
|--|---|--|
| | Cuando el conductor de protección es del mismo material que el del conductor de línea | Cuando el conductor de protección no es del mismo material que el del conductor de línea |
| $S \leq 16$ | S | $\frac{k_1}{k_2} \cdot S$ |
| $16 < S \leq 35$ | 16* | $\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$ |
| $S > 35$ | $\frac{S}{2}$ | $\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S}{2}$ |

Donde:

k_1 es el valor de k para el conductor de línea elegido en la Tabla 1, Capítulo 2.4, en base a los materiales del conductor y al aislamiento;

k_2 es el valor de k para el conductor de protección.

* En lo referente al conductor PEN, es posible una reducción de la sección sólo de conformidad con las reglas para el dimensionamiento del conductor de neutro.

1SDC010014F0201

2

Para un cálculo más exacto y suponiendo que el conductor de protección sufra un calentamiento adiabático de una temperatura inicial conocida a una temperatura final especificada (aplicable para un tiempo de extinción del defecto no superior a 5 seg.), la sección mínima del conductor de protección S_{PE} puede obtenerse a través de la siguiente fórmula:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

donde:

- S_{PE} es la sección del conductor de protección [mm²]
- I es el valor eficaz (r.m.s.) de la corriente de defecto que puede circular por el conductor de protección debido a un defecto de impedancia despreciable [A]
- t es el tiempo de actuación del dispositivo de protección [s]

2 Protección de los circuitos de alimentación

- k es una constante cuyo valor depende del material del conductor de protección, del tipo de aislamiento y de las temperaturas iniciales y finales; los valores más corrientes pueden obtenerse a través de las Tablas 3 y 4.

Tabla 3: Valores de k para conductores de protección aislados no incorporados en cables y no en haz con otros cables

| Aislamiento del conductor | Temperatura °C ^b | | Material conductor | | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| | | | Cobre | Aluminio | Acero |
| | inicial | final | Valores for k | | |
| 70 °C PVC | 30 | 160/140 ^a | 143/133 ^a | 95/88 ^a | 52/49 ^a |
| 90 °C PVC | 30 | 143/133 ^a | 143/133 ^a | 95/88 ^a | 52/49 ^a |
| 90 °C termoendurecible | 30 | 250 | 176 | 116 | 64 |
| 60 °C caucho | 30 | 200 | 159 | 105 | 58 |
| 85 °C caucho | 30 | 220 | 168 | 110 | 60 |
| Caucho de silicona | 30 | 350 | 201 | 133 | 73 |

^a El valor inferior se aplica a conductores aislados de PVC con sección superior a 300 mm².
^b Límites de temperaturas para diversos tipos de aislamiento se indican en la norma IEC 60724.

1SDC010015F0201

Tabla 4: Valores de k para conductores de protección incorporado en cable o haz con otros cables o conductores aislados

| Aislamiento del conductor | Temperatura °C ^b | | Material conductor | | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| | | | Cobre | Aluminio | Acero |
| | inicial | final | Valores for k | | |
| 70 °C PVC | 70 | 160/140 ^a | 115/103 ^a | 76/68 ^a | 42/37 ^a |
| 90 °C PVC | 90 | 160/140 ^a | 100/86 ^a | 66/57 ^a | 36/31 ^a |
| 90 °C termoendurecible | 90 | 250 | 143 | 94 | 52 |
| 60 °C caucho | 60 | 200 | 141 | 93 | 51 |
| 85 °C caucho | 85 | 220 | 134 | 89 | 48 |
| Caucho de silicona | 180 | 350 | 132 | 87 | 47 |

^a El valor inferior se aplica a conductores aislados de PVC con sección superior a 300 mm².
^b Límites de temperaturas para diversos tipos de aislamiento se indican en la norma IEC 60724.

1SDC010015F0201

2 Protección de los circuitos de alimentación

Ulteriores valores de k podrán obtenerse a través de las tablas incluidas en el Anexo D, en el cual se da una fórmula para calcular el valor de k de manera exacta.

En el caso de que la aplicación de la Tabla 2 o la fórmula (1) no resultara una sección normalizada, se deberá elegir un conductor de protección con la sección normalizada inmediatamente superior.

Tanto si se utiliza la Tabla 2 como la fórmula (1), la sección del conductor de protección, que no forme parte del cable de alimentación, no deberá ser inferior a:

- 2.5 mm² Cu/16 mm² Al, si está prevista una protección mecánica;
- 4 mm² Cu/16 mm² Al, si no está prevista una protección mecánica.

Con cargas genéricas pensadas para conexión permanente y con un conductor de protección que supere los 10 mA, los conductores de protección reforzados deberán ser diseñados como sigue:

- o bien el conductor de protección tendrá, a lo largo de toda su longitud, una sección de por lo menos 10 mm² si es de cobre o 16 mm² si es de aluminio;
- o un segundo conductor de protección con sección por lo menos análoga a la requerida para la protección contra los contactos indirectos será colocado hasta un punto en el que el conductor de protección tenga una sección no inferior a 10 mm² si es de cobre o 16 mm² si es de aluminio, lo cual conlleva que el equipo tenga un terminal al efecto para un segundo conductor de protección.

Cuando se utilicen dispositivos de protección contra las sobretensiones como protección contra el choque eléctrico, el conductor de protección deberá incorporarse en el mismo sistema de cableado que el de los conductores activos

2 Protección de los circuitos de alimentación

2.6 Conductos de barras prefabricados (BTS)

En las instalaciones eléctricas en ámbito industrial, el uso de los conductos de barras prefabricados permite optimizar la distribución de la energía, incluso frente a las modificaciones inevitables, tales como incorporación, desplazamiento o sustitución de aparatos utilizadores; además de facilitar los trabajos de mantenimiento y las verificaciones de seguridad.

Se utilizan principalmente para:

- alimentación de puntos de alumbrado, alimentación de seguridad y distribución de pequeña potencia;
- líneas de alumbrado (potencias medianas);
- alimentación y distribución de potencia (potencias medianas y grandes);
- alimentación de aparatos utilizadores móviles (puentes-grúa).

Las normas de referencia para los conductos de barras prefabricados son:

- IEC 60439 – 1 “*Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies*”.
- IEC 60439 – 2 “*Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: Particular requirements for busbar trunking systems (busways)*”.

Conductos de barras prefabricados consisten en:

- *conductores/barras conductoras;*
- *acoplamientos:* componentes de conexión eléctrico y mecánico de los diversos componentes;
- *componentes rectilíneos:* componente básico de la línea de el transporte de la energía desde la fuente hasta el utilizador;
- *componentes de recorrido:* acoplamientos flexibles para la realización de curvas o para evitar obstáculos, ángulos horizontales, verticales, componentes en T y componentes en cruz para la realización de cualquier recorrido;
- *cajas de derivación:* componentes que permiten la alimentación directa de lámparas o máquinas. disponen de protección integrada (fusibles o interruptores automáticos);
- *suspensiones/accesorios:* suspensiones y componentes de fijación para los conductos y eventualmente para el soporte de cargas especiales (componentes de alumbrado, etc.).

Dimensionamiento de un conducto de barras prefabricado

Para dimensionar el conducto de barras prefabricado se debe determinar la corriente de utilización mediante los siguientes datos:

Características de la alimentación

- Tipo de alimentación de las cargas:
 - monofásica
 - trifásica
- Tipo de alimentación del conducto:
 - desde un extremo
 - desde ambos extremos
 - alimentación central
- Tensión asignada de alimentación
- Corriente de cortocircuito en el punto de alimentación
- Temperatura ambiente

Características de las cargas

- Número, distribución, potencia, factor de potencia y tipo de cargas alimentadas por el mismo conducto

2 Protección de los circuitos de alimentación

Geometría del conducto

- Tipo de instalación:
 - plano
 - de canto
 - vertical
- Longitud del conducto

NOTA: Los conductos de barras prefabricados deben separarse de las paredes y de los techos, de manera de permitir el control visual de los conexiones durante la fase de montaje y la fácil inserción de las unidades de derivación.

A ser posible, es preferible instalar el conducto de canto con objeto de mejorar la resistencia mecánica de flexión y reducir la posible acumulación de polvo y sustancias contaminantes que puedan perjudicar el nivel de aislamiento interior.

Corriente de empleo en un sistema trifásico

La corriente de empleo I_b en un sistema trifásico se calcula en base a la siguiente fórmula:

$$I_b = \frac{P_t \cdot b}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos \varphi_m} \quad [\text{A}] \quad (1)$$

donde:

- P_t es la suma total de las potencias activas de las cargas instaladas en [W];
- b es el factor de alimentación que vale:
 - 1 si el conducto se alimenta por un solo lado;
 - 1/2 si el conducto se alimenta desde el centro o simultáneamente desde ambos extremos;
- U_r es la tensión de funcionamiento en [V];
- $\cos \varphi_m$ es el factor de potencia medio de las cargas.

Elección de la corriente admisible del conducto de barras prefabricado

El conducto de barras prefabricado debe elegirse de forma tal que tenga una corriente admisible I_z que cumpla con la siguiente condición:

$$I_b \leq I_{z0} \cdot k_t = I_z \quad (2)$$

donde

- I_{z0} es la corriente que el conducto puede transportar indefinidamente a la temperatura de referencia (40°C);
- I_b es la corriente de empleo;
- k_t es el coeficiente de corrección para valores de temperatura ambiente distintos de los de referencia, indicado en la Tabla 1.

Tabla 1: Coeficiente de corrección k_t para temperatura ambiente distinta de 40°C

| Temperatura ambiente [°C] | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|---------------------------|-----|------|------|------|------|----|------|------|
| k_t | 1.2 | 1.17 | 1.12 | 1.08 | 1.05 | 1 | 0.95 | 0.85 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Nota: las siguientes tablas muestran los parámetros típicos de los BTS del mercado

Tabla 2: valores de corriente admisible I_{z0} de los conductos de barras prefabricados de cobre

| Tamaño | Tipo | Número de conductores | I_{z0} [A] | r_{ph}^* [mΩ/m] | x_{ph} [mΩ/m] | U [V] |
|--------|------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------|-------|
| 25 | 25A 4 conductores Cu | 4 | 25 | 6.964 | 1.144 | 400 |
| 25 | 25A 4 conductores Cu | 4 | 25 | 6.876 | 1.400 | 400 |
| 25 | 25A 4+4 conductores Cu | 4+4 | 25 | 6.876 | 1.400 | 400 |
| 40 | 40A 4 conductores Cu | 4 | 40 | 3.556 | 0.792 | 400 |
| 40 | 40A 4 conductores Cu | 4 | 40 | 3.516 | 1.580 | 400 |
| 40 | 40A 4+4 conductores Cu | 4+4 | 40 | 3.516 | 1.580 | 400 |
| 40 | 40A 4 conductores Cu | 4 | 40 | 2.173 | 0.290 | 400 |
| 63 | 63A 4 conductores Cu | 4 | 63 | 1.648 | 0.637 | 400 |
| 100 | 100A 4 conductores Cu | 4 | 100 | 0.790 | 0.366 | 40 |
| 160 | 160A 4 conductores Cu | 4 | 160 | 0.574 | 0.247 | 400 |
| 160 | 160A 4 conductores Cu | 4 | 160 | 0.335 | 0.314 | 500 |
| 160 | 160A 5 conductores Cu | 5 | 160 | 0.335 | 0.314 | 500 |
| 250 | 250A 4 conductores Cu | 4 | 250 | 0.285 | 0.205 | 1000 |
| 250 | 250A 5 conductores Cu | 5 | 250 | 0.285 | 0.205 | 1000 |
| 250 | 250A 4 conductores Cu | 4 | 250 | 0.194 | 0.205 | 500 |
| 250 | 250A 5 conductores Cu | 5 | 250 | 0.194 | 0.205 | 500 |
| 315 | 315A 4 conductores Cu | 4 | 315 | 0.216 | 0.188 | 1000 |
| 315 | 315A 5 conductores Cu | 5 | 315 | 0.216 | 0.188 | 1000 |
| 350 | 350A 4 conductores Cu | 4 | 350 | 0.142 | 0.188 | 500 |
| 350 | 350A 5 conductores Cu | 5 | 350 | 0.142 | 0.188 | 500 |
| 400 | 400A 4 conductores Cu | 4 | 400 | 0.115 | 0.129 | 1000 |
| 400 | 400A 5 conductores Cu | 5 | 400 | 0.115 | 0.129 | 1000 |
| 500 | 500A 4 conductores Cu | 4 | 500 | 0.092 | 0.129 | 500 |
| 500 | 500A 5 conductores Cu | 5 | 500 | 0.092 | 0.129 | 500 |
| 630 | 630A 4 conductores Cu | 4 | 630 | 0.073 | 0.122 | 1000 |
| 630 | 630A 5 conductores Cu | 5 | 630 | 0.073 | 0.122 | 1000 |
| 700 | 700A 4 conductores Cu | 4 | 700 | 0.077 | 0.122 | 500 |
| 700 | 700A 5 conductores Cu | 5 | 700 | 0.077 | 0.122 | 500 |
| 700 | 700A 5 conductores Cu | 5 | 700 | 0.077 | 0.122 | 500 |
| 700 | 700A 4 conductores Cu | 4 | 700 | 0.077 | 0.122 | 500 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tamaño | Tipo | Número de conductores | I_{z0} [A] | r_{ph}^* [mΩ/m] | x_{ph} [mΩ/m] | U_r [V] |
|--------|------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------|
| 800 | 800A 4 conductores Cu | 4 | 800 | 0.047 | 0.122 | 1000 |
| 800 | 800A 5 conductores Cu | 5 | 800 | 0.047 | 0.122 | 1000 |
| 800 | 800A 4 conductores Cu | 4 | 800 | 0.038 | 0.027 | 1000 |
| 800 | 800A 4 conductores Cu | 4 | 800 | 0.072 | 0.122 | 500 |
| 800 | 800A 5 conductores Cu | 5 | 800 | 0.072 | 0.122 | 500 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 4 | 1000 | 0.038 | 0.120 | 1000 |
| 1000 | 1000A 5 conductores Cu | 5 | 1000 | 0.038 | 0.120 | 1000 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 4 | 1000 | 0.037 | 0.026 | 1000 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 4 | 1000 | 0.038 | 0.097 | 1000 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 4 | 1000 | 0.068 | 0.120 | 500 |
| 1000 | 1000A 5 conductores Cu | 5 | 1000 | 0.068 | 0.120 | 500 |
| 1200 | 1200A 4 conductores Cu | 4 | 1200 | 0.035 | 0.021 | 1000 |
| 1250 | 1250A 4 conductores Cu | 4 | 1250 | 0.034 | 0.023 | 1000 |
| 1250 | 1250A 4 conductores Cu | 4 | 1250 | 0.035 | 0.076 | 1000 |
| 1500 | 1500A 4 conductores Cu | 4 | 1500 | 0.030 | 0.022 | 1000 |
| 1600 | 1600A 4 conductores Cu | 4 | 1600 | 0.025 | 0.018 | 1000 |
| 1600 | 1600A 4 conductores Cu | 4 | 1600 | 0.034 | 0.074 | 1000 |
| 2000 | 2000A 4 conductores Cu | 4 | 2000 | 0.020 | 0.015 | 1000 |
| 2000 | 2000A 4 conductores Cu | 4 | 2000 | 0.025 | 0.074 | 1000 |
| 2400 | 2400A 4 conductores Cu | 4 | 2400 | 0.019 | 0.012 | 1000 |
| 2500 | 2500A 4 conductores Cu | 4 | 2500 | 0.016 | 0.011 | 1000 |
| 2500 | 2500A 4 conductores Cu | 4 | 2500 | 0.019 | 0.040 | 1000 |
| 3000 | 3000A 4 conductores Cu | 4 | 3000 | 0.014 | 0.011 | 1000 |
| 3000 | 3000A 4 conductores Cu | 4 | 3000 | 0.017 | 0.031 | 1000 |
| 3200 | 3200A 4 conductores Cu | 4 | 3200 | 0.013 | 0.009 | 1000 |
| 3200 | 3200A 4 conductores Cu | 4 | 3200 | 0.015 | 0.031 | 1000 |
| 4000 | 4000A 4 conductores Cu | 4 | 4000 | 0.011 | 0.007 | 1000 |
| 4000 | 4000A 4 conductores Cu | 4 | 4000 | 0.011 | 0.026 | 1000 |
| 5000 | 5000A 4 conductores Cu | 4 | 5000 | 0.008 | 0.005 | 1000 |
| 5000 | 5000A 4 conductores Cu | 4 | 5000 | 0.008 | 0.023 | 1000 |

*resistencia de fase a I_{z0}

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 3: valor de corriente admisible I_{z0} de los conductos de barras prefabricados de aluminio

| Tamaño | Tipo | Número de conductores | I_{z0} [A] | r_{ph}^* [$m\Omega/m$] | x_{ph} [$m\Omega/m$] | U_r [V] |
|--------|-----------------------|-----------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|-----------|
| 160 | 160A 4 conductores Al | 4 | 160 | 0.591 | 0.260 | 1000 |
| 160 | 160A 5 conductores Al | 5 | 160 | 0.591 | 0.260 | 1000 |
| 160 | 160A 4 conductores Al | 4 | 160 | 0.431 | 0.260 | 500 |
| 160 | 160A 5 conductores Al | 5 | 160 | 0.431 | 0.260 | 500 |
| 250 | 250A 4 conductores Al | 4 | 250 | 0.394 | 0.202 | 1000 |
| 250 | 250A 5 conductores Al | 5 | 250 | 0.394 | 0.202 | 1000 |
| 250 | 250A 4 conductores Al | 4 | 250 | 0.226 | 0.202 | 500 |
| 250 | 250A 5 conductores Al | 5 | 250 | 0.226 | 0.202 | 500 |
| 315 | 315A 4 conductores Al | 4 | 315 | 0.236 | 0.186 | 1000 |
| 315 | 315A 5 conductores Al | 5 | 315 | 0.236 | 0.186 | 1000 |
| 315 | 315A 4 conductores Al | 4 | 315 | 0.181 | 0.186 | 500 |
| 315 | 315A 5 conductores Al | 5 | 315 | 0.181 | 0.186 | 500 |
| 400 | 400A 4 conductores Al | 4 | 400 | 0.144 | 0.130 | 1000 |
| 400 | 400A 5 conductores Al | 5 | 400 | 0.144 | 0.130 | 1000 |
| 400 | 400A 4 conductores Al | 4 | 400 | 0.125 | 0.130 | 500 |
| 400 | 400A 5 conductores Al | 5 | 400 | 0.125 | 0.130 | 500 |
| 500 | 500A 4 conductores Al | 4 | 500 | 0.102 | 0.127 | 500 |
| 500 | 500A 5 conductores Al | 5 | 500 | 0.102 | 0.127 | 500 |
| 630 | 630A 4 conductores Al | 4 | 630 | 0.072 | 0.097 | 1000 |
| 630 | 630A 5 conductores Al | 5 | 630 | 0.072 | 0.097 | 1000 |
| 630 | 630A 4 conductores Al | 4 | 630 | 0.072 | 0.029 | 1000 |
| 630 | 630A 4 conductores Al | 4 | 630 | 0.073 | 0.097 | 500 |
| 630 | 630A 5 conductores Al | 5 | 630 | 0.073 | 0.097 | 500 |
| 800 | 800A 4 conductores Al | 4 | 800 | 0.062 | 0.096 | 1000 |
| 800 | 800A 5 conductores Al | 5 | 800 | 0.062 | 0.096 | 1000 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tamaño | Tipo | Número de conductores | I_{z0} [A] | r_{ph}^* [mΩ/m] | x_{ph} [mΩ/m] | U [V] |
|--------|------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------|-------|
| 800 | 800A 4 conductores Al | 4 | 800 | 0.067 | 0.027 | 1000 |
| 800 | 800A 4 conductores Al | 4 | 800 | 0.071 | 0.096 | 500 |
| 800 | 800A 5 conductores Al | 5 | 800 | 0.071 | 0.096 | 500 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Al | 4 | 1000 | 0.062 | 0.023 | 1000 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Al | 4 | 1000 | 0.068 | 0.087 | 1000 |
| 1200 | 1200A 4 conductores Al | 4 | 1200 | 0.054 | 0.023 | 1000 |
| 1250 | 1250A 4 conductores Al | 4 | 1250 | 0.044 | 0.021 | 1000 |
| 1250 | 1250A 4 conductores Al | 4 | 1250 | 0.044 | 0.066 | 1000 |
| 1500 | 1500A 4 conductores Al | 4 | 1500 | 0.041 | 0.023 | 1000 |
| 1600 | 1600A 4 conductores Al | 4 | 1600 | 0.035 | 0.017 | 1000 |
| 1600 | 1600A 4 conductores Al | 4 | 1600 | 0.041 | 0.066 | 1000 |
| 2000 | 2000A 4 conductores Al | 4 | 2000 | 0.029 | 0.016 | 1000 |
| 2000 | 2000A 4 conductores Al | 4 | 2000 | 0.034 | 0.053 | 1000 |
| 2250 | 2250A 4 conductores Al | 4 | 2250 | 0.032 | 0.049 | 1000 |
| 2400 | 2400A 4 conductores Al | 4 | 2400 | 0.028 | 0.012 | 1000 |
| 2500 | 2500A 4 conductores Al | 4 | 2500 | 0.022 | 0.011 | 1000 |
| 2500 | 2500A 4 conductores Al | 4 | 2500 | 0.022 | 0.034 | 1000 |
| 3000 | 3000A 4 conductores Al | 4 | 3000 | 0.020 | 0.011 | 1000 |
| 3200 | 3200A 4 conductores Al | 4 | 3200 | 0.017 | 0.009 | 1000 |
| 3200 | 3200A 4 conductores Al | 4 | 3200 | 0.020 | 0.034 | 1000 |
| 4000 | 4000A 4 conductores Al | 4 | 4000 | 0.014 | 0.008 | 1000 |
| 4000 | 4000A 4 conductores Al | 4 | 4000 | 0.017 | 0.024 | 1000 |
| 4500 | 4500A 4 conductores Al | 4 | 4500 | 0.014 | 0.024 | 1000 |

*resistencia de fase a I_{z0}

2 Protección de los circuitos de alimentación

Protección del conducto de barras prefabricado

Protección contra sobrecargas.

Para la protección contra sobrecargas de los conductos de barras prefabricados se utiliza el mismo criterio usado para los cables. Se debe comprobar que se cumpla la siguiente condición:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (3)$$

donde:

- I_b es la corriente para la cual el circuito ha sido diseñado;
- I_n es la corriente asignada del dispositivo de protección; para dispositivos de protección regulables, la corriente asignada I_n es la corriente ajustada;
- I_z es la corriente que admite de manera continua el conducto.

Protección contra cortocircuito¹

El conducto de barras prefabricado debe protegerse, tanto contra los efectos térmicos como contra los efectos electrodinámicos de la corriente de cortocircuito.

Protección contra los efectos térmicos

Se debe comprobar que se cumpla la siguiente relación:

$$I^2 t_{CB} \leq I^2 t_{BTS} \quad (4)$$

donde :

- $I^2 t_{CB}$ es la energía específica que deja circular el interruptor automático de protección en correspondencia con la máxima corriente de cortocircuito en el punto de instalación, que puede obtenerse de las curvas indicadas en el Tomo 1, cap. 3.4;
- $I^2 t_{BTS}$ es el valor de la energía específica que puede aguantar el conducto de barras prefabricado que generalmente lo facilita el fabricante (véanse Tablas 4 y 5).

Protección contra los efectos electrodinámicos

Se debe comprobar que se cumpla la siguiente relación:

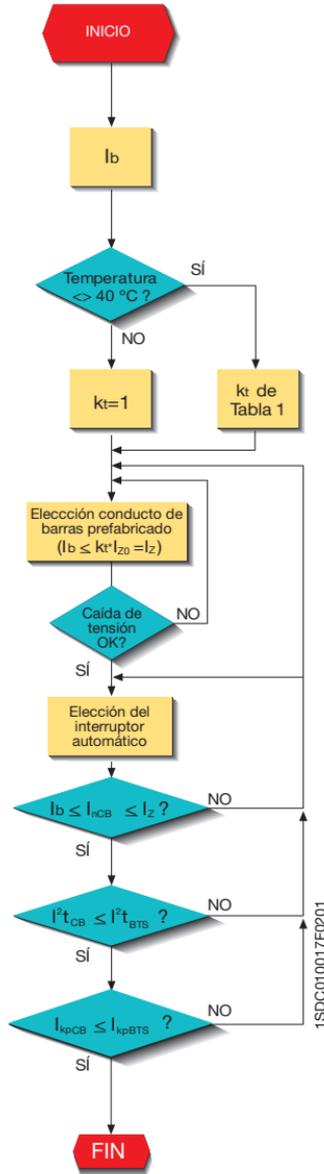
$$I_{kp\ CB} \leq I_{kp\ BTS} \quad (5)$$

donde:

- $I_{kp\ CB}$ es la cresta limitada por el interruptor automático de protección en correspondencia con la máxima corriente de cortocircuito en el punto de instalación, que puede obtenerse de las curvas de limitación indicadas en el Tomo 1, cap. 3.3;
- $I_{kp\ BTS}$ es el máximo valor de corriente de cresta que puede aguantar el conducto (véanse Tablas 4 y 5).

¹ No hace falta comprobar la protección contra el cortocircuito en el caso de que se utilicen interruptores automáticos modulares hasta 63 A, si están dimensionados correctamente para la protección contra sobrecargas; en este caso, de hecho, la protección contra los efectos tanto térmicos como electrodinámicos se cumple dada la limitación de la energía específica y la corriente de cresta ofrecidas por dichos dispositivos de protección.

2 Protección de los circuitos de alimentación



2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 4: Valores de energía específica y corriente de cresta que pueden soportar los conductos de barras prefabricados de cobre

| Tamaño | Tipo | I_{ph}^2 [(kA) ² s] | I_N^2 [(kA) ² s] | I_{PE}^2 [(kA) ² s] | I_{peakph} [kA] | I_{peakN} [kA] |
|--------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| 25 | 25A 4 conductores Cu | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 10 | 10 |
| 25 | 25A 4 conductores Cu | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 10 | 10 |
| 25 | 25A 4+4 conductores Cu | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 10 | 10 |
| 40 | 40A 4 conductores Cu | 0.73 | 0.73 | 0.73 | 10 | 10 |
| 40 | 40A 4 conductores Cu | 1 | 1 | 1 | 10 | 10 |
| 40 | 40A 4+4 conductores Cu | 1 | 1 | 1 | 10 | 10 |
| 40 | 40A 4 conductores Cu | 7.29 | 7.29 | 7.29 | 10 | 10 |
| 63 | 63A 4 conductores Cu | 7.29 | 7.29 | 7.29 | 10 | 10 |
| 100 | 100A 4 conductores Cu | 20.25 | 20.25 | 20.25 | 10 | 10 |
| 160 | 160A 4 conductores Cu | 30.25 | 30.25 | 30.25 | 10 | 10 |
| 160 | 160A 4 conductores Cu | 100 | 60 | 60 | 17 | 10.2 |
| 160 | 160A 5 conductores Cu | 100 | 100 | 100 | 17 | 10.2 |
| 160 | 160A 4 conductores Cu | 100 | 100 | 100 | 17 | 10.2 |
| 250 | 250A 4 conductores Cu | 312.5 | 187.5 | 187.5 | 52.5 | 31.5 |
| 250 | 250A 5 conductores Cu | 312.5 | 312.5 | 312.5 | 52.5 | 31.5 |
| 250 | 250A 4 conductores Cu | 169 | 101.4 | 101.4 | 26 | 15.6 |
| 250 | 250A 5 conductores Cu | 169 | 169 | 169 | 26 | 15.6 |
| 250 | 250A 4 conductores Cu | 169 | 169 | 169 | 26 | 15.6 |
| 315 | 315A 4 conductores Cu | 312.5 | 187.5 | 187.5 | 52.5 | 31.5 |
| 315 | 315A 5 conductores Cu | 312.5 | 312.5 | 312.5 | 52.5 | 31.5 |
| 350 | 350A 4 conductores Cu | 169 | 101.4 | 101.4 | 26 | 15.6 |
| 350 | 350A 5 conductores Cu | 169 | 169 | 169 | 26 | 15.6 |
| 350 | 350A 4 conductores Cu | 169 | 169 | 169 | 26 | 15.6 |
| 400 | 400A 4 conductores Cu | 900 | 540 | 540 | 63 | 37.8 |
| 400 | 400A 5 conductores Cu | 900 | 900 | 900 | 63 | 37.8 |
| 500 | 500A 4 conductores Cu | 756.25 | 453.75 | 453.75 | 58 | 34.8 |
| 500 | 500A 5 conductores Cu | 756.25 | 756.25 | 756.25 | 58 | 34.8 |
| 500 | 500A 4 conductores Cu | 756.25 | 756.25 | 756.25 | 58 | 34.8 |
| 630 | 630A 4 conductores Cu | 1296 | 777.6 | 777.6 | 75.6 | 45.4 |
| 630 | 630A 5 conductores Cu | 1296 | 1296 | 1296 | 75.6 | 45.4 |
| 700 | 700A 4 conductores Cu | 756.25 | 453.75 | 453.75 | 58 | 34.8 |
| 700 | 700A 5 conductores Cu | 756.25 | 756.25 | 756.25 | 58 | 34.8 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tamaño | Tipo | I_{ph}^2 [(kA) ² s] | I_N^2 [(kA) ² s] | I_{PE}^2 [(kA) ² s] | I_{peakph} [kA] | I_{peakN} [kA] |
|--------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| 700 | 700A 4 conductores Cu | 756.25 | 756.25 | 756.25 | 58 | 34.8 |
| 800 | 800A 4 conductores Cu | 1296 | 777.6 | 777.6 | 75.6 | 45.4 |
| 800 | 800A 5 conductores Cu | 1296 | 1296 | 1296 | 75.6 | 45.4 |
| 800 | 800A 4 conductores Cu | 3969 | 3969 | 2381.4 | 139 | 83.4 |
| 800 | 800A 4 conductores Cu | 756.25 | 453.75 | 453.75 | 58 | 34.8 |
| 800 | 800A 5 conductores Cu | 756.25 | 756.25 | 756.25 | 58 | 34.8 |
| 800 | 800A 4 conductores Cu | 756.25 | 756.25 | 756.25 | 58 | 34.8 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 1296 | 777.6 | 777.6 | 75.6 | 45.4 |
| 1000 | 1000A 5 conductores Cu | 1296 | 1296 | 1296 | 75.6 | 45.4 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 3969 | 3969 | 2381.4 | 139 | 83.4 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 1600 | 1600 | 960 | 84 | 50.4 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 1024 | 614.4 | 614.4 | 60 | 36 |
| 1000 | 1000A 5 conductores Cu | 1024 | 1024 | 1024 | 60 | 36 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Cu | 1024 | 1024 | 1024 | 60 | 36 |
| 1200 | 1200A 4 conductores Cu | 7744 | 7744 | 4646.4 | 194 | 116.4 |
| 1250 | 1250A 4 conductores Cu | 7744 | 7744 | 4646.4 | 194 | 116.4 |
| 1250 | 1250A 4 conductores Cu | 2500 | 2500 | 1500 | 105 | 63 |
| 1500 | 1500A 4 conductores Cu | 7744 | 7744 | 4646.4 | 194 | 116.4 |
| 1600 | 1600A 4 conductores Cu | 7744 | 7744 | 4646.4 | 194 | 116.4 |
| 1600 | 1600A 4 conductores Cu | 2500 | 2500 | 1500 | 105 | 63 |
| 2000 | 2000A 4 conductores Cu | 7744 | 7744 | 4646.4 | 194 | 116.4 |
| 2000 | 2000A 4 conductores Cu | 3600 | 3600 | 2160 | 132 | 79.2 |
| 2400 | 2400A 4 conductores Cu | 7744 | 7744 | 4646.4 | 194 | 116.4 |
| 2500 | 2500A 4 conductores Cu | 7744 | 7744 | 4646.4 | 194 | 116.4 |
| 2500 | 2500A 4 conductores Cu | 4900 | 4900 | 2940 | 154 | 92.4 |
| 3000 | 3000A 4 conductores Cu | 30976 | 30976 | 18585.6 | 387 | 232.2 |
| 3000 | 3000A 4 conductores Cu | 8100 | 8100 | 4860 | 198 | 118.8 |
| 3200 | 3200A 4 conductores Cu | 30976 | 30976 | 18585.6 | 387 | 232.2 |
| 3200 | 3200A 4 conductores Cu | 8100 | 8100 | 4860 | 198 | 118.8 |
| 4000 | 4000A 4 conductores Cu | 30976 | 30976 | 18585.6 | 387 | 232.2 |
| 4000 | 4000A 4 conductores Cu | 8100 | 8100 | 4860 | 198 | 118.8 |
| 5000 | 5000A 4 conductores Cu | 30976 | 30976 | 18585.6 | 387 | 232.2 |
| 5000 | 5000A 4 conductores Cu | 10000 | 10000 | 6000 | 220 | 132 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 5: Valores de energía específica y corriente de cresta que pueden soportar los conductos de barras prefabricados de aluminio

| Tamaño | Tipo | I_{ph}^2 [(kA) ² s] | I_N^2 [(kA) ² s] | I_{PE}^2 [(kA) ² s] | I_{peakph} [kA] | I_{peakN} [kA] |
|--------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| 160 | 160A 4 conductores Al | 112.5 | 67.5 | 67.5 | 30 | 18 |
| 160 | 160A 5 conductores Al | 112.5 | 112.5 | 112.5 | 30 | 18 |
| 160 | 160A 4 conductores Al | 100 | 60 | 60 | 17 | 10.2 |
| 160 | 160A 5 conductores Al | 100 | 100 | 100 | 17 | 10.2 |
| 160 | 160A 4 conductores Al | 100 | 100 | 100 | 17 | 10.2 |
| 250 | 250A 4 conductores Al | 312.5 | 187.5 | 187.5 | 52.5 | 31.5 |
| 250 | 250A 5 conductores Al | 312.5 | 312.5 | 312.5 | 52.5 | 31.5 |
| 250 | 250A 4 conductores Al | 169 | 101.4 | 101.4 | 26 | 15.6 |
| 250 | 250A 5 conductores Al | 169 | 169 | 169 | 26 | 15.6 |
| 250 | 250A 4 conductores Al | 169 | 169 | 169 | 26 | 15.6 |
| 315 | 315A 4 conductores Al | 625 | 375 | 375 | 52.5 | 31.5 |
| 315 | 315A 5 conductores Al | 625 | 625 | 625 | 52.5 | 31.5 |
| 315 | 315A 4 conductores Al | 169 | 101.4 | 101.4 | 26 | 15.6 |
| 315 | 315A 5 conductores Al | 169 | 169 | 169 | 26 | 15.6 |
| 315 | 315A 4 conductores Al | 169 | 169 | 169 | 26 | 15.6 |
| 400 | 400A 4 conductores Al | 900 | 540 | 540 | 63 | 37.8 |
| 400 | 400A 5 conductores Al | 900 | 900 | 900 | 63 | 37.8 |
| 400 | 400A 4 conductores Al | 625 | 375 | 375 | 52.5 | 31.5 |
| 400 | 400A 5 conductores Al | 625 | 625 | 625 | 52.5 | 31.5 |
| 400 | 400A 4 conductores Al | 625 | 625 | 625 | 52.5 | 31.5 |
| 500 | 500A 4 conductores Al | 625 | 375 | 375 | 52.5 | 31.5 |
| 500 | 500A 5 conductores Al | 625 | 625 | 625 | 52.5 | 31.5 |
| 500 | 500A 4 conductores Al | 625 | 625 | 625 | 52.5 | 31.5 |
| 630 | 630A 4 conductores Al | 1296 | 777.6 | 777.6 | 75.6 | 45.4 |
| 630 | 630A 5 conductores Al | 1296 | 1296 | 1296 | 75.6 | 45.4 |
| 630 | 630A 4 conductores Al | 1444 | 1444 | 866.4 | 80 | 48 |
| 630 | 630A 4 conductores Al | 1024 | 614.4 | 614.4 | 67.5 | 40.5 |
| 630 | 630A 5 conductores Al | 1024 | 1024 | 1024 | 67.5 | 40.5 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tamaño | Tipo | I_{ph}^2 [(kA) ² s] | I_N^2 [(kA) ² s] | I_{PE}^2 [(kA) ² s] | I_{peakph} [kA] | I_{peakN} [kA] |
|--------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| 630 | 630A 4 conductores Al | 1024 | 1024 | 1024 | 67.5 | 40.5 |
| 800 | 800A 4 conductores Al | 1296 | 777.6 | 777.6 | 75.6 | 45.4 |
| 800 | 800A 5 conductores Al | 1296 | 1296 | 1296 | 75.6 | 45.4 |
| 800 | 800A 4 conductores Al | 1764 | 1764 | 1058.4 | 88 | 52.8 |
| 800 | 800A 4 conductores Al | 1024 | 614.4 | 614.4 | 67.5 | 40.5 |
| 800 | 800A 5 conductores Al | 1024 | 1024 | 1024 | 67.5 | 40.5 |
| 800 | 800A 4 conductores Al | 1024 | 1024 | 1024 | 67.5 | 40.5 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Al | 6400 | 6400 | 3840 | 176 | 105.6 |
| 1000 | 1000A 4 conductores Al | 1600 | 1600 | 960 | 84 | 50.4 |
| 1200 | 1200A 4 conductores Al | 6400 | 6400 | 3840 | 176 | 105.6 |
| 1250 | 1250A 4 conductores Al | 6400 | 6400 | 3840 | 176 | 105.6 |
| 1250 | 1250A 4 conductores Al | 2500 | 2500 | 1500 | 105 | 63 |
| 1500 | 1500A 4 conductores Al | 6400 | 6400 | 3840 | 176 | 105.6 |
| 1600 | 1600A 4 conductores Al | 6400 | 6400 | 3840 | 176 | 105.6 |
| 1600 | 1600A 4 conductores Al | 2500 | 2500 | 1500 | 105 | 63 |
| 2000 | 2000A 4 conductores Al | 6400 | 6400 | 3840 | 176 | 105.6 |
| 2000 | 2000A 4 conductores Al | 3600 | 3600 | 2160 | 132 | 79.2 |
| 2250 | 2250A 4 conductores Al | 4900 | 4900 | 2940 | 154 | 92.4 |
| 2400 | 2400A 4 conductores Al | 25600 | 25600 | 15360 | 352 | 211.2 |
| 2500 | 2500A 4 conductores Al | 25600 | 25600 | 15360 | 352 | 211.2 |
| 2500 | 2500A 4 conductores Al | 8100 | 8100 | 4860 | 198 | 118.8 |
| 3000 | 3000A 4 conductores Al | 25600 | 25600 | 15360 | 352 | 211.2 |
| 3200 | 3200A 4 conductores Al | 25600 | 25600 | 15360 | 352 | 211.2 |
| 3200 | 3200A 4 conductores Al | 8100 | 8100 | 4860 | 198 | 118.8 |
| 4000 | 4000A 4 conductores Al | 25600 | 25600 | 15360 | 352 | 211.2 |
| 4000 | 4000A 4 conductores Al | 8100 | 8100 | 4860 | 198 | 118.8 |
| 4500 | 4500A 4 conductores Al | 10000 | 10000 | 6000 | 220 | 132 |

2 Protección de los circuitos de alimentación

Protección de las derivaciones o líneas de salida

Si la derivación que generalmente está constituida por cables en tubo no está protegida contra cortocircuito y sobrecarga por un dispositivo puesto aguas arriba del cable, se aplica lo siguiente:

- *protección contra el cortocircuito:*

no hace falta proteger la derivación contra el cortocircuito si simultáneamente:

- la longitud no supera los 3 metros
- está reducido al mínimo el riesgo de cortocircuito
- no está presente material combustible en las cercanías.

En los lugares con peligro de explosión y riesgo de incendio, la protección contra cortocircuito se requiere en cualquier caso.

- *protección contra sobrecargas:*

la capacidad de corriente de la derivación en general es inferior a la del conducto; en consecuencia, por lo general hace falta proteger también la derivación contra sobrecargas.

El dispositivo de protección contra sobrecargas puede incorporarse en la caja de derivación o en el cuadro eléctrico de llegada; en éste último caso, la protección contra sobrecargas puede estar garantizada también por los interruptores automáticos puestos como protección de cada salida del cuadro eléctrico, si la suma de sus corrientes asignadas es inferior o igual a la capacidad I_z de la derivación.

En los lugares con riesgo de incendio, el dispositivo de protección contra sobrecargas debe estar instalado en el punto de derivación; en consecuencia, en el interior de la caja de derivación.

Caída de tensión

Si el conducto es particularmente largo, se deberá comprobar el valor de la caída de tensión.

Para sistemas trifásicos con factor de potencia ($\cos \varphi_m$) no inferior a 0,8, la caída de tensión se puede calcular con la siguiente fórmula simplificada:

$$\Delta u = \frac{a \cdot \sqrt{3} \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos \varphi_m + x \cdot \sin \varphi_m)}{1000} \text{ [V]} \quad (6a)$$

Para las líneas monofásicas, la fórmula se convierte:

$$\Delta u = \frac{a \cdot 2 \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos \varphi_m + x \cdot \sin \varphi_m)}{1000} \text{ [V]} \quad (6b)$$

donde:

- a es el factor de distribución de la corriente, que depende de la alimentación del circuito y la disposición de las cargas eléctricas a lo largo del conducto, tal y como se indica en la Tabla 6:

2 Protección de los circuitos de alimentación

Tabla 6: Factor de distribución de la corriente

| Tipo de alimentación | Disposición de las cargas | Factor de distribución de la corriente |
|-----------------------|-------------------------------------|--|
| Desde un solo extremo | Carga concentrada al final | 1 |
| | Carga uniformemente distribuida | 0.5 |
| Desde ambos extremos | Carga uniformemente distribuida | 0.25 |
| Central | Cargas concentradas en los extremos | 0.25 |
| | Carga uniformemente distribuida | 0.125 |

- I_b es la corriente de empleo [A];
- L es la longitud del conducto [m];
- r_t es la resistencia de fase por unidad de longitud del conducto medida en condiciones de régimen térmico [$m\Omega/m$];
- x es la reactancia de fase por unidad de longitud del conducto [$m\Omega/m$];
- $\cos\varphi_m$ es el factor de potencia medio de las cargas.

La caída de tensión en porcentaje se obtiene de:

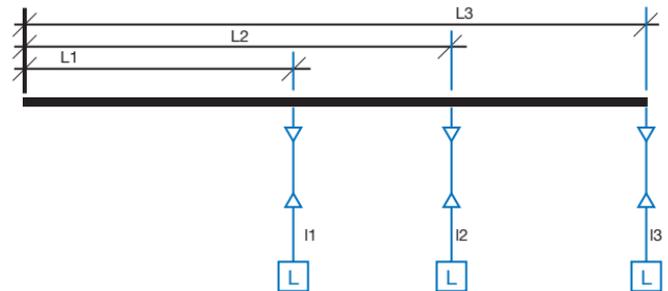
$$\Delta u\% = \frac{\Delta u}{U_r} \cdot 100 \quad (7)$$

donde U_r es la tensión asignada del sistema.

Para limitar la caída de tensión en el caso de conductos muy largos, es posible contemplar una alimentación en posición intermedia en lugar que en el punto terminal (véase Tabla 6).

Cálculo de la caída de tensión para cargas no uniformemente distribuidas

En el caso en el cual las cargas no pueden considerarse uniformemente distribuidas, la caída de tensión puede determinarse de forma más puntual utilizando las fórmulas que se indican a continuación.



Para la distribución de las cargas trifásicas que se muestran en la figura, la caída de tensión puede determinarse a través de la siguiente fórmula suponiendo que el conducto tenga una sección constante (como es usual):

$$\Delta u = \sqrt{3} [r_t (I_1 L_1 \cos\varphi_1 + I_2 L_2 \cos\varphi_2 + I_3 L_3 \cos\varphi_3) + x (I_1 L_1 \sin\varphi_1 + I_2 L_2 \sin\varphi_2 + I_3 L_3 \sin\varphi_3)]$$

2 Protección de los circuitos de alimentación

Generalizando, la fórmula se convierte:

$$\Delta u = \frac{\sqrt{3} r_t \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \cos \varphi_{mi} + x \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \sin \varphi_{mi}}{1000} \text{ [V]} \quad (8)$$

donde:

- r_t es la resistencia de fase por unidad de longitud del conducto medida en condiciones de régimen térmico en [mΩ/m];
- x es la reactancia de fase por unidad de longitud del conducto [m_/m];
- $\cos \varphi_{mi}$ es el factor de potencia medio de la carga i -ésima;
- I_i es la corriente de la carga i -ésima [A];
- L_i es la distancia de la carga i -ésima desde el origen del conducto [m].

Pérdidas por efecto Joule

Las pérdidas por efecto Joule se deben a la resistencia eléctrica del conducto.

La energía que se pierde se disipa en calor y contribuye al calentamiento del conducto y del ambiente. El cálculo de la potencia perdida es un dato útil para dimensionar correctamente la instalación de acondicionamiento de aire del edificio.

Las pérdidas en condiciones de régimen trifásico son:

$$P_j = \frac{3 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]} \quad (9a)$$

mientras que en condiciones de régimen monofásico son:

$$P_j = \frac{2 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]} \quad (9b)$$

donde:

- I_b es la corriente de empleo [A];
- r_t es la resistencia de fase por unidad de longitud del conducto medida en condiciones de régimen térmico [mΩ/m];
- L es la longitud del conducto [m].

Para un cálculo exacto las pérdidas deben calcularse sección por sección considerando las corrientes que circulan a su través; por ejemplo, en el caso de la distribución de las cargas representada en la figura anterior se tiene:

| | Longitud | Corriente circulante | Pérdidas |
|--|-------------|----------------------|--|
| 1° sección | L_1 | $I_1 + I_2 + I_3$ | $P_1 = 3r_t L_1 (I_1 + I_2 + I_3)^2$ |
| 2° sección | $L_2 - L_1$ | $I_2 + I_3$ | $P_2 = 3r_t (L_2 - L_1) (I_2 + I_3)^2$ |
| 3° sección | $L_3 - L_2$ | I_3 | $P_3 = 3r_t (L_3 - L_2) (I_3)^2$ |
| Pérdidas totales en el conducto de barras prefabricado | | | $P_{\text{tot}} = P_1 + P_2 + P_3$ |

3 Protección de la instalación eléctrica

3.1 Protección y maniobra de circuitos de alumbrado

Introduction

A través de la red que alimenta un circuito de alumbrado circula durante un breve periodo de tiempo una corriente inicial con un valor más elevado que la corriente correspondiente a la potencia asignada de las lámparas. La posible cresta presente tiene un valor aproximado de unas 15-20 veces el valor de la corriente asignada y una duración de pocos milisegundos; puede también estar presente una corriente de inserción con un valor equivalente a 1.5-3 veces el valor de la corriente asignada y una duración de algunos minutos. Para realizar un dimensionamiento correcto de los dispositivos de protección y maniobra deberán tenerse en cuenta estos problemas.

Gráfico I cresta

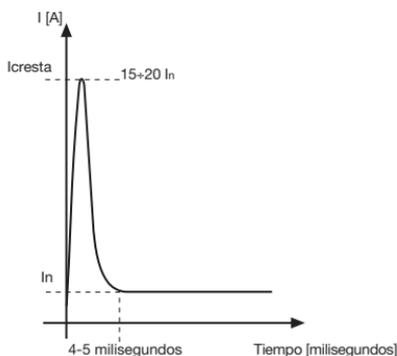
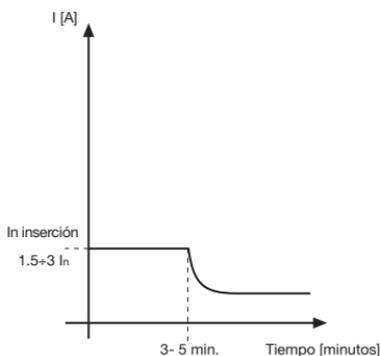


Gráfico I inserción



Las lámparas que más se utilizan son las siguientes:

- incandescencia
- halógenas
- fluorescentes
- de descarga de alta intensidad: lámpara de vapor de mercurio, lámpara de halogenuro metálico y lámpara de vapor de sodio.

Lámparas de incandescencia

La lámpara de incandescencia consiste en una ampolla de vidrio al vacío o con gases inertes y un filamento de tungsteno. La corriente circula a través de dicho filamento y lo calienta hasta volverlo incandescente.

El comportamiento eléctrico de estas lámparas contempla una corriente de inserción elevada, equivalente a aproximadamente unas quince veces el valor de la corriente asignada; después de pocos milisegundos, la corriente regresa al valor asignado. La cresta de inserción es causada por el filamento de la lámpara que, inicialmente estando frío, presenta una resistencia eléctrica muy baja; seguidamente, debido al calentamiento sumamente rápido, el valor de resistencia aumenta considerablemente, causando la disminución de la absorción de corriente.

1SDC010003F0901

2

3 Protección de la instalación eléctrica

Lámparas halógenas

La lámpara halógena es un tipo especial de lámpara de incandescencia en la cual el gas contenido en el interior del bulbo evita que el material del filamento de tungsteno vaporizado se deposite sobre las paredes del bulbo y fuerza la deposición del mismo sobre el filamento. Este fenómeno disminuye la velocidad de deterioro del filamento, mejora la calidad de la luz emitida y aumenta la duración de la lámpara.

El comportamiento eléctrico de estas lámparas es el mismo que el de las lámparas de incandescencia.

Lámparas fluorescentes

La lámpara fluorescente es una fuente luminosa también denominada de descarga. La luz se produce por la descarga en el interior de una envoltente transparente (vidrio, cuarzo, etc. según el tipo de lámpara) que contiene vapor de mercurio a baja presión.

Tras haber cebado la descarga, el gas presente en el interior de la lámpara emite una energía en el campo de los rayos ultravioletas que incide en el material fluorescente; que a su vez transforma las radiaciones ultravioletas en radiaciones con una longitud de onda comprendida en el espectro visible. El color de la luz emitida depende de la sustancia fluorescente.

La descarga se crea mediante una sobretensión generada por un cebador o arrancador. Después de que la lámpara se ha encendido, el gas ofrece una resistencia cada vez menor y es necesario estabilizar la intensidad de corriente a través de una fuente de alimentación (reactancia); ésta última reduce el factor de potencia hasta un valor de aproximadamente 0,4-0,6 (generalmente se incorpora un condensador para elevar el factor de potencia hasta un valor superior a 0,9).

Existen dos tipos de fuentes de alimentación, magnéticas o convencionales y electrónicas que absorben entre el 10% y el 20% de la potencia asignada de la lámpara. Las fuentes de alimentación electrónicas ofrecen ventajas específicas, tales como un ahorro de la energía absorbida, una menor disipación de calor y también permiten obtener una luz estable sin intermitencia. Algunos tipos de lámparas de fluorescencia con reactancia electrónica no precisan el cebador o arrancador.

Las lámparas fluorescentes compactas constan de un tubo doblado en forma de U y un zócalo de plástico que contiene, en algunas versiones, una fuente de alimentación convencional o electrónica.

El valor de la corriente de inserción depende de la presencia o no del condensador de corrección del factor de potencia:

- en lámparas con factor de potencia sin corregir (no PFC), se producen corrientes de arranque de aproximadamente dos veces el valor de la corriente asignada y una duración de encendido de unos diez segundos;
- en lámparas con factor de potencia corregido (PFC), la presencia del condensador permite reducir el tiempo de encendido a pocos segundos; sin embargo, se produce una elevada cresta de corriente inicial, determinada por la carga del condensador que podrá alcanzar incluso veinte veces el valor de la corriente asignada.

Si la lámpara está provista de una fuente de alimentación electrónica de encendido, los transitorios de corriente iniciales originan corrientes de inserción de, como máximo, diez veces el valor de la corriente asignada.

3 Protección de la instalación eléctrica

Lámparas de descarga de alta intensidad: lámpara de vapor de mercurio, lámpara de halogenuros-metálicos y lámpara de vapor de sodio

La lámpara de descarga de alta intensidad es una lámpara cuyo funcionamiento es similar al de las lámparas fluorescentes, pero con la diferencia de que la descarga se efectúa en presencia de un gas a alta presión; en este caso, el arco está en condiciones de vaporizar los componentes metálicos incluidos en el gas liberando energía –bajo forma de radiación– tanto ultravioleta como en el campo del espectro visible. El vidrio especial del bulbo bloquea la radiación ultravioleta y hace pasar sólo la radiación visible.

Existen tres tipos principales de lámparas de descarga de alta intensidad: lámpara de vapor de mercurio, lámpara de halogenuros-metálicos y lámpara de vapor de sodio. Las características cromáticas y la eficacia de cada lámpara dependen de los diversos componentes metálicos presentes en el gas en el que se ceba el arco.

Las lámparas de descarga de alta intensidad precisan una fuente de alimentación debidamente dimensionada y un período de calentamiento que puede precisar incluso algunos minutos antes de generar el flujo luminoso asignado. Una pérdida momentánea de la alimentación hace necesario el reencendido del sistema y el calentamiento del mismo.

Las lámparas con factor de potencia sin corregir (no PFC) presentan corrientes de encendido de hasta dos veces el valor de la corriente asignada durante aproximadamente cinco minutos.

Las lámparas con factor de potencia corregido (PFC) presentan una corriente de cresta inicial equivalente a veinte veces el valor de la corriente asignada y una corriente de encendido hasta dos veces el valor la corriente asignada durante aproximadamente cinco minutos.

| Tipos de lámparas | | Corriente de cresta | Corriente de encendido | Tiempo de encendido |
|---|-------------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Lámparas de incandescencia | | 15In | - | - |
| Lámparas halógenas | | 15In | - | - |
| Lámparas fluorescentes | Con factor de potencia sin corregir | - | 2In | 10 s |
| | Con factor de potencia corregido | 20In | - | 1÷6 s |
| Lámparas de descarga de alta intensidad | Con factor de potencia sin corregir | - | 2In | 2÷8 min |
| | Con factor de potencia corregido | 20In | 2In | 2÷8 min |

2

Dispositivos de protección y maniobra

La Norma IEC 60947-4-1 identifica dos categorías específicas de utilización para los contactores destinados al control de las lámparas:

- AC-5a maniobra de lámparas de descarga
- AC-5b maniobra de lámparas de incandescencia.

En la documentación que facilitan los fabricantes se indican las tablas para la selección del contactor en función del número de lámparas a controlar y el tipo de las mismas.

3 Protección de la instalación eléctrica

Para realizar la elección del dispositivo de protección, se deberá controlar que:

- la característica de actuación se encuentre por encima de la característica de inserción del aparato de iluminación para evitar disparos imprevistos; un ejemplo aproximado de dicha comprobación se muestra en la figura 1;
- exista coordinación con el contactor en condiciones de cortocircuito (generalmente las instalaciones de iluminación no dan lugar a sobrecargas).

Con referencia a los criterios de comprobación antes reseñados, las siguientes tablas indican el número máximo de lámparas por fase que pueden controlarse a través de la combinación de los interruptores automáticos y los contactores ABB para algunos tipos de lámparas en función de la potencia y la corriente absorbida I_b (*) por las mismas, para instalaciones trifásicas con tensión asignada de 400 V y corriente de cortocircuito máxima de 15 kA.

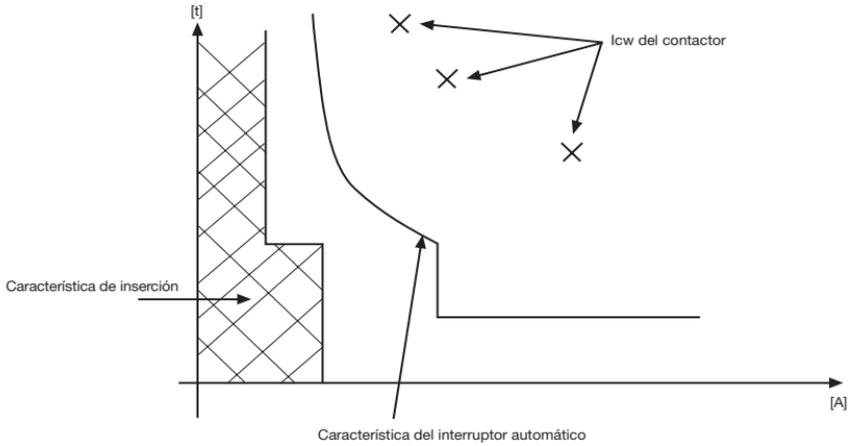
(*) Para el cálculo, véase el Anexo B "Cálculo de la corriente de empleo I_b "

Tabla 1: Lámparas de incandescencia y halógenas

| U= 400 V | | $I_k= 15 \text{ kA}$ | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----|--|
| Lámparas de incandescencia/halógenas | | | | | | | |
| Tipo de interruptor automático | S200M D20 | S200M D20 | S200M D25 | S200M D32 | S200M D50 | | |
| Ajuste PR221 DS | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | | |
| Tipo de contactor | A26 | A26 | A26 | A26 | A30 | | |
| Pot. asignada [W] | Corr. asignada I_b [A] | | | | | | |
| 60 | 0.27 | 57 | 65 | 70 | 103 | 142 | |
| 100 | 0.45 | 34 | 38 | 42 | 62 | 85 | |
| 200 | 0.91 | 17 | 19 | 20 | 30 | 42 | |
| 300 | 1.37 | 11 | 12 | 13 | 20 | 28 | |
| 500 | 2.28 | 6 | 7 | 8 | 12 | 16 | |
| 1000 | 4.55 | 3 | 4 | 4 | 6 | 8 | |

3 Protección de la instalación eléctrica

Figura 1: Diagrama aproximado para la coordinación de las lámparas y los dispositivos de protección y maniobra



1SD0010004F0901

2

| T2N160 In63 | T2N160 In63 | T2N160 In100 | T2N160 In100 | T2N160 In100 | T2N160 In160 |
|-------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| L= 0.68- A S= 8- B | L= 0.92- A S= 10- B | L= 0.68- A S= 8- B | L= 0.76- A S= 8- B | L= 1- A S= 10- B | L= 0.68- A S= 7- B |
| A40 | A50 | A63 | A75 | A95 | A110 |
| Nº de lámparas por fase | | | | | |
| 155 | 220 | 246 | 272 | 355 | 390 |
| 93 | 132 | 147 | 163 | 210 | 240 |
| 46 | 65 | 73 | 80 | 105 | 120 |
| 30 | 43 | 48 | 53 | 70 | 80 |
| 18 | 26 | 29 | 32 | 42 | 48 |
| 9 | 13 | 14 | 16 | 21 | 24 |

1SD0010032F0201

3 Protección de la instalación eléctrica

Tabla 2: Lámparas fluorescentes

| U _r = 400 V | | I _k = 15 kA | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| Lámparas de incandescencia no PFC | | | | | | | |
| Tipo de interruptor automático | | S200M D16 | S200M D20 | S200M D20 | S200M D32 | S200M D40 | |
| Ajuste PR221 DS | | | | | | | |
| Tipo de contactor | | A26 | A26 | A26 | A26 | A30 | |
| Pot. asignada [W] | Corr. asignada I _b [A] | | | | | | |
| 20 | 0.38 | 40 | 44 | 50 | 73 | 100 | |
| 40 | 0.45 | 33 | 37 | 42 | 62 | 84 | |
| 65 | 0.7 | 21 | 24 | 27 | 40 | 54 | |
| 80 | 0.8 | 18 | 21 | 23 | 35 | 47 | |
| 100 | 1.15 | 13 | 14 | 16 | 24 | 33 | |
| 110 | 1.2 | 12 | 14 | 15 | 23 | 31 | |

| U _r = 400 V | | I _k = 15 kA | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| Lámparas de incandescencia PFC | | | | | | | | |
| Tipo de interruptor automático | | | S200M D25 | S200M D25 | S200M D32 | S200M D40 | S200M D63 | |
| Ajuste PR221 DS | | | --- | --- | --- | --- | --- | |
| Tipo de contactor | | | A26 | A26 | A26 | A26 | A30 | |
| Potencia asignada [W] | Corr. asignada I _b [A] | Condensador [μF] | | | | | | |
| 20 | 0.18 | 5 | 83 | 94 | 105 | 155 | 215 | |
| 40 | 0.26 | 5 | 58 | 65 | 75 | 107 | 150 | |
| 65 | 0.42 | 7 | 35 | 40 | 45 | 66 | 92 | |
| 80 | 0.52 | 7 | 28 | 32 | 36 | 53 | 74 | |
| 100 | 0.65 | 16 | 23 | 26 | 29 | 43 | 59 | |
| 110 | 0.7 | 18 | 21 | 24 | 27 | 40 | 55 | |

3 Protección de la instalación eléctrica

| S200M D50 | S200M D63 | T2N160 In100 | T2N160 In100 | T2N160 In100 | T2N160 In160 |
|-------------------------|-----------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | L= 0.68- A S= 10- B | L= 0.76- A S= 10- B | L= 0.96- A- S= 10- B | S= 0.68- A S= 10- B |
| A40 | A50 | A63 | A75 | A95 | A110 |
| N° de lámparas por fase | | | | | |
| 110 | 157 | 173 | 192 | 250 | 278 |
| 93 | 133 | 145 | 162 | 210 | 234 |
| 60 | 85 | 94 | 104 | 135 | 150 |
| 52 | 75 | 82 | 91 | 118 | 132 |
| 36 | 52 | 57 | 63 | 82 | 92 |
| 35 | 50 | 55 | 60 | 79 | 88 |

TSDC010038F0201

| T2N160 In63 | T2N160 In63 | T2N160 In100 | T2N160 In100 | T2N160 In100 |
|-------------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| L= 0.68- A S= 8- B | L= 1- A S= 10- B | L= 0.68- A S= 10- B | L= 0.76- A S= 10- B | L= 0.96- A S= 10- B |
| A40 | A50 | A63 | A75 | A95 |
| N° de lámparas por fase | | | | |
| 233 | 335 | 360 | 400 | 530 |
| 160 | 230 | 255 | 280 | 365 |
| 100 | 142 | 158 | 173 | 225 |
| 80 | 115 | 126 | 140 | 180 |
| 64 | 92 | 101 | 112 | 145 |
| 59 | 85 | 94 | 104 | 135 |

2

3 Protección de la instalación eléctrica

Tabla 3: Lámparas de descarga de alta intensidad

| U _r = 400 V | | I _k = 15 kA | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| Lámparas de incandescencia no PFC | | | | | | | |
| Tipo de interruptor automático | | S200M D16 | S200M D20 | S200M D20 | S200M D32 | S200M D40 | |
| Ajuste PR221 DS | | | | | | | |
| Tipo de contactor | | A26 | A26 | A26 | A26 | A30 | |
| Pot. asignada [W] | Corr. asignada I _b [A] | | | | | | |
| 150 | 1.8 | 6 | 7 | 8 | 11 | 15 | |
| 250 | 3 | 4 | 4 | 5 | 7 | 9 | |
| 400 | 4.4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 6 | |
| 600 | 6.2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | |
| 1000 | 10.3 | - | 1 | 1 | 2 | 3 | |

| U _r = 400 V | | | I _k = 15 kA | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| Lámparas de incandescencia PFC | | | | | | | | |
| Tipo de interruptor automático | | | S200M D16 | S200M D20 | S200M D20 | S200M D32 | S200M D40 | |
| Ajuste PR221 DS | | | --- | --- | --- | --- | --- | |
| Tipo de contactor | | | A26 | A26 | A26 | A26 | A30 | |
| Potencia asignada [W] | Corr. asignada I _b [A] | Condensador [μF] | | | | | | |
| 150 | 1 | 20 | 13 | 14 | 15 | 23 | 28 | |
| 250 | 1.5 | 36 | 8 | 9 | 10 | 15 | 18 | |
| 400 | 2.5 | 48 | 5 | 5 | 6 | 9 | 11 | |
| 600 | 3.3 | 65 | 4 | 4 | 5 | 7 | 8 | |
| 1000 | 6.2 | 100 | - | - | - | 4 | 4 | |

3 Protección de la instalación eléctrica

| S200M D40 | S200M D50 | S270 D63 | T2N160 In100 | T2N160 In100 | T2N160 In160 |
|-------------------------|-----------|----------|---------------------|-----------------|---------------------|
| | | | L= 0.8- B S= 6.5- B | L= 1- B S= 8- B | L= 0.8- B S= 6.5- B |
| A40 | A50 | A63 | A75 | A95 | A110 |
| N° de lámparas por fase | | | | | |
| 17 | 23 | 26 | 29 | 38 | 41 |
| 10 | 14 | 16 | 17 | 23 | 25 |
| 7 | 9 | 10 | 12 | 15 | 17 |
| 5 | 7 | 8 | 8 | 11 | 12 |
| 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |

| S200M D40 | T2N160 In100 | T2N160 In100 | T2N160 In100 | T2N160 In160 | T2N160 In160 |
|-------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| --- | L= 0.8- B S= 6.5- B | L= 0.88- B S= 6.5- B | L= 1- B S= 6.5- B | L= 0.84- B S= 4.5- B | L= 0.88- B S= 4.5- B |
| A40 | A50 | A63 | A75 | A95 | A110 |
| N° de lámparas por fase | | | | | |
| 30 | 50 | 58 | 63 | 81 | 88 |
| 20 | 33 | 38 | 42 | 54 | 59 |
| 12 | 20 | 23 | 25 | 32 | 36 |
| 9 | 15 | 17 | 19 | 24 | 27 |
| 5 | 8 | 9 | 10 | 13 | 14 |

Ejemplo:

Control y protección de un sistema de iluminación, alimentado por una red trifásica de 400 V 15kA, compuesta por 55 lámparas de incandescencia por fase de 200 W cada una.

Situándose en la Tabla 1, en la línea referente a los 200 W, se selecciona la casilla que indica el número de lámparas que pueden controlarse inmediatamente superior al número de lámparas presentes en la instalación; en el caso específico, en correspondencia con la casilla referida a 65 lámparas por fase resulta que los aparatos que pueden utilizarse son:

- 1 interruptor automático tipo Tmax T2N160 In63 con relé electrónico tipo PR221/DS, con protección L ajustada a 0.92 curva A y protección S ajustada a 10 curva B;
- 1 contactor A50.

3 Protección de la instalación eléctrica

3.2 Protección y maniobra de generadores

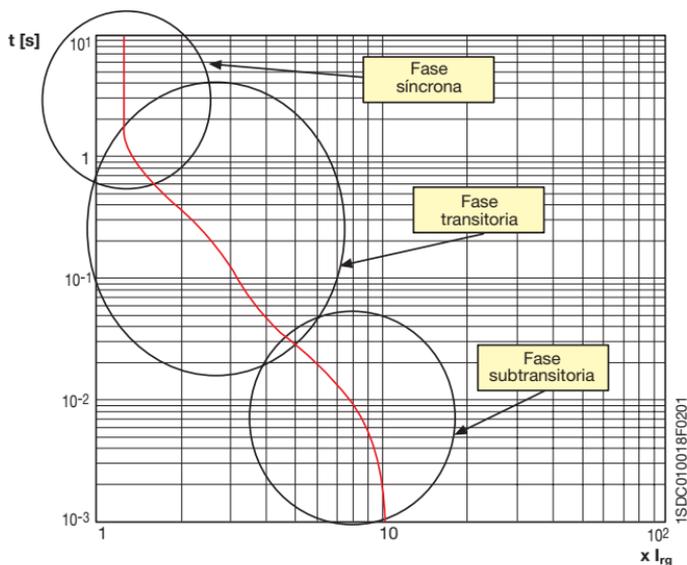
La exigencia de garantizar una continuidad de servicio cada vez mayor ha determinado un incremento en el uso de grupos de continuidad con generadores, en alternativa o en paralelo con la red pública.

Las configuraciones típicas son:

- alimentación en isla de las cargas prioritarias en caso de fallo de la red pública;
- alimentación de la instalación en paralelo con la red pública.

En caso de cortocircuito, a diferencia de la red pública, cuyo aporte es constante, la corriente suministrada por el generador es función de los parámetros de la propia máquina y es decreciente en el tiempo; en secuencia, es posible identificar:

1. una fase subtransitoria: tiene una breve duración (10-50 ms) y se caracteriza por la reactancia subtransitoria X''_d (5-20% del valor de la impedancia asignada) y la constante de tiempo subtransitoria T''_d (5-30 ms);
2. una fase transitoria: puede durar hasta algunos segundos (0.5-2.5 s) y se caracteriza por la reactancia transitoria X'_d (15-40% del valor de la impedancia asignada) y la constante de tiempo transitoria T'_d (0.03-2.5 s);
3. una fase sincrónica: puede permanecer hasta la actuación de protecciones externas y se caracteriza por la reactancia sincrónica X_d (80-300% del valor de la impedancia asignada).



3 Protección de la instalación eléctrica

Es posible evaluar el máximo valor de la corriente de cortocircuito de un generador, con potencia asignada S_{rg} , a la tensión asignada de la instalación U_r , es igual a:

$$I_{kg} = \frac{I_{rg} \cdot 100}{X_d'' \%}$$

donde

I_{rg} es la corriente asignada del generador:

$$I_{rg} = \frac{S_{rg}}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

El interruptor automático de protección del generador debe elegirse en base a los siguientes criterios:

- corriente regulada superior a la corriente asignada del generador: $I_1 \geq I_{rg}$
- poder de corte I_{cu} o I_{cs} superior al valor máximo de la corriente de cortocircuito en el punto de instalación:
 - en caso de presencia de un generador único: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kg}$
 - en caso de n generadores iguales en paralelo: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kg} \cdot (n-1)$
 - en caso de funcionamiento en paralelo con la red: $I_{cu}(I_{cs}) \geq I_{kNet}$, dado que generalmente el aporte al cortocircuito suministrado por la red es superior al aporte del generador
- para interruptores automáticos con relé magnetotérmico: umbral de actuación magnética baja: $I_3 = 2.5/3 \cdot I_n$
- para interruptores automáticos con relé electrónico:
 - umbral de actuación de la función de protección contra cortocircuito retardado (S) regulado entre 1.5 y 4 veces el valor de la corriente asignada del generador, de manera de poder "interceptar" la curva de decremento del generador: $I_2 = (1.5-4) \cdot I_{rg}$; si no está presente la función S, es posible seleccionar la función I para los valores indicados $I_3 = (1.5-4) \cdot I_{rg}$
 - umbral de actuación de la función de protección contra el cortocircuito instantáneo (I_3) regulado a un valor superior a la corriente de cortocircuito asignada del generador, de manera de poder obtener selectividad con los dispositivos situados aguas abajo del dispositivo, y permitir una rápida actuación en el caso de cortocircuito aguas arriba del mismo (funcionamiento en paralelo con otros generadores o con la red):

$$I_3 \geq I_{kg}$$

3 Protección de la instalación eléctrica

Tabla 3 500 V

| S_g [kVA] | MCB | MCCB | ACB |
|-------------|-----|----------|-----------|
| 4 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 9 | | | |
| 11 | | | |
| 14 | | | |
| 17 | | | |
| 19 | | | |
| 21 | | | |
| 22 | | | |
| 28 | | | |
| 31 | | | |
| 35 | | T2 160 | |
| 38 | | | |
| 42 | | | |
| 44 | | | |
| 48 | | | |
| 55 | | | |
| 69 | | | |
| 80 | | | |
| 87 | | | |
| 100 | | | |
| 111 | | | |
| 138 | | | |
| 159 | | | |
| 173 | | T3 250 | |
| 180 | | T4 250 | |
| 190 | | | |
| 208 | | | |
| 218 | | T4 320 | |
| 242 | | | |
| 277 | | | |
| 308 | | T5 400 | |
| 311 | | | |
| 346 | | | |
| 381 | | | |
| 415 | | T5 630 | X1 630 |
| 436 | | | |
| 484 | | | |
| 554 | | T6 800 | X1 800** |
| 692 | | | |
| 727 | | T7 1000 | X1 1000** |
| 865 | | | |
| 1107 | | T7 1600* | X1 1600** |
| 1730 | | | E2 2000 |
| 2180 | | | |
| 2214 | | | E3 3200 |
| 2250 | | | |
| 2500 | | | |
| 2800 | | | E4 4000 |
| 3150 | | | |
| 3500 | | | E6 5000 |

* también se puede utilizar para esta aplicación Isomax CB tipo S7

** también se puede utilizar para esta aplicación Emax CB tipo E1

Tabla 4 690 V

| | MCB | MCCB | ACB |
|------|-----|----------|-----------|
| 4 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 9 | | | |
| 11 | | | |
| 14 | | | |
| 17 | | | |
| 19 | | | |
| 21 | | | |
| 22 | | | |
| 28 | | | |
| 31 | | | |
| 35 | | T2 160 | |
| 38 | | | |
| 42 | | | |
| 44 | | | |
| 48 | | | |
| 55 | | | |
| 69 | | | |
| 80 | | | |
| 87 | | | |
| 100 | | | |
| 111 | | | |
| 138 | | | |
| 159 | | | |
| 173 | | | |
| 180 | | | |
| 190 | | | |
| 208 | | | |
| 218 | | T3 250 | |
| 242 | | T4 250 | |
| 277 | | | |
| 308 | | | |
| 311 | | | |
| 346 | | T4 320 | |
| 381 | | | |
| 415 | | | |
| 436 | | T5 400 | |
| 484 | | | |
| 554 | | | |
| 692 | | T5 630 | X1 630 |
| 727 | | | |
| 865 | | T6 800 | X1 800** |
| 1107 | | T7 1000 | X1 1000** |
| 1730 | | T7 1600* | X1 1600** |
| 2180 | | | |
| 2214 | | | |
| 2250 | | | E2 2000 |
| 2500 | | | |
| 2800 | | | E3 2500 |
| 3150 | | | |
| 3500 | | | E3 3200 |

1SDC010017F0001

3 Protección de la instalación eléctrica

Ejemplo:

Protección de un generador de $S_{rg} = 100$ kVA, colocado en una instalación con tensión asignada de 440 V.

Los parámetros de la máquina son:

$$U_r = 440 \text{ V}$$

$$S_{rg} = 100 \text{ kVA}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$I_{rg} = 131.2 \text{ A}$$

$$x'_d = 6.5 \% \text{ (reactancia subtransitoria)}$$

$$x''_d = 17.6 \% \text{ (reactancia transitoria)}$$

$$x_d = 230 \% \text{ (reactancia síncrona)}$$

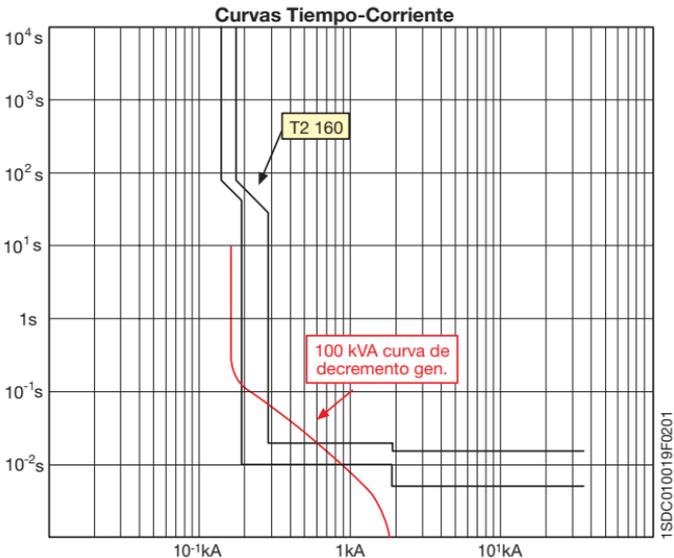
$$T'_d = 5.5 \text{ ms (constante de tiempo subtransitoria)}$$

$$T''_d = 39.3 \text{ ms (constante de tiempo transitoria)}$$

En la Tabla 2 se elige el interruptor automático tipo ABB SACE T2N160, con $I_n = 160$ A, y relé electrónico PR221-LS. Para una protección correcta del generador, se eligen los siguientes ajustes:

Función L: 0.84 – A, correspondiente a 134.4 A, valor superior a I_{rg} .

Función I: 1.5



3 Protección de la instalación eléctrica

3.3 Protección y maniobra de motores

Arrancador electromecánico

El arrancador está destinado a:

- poner en marcha los motores
- garantizar el funcionamiento continuo de los mismos
- desconectarlos de la línea de alimentación
- garantizar la protección de los mismos contra las sobrecargas de funcionamiento.

Típicamente el arrancador consta de un dispositivo de maniobra (contactor) y un dispositivo de protección contra la sobrecarga (relé térmico).

Los dos dispositivos deben coordinarse con un aparato apropiado para realizar la protección contra el cortocircuito (típicamente un interruptor automático con relé sólo magnético) que no necesariamente deberá formar parte del arrancador.

Las características del arrancador deben cumplir con la norma internacional IEC 60947-4-1 que define los aparatos antes citados de la siguiente forma:

Contactor: aparato mecánico de maniobra con una sola posición de reposo, de accionamiento no manual y capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluidas las condiciones de sobrecarga de maniobra.

Relé térmico: relé que interviene en caso de sobrecarga o falta de una fase.

Interruptor automático: definido por la norma IEC 60947-2 como un dispositivo capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, así como establecer y soportar corrientes con un tiempo especificado, e interrumpir corrientes en condiciones anormales del circuito.

Los principales tipos de motores que pueden gobernarse y que determinan las características del arrancador, se definen mediante las siguientes categorías de utilización:

2

Tabla 1: Categorías de utilización y aplicaciones típicas

| Tipo de corriente | Categorías de utilización | Aplicaciones típicas |
|--------------------------|---------------------------|--|
| Corriente alterna (c.a.) | AC-2 | Motores de anillos rozantes: arranque, parada. |
| | AC-3 | Motores de jaula de ardilla: arranque, parada durante la marcha ⁽¹⁾ . |
| | AC-4 | Motores de jaula de ardilla: arranque, inversión de marcha, marcha a impulsos |

⁽¹⁾ La categoría AC-3 puede utilizarse para maniobras esporádicas de impulsos o frenados en contracorriente por períodos limitados, como los referentes al posicionamiento de la máquina; durante dichos períodos limitados, el número de estas operaciones no debería exceder de cinco por minuto o diez en un lapso de tiempo de diez minutos.

3 Protección de la instalación eléctrica

La elección del método de arranque y eventualmente también el tipo de motor que debe utilizarse depende del par resistente de la carga, así como de la potencia de cortocircuito de la red que alimenta el motor.

Los motores que más se utilizan en corriente alterna son los siguientes:

- el motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla (AC-3): es el más difundido porque constructivamente es muy sencillo, económico y sólido; desarrolla un par elevado con tiempos de aceleración cortos, pero precisa corrientes de arranque elevadas;
- el motor de anillos rozantes (AC-2): se caracteriza por condiciones de arranque menos pesadas y presenta un par de arranque bastante elevado, incluso con una red de alimentación de escasa potencia.

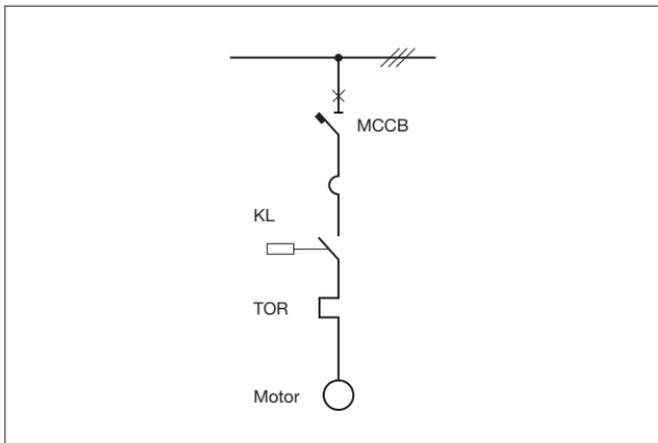
Métodos de arranque

A continuación se indican los tipos de arranque más comunes para los motores asíncronos de jaula de ardilla.

Arranque directo

Con el arranque directo (DOL), el arrancador –tras el cierre del contactor de línea KL– permite aplicar la tensión de línea a los terminales del motor en una sola operación. Un motor de jaula de ardilla desarrolla de esta forma un par de arranque elevado con un tiempo de aceleración relativamente reducido. Este método se aplica –en general– a motores de pequeña y mediana potencia que alcanzan en tiempos cortos la velocidad de régimen; sin embargo, estas ventajas están acompañadas por una serie de inconvenientes, tales como, por ejemplo:

- elevada absorción de corriente y caída de tensión correspondiente que podrían resultar perjudiciales para el resto de la instalación conectada a la red;
- violentas aceleraciones que se reflejen sobre las partes de transmisión mecánica (correas y acoplamientos mecánicos), reduciendo la duración de las mismas.



1SDC010018F0001

3 Protección de la instalación eléctrica

Otros tipos de arranque de los motores de jaula de ardilla se realizan reduciendo la tensión de alimentación del motor; de esta forma, se obtiene una disminución de la corriente de arranque y del par motor, así como un aumento del tiempo de aceleración.

Arrancador Estrella-Triángulo

El arrancador con tensión reducida más corriente es el arrancador Estrella-Triángulo (Y-D), en el que:

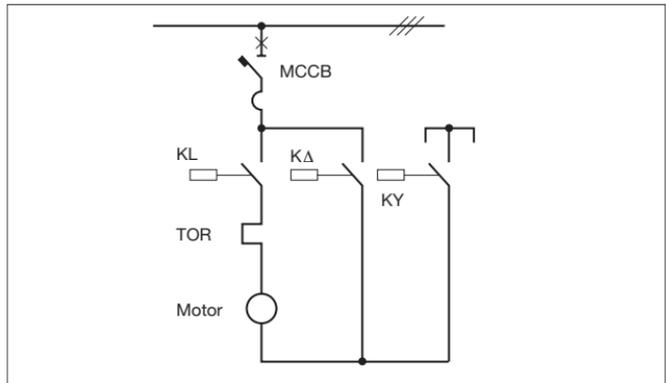
- tras el arranque, los arrollamientos del estator se conectan en estrella, obteniendo de esta forma la reducción de la corriente de arranque;
- cuando casi se alcanza la velocidad de régimen del motor, se realiza la conexión de los devanados en triángulo.

Después de la conmutación, la corriente y el par siguen la evolución de las curvas referentes a la conexión normal de servicio (triángulo).

Como se puede fácilmente constatar, realizando el arranque del motor con la conexión en estrella, es decir, a la tensión reducida en $\sqrt{3}$, éste absorbe de la línea una corriente reducida de $1/3$ respecto a la absorbida con la conexión en triángulo.

El par de arranque, proporcional al cuadrado de la tensión, resulta reducido en tres veces respecto al par que el mismo motor suministraría con una conexión en triángulo.

Este método se aplica en los motores de potencia generalmente comprendida entre 15 y 355 kW, pero destinados a arrancar con un par resistente inicial bajo.



Secuencia de arranque

Actuando sobre el botón de marcha, los contactores KL y KY se cierran. El temporizador inicia la cuenta del tiempo de arranque con el motor conectado en estrella; un vez transcurrido el tiempo programado, el primer contacto del temporizador abre el contactor KY y el segundo contacto –retrasado en aproximadamente 50 ms– cierra el contactor K Δ . Con la nueva configuración, contactores KL y K Δ cerrados, el motor resulta conectado en triángulo.

3 Protección de la instalación eléctrica

El relé térmico TOR insertado en el interior del triángulo permite detectar eventuales corrientes de tercer armónico que pueden producirse por saturación del paquete magnético y que sumándose a la corriente fundamental sobrecargarían el motor sin involucrar a la línea.

Con referencia al esquema de conexión, los aparatos que se utilizan para el arrancador Y/Δ deberán estar en condiciones de soportar las siguientes corrientes:

$$\frac{I_r}{\sqrt{3}} \quad \text{contactor de línea KL y triángulo KΔ}$$

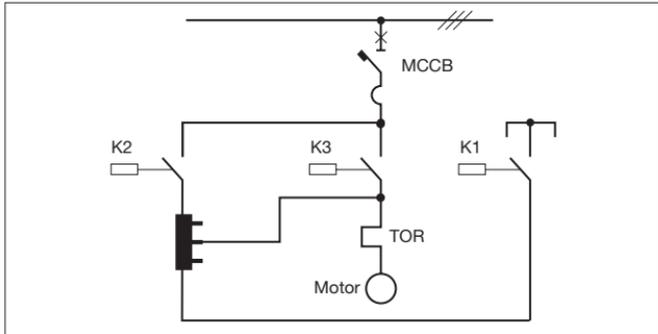
$$\frac{I_r}{3} \quad \text{contactor de estrella KY}$$

$$\frac{I_r}{\sqrt{3}} \quad \text{relé de protección contra sobrecargas}$$

donde I_r es la corriente asignada del motor.

Arranque con autotransformador

El arranque con autotransformador es el más racional de entre los métodos que se utilizan para el arranque con tensión reducida, pero también es el más caro. La reducción de la tensión de alimentación se realiza utilizando un autotransformador con toma fija o un autotransformador más caro, con diversas tomas.



Se aplica en los motores de jaula de ardilla con potencia generalmente comprendida entre 50 kW o algunos centenares de kilovatios, así como en los motores con doble jaula de ardilla con potencia más elevada.

El autotransformador reduce la tensión de red en un factor K ($K=1.25 \div 1.8$) y, en consecuencia, el par de arranque se reduce en K^2 veces respecto al valor de la tensión asignada plena.

3 Protección de la instalación eléctrica

En el arranque, el motor está conectado con las tomas del autotransformador y los contactores K2 y K1 están cerrados.

El motor arranca por tanto a baja velocidad y cuando alcanza aproximadamente el 80% de su velocidad de régimen, el contactor K1 se abre y se inserta el contactor principal K3; posteriormente, se abre el contactor K2 que excluye el autotransformador con lo que se aplica la tensión plena desde la red.

Arranque con inductancias o resistencias

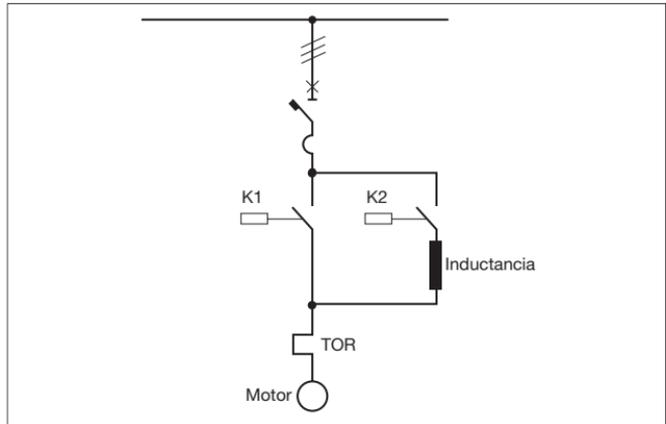
Este tipo de arranque se utiliza para rotores de jaula de ardilla sencilla o doble. La reducción de la tensión de alimentación se obtiene conectando en serie con el estator unas reactancias o resistencias. En el arranque, la corriente se limita a 2.5÷3.5 veces el valor de la corriente asignada.

En el arranque, el motor se alimenta a través del contactor K2, al alcanzar la velocidad de régimen, las inductancias se cortocircuitan por el cierre del contactor K1 y luego se excluyen con la apertura del contactor K2.

Se pueden realizar también diversas exclusiones graduales de resistencias o reactancias, con mandos temporizados para potencias de motor mayores de 100 kW.

El uso de reactancias reduce considerablemente el factor de potencia, mientras que la utilización de resistencias provoca la disipación de una elevada potencia por efecto Joule, si bien solamente en la fase de arranque.

El par, para una reducción K (0.6-0.8) de la tensión en el motor, se reduce K^2 veces (0.36-0.64).



2

1SDC010021F0001

De conformidad con la normativa anteriormente mencionada, los arrancadores pueden clasificarse también en función del tiempo de disparo (clases de disparo) y el tipo de coordinación realizada con el dispositivo de protección contra el cortocircuito (Tipo 1 y Tipo 2).

3 Protección de la instalación eléctrica

Clases de disparo

Las clases de disparo diferencian a los relés térmicos en base a la curva de actuación de los mismos.

Las clases de disparo (trip classes) se definen en la siguiente Tabla 2:

Tabla 2: Clases de disparo

| Clase de disparo | Tiempo de actuación en segundos (Tp) |
|------------------|--------------------------------------|
| 10A | $2 < T_p \leq 10$ |
| 10 | $4 < T_p \leq 10$ |
| 20 | $6 < T_p \leq 20$ |
| 30 | $9 < T_p \leq 30$ |

donde T_p es el tiempo de actuación en frío del relé térmico a 7.2 veces el valor de corriente regulado (por ejemplo: un relé de clase 10 a 7.2 veces el valor de corriente regulado no deberá actuar antes de 4 segundos, pero si deberá actuar antes de 10 segundos).

Es normal asociar a la clase 10 el tipo de arranque normal y a la clase 30 el tipo de arranque pesado.

Tipo de coordinación

Tipo 1

Se acepta que, en caso de cortocircuito, el contactor y el relé térmico se dañen. El arrancador podría ya no estar en condiciones de funcionar y deberá ser inspeccionado; de precisarse, el contactor y/o el relé térmico deben ser sustituidos y el relé del interruptor automático rearmado.

Tipo 2

En caso de cortocircuito, el relé térmico no debe dañarse y es posible que queden ligeramente soldados los contactos del contactor de tal forma que resulten fácilmente separables (por ejemplo, mediante un destornillador) sin deformación significativa.

Para determinar claramente el tipo de coordinación y, en consecuencia, los aparatos que hacen falta para realizarla, se deberá conocer:

- potencia del motor en kW y tipo
- tensión asignada de la instalación
- corriente asignada del motor
- corriente de cortocircuito en el punto de instalación
- tipo de arranque: DOL o Y/D - Normal o Pesado - Tipo 1 o Tipo 2.

Los dispositivos que hacen falta deben ser coordinados entre sí, cumpliendo con las disposiciones de las normas.

Para las tensiones y los valores de cortocircuito más comunes (400V-440V-500V-690V 35kA-50kA) y para los tipos de arranque más frecuentes, como el arranque directo y el arranque estrella/triángulo, para los motores asíncronos de jaula de ardilla (AC-3), ABB facilita soluciones con:

- interruptor automático sólo magnético – contactor – relé térmico
- interruptor automático magnetotérmico – contactor
- interruptor automático magnetotérmico con relé electrónico PR222 MP – contactor.

3 Protección de la instalación eléctrica

A continuación mostramos un ejemplo del tipo de tablas disponibles:

**Tabla 3: 400 V 50 kA DOL Normal Tipo 2
(Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | Relé térmico | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------|---------------------|-------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I ₃ [A] | Tipo | Tipo | Ajuste de corriente | |
| | | | | | | min. [A] | max. [A] |
| 0.37 | 1.1 | T2S160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.4 | 1 | 1.4 |
| 0.55 | 1.5 | T2S160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.8 | 1.3 | 1.8 |
| 0.75 | 1.9 | T2S160 MF 2 | 26 | A9 | TA25DU2.4 | 1.7 | 2.4 |
| 1.1 | 2.8 | T2S160 MF 3.2 | 42 | A9 | TA25DU4 | 2.8 | 4 |
| 1.5 | 3.5 | T2S160 MF 4 | 52 | A16 | TA25DU5 | 3.5 | 5 |
| 2.2 | 5 | T2S160 MF 5 | 65 | A26 | TA25DU6.5 | 4.5 | 6.5 |
| 3 | 6.6 | T2S160 MF 8.5 | 110 | A26 | TA25DU8.5 | 6 | 8.5 |
| 4 | 8.6 | T2S160 MF 11 | 145 | A30 | TA25DU11 | 7.5 | 11 |
| 5.5 | 11.5 | T2S160 MF 12.5 | 163 | A30 | TA25DU14 | 10 | 14 |
| 7.5 | 15.2 | T2S160 MA 20 | 210 | A30 | TA25DU19 | 13 | 19 |
| 11 | 22 | T2S160 MA 32 | 288 | A30 | TA42DU25 | 18 | 25 |
| 15 | 28.5 | T2S160 MA 52 | 392 | A50 | TA75DU42 | 29 | 42 |
| 18.5 | 36 | T2S160 MA 52 | 469 | A50 | TA75DU52 | 36 | 52 |
| 22 | 42 | T2S160 MA 52 | 547 | A50 | TA75DU52 | 36 | 52 |
| 30 | 56 | T2S160 MA 80 | 840 | A63 | TA75DU80 | 60 | 80 |
| 37 | 68 | T2S160 MA 80 | 960 | A75 | TA75DU80 | 60 | 80 |
| 45 | 83 | T2S160 MA 100 | 1200 | A95 | TA110DU110 | 80 | 110 |
| 55 | 98 | T3S250 MA 160 | 1440 | A110 | TA110DU110 | 80 | 110 |
| 75 | 135 | T3S250 MA 200 | 1800 | A145 | TA200DU175 | 130 | 175 |
| 90 | 158 | T3S250 MA 200 | 2400 | A185 | TA200DU200 | 150 | 200 |
| 110 | 193 | T4S320 PR221-I In320 | 2720 | A210 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 132 | 232 | T5S400 PR221-I In400 | 3200 | A260 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 160 | 282 | T5S400 PR221-I In400 | 4000 | A300 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 200 | 349 | T6S630 PR221-I In630 | 5040 | AF400 | E500DU500 | 150 | 500 |
| 250 | 430 | T6S630 PR221-I In630 | 6300 | AF460 | E500DU500 | 150 | 500 |
| 290 | 520 | T6S800 PR221-I In800 | 7200 | AF580 | E800DU800 | 250 | 800 |
| 315 | 545 | T6S800 PR221-I In800 | 8000 | AF580 | E800DU800 | 250 | 800 |
| 355 | 610 | T6S800 PR221-I In800 | 8000 | AF750 | E800DU800 | 250 | 800 |

MA: relé ajustable sólo magnético
MF: relé fijo sólo magnético

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 4: 400 V 50 kA DOL Arranque pesado Tipo 2
(Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | Relé térmico | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------|----------------------------------|-------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I ₃ [A] | Tipo | Tipo** | Ajuste de corriente | |
| | | | | | | Num. vueltas primario trafo int. | min. [A] |
| 0.37 | 1.1 | T2S160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.4* | | 1 1.4 |
| 0.55 | 1.5 | T2S160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.8* | | 1.3 1.8 |
| 0.75 | 1.9 | T2S160 MF 2 | 26 | A9 | TA25DU2.4* | | 1.7 2.4 |
| 1.1 | 2.8 | T2S160 MF 3.2 | 42 | A9 | TA25DU4* | | 2.8 4 |
| 1.5 | 3.5 | T2S160 MF 4 | 52 | A16 | TA25DU5* | | 3.5 5 |
| 2.2 | 5 | T2S160 MF 5 | 65 | A26 | TA25DU6.5* | | 4.5 6.5 |
| 3 | 6.6 | T2S160 MF 8.5 | 110 | A26 | TA25DU8.5* | | 6 8.5 |
| 4 | 8.6 | T2S160 MF 11 | 145 | A30 | TA25DU11* | | 7.5 11 |
| 5.5 | 11.5 | T2S160 MF 12.5 | 163 | A30 | TA450SU60 | 4 | 10 15 |
| 7.5 | 15.2 | T2S160 MA 20 | 210 | A30 | TA450SU60 | 3 | 13 20 |
| 11 | 22 | T2S160 MA 32 | 288 | A30 | TA450SU60 | 2 | 20 30 |
| 15 | 28.5 | T2S160 MA 52 | 392 | A50 | TA450SU80 | 2 | 23 40 |
| 18.5 | 36 | T2S160 MA 52 | 469 | A50 | TA450SU80 | 2 | 23 40 |
| 22 | 42 | T2S160 MA 52 | 547 | A50 | TA450SU60 | | 40 60 |
| 30 | 56 | T2S160 MA 80 | 840 | A63 | TA450SU80 | | 55 80 |
| 37 | 68 | T2S160 MA 80 | 960 | A95 | TA450SU80 | | 55 80 |
| 45 | 83 | T2S160 MA 100 | 1200 | A110 | TA450SU105 | | 70 105 |
| 55 | 98 | T3S250 MA 160 | 1440 | A145 | TA450SU140 | | 95 140 |
| 75 | 135 | T3S250 MA 200 | 1800 | A185 | TA450SU185 | | 130 185 |
| 90 | 158 | T3S250 MA 200 | 2400 | A210 | TA450SU185 | | 130 185 |
| 110 | 193 | T4S320 PR221-I In320 | 2720 | A260 | E320DU320 | | 100 320 |
| 132 | 232 | T5S400 PR221-I In400 | 3200 | A300 | E320DU320 | | 100 320 |
| 160 | 282 | T5S400 PR221-I In400 | 4000 | AF400 | E500DU500 | | 150 500 |
| 200 | 349 | T5S630 PR221-I In630 | 5040 | AF460 | E500DU500 | | 150 500 |
| 250 | 430 | T6S630 PR221-I In630 | 6300 | AF580 | E500DU500*** | | 150 500 |
| 290 | 520 | T6S800 PR221-I In800 | 7200 | AF750 | E800DU800 | | 250 800 |
| 315 | 545 | T6S800 PR221-I In800 | 8000 | AF750 | E800DU800 | | 250 800 |
| 355 | 610 | T6S800 PR221-I In800 | 8000 | AF750 | E800DU800 | | 250 800 |

1SDC010020F0201

* Ofrece un contactor de paso directo de las mismas dimensiones durante el arranque del motor

** Para los relés tipo E, se debe elegir la clase de activación 30

*** Kit de conexión no disponible. Para utilizar un kit de conexión, es necesario sustituirlo por el relé E800DU800

MA: relé ajustable sólo magnético

MF: relé fijo sólo magnético

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 5: 400 V 50 kA Y/ Δ Normal Tipo 2
(Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | | | Relé térmico | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|--------------|-------------------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I ₃ [A] | LINEA | TRIANGULO | ESTRELLA | Tipo | Ajuste de corriente [A] |
| | | | | Tipo | Tipo | Tipo | | |
| 18.5 | 36 | T2S160 MA52 | 469 | A50 | A50 | A26 | TA75DU25 | 18-25 |
| 22 | 42 | T2S160 MA52 | 547 | A50 | A50 | A26 | TA75DU32 | 22-32 |
| 30 | 56 | T2S160 MA80 | 720 | A63 | A63 | A30 | TA75DU42 | 29-42 |
| 37 | 68 | T2S160 MA80 | 840 | A75 | A75 | A30 | TA75DU52 | 36-52 |
| 45 | 83 | T2S160 MA100 | 1050 | A75 | A75 | A30 | TA75DU63 | 45 - 63 |
| 55 | 98 | T2S160 MA100 | 1200 | A75 | A75 | A40 | TA75DU63 | 45 - 63 |
| 75 | 135 | T3S250 MA160 | 1700 | A95 | A95 | A75 | TA110DU90 | 66 - 90 |
| 90 | 158 | T3S250 MA200 | 2000 | A110 | A110 | A95 | TA110DU110 | 80 - 110 |
| 110 | 193 | T3S250 MA200 | 2400 | A145 | A145 | A95 | TA200DU135 | 100 - 135 |
| 132 | 232 | T4S320 PR221-I In320 | 2880 | A145 | A145 | A110 | E200DU200 | 60 - 200 |
| 160 | 282 | T5S400 PR221-I In400 | 3600 | A185 | A185 | A145 | E200DU200 | 60 - 200 |
| 200 | 349 | T5S630 PR221-I In630 | 4410 | A210 | A210 | A185 | E320DU320 | 100 - 320 |
| 250 | 430 | T5S630 PR221-I In630 | 5670 | A260 | A260 | A210 | E320DU320 | 100 - 320 |
| 290 | 520 | T6S630 PR221-I In630 | 6300 | AF400 | AF400 | A260 | E500DU500 | 150 - 500 |
| 315 | 545 | T6S800 PR221-I In800 | 7200 | AF400 | AF400 | A260 | E500DU500 | 150 - 500 |
| 355 | 610 | T6S800 PR221-I In800 | 8000 | AF400 | AF400 | A260 | E500DU500 | 150 - 500 |

MA: relé ajustable sólo magnético

**Tabla 6: 400 V 50 kA DOL Arranque normal y pesado Tipo 2
(Tmax con relé MP- contactor)**

| Motor | | MCCB | | | Contactor | Grupo |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|-------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | Campo I ₁ [*] | I ₃ [A] | Tipo | [A] |
| | | | [A] | | | |
| 30 | 56 | T4S250 PR222MP In100 | 40-100 | 600 | A95 | 95 |
| 37 | 68 | T4S250 PR222MP In100 | 40-100 | 700 | A95 | 95 |
| 45 | 83 | T4S250 PR222MP In100 | 40-100 | 800 | A95 | 95 |
| 55 | 98 | T4S250 PR222MP In160 | 64-160 | 960 | A145 | 145 |
| 75 | 135 | T4S250 PR222MP In160 | 64-160 | 1280 | A145 | 145 |
| 90 | 158 | T4S250 PR222MP In200 | 80-200 | 1600 | A185 | 185 |
| 110 | 193 | T5S400 PR222MP In320 | 128-320 | 1920 | A210 | 210 |
| 132 | 232 | T5S400 PR222MP In320 | 128-320 | 2240 | A260 | 260 |
| 160 | 282 | T5S400 PR222MP In320 | 128-320 | 2560 | AF400** | 320 |
| 200 | 349 | T5S400 PR222MP In400 | 160-400 | 3200 | AF400 | 400 |
| 250 | 430 | T6S800 PR222MP In630 | 252-630 | 5040 | AF460 | 460 |
| 290 | 520 | T6S800 PR222MP In630 | 252-630 | 5670 | AF580 | 580 |
| 315 | 545 | T6S800 PR222MP In630 | 252-630 | 5670 | AF580 | 580 |
| 355 | 610 | T6S800 PR222MP In630 | 252-630 | 5670 | AF750 | 630 |

(*) para un arranque pesado, se debe programar la clase de activación del relé electrónico en la clase 30

(**) en caso de arranque normal, se debe utilizar AF300

2

TSDCO10023F0201

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 7: 440 V 50 kA DOL Normal Tipo 2
(Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | Relé térmico | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------|---------------------|-------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I _s [A] | Tipo | Tipo | Ajuste de corriente | |
| | | | | | | min. [A] | max. [A] |
| 0.37 | 1 | T2H160 MF 1 | 13 | A9 | TA25DU1.4 | 1 | 1.4 |
| 0.55 | 1.4 | T2H160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.8 | 1.3 | 1.8 |
| 0.75 | 1.7 | T2H160 MF 2 | 26 | A9 | TA25DU2.4 | 1.7 | 2.4 |
| 1.1 | 2.2 | T2H160 MF 2.5 | 33 | A9 | TA25DU3.1 | 2.2 | 3.1 |
| 1.5 | 3 | T2H160 MF 3.2 | 42 | A16 | TA25DU4 | 2.8 | 4 |
| 2.2 | 4.4 | T2H160 MF 5 | 65 | A26 | TA25DU5 | 3.5 | 5 |
| 3 | 5.7 | T2H160 MF 6.5 | 84 | A26 | TA25DU6.5 | 4.5 | 6.5 |
| 4 | 7.8 | T2H160 MF 8.5 | 110 | A30 | TA25DU11 | 7.5 | 11 |
| 5.5 | 10.5 | T2H160 MF 11 | 145 | A30 | TA25DU14 | 10 | 14 |
| 7.5 | 13.5 | T2H160 MA 20 | 180 | A30 | TA25DU19 | 13 | 19 |
| 11 | 19 | T2H160 MA 32 | 240 | A30 | TA42DU25 | 18 | 25 |
| 15 | 26 | T2H160 MA 32 | 336 | A50 | TA75DU32 | 22 | 32 |
| 18.5 | 32 | T2H160 MA 52 | 469 | A50 | TA75DU42 | 29 | 42 |
| 22 | 38 | T2H160 MA 52 | 547 | A50 | TA75DU52 | 36 | 52 |
| 30 | 52 | T2H160 MA 80 | 720 | A63 | TA75DU63 | 45 | 63 |
| 37 | 63 | T2H160 MA 80 | 840 | A75 | TA75DU80 | 60 | 80 |
| 45 | 75 | T2H160 MA 100 | 1050 | A95 | TA110DU90 | 65 | 90 |
| 55 | 90 | T4H250 PR221-I In160 | 1200 | A110 | TA110DU110 | 80 | 110 |
| 75 | 120 | T4H250 PR221-I In250 | 1750 | A145 | E200DU200 | 60 | 200 |
| 90 | 147 | T4H250 PR221-I In250 | 2000 | A185 | E200DU200 | 60 | 200 |
| 110 | 177 | T4H250 PR221-I In250 | 2500 | A210 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 132 | 212 | T5H400 PR221-I In320 | 3200 | A260 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 160 | 260 | T5H400 PR221-I In400 | 3600 | A300 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 200 | 320 | T5H630 PR221-I In630 | 4410 | AF 400 | E500DU500 | 150 | 500 |
| 250 | 410 | T6H630 PR221-I In630 | 5355 | AF 460 | E500DU500 | 150 | 500 |
| 290 | 448 | T6H630 PR221-I In630 | 6300 | AF 580 | E500DU500* | 150 | 500 |
| 315 | 500 | T6H800 PR221-I In800 | 7200 | AF 580 | E800DU800 | 250 | 800 |
| 355 | 549 | T6H800 PR221-I In800 | 8000 | AF 580 | E800DU800 | 250 | 800 |

1SDC010024F0201

* Kit de conexión no disponible. Para utilizar un kit de conexión, sustituir por el relé E800DU800
 MA: relé ajustable sólo magnético
 MF: relé fijo sólo magnético

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 8: 440 V 50 kA DOL Arranque pesado Tipo 2
(Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | Relé térmico | | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------|----------------------------------|---------------------|----------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I ₃ [A] | Tipo | Tipo** | Num. vueltas primario trafo int. | Ajuste de corriente | |
| | | | | | | | min. [A] | max. [A] |
| 0.37 | 1 | T2H160 MF 1 | 13 | A9 | TA25DU1.4* | | 1 | 1.4 |
| 0.55 | 1.4 | T2H160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.8* | | 1.3 | 1.8 |
| 0.75 | 1.7 | T2H160 MF 2 | 26 | A9 | TA25DU2.4* | | 1.7 | 2.4 |
| 1.1 | 2.2 | T2H160 MF 2.5 | 33 | A9 | TA25DU3.1* | | 2.2 | 3.1 |
| 1.5 | 3 | T2H160 MF 3.2 | 42 | A16 | TA25DU4* | | 2.8 | 4 |
| 2.2 | 4.4 | T2H160 MF 5 | 65 | A26 | TA25DU5* | | 3.5 | 5 |
| 3 | 5.7 | T2H160 MF 6.5 | 84 | A26 | TA25DU6.5* | | 4.5 | 6.5 |
| 4 | 7.8 | T2H160 MF 8.5 | 110 | A30 | TA25DU11* | | 7.5 | 11 |
| 5.5 | 10.5 | T2H160 MF 11 | 145 | A30 | TA25DU14* | | 10 | 14 |
| 7.5 | 13.5 | T2H160 MA 20 | 180 | A30 | TA450SU60 | 4 | 10 | 15 |
| 11 | 19 | T2H160 MA 32 | 240 | A30 | TA450SU80 | 3 | 18 | 27 |
| 15 | 26 | T2H160 MA 32 | 336 | A50 | TA450SU60 | 2 | 20 | 30 |
| 18.5 | 32 | T2H160 MA 52 | 469 | A50 | TA450SU80 | 2 | 28 | 40 |
| 22 | 38 | T2H160 MA 52 | 547 | A50 | TA450SU80 | 2 | 28 | 40 |
| 30 | 52 | T2H160 MA 80 | 720 | A63 | TA450SU60 | | 40 | 60 |
| 37 | 63 | T2H160 MA 80 | 840 | A95 | TA450SU80 | | 55 | 80 |
| 45 | 75 | T2H160 MA 100 | 1050 | A110 | TA450SU105 | | 70 | 105 |
| 55 | 90 | T4H250 PR221-I In160 | 1200 | A145 | E200DU200 | | 60 | 200 |
| 75 | 120 | T4H250 PR221-I In250 | 1750 | A185 | E200DU200 | | 60 | 200 |
| 90 | 147 | T4H250 PR221-I In250 | 2000 | A210 | E320DU320 | | 100 | 320 |
| 110 | 177 | T4H250 PR221-I In250 | 2500 | A260 | E320DU320 | | 100 | 320 |
| 132 | 212 | T5H400 PR221-I In320 | 3200 | A300 | E320DU320 | | 100 | 320 |
| 160 | 260 | T5H400 PR221-I In400 | 3600 | AF400 | E500DU500 | | 150 | 500 |
| 200 | 320 | T5H630 PR221-I In630 | 4410 | AF460 | E500DU500 | | 150 | 500 |
| 250 | 410 | T6H630 PR221-I In630 | 5355 | AF580 | E500DU500*** | | 150 | 500 |
| 290 | 448 | T6H630 PR221-I In630 | 6300 | AF750 | E500DU500*** | | 150 | 500 |
| 315 | 500 | T6H800 PR221-I In800 | 7200 | AF 750 | E800DU800 | | 250 | 800 |
| 355 | 549 | T6H800 PR221-I In800 | 8000 | AF 750 | E800DU800 | | 250 | 800 |

* Ofrece un contactor de paso directo de las mismas dimensiones durante el arranque del motor

** Para los relés tipo E, se debe elegir la clase de activación 30

*** Kit de conexión no disponible. Para utilizar un kit de conexión, es necesario sustituirlo por el relé E800DU800

MA: relé ajustable sólo magnético

MF: relé fijo sólo magnético

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 9: 440 V 50 kA Y/ Δ Normal Tipo 2
(Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | | | Relé térmico | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------|-------------------|------------------|--------------|---------------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I ₃ [A] | LINEA Type | TRIANGULO Type | ESTRELLA Type | Tipo | Ajuste de corriente |
| 18.5 | 32 | T2H160 MA52 | 392 | A 50 | A 50 | A 16 | TA75DU25 | 18-25 |
| 22 | 38 | T2H160 MA52 | 469 | A 50 | A 50 | A 26 | TA75DU25 | 18-25 |
| 30 | 52 | T2H160 MA80 | 720 | A 63 | A 63 | A 26 | TA75DU42 | 29-42 |
| 37 | 63 | T2H160 MA80 | 840 | A 75 | A 75 | A 30 | TA75DU42 | 29-42 |
| 45 | 75 | T2H160 MA80 | 960 | A 75 | A 75 | A30 | TA75DU52 | 36-52 |
| 55 | 90 | T2H160 MA100 | 1150 | A 75 | A 75 | A40 | TA75DU63 | 45 - 63 |
| 75 | 120 | T4H250 PR221-I In250 | 1625 | A95 | A95 | A75 | TA80DU80 | 60-80 |
| 90 | 147 | T4H250 PR221-I In250 | 1875 | A95 | A95 | A75 | TA110DU110 | 80-110 |
| 110 | 177 | T4H250 PR221-I In250 | 2250 | A145 | A145 | A95 | E200DU200 | 60-200 |
| 132 | 212 | T4H320 PR221-I In320 | 2720 | A145 | A145 | A110 | E200DU200 | 60-200 |
| 160 | 260 | T5H400 PR221-I In400 | 3200 | A185 | A185 | A145 | E200DU200 | 60-200 |
| 200 | 320 | T5H630 PR221-I In630 | 4095 | A210 | A210 | A185 | E320DU320 | 100-320 |
| 250 | 410 | T5H630 PR221-I In630 | 5040 | A260 | A260 | A210 | E320DU320 | 100-320 |
| 290 | 448 | T6H630 PR221-I In630 | 5670 | AF400 | AF400 | A260 | E500DU500 | 150 - 500 |
| 315 | 500 | T6H630 PR221-I In630 | 6300 | AF400 | AF400 | A260 | E500DU500 | 150 - 500 |
| 355 | 549 | T6H800 PR221-I In800 | 7200 | AF400 | AF400 | A260 | E500DU500 | 150 - 500 |

MA : relé ajustable sólo magnético

**Tabla 10: 440 V 50 kA DOL Arranque normal y pesado Tipo 2
(Tmax con relé MP - contactor)**

| Motor | | MCCB | | | Contactor | Grupo |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------|-------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | Campo I ₁ * [A] | I ₃ [A] | Tipo | [A] |
| 30 | 52 | T4H250 PR222MP In100 | 40-100 | 600 | A95 | 93 |
| 37 | 63 | T4H250 PR222MP In100 | 40-100 | 700 | A95 | 93 |
| 45 | 75 | T4H250 PR222MP In100 | 40-100 | 800 | A95 | 93 |
| 55 | 90 | T4H250 PR222MP In160 | 64-160 | 960 | A145 | 145 |
| 75 | 120 | T4H250 PR222MP In160 | 64-160 | 1120 | A145 | 145 |
| 90 | 147 | T4H250 PR222MP In200 | 80-200 | 1400 | A185 | 185 |
| 110 | 177 | T5H400 PR222MP In320 | 128-320 | 1920 | A210 | 210 |
| 132 | 212 | T5H400 PR222MP In320 | 128-320 | 2240 | A260 | 240 |
| 160 | 260 | T5H400 PR222MP In320 | 128-320 | 2560 | AF400** | 320 |
| 200 | 320 | T5H400 PR222MP In400 | 160-400 | 3200 | AF400 | 400 |
| 250 | 370 | T6H800 PR222MP In630 | 252-630 | 4410 | AF460 | 460 |
| 290 | 436 | T6H800 PR222MP In630 | 252-630 | 5040 | AF460 | 460 |
| 315 | 500 | T6H800 PR222MP In630 | 252-630 | 5040 | AF580 | 580 |
| 355 | 549 | T6H800 PR222MP In630 | 252-630 | 5670 | AF580 | 580 |

(*) para un arranque pesado, se debe programar la clase de activación del relé electrónico en la clase 30

(**) en caso de arranque normal, se debe utilizar AF300

1SDC01025F0201

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 11: 500 V 50 kA DOL Normal Tipo 2
(Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactora | Relé térmico | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|------------|--------------|---------------------|-------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I _s [A] | Tipo | Tipo | Ajuste de corriente | |
| | | | | | | min. [A] | max. [A] |
| 0.37 | 0.88 | T2L160 MF 1 | 13 | A9 | TA25DU1.0 | 0.63 | 1 |
| 0.55 | 1.2 | T2L160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.4 | 1 | 1.4 |
| 0.75 | 1.5 | T2L160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.8 | 1.3 | 1.8 |
| 1.1 | 2.2 | T2L160 MF 2.5 | 33 | A9 | TA25DU3.1 | 2.2 | 3.1 |
| 1.5 | 2.8 | T2L160 MF 3.2 | 42 | A16 | TA25DU4 | 2.8 | 4 |
| 2.2 | 4 | T2L160 MF 4 | 52 | A26 | TA25DU5 | 3.5 | 5 |
| 3 | 5.2 | T2L160 MF 6.5 | 84 | A26 | TA25DU6.5 | 4.5 | 6.5 |
| 4 | 6.9 | T2L160 MF 8.5 | 110 | A30 | TA25DU8.5 | 6 | 8.5 |
| 5.5 | 9.1 | T2L160 MF 11 | 145 | A30 | TA25DU11 | 7.5 | 11 |
| 7.5 | 12.2 | T2L160 MF 12.5 | 163 | A30 | TA25DU14 | 10 | 14 |
| 11 | 17.5 | T2L160 MA 20 | 240 | A30 | TA25DU19 | 13 | 19 |
| 15 | 23 | T2L160 MA 32 | 336 | A50 | TA75DU25 | 18 | 25 |
| 18.5 | 29 | T2L160 MA 52 | 392 | A50 | TA75DU32 | 22 | 32 |
| 22 | 34 | T2L160 MA 52 | 469 | A50 | TA75DU42 | 29 | 42 |
| 30 | 45 | T2L160 MA 52 | 624 | A63 | TA75DU52 | 36 | 52 |
| 37 | 56 | T2L160 MA 80 | 840 | A75 | TA75DU63 | 45 | 63 |
| 45 | 67 | T2L160 MA 80 | 960 | A95 | TA80DU80 | 60 | 80 |
| 55 | 82 | T2L160 MA 100 | 1200 | A110 | TA110DU90 | 65 | 90 |
| 75 | 110 | T4H250 PR221-I In160 | 1440 | A145 | E200DU200 | 60 | 200 |
| 90 | 132 | T4H250 PR221-I In250 | 1875 | A145 | E200DU200 | 60 | 200 |
| 110 | 158 | T4H250 PR221-I In250 | 2250 | A185 | E200DU200 | 60 | 200 |
| 132 | 192 | T4H320 PR221-I In320 | 2720 | A210 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 160 | 230 | T5H400 PR221-I In400 | 3600 | A260 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 200 | 279 | T5H400 PR221-I In400 | 4000 | A300 | E320DU320 | 100 | 320 |
| 250 | 335 | T5H630 PR221-I In630 | 4725 | AF 400 | E 500DU500 | 150 | 500 |
| 290 | 394 | T6L630 PR221-I In630 | 5040 | AF 460 | E 500DU500 | 150 | 500 |
| 315 | 440 | T6L630 PR221-I In630 | 6300 | AF 580 | E 500DU500* | 150 | 500 |
| 355 | 483 | T6L630 PR221-I In630 | 6300 | AF 580 | E 800DU800 | 250 | 800 |

* Kit de conexión no disponible. Para utilizar un kit de conexión, sustituir por el relé E800DU800.

MA: relé ajustable sólo magnético

MF: relé fijo sólo magnético

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 12: 500 V 50 kA DOL Arranque pesado
Tipo 2 (Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | Relé térmico | | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------|-------------------------------------|---------------------|------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I _Δ [A] | Tipo | Tipo** | Num. de vueltas primario trafo int. | Ajuste de corriente | |
| | | | | | | | min. | max. |
| 0.37 | 0.88 | T2L160 MF 1 | 13 | A9 | TA25DU1.0* | | 0.63 | 1 |
| 0.55 | 1.2 | T2L160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.4* | | 1 | 1.4 |
| 0.75 | 1.5 | T2L160 MF 1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.8* | | 1.3 | 1.8 |
| 1.1 | 2.2 | T2L160 MF 2.5 | 33 | A9 | TA25DU3.1* | | 2.2 | 3.1 |
| 1.5 | 2.8 | T2L160 MF 3.2 | 42 | A16 | TA25DU4* | | 2.8 | 4 |
| 2.2 | 4 | T2L160 MF 4 | 52 | A26 | TA25DU5* | | 3.5 | 5 |
| 3 | 5.2 | T2L160 MF 6.5 | 84 | A26 | TA25DU6.5* | | 4.5 | 6.5 |
| 4 | 6.9 | T2L160 MF 8.5 | 110 | A30 | TA25DU8.5* | | 6 | 8.5 |
| 5.5 | 9.1 | T2L160 MF 11 | 145 | A30 | TA25DU11* | | 7.5 | 11 |
| 7.5 | 12.2 | T2L160 MF 12.5 | 163 | A30 | TA450SU60 | 4 | 10 | 15 |
| 11 | 17.5 | T2L160 MA 20 | 240 | A30 | TA450SU60 | 3 | 13 | 20 |
| 15 | 23 | T2L160 MA 32 | 336 | A50 | TA450SU60 | 2 | 20 | 30 |
| 18.5 | 29 | T2L160 MA 52 | 392 | A50 | TA450SU80 | 2 | 27.5 | 40 |
| 22 | 34 | T2L160 MA 52 | 469 | A50 | TA450SU80 | 2 | 27.5 | 40 |
| 30 | 45 | T2L160 MA 52 | 624 | A63 | TA450SU60 | | 40 | 60 |
| 37 | 56 | T2L160 MA 80 | 840 | A75 | TA450SU60 | | 40 | 60 |
| 45 | 67 | T2L160 MA 80 | 960 | A95 | TA450SU80 | | 55 | 80 |
| 55 | 82 | T2L160 MA 100 | 1200 | A145 | TA450SU105 | | 70 | 105 |
| 75 | 110 | T4H250 PR221-I In160 | 1440 | A145 | E200DU200 | | 60 | 200 |
| 90 | 132 | T4H250 PR221-I In250 | 1875 | A185 | E200DU200 | | 60 | 200 |
| 110 | 158 | T4H250 PR221-I In250 | 2123 | A210 | E320DU320 | | 100 | 320 |
| 132 | 192 | T4H320 PR221-I In320 | 2720 | A260 | E320DU320 | | 100 | 320 |
| 160 | 230 | T5H400 PR221-I In400 | 3200 | A300 | E320DU320 | | 100 | 320 |
| 200 | 279 | T5H400 PR221-I In400 | 3600 | AF400 | E500DU500 | | 150 | 500 |
| 250 | 335 | T5H630 PR221-I In630 | 4725 | AF460 | E500DU500 | | 150 | 500 |
| 290 | 394 | T6L630 PR221-I In630 | 5040 | AF580 | E500DU500*** | | 150 | 500 |
| 315 | 440 | T6L630 PR221-I In630 | 6300 | AF750 | E500DU500*** | | 150 | 500 |
| 355 | 483 | T6L630 PR221-I In630 | 6300 | AF750 | E500DU500 | | 150 | 500 |

1SDC010021F0201

* Ofrece un contactor de paso directo de las mismas dimensiones durante el arranque del motor

** Para los relés tipo E, se debe elegir la clase de activación 30

*** Kit de conexión no disponible. Para utilizar un kit de conexión, es necesario sustituirlo por el relé E800DU800

MA: relé ajustable sólo magnético

MF: relé fijo sólo magnético

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 13: 500 V 50 kA Y/Δ Normal Tipo 2
(Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | | | Relé térmico | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------|-------------------|------------------|--------------|---------------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I _s [A] | LINEA Tipo | TRIANGULO Tipo | ESTRELLA Tipo | Tipo | Ajuste de corriente |
| 22 | 34 | T2L160 MA52 | 430 | A 50 | A 50 | A 16 | TA75DU25 | 18-25 |
| 30 | 45 | T2L160 MA52 | 547 | A 63 | A 63 | A 26 | TA75DU32 | 22-32 |
| 37 | 56 | T2L160 MA80 | 720 | A 75 | A 75 | A 30 | TA75DU42 | 29-42 |
| 45 | 67 | T2L160 MA80 | 840 | A 75 | A 75 | A30 | TA75DU52 | 36 - 52 |
| 55 | 82 | T2L160 MA100 | 1050 | A 75 | A 75 | A30 | TA75DU52 | 36 - 52 |
| 75 | 110 | T4H250 PR221-I In250 | 1375 | A95 | A95 | A50 | TA80DU80 | 60-80 |
| 90 | 132 | T4H250 PR221-I In250 | 1750 | A95 | A95 | A75 | TA110DU90 | 65-90 |
| 110 | 158 | T4H250 PR221-I In250 | 2000 | A110 | A110 | A95 | TA110DU110 | 80-110 |
| 132 | 192 | T4H320 PR221-I In320 | 2560 | A145 | A145 | A95 | E200DU200 | 60-200 |
| 160 | 230 | T4H320 PR221-I In320 | 2880 | A145 | A145 | A110 | E200DU200 | 60-200 |
| 200 | 279 | T5H400 PR221-I In400 | 3400 | A210 | A210 | A145 | E320DU320 | 100-320 |
| 250 | 335 | T5H630 PR221-I In630 | 4410 | A210 | A210 | A185 | E320DU320 | 100-320 |
| 290 | 394 | T5H630 PR221-I In630 | 5040 | A260 | A260 | A210 | E320DU320 | 100-320 |
| 315 | 440 | T6L630 PR221-I In630 | 5760 | AF400 | AF400 | A210 | E500DU500 | 150 - 500 |
| 355 | 483 | T6L630 PR221-I In630 | 6300 | AF400 | AF400 | A260 | E500DU500 | 150 - 500 |

MA: relé ajustable sólo magnético

**Tabla 14: 500 V 50 kA DOL Arranque normal y pesado Tipo 2
(Tmax con relé MP - contactor)**

| Motor | | MCCB | | | Contactor | Grupo |
|------------------------|-----------------------|----------------------|--|-----------------------|-----------|-------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | Campo I ₁ [*] [A] | I _s [A] | Tipo | [A] |
| 30 | 45 | T4H250 PR222MP In100 | 40-100 | 600 | A95 | 80 |
| 37 | 56 | T4H250 PR222MP In100 | 40-100 | 600 | A95 | 80 |
| 45 | 67 | T4H250 PR222MP In100 | 40-100 | 700 | A145 | 100 |
| 55 | 82 | T4H250 PR222MP In100 | 40-100 | 800 | A145 | 100 |
| 75 | 110 | T4H250 PR222MP In160 | 64-160 | 1120 | A145 | 145 |
| 90 | 132 | T4H250 PR222MP In160 | 64-160 | 1280 | A145 | 145 |
| 110 | 158 | T4H250 PR222MP In200 | 80-200 | 1600 | A185 | 170 |
| 132 | 192 | T5H400 PR222MP In320 | 128-320 | 1920 | A210 | 210 |
| 160 | 230 | T5H400 PR222MP In320 | 128-320 | 2240 | A260 | 260 |
| 200 | 279 | T5H400 PR222MP In400 | 160-400 | 2800 | AF400** | 400 |
| 250 | 335 | T5H400 PR222MP In400 | 160-400 | 3200 | AF400 | 400 |
| 290 | 395 | T6H800 PR222MP In630 | 252-630 | 5040 | AF460 | 460 |
| 315 | 415 | T6H800 PR222MP In630 | 252-630 | 5040 | AF460 | 460 |
| 355 | 451 | T6H800 PR222MP In630 | 252-630 | 5670 | AF580 | 580 |

(*) para un arranque pesado, se debe programar la clase de activación del relé electrónico en la clase 30

(**) en caso de arranque normal, se debe utilizar AF300

2

1SDC0100027F0201

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 15: 690 V 50kA DOL Normal Tipo 2
(Tmax - contactor - CT - TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | CT | | Relé térmico | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|----------|-----------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------|
| P _e [kW] | I _e [A] | Tipo | I ₃ [A] | Tipo | KORC | Num. vueltas primario | Tipo | ajuste de corriente min. [A] | max. [A] |
| 0.37 | 0.6 | T2L160 MF1 | 13 | A9 | | | TA25DU0.63 | 0.4 | 0.63 |
| 0.55 | 0.9 | T2L160 MF1 | 13 | A9 | | | TA25DU1 | 0.63 | 1 |
| 0.75 | 1.1 | T2L160 MF1.6 | 21 | A9 | | | TA25DU1.4 | 1 | 1.4 |
| 1.1 | 1.6 | T2L160 MF1.6 | 21 | A9 | | | TA25DU1.8 | 1.3 | 1.8 |
| 1.5 | 2 | T2L160 MF2.5 | 33 | A9 | | | TA25DU2.4 | 1.7 | 2.4 |
| 2.2 | 2.9 | T2L160 MF3.2 | 42 | A9 | | | TA25DU3.1* | 2.2 | 3.1 |
| 3 | 3.8 | T2L160 MF4 | 52 | A9 | | | TA25DU4* | 2.8 | 4 |
| 4 | 5 | T2L160 MF5 | 65 | A9 | | | TA25DU5* | 3.5 | 5 |
| 5.5 | 6.5 | T2L160 MF6.5 | 84 | A9 | | | TA25DU6.5* | 4.5 | 6.5 |
| | | T4L250 PR221-I In 100 | 150 | A95 | 4L185R/4 | 13** | TA25DU2.4 | 6 | 8.5 |
| 7.5 | 8.8 | T4L250 PR221-I In 100 | 150 | A95 | 4L185R/4 | 10** | TA25DU2.4 | 7.9 | 11.1 |
| 11 | 13 | T4L250 PR221-I In 100 | 200 | A95 | 4L185R/4 | 7** | TA25DU2.4 | 11.2 | 15.9 |
| 15 | 18 | T4L250 PR221-I In 100 | 250 | A95 | 4L185R/4 | 7** | TA25DU3.1 | 15.2 | 20.5 |
| 18.5 | 21 | T4L250 PR221-I In 100 | 300 | A95 | 4L185R/4 | 6 | TA25DU3.1 | 17.7 | 23.9 |
| 22 | 25 | T4L250 PR221-I In 100 | 350 | A95 | 4L185R/4 | 6 | TA25DU4 | 21.6 | 30.8 |
| 30 | 33 | T4L250 PR221-I In 100 | 450 | A145 | 4L185R/4 | 6 | TA25DU5 | 27 | 38.5 |
| 37 | 41 | T4L250 PR221-I In 100 | 550 | A145 | 4L185R/4 | 4 | TA25DU4 | 32.4 | 46.3 |
| 45 | 49 | T4L250 PR221-I In 100 | 700 | A145 | 4L185R/4 | 4 | TA25DU5 | 40.5 | 57.8 |
| 55 | 60 | T4L250 PR221-I In 100 | 800 | A145 | 4L185R/4 | 3 | TA25DU5 | 54 | 77.1 |
| 75 | 80 | T4L250 PR221-I In 160 | 1120 | A145 | | | E200DU200 | 65 | 200 |
| 90 | 95 | T4L250 PR221-I In 160 | 1280 | A145 | | | E200DU200 | 65 | 200 |
| 110 | 115 | T4L250 PR221-I In 250 | 1625 | A145 | | | E200DU200 | 65 | 200 |
| 132 | 139 | T4L250 PR221-I In 250 | 2000 | A185 | | | E200DU200 | 65 | 200 |
| 160 | 167 | T4L250 PR221-I In 250 | 2250 | A185 | | | E200DU200 | 65 | 200 |
| 200 | 202 | T5L400 PR221-I In 320 | 2720 | A210 | | | E320DU320 | 105 | 320 |
| 250 | 242 | T5L400 PR221-I In 400 | 3400 | A300 | | | E320DU320 | 105 | 320 |
| 290 | 301 | T5L630 PR221-I In 630 | 4410 | AF400 | | | E500DU500 | 150 | 500 |
| 315 | 313 | T5L630 PR221-I In 630 | 4410 | AF400 | | | E500DU500 | 150 | 500 |
| 355 | 370 | T5L630 PR221-I In 630 | 5355 | AF580 | | | E500DU500*** | 150 | 500 |

TSDC010108F0201

Para obtener más información sobre KORC, consulte el catálogo "KORC 1GB00-04"

(*) Coordinación tipo 1

(**) Sección de cable transversa igual a 4 mm²

(***) Kit de montaje para contactor no disponible; para utilizar el kit de montaje, es necesario E800DU800

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 16: 690 V 50 kA DOL Arranque pesado
Tipo 2 (Tmax – contactor – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | Relé térmico | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|---------------|-----------------------|---------------------|-------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I ₃ [A] | Tipo | Tipo | Num. vueltas primario | Ajuste de corriente | |
| | | | | | | | min. [A] | max. [A] |
| 0.37 | 0.6 | T2L160 MF1 | 13 | A9 | TA25DU0.63(X) | | 0.4 | 0.63 |
| 0.55 | 0.9 | T2L160 MF1 | 13 | A9 | TA25DU1(X) | | 0.63 | 1 |
| 0.75 | 1.1 | T2L160 MF1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.4(X) | | 1 | 1.4 |
| 1.1 | 1.6 | T2L160 MF1.6 | 21 | A9 | TA25DU1.6(X) | | 1.3 | 1.8 |
| 1.5 | 2 | T2L160 MF2.5 | 33 | A9 | TA25DU2.4(X) | | 1.7 | 2.4 |
| 2.2 | 2.9 | T2L160 MF3.2 | 42 | A9 | TA25DU3.1*(X) | | 2.2 | 3.1 |
| 3 | 3.8 | T2L160 MF4 | 52 | A9 | TA25DU4*(X) | | 2.8 | 4 |
| 4 | 5 | T2L160 MF5 | 65 | A9 | TA25DU5*(X) | | 3.5 | 5 |
| 5.5 | 6.5 | T2L160 MF6.5 | 84 | A9 | TA25DU6.5*(X) | | 4.5 | 6.5 |
| | | T4L250 PR221-I In 100 | 150 | A95 | TA450SU60 | 7** | 5.7 | 8.6 |
| 7.5 | 8.8 | T4L250 PR221-I In 100 | 150 | A95 | TA450SU60 | 5** | 8 | 12 |
| 11 | 13 | T4L250 PR221-I In 100 | 200 | A95 | TA450SU60 | 4** | 10 | 15 |
| 15 | 18 | T4L250 PR221-I In 100 | 250 | A95 | TA450SU60 | 3** | 13 | 20 |
| 18.5 | 21 | T4L250 PR221-I In 100 | 300 | A95 | TA450SU80 | 3 | 18 | 27 |
| 22 | 25 | T4L250 PR221-I In 100 | 350 | A95 | TA450SU60 | 2 | 20 | 30 |
| 30 | 33 | T4L250 PR221-I In 100 | 450 | A145 | TA450SU80 | 2 | 27.5 | 40 |
| 37 | 41 | T4L250 PR221-I In 100 | 550 | A145 | TA450SU60 | | 40 | 60 |
| 45 | 49 | T4L250 PR221-I In 100 | 700 | A145 | TA450SU60 | | 40 | 60 |
| 55 | 60 | T4L250 PR221-I In 100 | 800 | A145 | TA450SU80 | | 55 | 80 |
| 75 | 80 | T4L250 PR221-I In 160 | 1120 | A145 | TA450SU105 | | 70 | 105 |
| 90 | 95 | T4L250 PR221-I In 160 | 1280 | A145 | TA450SU105 | | 70 | 105 |
| 110 | 115 | T4L250 PR221-I In 250 | 1625 | A185 | TA450SU140 | | 95 | 140 |
| 132 | 139 | T4L250 PR221-I In 250 | 2000 | A210 | E320DU320 | | 105 | 320 |
| 160 | 167 | T4L250 PR221-I In 250 | 2250 | A210 | E320DU320 | | 105 | 320 |
| 200 | 202 | T5L400 PR221-I In 320 | 2720 | A260 | E320DU320 | | 105 | 320 |
| 250 | 242 | T5L400 PR221-I In 400 | 3400 | AF400 | E500DU500 | | 150 | 500 |
| 290 | 301 | T5L630 PR221-I In 630 | 4410 | AF400 | E500DU500 | | 150 | 500 |
| 315 | 313 | T5L630 PR221-I In 630 | 4410 | AF460 | E500DU500 | | 150 | 500 |
| 355 | 370 | T5L630 PR221-I In 630 | 5355 | AF580 | E500DU500*** | | 150 | 500 |

(*) Coordinación tipo 1

(**) Sección de cable transversa igual a 4 mm²

(***) Kit de montaje para contactor no disponible; para utilizar el kit de montaje, es necesario E800DU800

(X) Ofrece contactor de paso directo durante el arranque del motor

3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 17: 690 V 50 kA Y/ Δ Normal Tipo 2
(Tmax – contactor – CT – TOR)**

| Motor | | MCCB | | Contactor | | | CT | | Relé | |
|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------|-------------------|------------------|------------|-----------------------------|-------------|-------------------------------|
| P _e [kW] | I _r [A] | Tipo | I ₃ [A] | Linea Tipo | Triángulo Tipo | Estrella Tipo | KORC | Num. vueltas primario | Tipo | Ajuste de corriente [A] |
| 5.5 | 6.5* | T4L250PR221-I In100 | 150 | A95 | A95 | A26 | 4L185R/4** | 13 | TA25DU2.4** | 6-8.5 |
| 7.5 | 8.8* | T4L250PR221-I In100 | 150 | A95 | A95 | A26 | 4L185R/4** | 10 | TA25DU2.4** | 7.9-11.1 |
| 11 | 13* | T4L250PR221-I In100 | 200 | A95 | A95 | A26 | 4L185R/4** | 7 | TA25DU2.4** | 11.2-15.9 |
| 15 | 18* | T4L250PR221-I In100 | 250 | A95 | A95 | A26 | 4L185R/4** | 7 | TA25DU3.1** | 15.2-20.5 |
| 18.5 | 21 | T4L250PR221-I In100 | 300 | A95 | A95 | A30 | 4L185R/4** | 6 | TA25DU3.1** | 17.7-23.9 |
| 22 | 25 | T4L250PR221-I In100 | 350 | A95 | A95 | A30 | 4L185R/4** | 6 | TA25DU4** | 21.6-30.8 |
| 30 | 33 | T4L250PR221-I In100 | 450 | A145 | A145 | A30 | 4L185R/4** | 6 | TA25DU5** | 27-38.5 |
| 37 | 41 | T4L250PR221-I In100 | 550 | A145 | A145 | A30 | | | TA75DU52** | 36-52 |
| 45 | 49 | T4L250PR221-I In100 | 650 | A145 | A145 | A30 | | | TA75DU52** | 36-52 |
| 55 | 60 | T4L250PR221-I In100 | 800 | A145 | A145 | A40 | | | TA75DU52** | 36-52 |
| 75 | 80 | T4L250PR221-I In160 | 1120 | A145 | A145 | A50 | | | TA75DU52 | 36-52 |
| 90 | 95 | T4L250PR221-I In160 | 1280 | A145 | A145 | A75 | | | TA75DU63 | 45-63 |
| 110 | 115 | T4L250PR221-I In160 | 1600 | A145 | A145 | A75 | | | TA75DU80 | 60-80 |
| 132 | 139 | T4L250PR221-I In250 | 1875 | A145 | A145 | A95 | | | TA200DU110 | 80-110 |
| 160 | 167 | T4L250PR221-I In250 | 2125 | A145 | A145 | A110 | | | TA200DU110 | 80-110 |
| 200 | 202 | T4L320PR221-I In320 | 2720 | A185 | A185 | A110 | | | TA200DU135 | 100-135 |
| 250 | 242 | T5L400PR221-I In400 | 3200 | AF400 | AF400 | A145 | | | E500DU500 | 150-500 |
| 290 | 301 | T5L400PR221-I In400 | 4000 | AF400 | AF400 | A145 | | | E500DU500 | 150-500 |
| 315 | 313 | T5L630PR221-I In630 | 4410 | AF400 | AF400 | A185 | | | E500DU500 | 150-500 |
| 355 | 370 | T5L630PR221-I In630 | 5040 | AF400 | AF400 | A210 | | | E500DU500 | 150-500 |
| 400 | 420 | T5L630PR221-I In630 | 5670 | AF460 | AF460 | A210 | | | E500DU500 | 150-500 |
| 450 | 470 | T5L630PR221-I In630 | 6300 | AF460 | AF460 | A260 | | | E500DU500 | 150-500 |

1SDC010110F0201

Para obtener más información sobre KORK, consulte el catálogo "KORK 1GB00-04"

(*) Sección de cable transversa igual a 4 mm²

(**) Conectar la sobrecarga/el relé aguas arriba del nodo en triángulo

3 Protección de la instalación eléctrica

Tabla 18: 690 V 50 kA DOL Arranque normal y pesado Tipo 2 (Tmax con relé MP - contactor)

| Motor | | MCCB | | | Contactor | Grupo |
|---------------|--------------|-----------------------------|----------------------|--------------|--------------|-------|
| P_e [kW] | I_r [A] | Tipo | Campo I_1^* [A] | I_3 [A] | Tipo | [A] |
| 45 | 49 | T4L250 PR222MP In100 | 40-100 | 600 | A145 | 100 |
| 55 | 60 | T4L250 PR222MP In100 | 40-100 | 600 | A145 | 100 |
| 75 | 80 | T4L250 PR222MP In100 | 40-100 | 800 | A145 | 100 |
| 90 | 95 | T4L250 PR222MP In160 | 64-160 | 960 | A145 | 120 |
| 110 | 115 | T4L250 PR222MP In160 | 64-160 | 1120 | A145 | 120 |
| 132 | 139 | T4L250 PR222MP In160 | 64-160 | 1440 | A185 | 160 |
| 160 | 167 | T4L250 PR222MP In200 | 80-200 | 1600 | A185 | 170 |
| 200 | 202 | T5L400 PR222MP In320 | 128-320 | 1920 | A210 | 210 |
| 250 | 242 | T5L400 PR222MP In320 | 128-320 | 2240 | A300 | 280 |
| 290 | 301 | T5L400 PR222MP In400 | 160-400 | 2800 | AF400 | 350 |
| 315 | 313 | T5L400 PR222MP In400 | 160-400 | 3200 | AF400 | 350 |

(*) para un arranque pesado, se debe programar la clase de activación del relé electrónico en la clase 30

1SDC010114F0201

2

3 Protección de la instalación eléctrica

Ejemplo

Se desea realizar un arranque Y/Δ Normal Tipo 2 de un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla con los siguientes datos:

- tensión asignada $U_r = 400 \text{ V}$
- corriente de cortocircuito $I_k = 50 \text{ kA}$
- potencia asignada del motor $P_e = 200 \text{ kW}$

A través de la Tabla 5, en correspondencia con la respectiva línea, se leen las siguientes informaciones:

- I_r (corriente asignada): 349A
- dispositivo de protección contra el cortocircuito: interruptor automático T5S630 PR221-I In630
- umbral de actuación magnética: $I_3 = 4410$
- contactor de línea: A210
- contactor de triángulo: A210
- contactor de estrella: A185
- relé térmico: E320DU320 regulable 100-320A (debe regularse a $\frac{I_r}{\sqrt{3}} = 202 \text{ A}$)

Se desea realizar un arranque DOL pesado Tipo 2 con protección MP de un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla con los siguientes datos:

- tensión asignada $U_r = 400 \text{ V}$
- corriente de cortocircuito $I_k = 50 \text{ kA}$
- potencia asignada del motor $P_e = 55 \text{ kW}$

A través de la Tabla 6, en correspondencia con la respectiva línea, se leen las siguientes informaciones:

- I_r (corriente asignada): 98 A;
- dispositivo de protección contra el cortocircuito: interruptor automático T4S250 PR222MP* In160;
- umbral de actuación magnética: $I_3 = 960 \text{ A}$;
- contactor: A145;

* para un arranque pesado se debe configurar la clase de actuación del relé electrónico en la clase 30

3 Protección de la instalación eléctrica

3.4 Protección y maniobra de transformadores

Generalidades

Los transformadores se utilizan para realizar un cambio en la tensión de alimentación, tanto para suministros en media tensión como en baja tensión.

Al elegir los dispositivos de protección deben considerarse los fenómenos transitorios de inserción durante los cuales la corriente puede tomar valores elevados respecto a la corriente asignada de plena carga: el fenómeno decae en pocos segundos.

La curva que representa en la curva tiempo-corriente dicho fenómeno transitorio, denominado "corriente de inserción I_0 " ("inrush current I_0 "), depende del tamaño del transformador y puede calcularse con la siguiente fórmula (la potencia de cortocircuito de la red se considera infinita).

$$I_0 = \frac{K \cdot I_{1r} \cdot e^{(-t/\tau)}}{\sqrt{2}}$$

donde:

K relación entre el valor de corriente de inserción máximo (I_0) y la corriente asignada del transformador (I_{1r}): ($K = I_0 / I_{1r}$)

τ constante de tiempo de la corriente de inserción

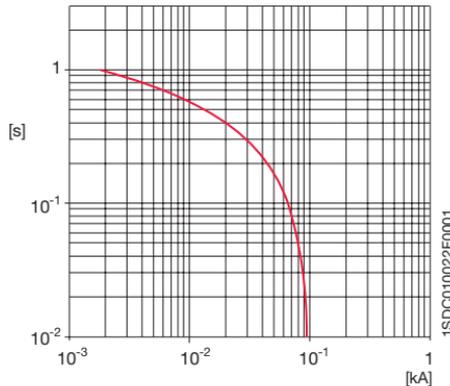
I_{1r} corriente asignada del primario

t tiempo.

La siguiente Tabla muestra los valores aproximados para los parámetros τ y K referidos a la potencia asignada S_r de los transformadores en aceite

| S_r [kVA] | 50 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 | 1600 | 2000 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $K = I_0 / I_{1r}$ | 15 | 14 | 12 | 12 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| τ [s] | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.22 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 |

En base a lo anterior, la siguiente figura muestra la curva de inserción de un transformador 20/0,4 kV de 400 kVA; dicho transformador tiene una corriente de inserción en los primeros instantes equivalente a aproximadamente 8 veces el valor de la corriente asignada y el transitorio se expira en pocas décimas de segundo.



3 Protección de la instalación eléctrica

Los dispositivos de protección del transformador deben garantizar también que el transformador no opere fuera del punto de sobrecarga térmica máxima en condiciones de cortocircuito; dicho punto se define en el diagrama tiempo-corriente por el valor de corriente de cortocircuito que puede circular a través del transformador en un tiempo de 2 segundos, tal y como se indica en la norma IEC 60076-5. La corriente de cortocircuito (I_k) por defecto franco en los bornes secundarios del transformador se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{Net} + Z_t)} \quad [\text{A}] \quad (1)$$

donde:

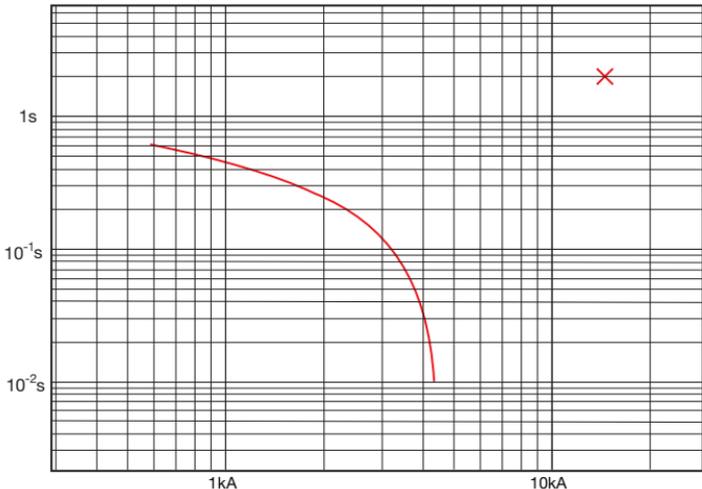
- U_r es la tensión asignada del transformador [V]
- Z_{Net} es la impedancia de cortocircuito de la red [Ω]
- Z_t es la impedancia de cortocircuito del transformador; conocidas la potencia asignada del transformador (S_r [VA]) y la tensión de cortocircuito porcentual ($u_k\%$), equivale a:

$$Z_t = \frac{u_k\% \cdot U_r^2}{100 \cdot S_r} \quad [\Omega] \quad (2)$$

Considerando infinita la potencia de cortocircuito aguas arriba de la red ($Z_{Net}=0$), la fórmula (1) se convierte:

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_t)} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{u_k\% \cdot U_r^2}{100 \cdot S_r} \right)} = \frac{100 \cdot S_r}{\sqrt{3} \cdot u_k\% \cdot U_r} \quad [\text{A}] \quad (3)$$

La siguiente figura muestra la curva de inserción de un transformador 20/0,4 kV de 400 kVA ($u_k\% = 4\%$) y el punto de sobrecarga térmica (I_k ; 2 seg.).



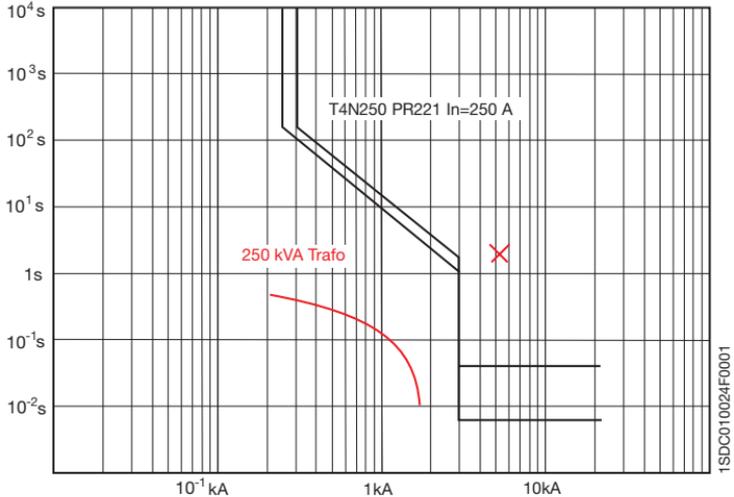
1SDC010023F0001

3 Protección de la instalación eléctrica

Resumiendo: para que un dispositivo de protección puesto aguas arriba pueda proteger el transformador correctamente y no actúe de forma imprevista, la curva de actuación del mismo deberá hallarse por encima de la curva de inserción y por debajo del punto de sobrecarga.

La siguiente figura muestra un posible posicionamiento de la curva tiempo-corriente de un dispositivo de protección puesto aguas arriba de un transformador 690/400 V de 250 kVA con $u_k\% = 4\%$.

Curvas Tiempo-Corriente



2 Criterios de elección de los dispositivos de protección

Para la protección, lado bt, de los transformadores MT/bt, la elección de los interruptores automáticos debe considerar principalmente:

- la corriente asignada del transformador protegido, lado bt, del cual dependen la capacidad del interruptor automático y la regulación de las protecciones;
- la corriente máxima de cortocircuito en el punto de instalación, que determina el poder de corte mínimo (I_{cu}/I_{cs}) del aparato de protección.

Cabina MT/bt con un solo transformador

La corriente asignada del transformador (I_r), lado bt, se determina mediante la siguiente fórmula:

$$I_r = \frac{1000 \cdot S_r}{\sqrt{3} \cdot U_{r20}} \quad [\text{A}] \quad (4)$$

donde:

S_r es la potencia asignada del transformador [kVA]

U_{r20} es la tensión asignada secundaria en vacío del transformador [V].

3 Protección de la instalación eléctrica

La corriente de cortocircuito trifásica a plena tensión (I_k) en los bornes bt del transformador, puede expresarse con la siguiente ecuación (suponiendo potencia infinita en el lado primario):

$$I_k = \frac{100 \cdot I_r}{u_k \%} \quad [A] \quad (5)$$

donde

$u_k\%$ es la tensión de cortocircuito del transformador, en %.

El interruptor automático de protección debe tener:

$$I_n \geq I_r;$$

$$I_{cu} (I_{cs}) \geq I_k.$$

Si la potencia de cortocircuito aguas arriba de la red no es infinita y están presentes conexiones con cable o barra, es posible obtener un valor más preciso de I_k utilizando la fórmula (1), donde Z_{Net} es la suma de la impedancia de la red y la impedancia de la conexión.

Cabina MT/bt con varios transformadores conectados en paralelo

Para el cálculo de la corriente asignada del transformador, vale lo indicado anteriormente (véase la fórmula 4).

El poder de corte de cada interruptor automático de protección, lado bt, debe resultar superior a la corriente de cortocircuito debida a la cantidad total de los transformadores de igual potencia conectados en paralelo menos uno.

Como puede observarse en la siguiente figura, en el caso de un defecto aguas abajo de un interruptor automático de transformador (interruptor automático A), la corriente de cortocircuito que circula a través del mismo es la de un solo transformador.

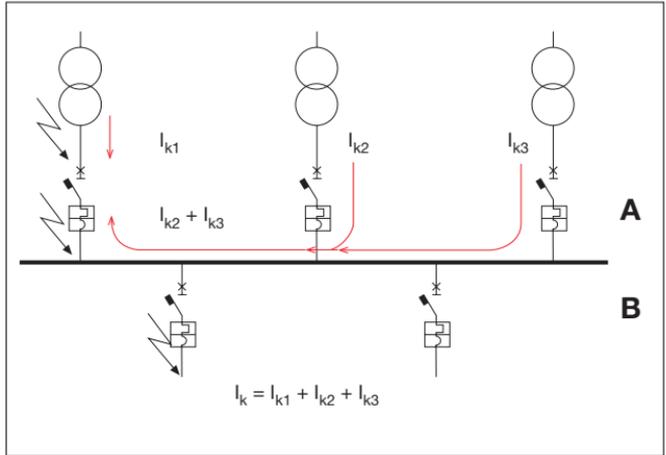
Si se tiene un defecto aguas arriba de este interruptor automático, la corriente de cortocircuito que circula a través del mismo es la suma de los otros dos transformadores conectados en paralelo.

(*) Para llevar a cabo una protección correcta contra sobrecarga, se recomienda utilizar equipo termométrico u otros dispositivos de protección que puedan controlar la temperatura en el interior de los transformadores.

3 Protección de la instalación eléctrica

Para un dimensionamiento correcto, se deberá elegir un interruptor automático con un poder de corte superior al doble de la corriente de cortocircuito suministrada por uno de los transformadores (suponiendo que todos los transformadores sean iguales y que las cargas sean pasivas).

Los interruptores automáticos puestos en las salidas (interruptores automáticos B) deben tener un poder de corte superior a la suma de las corrientes de cortocircuito de los tres transformadores, suponiendo que la potencia de cortocircuito aguas arriba de la red sea infinita y que las cargas sean pasivas.



1SDCC010025F001

2

3 Protección de la instalación eléctrica

Selección del interruptor automático

Las siguientes tablas muestran algunas posibles elecciones de interruptores automáticos ABB SACE, según las características de los transformadores que deben protegerse.

Tabla 1: Protección y maniobra de transformadores de 230 V

| Transformador | | | | Interruptor automático "A" (lado LV) | | | | | Barra I _k | | | | | |
|----------------|----------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------|---------------|----------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| S _r | u _k | Trafo I _r | Barra I _b | Alim. trafo I _k | Interruptor automático ABB SACE | Relé | | Barra I _k | 32 A | 63 A | 125 A | 160 A | 250 A | 400 A |
| | | | | | | tamaño | ajuste mínimo | | | | | | | |
| 1 x 63 | 4 | 158 | 158 | 3.9 | T1B160* | In=160 | 1 | 3.9 | S200 | T1B160 | | | | |
| 2 x 63 | | 158 | 316 | 3.9 | T1B160* | In=160 | 1 | 7.9 | S200 | T1B160 | | T3N250 | | |
| 1 x 100 | 4 | 251 | 251 | 6.3 | T4N320 | In=320 | 0.79 | 6.3 | S200 | T1B160 | | | | |
| 2 x 100 | | 251 | 502 | 6.2 | T4N320 | In=320 | 0.79 | 12.5 | S200 | T1B160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 125 | 4 | 314 | 314 | 7.8 | T5N400 | In=400 | 0.79 | 7.8 | S200 | T1B160 | | T3N250 | | |
| 2 x 125 | | 314 | 628 | 7.8 | T5N400 | In=400 | 0.79 | 15.6 | S200 | T1B160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 160 | 4 | 402 | 402 | 10.0 | T5N630 | In=630 | 0.64 | 10.0 | S200 | T1B160 | | T3N250 | | |
| 2 x 160 | | 402 | 803 | 9.9 | T5N630 | In=630 | 0.64 | 19.9 | S200 | T1B160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 200 | 4 | 502 | 502 | 12.5 | T5N630 | In=630 | 0.8 | 12.5 | S200 | T1B160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 2 x 200 | | 502 | 1004 | 12.4 | T5N630 | In=630 | 0.8 | 24.8 | T1B160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 1 x 250 | 4 | 628 | 628 | 15.6 | T5N630 | In=630 | 1 | 15.6 | S200 | T1B160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 2 x 250 | | 628 | 1255 | 15.4 | T5N630 | In=630 | 1 | 30.9 | T1C160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 1 x 315 | 4 | 791 | 791 | 19.6 | T6N800 | In=800 | 1 | 19.6 | T1B160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 315 | | 791 | 1581 | 19.4 | T6N800 | In=800 | 1 | 38.7 | T1C160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 1 x 400 | 4 | 1004 | 1004 | 24.8 | T7S1250/X1B1250** | In=1250 | 0.81 | 24.8 | T1B160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 400 | | 1004 | 2008 | 24.5 | T7S1250/X1B1250** | In=1250 | 0.81 | 48.9 | T1N160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 1 x 500 | 4 | 1255 | 1255 | 30.9 | T7S1600/X1B1600** | In=1600 | 0.79 | 30.9 | T1C160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 500 | | 1255 | 2510 | 30.4 | T7S1600/X1B1600** | In=1600 | 0.79 | 60.7 | T2N160 | | T3S250 | T5N400 | | |
| 1 x 630 | 4 | 1581 | 1581 | 38.7 | T7S1600/X1B1600** | In=1600 | 1 | 38.7 | T1C160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 630 | | 1581 | 3163 | 37.9 | T7S1600/X1B1600** | In=1600 | 1 | 75.9 | T2S160 | | T3S250 | T5S400 | | |
| 3 x 630 | 5 | 1581 | 4744 | 74.4 | T7S1600/E2S1600 | In=1600 | 1 | 111.6 | T2L160 | | T4L250 | T5L400 | | |
| 1 x 800 | | 2008 | 2008 | 39.3 | E3N2500 | In=2500 | 0.81 | 39.3 | T1C160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 800 | 5 | 2008 | 4016 | 38.5 | E3N2500 | In=2500 | 0.81 | 77.0 | T2S160 | | T3S250 | T5S400 | | |
| 3 x 800 | | 2008 | 6025 | 75.5 | E3H2500 | In=2500 | 0.81 | 113.2 | T2L160 | | T4L250 | T5L400 | | |
| 1 x 1000 | 5 | 2510 | 2510 | 48.9 | E3N3200 | In=3200 | 0.79 | 48.9 | T1N160 | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 1000 | | 2510 | 5020 | 47.7 | E3N3200 | In=3200 | 0.79 | 95.3 | T2H160 | | T4H250 | T5H400 | | |
| 3 x 1000 | 5 | 2510 | 7531 | 93.0 | E3H3200 | In=3200 | 0.79 | 139.5 | T4L250 | | T4L250 | T5L400 | | |
| 1 x 1250 | | 3138 | 3138 | 60.7 | E3N3200 | In=3200 | 1 | 60.7 | T2N160 | | T3S250 | T5N400 | | |
| 2 x 1250 | 5 | 3138 | 6276 | 58.8 | E3N3200 | In=3200 | 1 | 117.7 | T2L160 | | T4L250 | T5L400 | | |
| 3 x 1250 | | 3138 | 9413 | 114.1 | E4V3200 | In=3200 | 1 | 171.2 | T4L250 | | T4L250 | T5L400 | | |

* también se pueden utilizar para esta aplicación CBs de la serie Tmax equipados con relés electrónicos

** también se pueden utilizar para esta aplicación Isomax CB tipo S7 y Emax tipo E1

3 Protección de la instalación eléctrica

Tabla 2: Protección y maniobra de transformadores de 400 V

| Transformador | | | | Interruptor automático "A" (lado LV) | | | | Barra I _k | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------|------------------|----------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--|
| S _r [kVA] | u _k [%] | Trafo I _f | Barra I _b | Alim. trafo I _k | Interruptor automático ABB SACE | Relé | | [kA] | | | | | | | |
| | | [A] | [A] | [kA] | | tamaño | ajuste mínimo | 32 A | 63 A | 125 A | 160 A | 250 A | 400 A | | |
| 1 x 63 | 4 | 91 | 91 | 2.2 | T1B* | In=100 | 0.92 | 2.2 | S200 | | | | | | |
| 2 x 63 | | 91 | 182 | 2.2 | T1B* | In=100 | 0.92 | 4.4 | S200 | T1B160 | | | | | |
| 1 x 100 | 4 | 144 | 144 | 3.6 | T1B* | In=160 | 0.91 | 3.6 | S200 | T1B160 | | | | | |
| 2 x 100 | | 144 | 288 | 3.6 | T1B* | In=160 | 0.91 | 7.2 | S200 | T1B160 | | | | | |
| 1 x 125 | 4 | 180 | 180 | 4.5 | T3N250* | In=200 | 0.73 | 4.5 | S200 | T1B160 | | | | | |
| 2 x 125 | | 180 | 360 | 4.4 | T3N250* | In=200 | 0.73 | 8.8 | S200 | T1B160 | | | | | |
| 1 x 160 | 4 | 231 | 231 | 5.7 | T3N250* | In=250 | 0.93 | 5.7 | S200 | T1B160 | | | | | |
| 2 x 160 | | 231 | 462 | 5.7 | T3N250* | In=250 | 0.93 | 11.4 | S200M | T1B160 | | | T3N250 | | |
| 1 x 200 | 4 | 289 | 289 | 7.2 | T4N320 | In=320 | 0.91 | 7.2 | S200 | T1B160 | | | T3N250 | | |
| 2 x 200 | | 289 | 578 | 7.1 | T4N320 | In=320 | 0.91 | 14.2 | S200M | T1B160 | | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 250 | 4 | 361 | 361 | 8.9 | T5N400 | In=400 | 0.91 | 8.9 | S200 | T1B160 | | | T3N250 | | |
| 2 x 250 | | 361 | 722 | 8.8 | T5N400 | In=400 | 0.91 | 17.6 | | T1C160 | | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 315 | 4 | 455 | 455 | 11.2 | T5N630 | In=630 | 0.73 | 11.2 | S200M | T1B160 | | | T3N250 | T5N400 | |
| 2 x 315 | | 455 | 910 | 11.1 | T5N630 | In=630 | 0.73 | 22.2 | | T1C160 | | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 400 | 4 | 577 | 577 | 14.2 | T5N630 | In=630 | 0.92 | 14.2 | S200M | T1B160 | | | T3N250 | T5N400 | |
| 2 x 400 | | 577 | 1154 | 14 | T5N630 | In=630 | 0.92 | 28 | | T1N160 | | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 500 | 4 | 722 | 722 | 17.7 | T6N800 | In=800 | 0.91 | 17.7 | T1C160 | | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 500 | | 722 | 1444 | 17.5 | T6N800 | In=800 | 0.91 | 35.9 | | T1N160 | | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 630 | 4 | 909 | 909 | 22.3 | T7S1000/X1B1000** | In=1000 | 0.91 | 22.3 | T1C160 | | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 630 | | 909 | 1818 | 21.8 | T7S1000/X1B1000** | In=1000 | 0.91 | 43.6 | T2S160 | | | T3S250 | T5S400 | | |
| 3 x 630 | 5 | 909 | 2727 | 42.8 | T7S1000/X1N1000** | In=1000 | 0.91 | 64.2 | T2H160 | | | T4H250 | T5H400 | | |
| 1 x 800 | | 1155 | 1155 | 22.6 | T7S1250/X1B1250** | In=1250 | 0.93 | 22.6 | T1C160 | | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 800 | 5 | 1155 | 2310 | 22.1 | T7S1250/X1B1250** | In=1250 | 0.93 | 44.3 | T2S160 | | | T3S250 | T5S400 | | |
| 3 x 800 | | 1155 | 3465 | 43.4 | T7S1250/X1N1250** | In=1250 | 0.93 | 65 | T2H160 | | | T4H250 | T5H400 | | |
| 1 x 1000 | 5 | 1443 | 1443 | 28.1 | T7S1600/X1B1600** | In=1600 | 0.91 | 28.1 | T1N160 | | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 1000 | | 1443 | 2886 | 27.4 | T7S1600/X1B1600** | In=1600 | 0.91 | 54.8 | T2H160 | | | T4H250 | T5H400 | | |
| 3 x 1000 | 5 | 1443 | 4329 | 53.5 | T7H1600/E2N1600 | In=1600 | 0.91 | 80.2 | T2L160 | | | T4L250 | T5L400 | | |
| 1 x 1250 | | 1804 | 1804 | 34.9 | E2B2000 | In=2000 | 0.91 | 34.9 | T1N160 | | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 1250 | 5 | 1804 | 3608 | 33.8 | E2B2000 | In=2000 | 0.91 | 67.7 | T2H160 | | | T4H250 | T5H400 | | |
| 3 x 1250 | | 1804 | 5412 | 65.6 | E2S2000 | In=2000 | 0.91 | 98.4 | T4L250 | | | T4L250 | T5L400 | | |
| 1 x 1600 | 6.25 | 2309 | 2309 | 35.7 | E3N2500 | In=2500 | 0.93 | 35.7 | T1N160 | | | T3N250 | T5N400 | | |
| 2 x 1600 | | 2309 | 4618 | 34.6 | E3N2500 | In=2500 | 0.93 | 69.2 | T2H160 | | | T4H250 | T5H400 | | |
| 3 x 1600 | 6.25 | 2309 | 6927 | 67 | E3S2500 | In=2500 | 0.93 | 100.6 | T4L250 | | | T4L250 | T5L400 | | |
| 1 x 2000 | | 2887 | 2887 | 44.3 | E3N3200 | In=3200 | 0.91 | 44.3 | T2S160 | | | T3S250 | T5S400 | | |
| 2 x 2000 | 6.25 | 2887 | 5774 | 42.6 | E3N3200 | In=3200 | 0.91 | 85.1 | T4L250 | | | T4L250 | T5L400 | | |
| 3 x 2000 | | 2887 | 8661 | 81.9 | E3H3200 | In=3200 | 0.91 | 122.8 | T4V250 | | | T4V250 | T5V400 | | |
| 1 x 2500 | 6.25 | 3608 | 3608 | 54.8 | E4S4000 | In=4000 | 0.91 | 54.8 | T2H160 | | | T4H250 | T5H400 | | |
| 1 x 3125 | 6.25 | 4510 | 4510 | 67.7 | E6H5000 | In=5000 | 0.91 | 67.7 | T2H160 | | | T4H250 | T5H400 | | |

* también se pueden utilizar para esta aplicación CBs de la serie Tmax equipados con relés electrónicos

** también se pueden utilizar para esta aplicación Isomax CB tipo S7 y Emax tipo E1

3 Protección de la instalación eléctrica

Tabla 3: Protección y maniobra de transformadores de 440 V

| Transformador | | | | Interruptor automático "A" (lado LV) | | | | Barra I _k | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------|------------------|----------------------|------|--------|-------|--------|--------|-------|
| S _r [kVA] | u _k [%] | Trafo I _r [A] | Barra I _b [A] | Alim. trafo I _k [kA] | Interruptor automático ABB SACE | Relé | | [kA] | 32 A | 63 A | 125 A | 160 A | 250 A | 400 A |
| | | | | | | tamaño | ajuste mínimo | | | | | | | |
| 1 x 63 | 4 | 83 | 83 | 2.1 | T1B160* | In=100 | 0.83 | 2.1 | S200 | | | | | |
| 2 x 63 | | 83 | 165 | 2.1 | T1B160* | In=100 | 0.83 | 4.1 | S200 | T1B160 | | | | |
| 1 x 100 | 4 | 131 | 131 | 3.3 | T1B160* | In=160 | 0.82 | 3.3 | S200 | | | | | |
| 2 x 100 | | 131 | 262 | 3.3 | T1B160* | In=160 | 0.82 | 6.5 | | T1B160 | | | | |
| 1 x 125 | 4 | 164 | 164 | 4.1 | T3N250* | In=200 | 0.82 | 4.1 | S200 | T1B160 | | | | |
| 2 x 125 | | 164 | 328 | 4.1 | T3N250* | In=200 | 0.82 | 8.1 | | T1B160 | | T3N250 | | |
| 1 x 160 | 4 | 210 | 210 | 5.2 | T3N250* | In=250 | 0.84 | 5.2 | S200 | T1B160 | | | | |
| 2 x 160 | | 210 | 420 | 5.2 | T3N250* | In=250 | 0.84 | 10.4 | | T1C160 | | T3N250 | | |
| 1 x 200 | 4 | 262 | 262 | 6.5 | T4N320 | In=320 | 0.82 | 6.5 | | T1B160 | | | | |
| 2 x 200 | | 262 | 525 | 6.5 | T4N320 | In=320 | 0.82 | 12.9 | | T1C160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 250 | 4 | 328 | 328 | 8.1 | T5N400 | In=400 | 0.82 | 8.1 | | T1B160 | | T3N250 | | |
| 2 x 250 | | 328 | 656 | 8.1 | T5N400 | In=400 | 0.82 | 16.1 | | T1N160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 315 | 4 | 413 | 413 | 10.2 | T5N630 | In=630 | 0.66 | 10.2 | | T1C160 | | T3N250 | | |
| 2 x 315 | | 413 | 827 | 10.1 | T5N630 | In=630 | 0.66 | 20.2 | | T1N160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 1 x 400 | 4 | 525 | 525 | 12.9 | T5N630 | In=630 | 0.83 | 12.9 | | T1C160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 2 x 400 | | 525 | 1050 | 12.8 | T5N630 | In=630 | 0.83 | 25.6 | | T2N160 | | T3S250 | T5N400 | |
| 1 x 500 | 4 | 656 | 656 | 16.1 | T6N800 | In=800 | 0.82 | 16.1 | | T1N160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 2 x 500 | | 656 | 1312 | 15.9 | T6N800 | In=800 | 0.82 | 31.7 | | T2S160 | | T3S250 | T5S400 | |
| 1 x 630 | 4 | 827 | 827 | 20.2 | T7S1000/X1B1250** | In=1000 | 0.83 | 20.2 | | T1N160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 2 x 630 | | 827 | 1653 | 19.8 | T7S1000/X1B1250** | In=1000 | 0.83 | 39.7 | | T2S160 | | T3S250 | T5S400 | |
| 3 x 630 | 5 | 827 | 2480 | 38.9 | T7S1000/X1B1250** | In=1000 | 0.83 | 58.3 | | T2L160 | | T4H250 | T5H400 | |
| 1 x 800 | | 1050 | 1050 | 20.6 | T7S1250/X1B1250** | In=1250 | 0.84 | 20.6 | | T1N160 | | T3N250 | T5N400 | |
| 2 x 800 | 5 | 1050 | 2099 | 20.1 | T7S1250/X1B1250** | In=1250 | 0.84 | 40.3 | | T2S160 | | T4H250 | T5H400 | |
| 3 x 800 | | 1050 | 3149 | 39.5 | T7S1250/X1B1250** | In=1250 | 0.84 | 59.2 | | T2L160 | | T4H250 | T5H400 | |
| 1 x 1000 | 5 | 1312 | 1312 | 25.6 | T7S1600/X1B1600** | In=1600 | 0.82 | 25.6 | | T2N160 | | T3S250 | T5N400 | |
| 2 x 1000 | | 1312 | 2624 | 24.9 | T7S1600/X1B1600** | In=1600 | 0.82 | 49.8 | | T2H160 | | T4H250 | T5H400 | |
| 3 x 1000 | 5 | 1312 | 3936 | 48.6 | T7H1600/X1N1600** | In=1600 | 0.82 | 72.9 | | T2L160 | | T4L250 | T5L400 | |
| 1 x 1250 | | 1640 | 1640 | 31.7 | E2B2000 | In=2000 | 0.82 | 31.7 | | T2S160 | | T3S250 | T5S400 | |
| 2 x 1250 | 5 | 1640 | 3280 | 30.8 | E2B2000 | In=2000 | 0.82 | 61.5 | | T2L160 | | T4H250 | T5H400 | |
| 3 x 1250 | | 1640 | 4921 | 59.6 | E2N2000 | In=2000 | 0.82 | 89.5 | | T4L250 | | T4L250 | T5L400 | |
| 1 x 1600 | 6.25 | 2099 | 2099 | 32.5 | E3N2500 | In=2500 | 0.84 | 32.5 | | T2S160 | | T3S250 | T5S400 | |
| 2 x 1600 | | 2099 | 4199 | 31.4 | E3N2500 | In=2500 | 0.84 | 62.9 | | T2L160 | | T4H250 | T5H400 | |
| 3 x 1600 | 6.25 | 2099 | 6298 | 60.9 | E3N2500 | In=2500 | 0.84 | 91.4 | | T4L250 | | T4L250 | T5L400 | |
| 1 x 2000 | | 2624 | 2624 | 40.3 | E3N3200 | In=3200 | 0.82 | 40.3 | | T2S160 | | T4H250 | T5H400 | |
| 2 x 2000 | 6.25 | 2624 | 5249 | 38.7 | E3N3200 | In=3200 | 0.82 | 77.4 | | T4L250 | | T4L250 | T5L400 | |
| 3 x 2000 | | 2624 | 7873 | 74.4 | E3S3200 | In=3200 | 0.82 | 111.7 | | T4V250 | | T4V250 | T5V400 | |
| 1 x 2500 | 6.25 | 3280 | 3280 | 49.8 | E4S4000 | In=4000 | 0.82 | 49.8 | | T2H160 | | T4H250 | T5H400 | |
| 1 x 3125 | 6.25 | 4100 | 4100 | 61.5 | E6H5000 | In=5000 | 0.82 | 61.5 | | T2L160 | | T4H250 | T5H400 | |

* también se pueden utilizar para esta aplicación CBs de la serie Tmax equipados con relés electrónicos

** también se pueden utilizar para esta aplicación Isomax CB tipo S7 y Emax tipo E1

3 Protección de la instalación eléctrica

Tabla 4: Protección y maniobra de transformadores de 690 V

| Transformador | | | | Interrupción automática "A" (lado LV) | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------------|------------------------------|--------|------|--------|-------|--------|--------|
| S _r [kVA] | u _k [%] | Trafo I _r [A] | Barra I _b [A] | Alim. trafo I _k [kA] | Interrupción automática ABB SACE | Relé | | Barra I _k [kA] | 32 A | 63 A | 125 A | 160 A | 250 A | 400 A |
| | | | | | | tamaño | ajuste mínimo | | | | | | | |
| 1 x 63 | 4 | 53 | 53 | 1.3 | T1B* | ln=63 | 0.84 | 1.3 | T1B160 | | | | | |
| 2 x 63 | | 53 | 105 | 1.3 | T1B* | ln=63 | 0.84 | 2.6 | T1B160 | | | | | |
| 1 x 100 | 4 | 84 | 84 | 2.1 | T1B* | ln=100 | 0.84 | 2.1 | T1B160 | | | | | |
| 2 x 100 | | 84 | 167 | 2.1 | T1B* | ln=100 | 0.84 | 4.2 | T1B160 | | | | | |
| 1 x 125 | 4 | 105 | 105 | 2.6 | T1B* | ln=125 | 0.84 | 2.6 | T1B160 | | | | | |
| 2 x 125 | | 105 | 209 | 2.6 | T1B* | ln=125 | 0.84 | 5.2 | T1B160 | | | | | |
| 1 x 160 | 4 | 134 | 134 | 3.3 | T1C* | ln=160 | 0.84 | 3.3 | T1C160 | | | | | |
| 2 x 160 | | 134 | 268 | 3.3 | T1C* | ln=160 | 0.84 | 6.6 | T1C160 | | T2S160 | | | |
| 1 x 200 | 4 | 167 | 167 | 4.2 | T3N250* | ln=200 | 0.84 | 4.2 | T1N160 | | | | | |
| 2 x 200 | | 167 | 335 | 4.1 | T3N250* | ln=200 | 0.84 | 8.3 | T2L160 | | | | T4N250 | |
| 1 x 250 | 4 | 209 | 209 | 5.2 | T3S250* | ln=250 | 0.84 | 5.2 | T1N160 | | | | | |
| 2 x 250 | | 209 | 418 | 5.1 | T3S250* | ln=250 | 0.84 | 10.3 | T4N250 | | | | T4N250 | |
| 1 x 315 | 4 | 264 | 264 | 6.5 | T4N320 | ln=320 | 0.82 | 6.5 | T2S160 | | | | | |
| 2 x 315 | | 264 | 527 | 6.5 | T4N320 | ln=320 | 0.82 | 12.9 | T4N250 | | | | T4N250 | T5N400 |
| 1 x 400 | 4 | 335 | 335 | 8.3 | T5N400 | ln=400 | 0.84 | 8.3 | T2L160 | | | | T4N250 | |
| 2 x 400 | | 335 | 669 | 8.2 | T5N400 | ln=400 | 0.84 | 16.3 | T4N250 | | | | T4N250 | T5N400 |
| 1 x 500 | 4 | 418 | 418 | 10.3 | T5N630 | ln=630 | 0.66 | 10.3 | T4N250 | | | | T4N250 | |
| 2 x 500 | | 418 | 837 | 10.1 | T5N630 | ln=630 | 0.66 | 20.2 | T4S250 | | | | T4S250 | T5S400 |
| 1 x 630 | 4 | 527 | 527 | 12.9 | T5N630 | ln=630 | 0.84 | 12.9 | T4N250 | | | | T4N250 | T5N400 |
| 2 x 630 | | 527 | 1054 | 12.6 | T5N630 | ln=630 | 0.84 | 25.3 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |
| 3 x 630 | 4 | 527 | 1581 | 24.8 | T5S630 | ln=630 | 0.84 | 37.2 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |
| 1 x 800 | | 669 | 669 | 13.1 | T6N800 | ln=800 | 0.84 | 13.1 | T4N250 | | | | T4N250 | T5N400 |
| 2 x 800 | 5 | 669 | 1339 | 12.8 | T6N800 | ln=800 | 0.84 | 25.7 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |
| 3 x 800 | | 669 | 2008 | 25.2 | T6L800 | ln=800 | 0.84 | 37.7 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |
| 1 x 1000 | 5 | 837 | 837 | 16.3 | T7S1000/X1B1000** | ln=1000 | 0.84 | 16.3 | T4N250 | | | | T4N250 | T5N400 |
| 2 x 1000 | | 837 | 1673 | 15.9 | T7S1000/X1B1000** | ln=1000 | 0.84 | 31.8 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |
| 3 x 1000 | 5 | 837 | 2510 | 31.0 | T7H1000/X1B1000** | ln=1000 | 0.84 | 46.5 | T4L250 | | | | T4L250 | T5L400 |
| 1 x 1250 | | 1046 | 1046 | 20.2 | T7S1250/X1B1250** | ln=1250 | 0.84 | 20.2 | T4S250 | | | | T4S250 | T5S400 |
| 2 x 1250 | 5 | 1046 | 2092 | 19.6 | T7S1250/X1B1250** | ln=1250 | 0.84 | 39.2 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |
| 3 x 1250 | | 1046 | 3138 | 38.0 | T7H1250/X1B1250** | ln=1250 | 0.84 | 57.1 | T4L250 | | | | T4L250 | T5L400 |
| 1 x 1600 | 6.25 | 1339 | 1339 | 20.7 | T7S1600/X1B1600** | ln=1600 | 0.84 | 20.7 | T4S250 | | | | T4S250 | T5S400 |
| 2 x 1600 | | 1339 | 2678 | 20.1 | T7S1600/X1B1600** | ln=1600 | 0.84 | 40.1 | T4L250 | | | | T4L250 | T5L400 |
| 3 x 1600 | 6.25 | 1339 | 4016 | 38.9 | T7H1600/X1B1600** | ln=1600 | 0.84 | 58.3 | T4L250 | | | | T4L250 | T5L400 |
| 1 x 2000 | | 1673 | 1673 | 25.7 | E2B2000 | ln=2000 | 0.84 | 25.7 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |
| 2 x 2000 | 6.25 | 1673 | 3347 | 24.7 | E2B2000 | ln=2000 | 0.84 | 49.3 | T4L250 | | | | T4L250 | T5L400 |
| 3 x 2000 | | 1673 | 5020 | 47.5 | E2N2000 | ln=2000 | 0.84 | 71.2 | T4V250 | | | | T4V250 | T5V400 |
| 1 x 2500 | 6.25 | 2092 | 2092 | 31.8 | E3N2500 | ln=2500 | 0.84 | 31.8 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |
| 1 x 3125 | 6.25 | 2615 | 2615 | 39.2 | E3N3200 | ln=3200 | 0.82 | 39.2 | T4H250 | | | | T4H250 | T5H400 |

* también se pueden utilizar para esta aplicación CBs de la serie Tmax equipados con relés electrónicos

** también se pueden utilizar para esta aplicación Isomax CB tipo S7 y Emax tipo E1

3 Protección de la instalación eléctrica

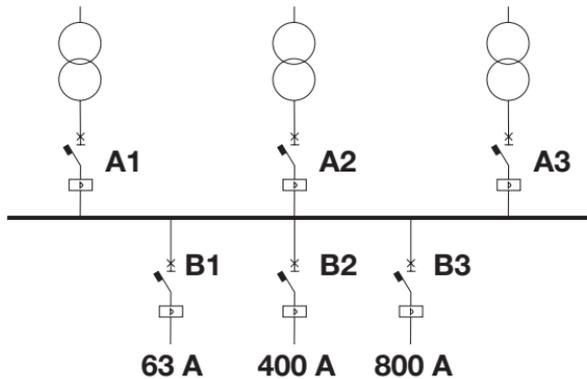
¡ATENCIÓN!

Las tablas hacen referencia a las condiciones que han sido reseñadas anteriormente. Las indicaciones para la elección de los interruptores automáticos se facilitan sólo en función de la corriente de empleo y la corriente prevista de cortocircuito. Para una elección correcta, deben considerarse también otros factores, tales como la selectividad, la protección de acompañamiento (back-up), el uso de interruptores automáticos limitadores, etc.; por lo tanto, es indispensable una comprobación puntual por parte de los proyectistas.

Además, se deberá considerar que las corrientes de cortocircuito indicadas han sido determinadas suponiendo una potencia de 750 MVA aguas arriba de los transformadores y despreciando las impedancias de las barras y las conexiones con los interruptores automáticos.

Ejemplo

Supóngase que se deban dimensionar los interruptores automáticos A1/A2/A3 en el secundario de los tres transformadores de 630 kVA-20/0,4 kV con $u_k\%$ del 4% y los interruptores automáticos B1/B2/B3 de las salidas de 63-400-800 A:



1SDC010028F0001

3 Protección de la instalación eléctrica

A través de la Tabla 2, en correspondencia con la línea referente a tres transformadores de 630 kVA (3x630), se lee:

Interruptores automáticos en el nivel A (secundario del transformador)

- Trafo I_r (909 A) es la corriente que circula por los interruptores automáticos de transformador.
- Busbar I_b (2727 A) es la corriente máxima que los transformadores pueden suministrar.
- Trafo Feeder I_k (42.8 kA) es el valor de la corriente de cortocircuito que debe considerarse para la elección del poder de corte de cada interruptor automático de transformador.
- T7S1000 o X1N1000 es el tamaño del interruptor automático de transformador.
- I_n (1000 A) es la corriente asignada del interruptor automático de transformador (relé electrónico que debe elegir el usuario).
- El valor mínimo 0.91 indica las regulaciones mínimas de la función L de los relés electrónicos para CBs T7S1000 y X1N1000.

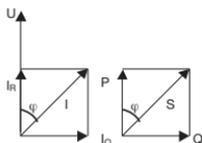
Interruptores automáticos en el nivel B (salida aparato usuario)

- Busbar I_k (64.2 kA) es la corriente de cortocircuito debida al aporte los tres transformadores.
- En correspondencia con 63 A se lee el interruptor automáticos B1 Tmax T2H160.
- En correspondencia con 400 A se lee el interruptor automático B2 Tmax T5H400.
- En correspondencia con 800 A se lee el interruptor automático B3 Tmax T6H800 o Emax X1N800.

La elección realizada no considera las exigencias de selectividad o protección de acompañamiento (back-up). Se remite a los capítulos correspondientes para una elección apropiada en cada caso.

4 Corrección del factor de potencia

4.1 Aspectos generales



En los circuitos de corriente alterna, la corriente absorbida por las cargas de la instalación puede estar constituida por dos componentes:

- la componente activa I_R , en fase con la tensión de alimentación, está directamente relacionada con el trabajo útil realizado (en consecuencia, con la parte de energía eléctrica transformada en energía de otro tipo, generalmente eléctrica con características diversas, mecánica, luminosa y/o térmica);
- la componente reactiva I_Q , en cuadratura respecto a la tensión, permite generar el flujo requerido para la conversión de las potencias a través del campo magnético; sin esta componente no se podría disponer del flujo de potencia, por ej. en el núcleo de un transformador o en el entrehierro de un motor.

En el caso más común, en presencia de cargas tipo óhmico-inductivo, la corriente total I resulta defasada respecto a la componente activa I_R .

En una instalación eléctrica es necesario generar y transportar, además de la potencia activa útil P , también una determinada potencia reactiva Q , indispensable para la conversión de la energía eléctrica pero que no puede ser aprovechada por las cargas. La componente de la potencia generada y transportada constituye la potencia aparente S .

Se define como factor de potencia ($\cos\varphi$) la relación entre la componente activa I_R y el valor total de la corriente I ; φ es el ángulo de fase entre la tensión U y la corriente I .

Resulta:

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{P}{S} \quad (1)$$

El factor de demanda reactiva ($\tan\varphi$) es la relación entre la potencia reactiva y la potencia activa:

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

4 Corrección del factor de potencia

En la Tabla 1 se muestran algunos factores de potencia típicos.

Tabla 1: Factores de potencia típicos

| Carga | cosϕ factor de potencia | tanϕ f. de demanda reactiva |
|----------------------------------|--|--|
| Transformadores (en vacío) | 0.1÷0.15 | 9.9÷6.6 |
| Motores (a plena carga) | 0.7÷0.85 | 1.0÷0.62 |
| Motores (en vacío) | 0.15 | 6.6 |
| Aparatos para trabajar el metal: | | |
| - soldadura por arco | 0.35÷0.6 | 2.7÷1.3 |
| - soldadura por arco compensada | 0.7÷0.8 | 1.0÷0.75 |
| - soldadura por resistencia: | 0.4÷0.6 | 2.3÷1.3 |
| - horno de fusión por arco | 0.75÷0.9 | 0.9÷0.5 |
| Lámparas fluorescentes | | |
| - compensadas | 0.9 | 0.5 |
| - no compensadas | 0.4÷0.6 | 2.3÷1.3 |
| Lámparas de vapor de mercurio | 0.5 | 1.7 |
| Lámparas de vapor de sodio | 0.65÷0.75 | 1.2÷0.9 |
| Convertidores c.c. c.a. | 0.6÷0.95 | 1.3÷0.3 |
| Accionamientos c.c. | 0.4÷0.75 | 2.3÷0.9 |
| Accionamientos c.a. | 0.95÷0.97 | 0.33÷0.25 |
| Carga resistiva | 1 | 0 |

La corrección del factor de potencia es la acción de incrementar el factor de potencia en un sector de la instalación suministrando localmente la potencia reactiva necesaria, reduciendo así el valor de corriente requerida y la potencia absorbida aguas arriba.

De esta forma tanto la línea como el generador de alimentación pueden ser dimensionados para una potencia aparente inferior.

En detalle, como se muestra de forma aproximada en las Figuras 1 y 2, aumentando el factor de potencia de la carga:

- disminuye la caída de tensión relativa u_p por unidad de potencia activa transmitida
- se incrementa la potencia activa que puede transmitirse y disminuyen las pérdidas a iguales condiciones de otros parámetros de dimensionamiento.

4 Corrección del factor de potencia

Figura 1: Caída de tensión relativa

Caída de tensión relativa por unidad de potencia activa transmitida

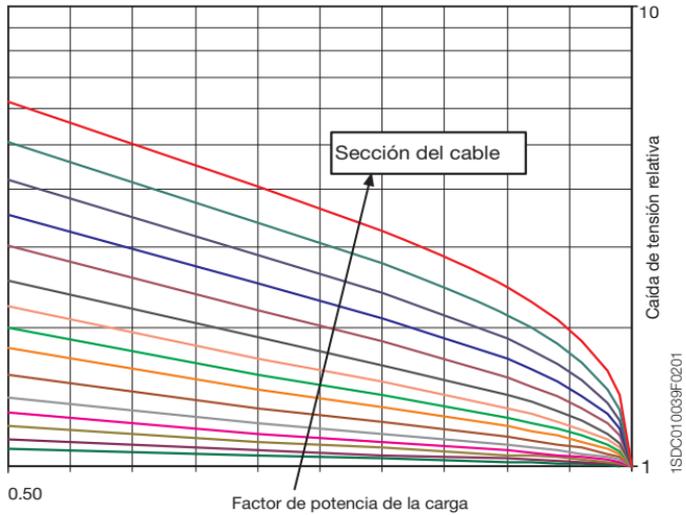
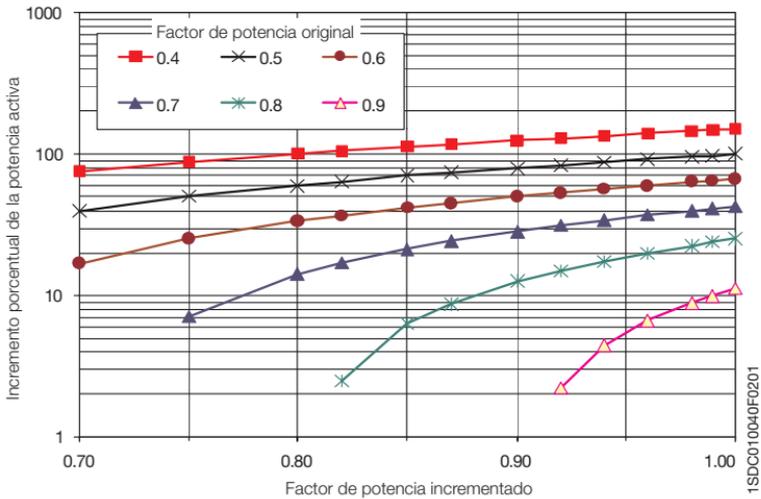


Figura 2: Potencia activa que puede transmitirse

Incremento de la potencia activa en iguales condiciones de vínculos de dimensionamiento



4 Corrección del factor de potencia

Para las compañías de suministro de energía, asumir la tarea de producir y transmitir la potencia reactiva requerida por las instalaciones usuarias significa tener una serie de inconvenientes que pueden resumirse en:

- sobredimensionamiento de las líneas y de la aparatada de las líneas de transmisión;
- mayores pérdidas por efecto Joule y caídas de tensión más elevadas en las líneas y aparatada.

Los mismos inconvenientes se presentan en la instalación de distribución del usuario final.

El factor de potencia constituye un índice, utilizado por las compañías de suministro de energía, para definir los costes adicionales y por ello lo utilizan para establecer el precio de compra de la energía para el usuario final.

Lo ideal sería tener un factor de potencia ligeramente superior al fijado como referencia para no tener que pagar la penalización correspondiente y al mismo tiempo no correr el riesgo de tener, con un factor de potencia demasiado próximo a la unidad, un factor de potencia anticipado, cuando el aparato con factor de potencia corregido trabaja con baja carga.

De hecho, las compañías de suministro de energía generalmente no permiten que se suministre energía reactiva a la red, también debido a la posibilidad de tener sobretensiones imprevistas.

En el caso de formas de onda sinusoidales, la potencia reactiva que hace falta para pasar de un factor de potencia $\cos\varphi_1$ a un factor de potencia $\cos\varphi_2$ está dada por la siguiente ecuación:

$$Q_c = Q_2 - Q_1 = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (3)$$

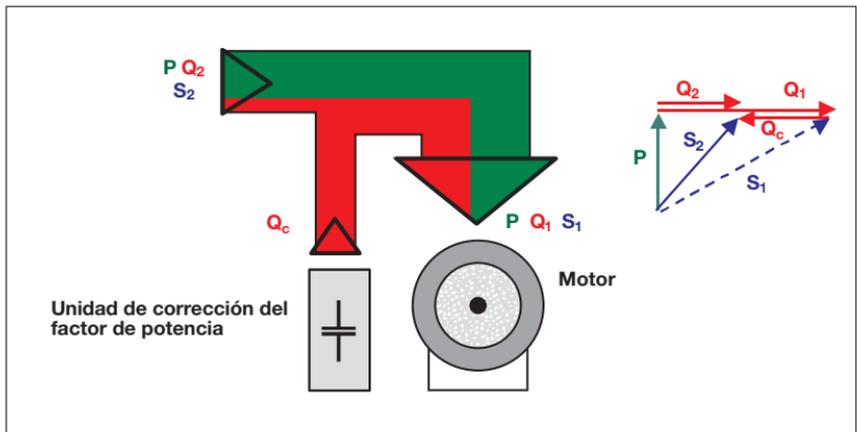
donde:

P es la potencia activa

Q_1, φ_1 son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección del factor de potencia

Q_2, φ_2 son la potencia reactiva y el ángulo de desfase después de la corrección del factor de potencia

Q_c es la potencia reactiva de corrección del factor de potencia.



4 Corrección del factor de potencia

En la Tabla 2 se indica el valor de la ecuación:

$$K_c = \frac{Q_c}{P} = \tan\varphi_1 - \tan\varphi_2 \quad (4)$$

para diversos valores de factor de potencia antes y después de la corrección.

Tabla 2: Factor K_c

| K_c | $\cos\varphi_2$ | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\cos\varphi_1$ | 0.80 | 0.85 | 0.90 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1 |
| 0.60 | 0.583 | 0.714 | 0.849 | 0.878 | 0.907 | 0.938 | 0.970 | 1.005 | 1.042 | 1.083 | 1.130 | 1.191 | 1.333 |
| 0.61 | 0.549 | 0.679 | 0.815 | 0.843 | 0.873 | 0.904 | 0.936 | 0.970 | 1.007 | 1.048 | 1.096 | 1.157 | 1.299 |
| 0.62 | 0.515 | 0.646 | 0.781 | 0.810 | 0.839 | 0.870 | 0.903 | 0.937 | 0.974 | 1.015 | 1.062 | 1.123 | 1.265 |
| 0.63 | 0.483 | 0.613 | 0.748 | 0.777 | 0.807 | 0.837 | 0.870 | 0.904 | 0.941 | 0.982 | 1.030 | 1.090 | 1.233 |
| 0.64 | 0.451 | 0.581 | 0.716 | 0.745 | 0.775 | 0.805 | 0.838 | 0.872 | 0.909 | 0.950 | 0.998 | 1.058 | 1.201 |
| 0.65 | 0.419 | 0.549 | 0.685 | 0.714 | 0.743 | 0.774 | 0.806 | 0.840 | 0.877 | 0.919 | 0.966 | 1.027 | 1.169 |
| 0.66 | 0.388 | 0.519 | 0.654 | 0.683 | 0.712 | 0.743 | 0.775 | 0.810 | 0.847 | 0.888 | 0.935 | 0.996 | 1.138 |
| 0.67 | 0.358 | 0.488 | 0.624 | 0.652 | 0.682 | 0.713 | 0.745 | 0.779 | 0.816 | 0.857 | 0.905 | 0.966 | 1.108 |
| 0.68 | 0.328 | 0.459 | 0.594 | 0.623 | 0.652 | 0.683 | 0.715 | 0.750 | 0.787 | 0.828 | 0.875 | 0.936 | 1.078 |
| 0.69 | 0.299 | 0.429 | 0.565 | 0.593 | 0.623 | 0.654 | 0.686 | 0.720 | 0.757 | 0.798 | 0.846 | 0.907 | 1.049 |
| 0.70 | 0.270 | 0.400 | 0.536 | 0.565 | 0.594 | 0.625 | 0.657 | 0.692 | 0.729 | 0.770 | 0.817 | 0.878 | 1.020 |
| 0.71 | 0.242 | 0.372 | 0.508 | 0.536 | 0.566 | 0.597 | 0.629 | 0.663 | 0.700 | 0.741 | 0.789 | 0.849 | 0.992 |
| 0.72 | 0.214 | 0.344 | 0.480 | 0.508 | 0.538 | 0.569 | 0.601 | 0.635 | 0.672 | 0.713 | 0.761 | 0.821 | 0.964 |
| 0.73 | 0.186 | 0.316 | 0.452 | 0.481 | 0.510 | 0.541 | 0.573 | 0.608 | 0.645 | 0.686 | 0.733 | 0.794 | 0.936 |
| 0.74 | 0.159 | 0.289 | 0.425 | 0.453 | 0.483 | 0.514 | 0.546 | 0.580 | 0.617 | 0.658 | 0.706 | 0.766 | 0.909 |
| 0.75 | 0.132 | 0.262 | 0.398 | 0.426 | 0.456 | 0.487 | 0.519 | 0.553 | 0.590 | 0.631 | 0.679 | 0.739 | 0.882 |
| 0.76 | 0.105 | 0.235 | 0.371 | 0.400 | 0.429 | 0.460 | 0.492 | 0.526 | 0.563 | 0.605 | 0.652 | 0.713 | 0.855 |
| 0.77 | 0.079 | 0.209 | 0.344 | 0.373 | 0.403 | 0.433 | 0.466 | 0.500 | 0.537 | 0.578 | 0.626 | 0.686 | 0.829 |
| 0.78 | 0.052 | 0.183 | 0.318 | 0.347 | 0.376 | 0.407 | 0.439 | 0.474 | 0.511 | 0.552 | 0.599 | 0.660 | 0.802 |
| 0.79 | 0.026 | 0.156 | 0.292 | 0.320 | 0.350 | 0.381 | 0.413 | 0.447 | 0.484 | 0.525 | 0.573 | 0.634 | 0.776 |
| 0.80 | | 0.130 | 0.266 | 0.294 | 0.324 | 0.355 | 0.387 | 0.421 | 0.458 | 0.499 | 0.547 | 0.608 | 0.750 |
| 0.81 | | 0.104 | 0.240 | 0.268 | 0.298 | 0.329 | 0.361 | 0.395 | 0.432 | 0.473 | 0.521 | 0.581 | 0.724 |
| 0.82 | | 0.078 | 0.214 | 0.242 | 0.272 | 0.303 | 0.335 | 0.369 | 0.406 | 0.447 | 0.495 | 0.556 | 0.698 |
| 0.83 | | 0.052 | 0.188 | 0.216 | 0.246 | 0.277 | 0.309 | 0.343 | 0.380 | 0.421 | 0.469 | 0.530 | 0.672 |
| 0.84 | | 0.026 | 0.162 | 0.190 | 0.220 | 0.251 | 0.283 | 0.317 | 0.354 | 0.395 | 0.443 | 0.503 | 0.646 |
| 0.85 | | | 0.135 | 0.164 | 0.194 | 0.225 | 0.257 | 0.291 | 0.328 | 0.369 | 0.417 | 0.477 | 0.620 |
| 0.86 | | | 0.109 | 0.138 | 0.167 | 0.198 | 0.230 | 0.265 | 0.302 | 0.343 | 0.390 | 0.451 | 0.593 |
| 0.87 | | | 0.082 | 0.111 | 0.141 | 0.172 | 0.204 | 0.238 | 0.275 | 0.316 | 0.364 | 0.424 | 0.567 |
| 0.88 | | | 0.055 | 0.084 | 0.114 | 0.145 | 0.177 | 0.211 | 0.248 | 0.289 | 0.337 | 0.397 | 0.540 |
| 0.89 | | | 0.028 | 0.057 | 0.086 | 0.117 | 0.149 | 0.184 | 0.221 | 0.262 | 0.309 | 0.370 | 0.512 |
| 0.90 | | | | 0.029 | 0.058 | 0.089 | 0.121 | 0.156 | 0.193 | 0.234 | 0.281 | 0.342 | 0.484 |

4 Corrección del factor de potencia

Ejemplo

Supongamos que se pretenda elevar de 0.8 a 0.93 el factor de potencia de una instalación trifásica ($U_T=400V$) que absorbe un promedio de 300 kW. A través de Tabla 2, en el cruce entre la columna correspondiente al factor de potencia final (0.93) y la línea correspondiente al factor de potencia de salida (0.8), se obtiene el valor de K_c (0.355). La potencia reactiva Q_c que debe generarse localmente será:

$$Q_c = K_c \cdot P = 0.355 \cdot 300 = 106.5 \text{ kvar}$$

Por efecto de la corrección del factor de potencia, la corriente absorbida pasa de 540 A a 460 A (reducción del 15% aproximadamente).

Características de las baterías de condensadores para la corrección del factor de potencia

La vía más económica para incrementar el factor de potencia, sobre todo si la instalación ya existe, es instalar condensadores.

Los condensadores presentan las siguientes ventajas:

- menor coste respecto a los compensadores síncronos y a los convertidores electrónicos de potencia
- sencillez de instalación y mantenimiento
- pérdidas reducidas (inferiores a 0.5 W/kvar de baja tensión)
- posibilidad de cubrir un amplio margen de potencias y diversos perfiles de carga, simplemente alimentando en paralelo diversas combinaciones de componentes de potencia unitaria relativamente pequeña.

Los inconvenientes son la sensibilidad a las sobretensiones y a la presencia de cargas no lineales.

Las normas aplicables a los condensadores estáticos de corrección del factor de potencia son las siguientes:

- IEC 60831-1 "Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1000 V - Part 1: General - Performance, testing and rating - Safety requirements - Guide for installation and operation";
- IEC 60931-1 "Shunt power capacitors of the non-self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1000 V - Part 1: General - Performance, testing and rating - Safety requirements - Guide for installation and operation".

4 Corrección del factor de potencia

Los datos característicos de un condensador, indicados en la placa de características del mismo, son:

- tensión asignada U_r que el condensador debe soportar de forma indefinida;
- frecuencia asignada f_r (normalmente igual a la de red);
- potencia asignada Q_c , expresada generalmente en kvar (potencia reactiva de la batería de condensadores).

De dichos datos se pueden obtener las magnitudes características del condensador con las siguientes fórmulas (5):

| | Conexión monofásica | Conexión trifásica en estrella | Conexión trifásica en triángulo |
|--|---|---|---|
| Capacidad de la batería de condensadores | $C = \frac{Q_c}{2 \pi f_r \cdot U_r^2}$ | $C = \frac{Q_c}{2 \pi f_r \cdot U_r^2}$ | $C = \frac{Q_c}{2 \pi f_r \cdot U_r^2 \cdot 3}$ |
| Corriente asignada en el componente | $I_{rc} = 2 \pi f_r \cdot C \cdot U_r$ | $I_{rc} = 2 \pi f_r \cdot C \cdot U_r / \sqrt{3}$ | $I_{rc} = 2 \pi f_r \cdot C \cdot U_r$ |
| Corriente de línea | $I_l = I_{rc}$ | $I_l = I_{rc}$ | $I_l = I_{rc} \cdot \sqrt{3}$ |

1SDC010005F0901

U_r = sistema de tensión de línea

En un sistema trifásico, para la misma potencia reactiva, la conexión en estrella requiere un condensador con una capacidad tres veces superior a la de un condensador con conexión en triángulo.

Además, el condensador conectado en estrella está sometido a una tensión $\sqrt{3}$ inferior, y está recorrido por una corriente $\sqrt{3}$ veces superior respecto al condensador conectado en triángulo.

Los condensadores en general están provistos de resistencias de descarga, calculadas de modo que se reduzca la tensión residual en los terminales a 75 V en 3 minutos, tal y como indica la norma de referencia.

4.2 Tipos de corrección del factor de potencia

Corrección del factor de potencia individual

La corrección del factor de potencia individual se realiza conectando un condensador de valor apropiado directamente en los terminales del dispositivo que absorbe la potencia reactiva.

La instalación es sencilla y económica: condensador y carga pueden utilizar las mismas protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos; y se conectan y desconectan al mismo tiempo.

La regulación del factor de potencia es sistemática y automática con beneficio no sólo para la compañía de suministro de energía, sino también de toda la distribución interior de la instalación usuaria.

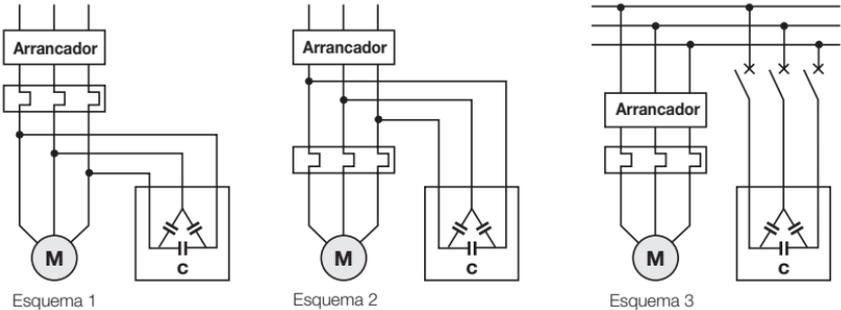
Este tipo de corrección del factor de potencia se recomienda en caso de grandes instalaciones usuarias con carga y factor de potencia constantes y tiempos de conexión largos.

La corrección del factor de potencia individual por lo general se aplica a motores y a lámparas fluorescentes. Las unidades capacitivas o los pequeños condensadores que se utilizan en las lámparas están conectados directamente a las cargas.

4 Corrección del factor de potencia

Corrección del factor de potencia individual de motores

En la siguiente figura se muestran los diagramas generales de conexión



En el caso de conexión directa (esquemas 1 y 2), se corre el riesgo de que, después de la desconexión de la alimentación, el motor que continúa girando (energía cinética residual) se autoexcita con la energía reactiva suministrada por la batería de condensadores, comportándose como un generador asíncrono. En este caso, se mantiene la tensión aguas abajo del dispositivo de maniobra, con el riesgo de que se presenten peligrosas sobretensiones incluso hasta el doble de la tensión asignada.

En cambio, utilizando el esquema 3 se evita el riesgo anterior, se procede normalmente conectando la batería de corrección del factor de potencia con el motor arrancado y se desconecta de forma anticipada respecto a la desconexión del motor.

Como regla general, para un motor de una determinada potencia P_r , es utilizar una potencia reactiva de corrección Q_c no superior al 90% de la potencia reactiva absorbida por el motor en vacío Q_0 a la tensión asignada U_r para no tener un factor de potencia en anticipo.

Considerando que en vacío la corriente absorbida I_0 [A] sea solamente reactiva, si la tensión está expresada en voltios, será:

$$Q_c = 0.9 \cdot Q_0 = 0.9 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_0}{1000} \text{ [kvar]} \quad (6)$$

La corriente I_0 está generalmente indicada en la documentación del motor facilitada por el fabricante.

4 Corrección del factor de potencia

La Tabla 3 indica los valores de la potencia reactiva para corregir el factor de potencia de algunos tipos de motores ABB, en función de la potencia y del número de polos.

Tabla 3: Potencia reactiva de corrección del factor de potencia para motores

| P_r [kW] | Q_c [kvar] | Antes de la corrección del factor de potencia | | Después de la corrección del factor de potencia | |
|--|-----------------|--|-----------|--|-----------|
| | | $\cos\varphi_r$ | I_r [A] | $\cos\varphi_2$ | I_2 [A] |
| 400V / 50 Hz / 2 polos / 3000 r/min | | | | | |
| 7.5 | 2.5 | 0.89 | 13.9 | 0.98 | 12.7 |
| 11 | 2.5 | 0.88 | 20 | 0.95 | 18.6 |
| 15 | 5 | 0.9 | 26.5 | 0.98 | 24.2 |
| 18.5 | 5 | 0.91 | 32 | 0.98 | 29.7 |
| 22 | 5 | 0.89 | 38.5 | 0.96 | 35.8 |
| 30 | 10 | 0.88 | 53 | 0.97 | 47.9 |
| 37 | 10 | 0.89 | 64 | 0.97 | 58.8 |
| 45 | 12.5 | 0.88 | 79 | 0.96 | 72.2 |
| 55 | 15 | 0.89 | 95 | 0.97 | 87.3 |
| 75 | 15 | 0.88 | 131 | 0.94 | 122.2 |
| 90 | 15 | 0.9 | 152 | 0.95 | 143.9 |
| 110 | 20 | 0.86 | 194 | 0.92 | 181.0 |
| 132 | 30 | 0.88 | 228 | 0.95 | 210.9 |
| 160 | 30 | 0.89 | 269 | 0.95 | 252.2 |
| 200 | 30 | 0.9 | 334 | 0.95 | 317.5 |
| 250 | 40 | 0.92 | 410 | 0.96 | 391.0 |
| 315 | 50 | 0.92 | 510 | 0.96 | 486.3 |
| 400V / 50 Hz / 4 polos / 1500 r/min | | | | | |
| 7.5 | 2.5 | 0.86 | 14.2 | 0.96 | 12.7 |
| 11 | 5 | 0.81 | 21.5 | 0.96 | 18.2 |
| 15 | 5 | 0.84 | 28.5 | 0.95 | 25.3 |
| 18.5 | 7.5 | 0.84 | 35 | 0.96 | 30.5 |
| 22 | 10 | 0.83 | 41 | 0.97 | 35.1 |
| 30 | 15 | 0.83 | 56 | 0.98 | 47.5 |
| 37 | 15 | 0.84 | 68 | 0.97 | 59.1 |
| 45 | 20 | 0.83 | 83 | 0.97 | 71.1 |
| 55 | 20 | 0.86 | 98 | 0.97 | 86.9 |
| 75 | 20 | 0.86 | 135 | 0.95 | 122.8 |
| 90 | 20 | 0.87 | 158 | 0.94 | 145.9 |
| 110 | 30 | 0.87 | 192 | 0.96 | 174.8 |
| 132 | 40 | 0.87 | 232 | 0.96 | 209.6 |
| 160 | 40 | 0.86 | 282 | 0.94 | 257.4 |
| 200 | 50 | 0.86 | 351 | 0.94 | 320.2 |
| 250 | 50 | 0.87 | 430 | 0.94 | 399.4 |
| 315 | 60 | 0.87 | 545 | 0.93 | 507.9 |

4 Corrección del factor de potencia

| P_r [kW] | Q_c [kvar] | Antes de la corrección del factor de potencia | | Después de la corrección del factor de potencia | |
|--|-----------------|--|-----------|--|-----------|
| | | $\cos\varphi_r$ | I_r [A] | $\cos\varphi_2$ | I_2 [A] |
| 400V / 50 Hz / 6 polos / 1000 r/min | | | | | |
| 7.5 | 5 | 0.79 | 15.4 | 0.98 | 12.4 |
| 11 | 5 | 0.78 | 23 | 0.93 | 19.3 |
| 15 | 7.5 | 0.78 | 31 | 0.94 | 25.7 |
| 18.5 | 7.5 | 0.81 | 36 | 0.94 | 30.9 |
| 22 | 10 | 0.81 | 43 | 0.96 | 36.5 |
| 30 | 10 | 0.83 | 56 | 0.94 | 49.4 |
| 37 | 12.5 | 0.83 | 69 | 0.94 | 60.8 |
| 45 | 15 | 0.84 | 82 | 0.95 | 72.6 |
| 55 | 20 | 0.84 | 101 | 0.96 | 88.7 |
| 75 | 25 | 0.82 | 141 | 0.93 | 123.9 |
| 90 | 30 | 0.84 | 163 | 0.95 | 144.2 |
| 110 | 35 | 0.83 | 202 | 0.94 | 178.8 |
| 132 | 45 | 0.83 | 240 | 0.95 | 210.8 |
| 160 | 50 | 0.85 | 280 | 0.95 | 249.6 |
| 200 | 60 | 0.85 | 355 | 0.95 | 318.0 |
| 250 | 70 | 0.84 | 450 | 0.94 | 404.2 |
| 315 | 75 | 0.84 | 565 | 0.92 | 514.4 |
| 400V / 50 Hz / 8 polos / 750 r/min | | | | | |
| 7.5 | 5 | 0.7 | 18.1 | 0.91 | 13.9 |
| 11 | 7.5 | 0.76 | 23.5 | 0.97 | 18.4 |
| 15 | 7.5 | 0.82 | 29 | 0.97 | 24.5 |
| 18.5 | 7.5 | 0.79 | 37 | 0.93 | 31.5 |
| 22 | 10 | 0.77 | 45 | 0.92 | 37.5 |
| 30 | 12.5 | 0.79 | 59 | 0.93 | 50.0 |
| 37 | 15 | 0.78 | 74 | 0.92 | 62.8 |
| 45 | 20 | 0.78 | 90 | 0.93 | 75.4 |
| 55 | 20 | 0.81 | 104 | 0.93 | 90.2 |
| 75 | 30 | 0.82 | 140 | 0.95 | 120.6 |
| 90 | 30 | 0.82 | 167 | 0.93 | 146.6 |
| 110 | 35 | 0.83 | 202 | 0.94 | 178.8 |
| 132 | 50 | 0.8 | 250 | 0.93 | 214.6 |

4 Corrección del factor de potencia

Ejemplo

Para un motor asíncrono trifásico de 110 kW (400V-50Hz-4 polos), la potencia de corrección del factor de potencia sugerida por la tabla es de 30 kvar.

Corrección del factor de potencia individual de transformadores trifásicos

El transformador es un aparato eléctrico de importancia fundamental que, por razones de instalación, a menudo permanece constantemente en servicio. En particular, en las instalaciones constituidas por diversas subestaciones de transformación de la energía eléctrica, se aconseja realizar la corrección del factor de potencia directamente en el transformador.

En general, la potencia de corrección Q_c en un transformador de potencia asignada S_T [kVA] no deberá ser superior a la potencia reactiva requerida en las condiciones de carga mínimas.

Obteniendo, a través de las características asignadas de la máquina, el valor porcentual de la corriente en vacío $i_0\%$, el valor de la tensión de cortocircuito porcentual $u_k\%$ y las pérdidas en el hierro P_{fe} y en el cobre P_{cu} [kW], la potencia de corrección requerida es aproximadamente:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_T\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_T\right)^2 - P_{cu}^2} \oplus \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_T\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_T\right) \quad [\text{kvar}] \quad (7)$$

donde K_L es el factor de carga, definido como la relación entre la carga mínima de referencia y la potencia asignada del transformador.

Ejemplo

Suponiendo que se deba corregir el factor de potencia de un transformador en aceite de 630 kVA que alimenta una carga que nunca es inferior al 60% de su potencia asignada.

Las características asignadas del transformador son:

$$i_0\% = 1.8\%$$

$$u_k\% = 4\%$$

$$P_{cu} = 8.9 \text{ kW}$$

$$P_{fe} = 1.2 \text{ kW}$$

La potencia de corrección del factor de potencia de la batería de condensadores conectada con el transformador deberá ser:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{1.8\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 1.2^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 8.9^2} = \sqrt{\left(\frac{1.8\%}{100} \cdot 630\right)^2 \cdot 1.2^2 + 0.6^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 8.9^2} = 19.8 \text{ kvar}$$

mientras que utilizando la fórmula simplificada resulta:

$$Q_c = \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_T\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_T\right) = \left(\frac{1.8\%}{100} \cdot 630\right) + 0.6^2 \cdot \left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right) = 20.4 \text{ kvar}$$

4 Corrección del factor de potencia

La Tabla 4 indica la potencia reactiva de la batería de condensadores Q_C [kvar] que debe conectarse en el secundario de un transformador ABB, en función de los diversos niveles de carga mínimos previstos.

Tabla 4: Potencia reactiva de corrección del factor de potencia para transformadores ABB

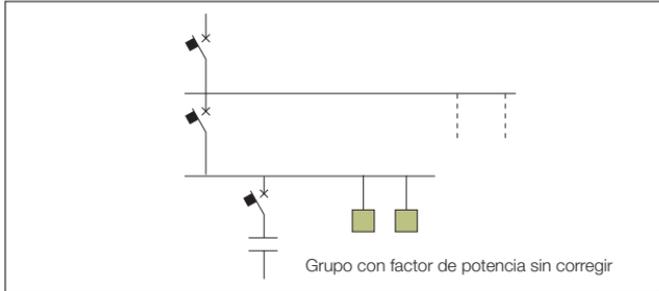
| S_r [kVA] | $u_k\%$ [%] | $i_o\%$ [%] | P_{fe} [kW] | P_{cu} [kW] | Q_C [kvar] | | | | |
|--------------------------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|--------------|------|-----|------|-----|
| | | | | | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Transformador en aceite MT-BT | | | | | | | | | |
| 50 | 4 | 2.9 | 0.25 | 1.35 | 1.4 | 1.5 | 1.8 | 2.3 | 2.9 |
| 100 | 4 | 2.5 | 0.35 | 2.30 | 2.5 | 2.7 | 3.3 | 4.3 | 5.7 |
| 160 | 4 | 2.3 | 0.48 | 3.20 | 3.6 | 4 | 5 | 6.8 | 9.2 |
| 200 | 4 | 2.2 | 0.55 | 3.80 | 4.4 | 4.8 | 6.1 | 8.3 | 11 |
| 250 | 4 | 2.1 | 0.61 | 4.50 | 5.2 | 5.8 | 7.4 | 10 | 14 |
| 315 | 4 | 2 | 0.72 | 5.40 | 6.3 | 7 | 9.1 | 13 | 18 |
| 400 | 4 | 1.9 | 0.85 | 6.50 | 7.6 | 8.5 | 11 | 16 | 22 |
| 500 | 4 | 1.9 | 1.00 | 7.40 | 9.4 | 11 | 14 | 20 | 28 |
| 630 | 4 | 1.8 | 1.20 | 8.90 | 11 | 13 | 17 | 25 | 35 |
| 800 | 6 | 1.7 | 1.45 | 10.60 | 14 | 16 | 25 | 40 | 60 |
| 1000 | 6 | 1.6 | 1.75 | 13.00 | 16 | 20 | 31 | 49 | 74 |
| 1250 | 6 | 1.6 | 2.10 | 16.00 | 20 | 24 | 38 | 61 | 93 |
| 1600 | 6 | 1.5 | 2.80 | 18.00 | 24 | 30 | 47 | 77 | 118 |
| 2000 | 6 | 1.2 | 3.20 | 21.50 | 24 | 31 | 53 | 90 | 142 |
| 2500 | 6 | 1.1 | 3.70 | 24.00 | 27 | 37 | 64 | 111 | 175 |
| 3150 | 7 | 1.1 | 4.00 | 33.00 | 34 | 48 | 89 | 157 | 252 |
| 4000 | 7 | 1.4 | 4.80 | 38.00 | 56 | 73 | 125 | 212 | 333 |
| Transformador en resina MT-BT | | | | | | | | | |
| 100 | 6 | 2.3 | 0.50 | 1.70 | 2.2 | 2.6 | 3.7 | 5.5 | 8 |
| 160 | 6 | 2 | 0.65 | 2.40 | 3.1 | 3.7 | 5.5 | 8.4 | 12 |
| 200 | 6 | 1.9 | 0.85 | 2.90 | 3.7 | 4.4 | 6.6 | 10 | 15 |
| 250 | 6 | 1.8 | 0.95 | 3.30 | 4.4 | 5.3 | 8.1 | 13 | 19 |
| 315 | 6 | 1.7 | 1.05 | 4.20 | 5.3 | 6.4 | 9.9 | 16 | 24 |
| 400 | 6 | 1.5 | 1.20 | 4.80 | 5.9 | 7.3 | 12 | 19 | 29 |
| 500 | 6 | 1.4 | 1.45 | 5.80 | 6.8 | 8.7 | 14 | 23 | 36 |
| 630 | 6 | 1.3 | 1.60 | 7.00 | 8 | 10 | 17 | 29 | 45 |
| 800 | 6 | 1.1 | 1.94 | 8.20 | 8.6 | 12 | 20 | 35 | 56 |
| 1000 | 6 | 1 | 2.25 | 9.80 | 9.7 | 13 | 25 | 43 | 69 |
| 1250 | 6 | 0.9 | 3.30 | 13.00 | 11 | 15 | 29 | 52 | 85 |
| 1600 | 6 | 0.9 | 4.00 | 14.50 | 14 | 20 | 38 | 67 | 109 |
| 2000 | 6 | 0.8 | 4.60 | 15.50 | 15 | 23 | 45 | 82 | 134 |
| 2500 | 6 | 0.7 | 5.20 | 17.50 | 17 | 26 | 54 | 101 | 166 |
| 3150 | 8 | 0.6 | 6.00 | 19.00 | 18 | 34 | 81 | 159 | 269 |

Ejemplo

Para un transformador en aceite ABB de 630 kVA con un factor de carga de 0.5, la potencia de corrección del factor de potencia que se requiere es de 17 kvar.

4 Corrección del factor de potencia

Corrección del factor de potencia por grupos

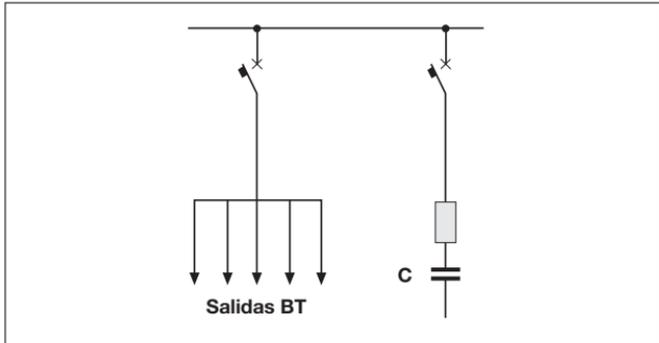


1SDC010029F0001

Consiste en corregir localmente el factor de potencia de grupos de cargas con características de funcionamiento similares, instalando una batería de condensadores dedicada.

Este método permite el compromiso entre una solución económica y el funcionamiento correcto de la instalación, ya que solamente la línea aguas abajo del punto en el cual está instalada la batería de condensadores debe dimensionarse teniendo en cuenta la potencia reactiva absorbida por las cargas.

Corrección del factor de potencia centralizado



1SDC010030F0001

El perfil de funcionamiento diario de las cargas tiene una importancia fundamental en la elección del tipo de corrección del factor de potencia más conveniente.

En instalaciones en las que no todas las cargas funcionan al mismo tiempo y/o en las que algunas cargas están conectadas sólo durante pocas horas al día, es evidente que la solución de la corrección del factor de potencia individual resulta demasiado onerosa ya que muchos de los condensadores instalados estarían sin utilizar largos periodos de tiempo.

En el caso de instalaciones con muchas cargas que trabajan de forma discontinua, con lo que se tiene una elevada potencia instalada y una absorción promedio de energía por parte de las cargas que funcionan simultáneamente bastante reducida, la utilización de un sistema de corrección del factor de potencia individual en el origen de la instalación permite reducir considerablemente

4 Corrección del factor de potencia

la potencia global de los condensadores instalados.

En la corrección del factor de potencia centralizado generalmente se utilizan unidades automáticas con baterías divididas en varios escalones, instaladas en los cuadros principales de distribución; la utilización de una batería conectada permanentemente es posible sólo si la absorción de energía reactiva es suficientemente regular durante el día.

La principal desventaja de la solución centralizada es que las líneas de distribución de la instalación, aguas abajo del dispositivo de corrección del factor de potencia, deben dimensionarse considerando la potencia reactiva total absorbida por las cargas.

4.3 Interruptores para la protección y maniobra de baterías de condensadores

Los interruptores automáticos para la protección y la maniobra de baterías de condensadores en BT deben cumplir las siguientes condiciones:

1. soportar las corrientes transitorias que se presentan en la conexión y desconexión de la batería; en particular, los relés instantáneos magnéticos y electrónicos no deben intervenir con dichas corrientes de cresta;
2. soportar las sobrecorrientes periódicas o permanentes debidas a los armónicos de tensión y a las tolerancias (+15%) del valor asignado de la corriente absorbida por la batería;
3. realizar un elevado número de maniobras en vacío y bajo carga a una frecuencia incluso elevada;
4. estar coordinadas con los eventuales aparatos de maniobra (contactores).

Además, el poder de cierre y de corte del interruptor automático debe ser apropiado al nivel de cortocircuito de la instalación.

Las normas IEC 60831-1 y 60931-1 afirman que:

- los condensadores deben poder funcionar en condiciones de régimen con una corriente de hasta el 130% de su corriente asignada I_r del mismo (debido a la posible presencia de armónicos de tensión en la red);
- se admite una tolerancia del +15% sobre el valor de la capacidad.

Por consiguiente la corriente máxima que puede ser absorbida por la batería de condensadores I_{cmax} es:

$$I_{cmax} = 1.3 \cdot 1.15 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_r} \approx 1.5 \cdot I_{rc} \quad (8)$$

Por lo que:

- la corriente asignada del interruptor automático deberá ser superior a $1.5 \cdot I_r$
- la regulación de la protección contra la sobrecarga deberá ser igual $1.5 \cdot I_r$.

La conexión de una batería de condensadores es comparable a un cierre en cortocircuito, está asociada a corrientes transitorias con frecuencia elevada ($1 \div 15$ kHz), de corta duración ($1 \div 3$ ms) y con cresta elevada ($25 \div 200 I_r$).

Por lo que:

- el interruptor automático deberá tener un poder de cierre adecuado;
- la regulación de la protección instantánea contra cortocircuito no deberá provocar disparos intempestivos.

4 Corrección del factor de potencia

La segunda condición por lo general se cumple:

- para los relés termomagnéticos, regulando la protección magnética en valores no inferiores a $10 \cdot I_{\text{cmax}}$

$$I_3 \geq 10 \cdot I_{\text{cmax}} = 15 \cdot I_{\text{rc}} = 15 \cdot \frac{Q_r}{\sqrt{3} \cdot U_r} \quad (9)$$

- para los relés electrónicos se debe excluir la protección instantánea contra cortocircuito ($I_3 = \text{OFF}$).

A continuación se indican las tablas de selección de los interruptores automáticos. Para definir la versión en función del poder de corte requerido, se remite al Tomo 1 Cap. 3.1 "Características generales".

En las tablas han sido utilizados los siguientes símbolos (se refieren a los valores máximos):

- I_{ncB} = corriente asignada del relé de protección [A]
- I_{rc} = corriente asignada de la batería de condensadores conectada [A]
- Q_{c} = potencia de la batería de condensadores que puede conectarse [kvar] referida a las tensiones indicadas y a una frecuencia de 50 Hz
- N_{mech} = número de maniobras mecánicas
- f_{mech} = frecuencia de maniobra para las maniobras mecánicas [op/h]
- N_{el} = número de maniobras eléctricas referidas a una tensión de 415 V para los interruptores automáticos en caja moldeada Tmax y SACE Isomax (Tablas 5 y 6) y de 440V para los interruptores automáticos abiertos de la familia Emax (Tabla 7)
- f_{el} = frecuencia de maniobra para las maniobras eléctricas [op/h].

Tabla 5: Tabla de elección de interruptores automáticos en caja moldeada Tmax

| Tipo CB | I_{ncB} [A] | I_{rc} [A] | Q_{c} [kvar] | | | | N_{mech} | f_{mech} [op/h] | N_{el} | f_{el} [op/h] |
|------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------|
| | | | 400 V | 440 V | 500 V | 690 V | | | | |
| T1 B-C-N 160 | 160 | 107 | 74 | 81 | 92 | 127 | 25000 | 240 | 8000 | 120 |
| T2 N-S-H-L 160* | 160 | 107 | 74 | 81 | 92 | 127 | 25000 | 240 | 8000 | 120 |
| T3 N-S 250* | 250 | 166 | 115 | 127 | 144 | 199 | 25000 | 240 | 8000 | 120 |
| T4 N-S-H-L-V 250 | 250 | 166 | 115 | 127 | 144 | 199 | 20000 | 240 | 8000 | 120 |
| T4 N-S-H-L-V 320 | 320 | 212 | 147 | 162 | 184 | 254 | 20000 | 240 | 6000 | 120 |
| T5 N-S-H-L-V 400 | 400 | 267 | 185 | 203 | 231 | 319 | 20000 | 120 | 7000 | 60 |
| T6 N-S-H-L-V 630 | 630 | 421 | 291 | 302 | 364 | 502 | 20000 | 120 | 7000 | 60 |
| T6 N-S-H-L 800 | 800 | 533 | 369 | 406 | 461 | 637 | 20000 | 120 | 5000 | 60 |
| T7 S-H-L 1000 | 1000 | 666 | 461 | 507 | 576 | 795 | 10000 | 60 | 2000 | 60 |
| T7 S-H-L 1250 | 1250 | 833 | 577 | 634 | 721 | 994 | 10000 | 60 | 2000 | 60 |
| T7 S-H-L 1600 | 1600 | 1067 | 739 | 813 | 924 | 1275 | 10000 | 60 | 2000 | 60 |

*para la versión enchufable, reducir la potencia máxima de la batería del condensador en un 10%

Tabla 6: Tabla de elección de interruptores automáticos en caja moldeada SACE Isomax S7

| | I_{ncB} | I_{rc} | Q_{c} [kvar] | | | | N_{mech} | f_{mech} | N_{el} | f_{el} |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----|-----|------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| S7 S-H-L 1250 | 1250 | 833 | 577 | 635 | 722 | 996 | 10000 | 120 | 7000 | 20 |
| S7 S-H-L 1600 | 1600 | 1067 | 739 | 813 | 924 | 1275 | 10000 | 120 | 5000 | 20 |

4 Corrección del factor de potencia

Tabla 7: Tabla de elección de interruptores automáticos abiertos SACE Emax

| Tipo CB | I_{nCB} (A) | I_{rc} (A) | Q_C [kvar] | | | | | N_{mech} (op/h) | f_{mech} | N_{el} (op/h) | f_{el} |
|------------|------------------|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------------|--------------------|----------|
| | | | 400 V | 440 V | 500 V | 690 V | 690 V | | | | |
| X1 B-N | 630 | 421 | 291 | 320 | 364 | 502 | 12500 | 60 | 6000 | 30 | |
| X1 B-N | 800 | 533 | 369 | 406 | 461 | 637 | 12500 | 60 | 6000 | 30 | |
| X1 B-N | 1000 | 666 | 461 | 507 | 576 | 795 | 12500 | 60 | 4000 | 30 | |
| X1 B-N | 1250 | 834 | 578 | 636 | 722 | 997 | 12500 | 60 | 4000 | 30 | |
| X1 B-N | 1600 | 1067 | 739 | 813 | 924 | 1275 | 12500 | 60 | 3000 | 30 | |
| E1 B N | 800 | 533 | 369 | 406 | 461 | 637 | 25000 | 60 | 10000 | 30 | |
| E1 B N | 1000 | 666 | 461 | 507 | 576 | 795 | 25000 | 60 | 10000 | 30 | |
| E1 B N | 1250 | 834 | 578 | 636 | 722 | 997 | 25000 | 60 | 10000 | 30 | |
| E1 B N | 1600 | 1067 | 739 | 813 | 924 | 1275 | 25000 | 60 | 10000 | 30 | |
| E2 B-N-S | 800 | 533 | 369 | 406 | 461 | 637 | 25000 | 60 | 15000 | 30 | |
| E2 B-N-S | 1000 | 666 | 461 | 507 | 576 | 795 | 25000 | 60 | 15000 | 30 | |
| E2 B-N-S | 1250 | 834 | 578 | 636 | 722 | 997 | 25000 | 60 | 15000 | 30 | |
| E2 B-N-S | 1600 | 1067 | 739 | 813 | 924 | 1275 | 25000 | 60 | 12000 | 30 | |
| E2 B-N-S | 2000 | 1334 | 924 | 1017 | 1155 | 1594 | 25000 | 60 | 10000 | 30 | |
| E3 N-S-H-V | 800 | 533 | 369 | 406 | 461 | 637 | 20000 | 60 | 12000 | 20 | |
| E3 N-S-H-V | 1000 | 666 | 461 | 507 | 576 | 795 | 20000 | 60 | 12000 | 20 | |
| E3 N-S-H-V | 1250 | 834 | 578 | 636 | 722 | 997 | 20000 | 60 | 12000 | 20 | |
| E3 N-S-H-V | 1600 | 1067 | 739 | 813 | 924 | 1275 | 20000 | 60 | 10000 | 20 | |
| E3 N-S-H-V | 2000 | 1334 | 924 | 1017 | 1155 | 1594 | 20000 | 60 | 9000 | 20 | |
| E3 N-S-H-V | 2500 | 1667 | 1155 | 1270 | 1444 | 1992 | 20000 | 60 | 8000 | 20 | |
| E3 N-S-H-V | 3200 | 2134 | 1478 | 1626 | 1848 | 2550 | 20000 | 60 | 6000 | 20 | |
| E4 S-H-V | 3200 | 2134 | 1478 | 1626 | 1848 | 2550 | 15000 | 60 | 7000 | 10 | |
| E6 H-V | 3200 | 2134 | 1478 | 1626 | 1848 | 2550 | 12000 | 60 | 5000 | 10 | |

5 Protección de las personas

5.1 Generalidades: efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano

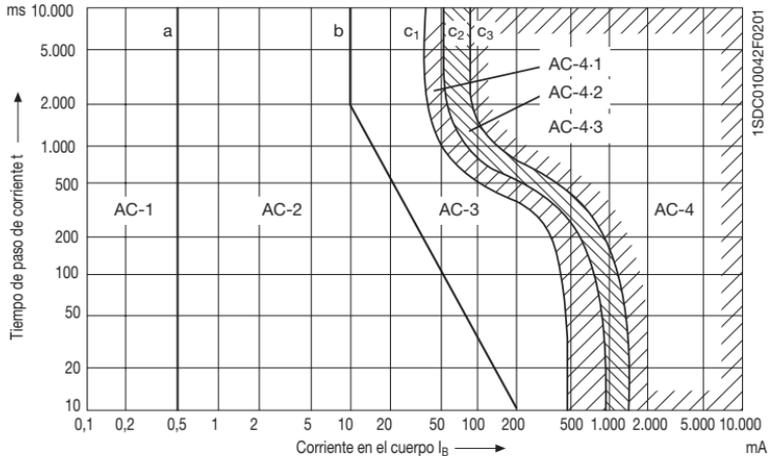
Los peligros que se derivan del contacto de una persona con una parte en tensión son causados por el paso de la corriente por el cuerpo. Los efectos del paso de corriente por el cuerpo humano son:

- **tetanización:** se contraen los músculos por los que circula la corriente y resulta difícil desprenderse de la pieza en tensión. Las corrientes de valor muy elevado no producen tetanización ya que la excitación muscular es tan elevada que los movimientos musculares involuntarios generalmente hacen desprender la persona de la parte en tensión;
- **parada respiratoria:** si la corriente eléctrica atraviesa los músculos que controlan el movimiento de los pulmones, la contracción involuntaria de los mismos altera el funcionamiento normal del sistema respiratorio y la persona puede morir de asfixia o sufrir las consecuencias de traumas derivados de la asfixia;
- **fibrilación ventricular:** es el efecto más peligroso y es debido a la superposición de las corrientes externas con las fisiológicas que generan contracciones desordenadas y hacen perder el ritmo cardíaco. Esta anomalía puede ser irreversible ya que persiste aun cuando haya cesado el estímulo causante;
- **quemaduras:** son producidas por el calor que se produce por efecto Joule debido a la corriente que atraviesa el cuerpo.

La norma IEC 60479-1 "Efectos de la corriente sobre el hombre y los animales domésticos" es un informe sobre los efectos de la corriente a través del cuerpo humano, utilizable para la definición de los requisitos para la seguridad eléctrica. La norma muestra gráficamente en un diagrama tiempo-corriente cuatro zonas, las cuales han sido asociadas a los efectos fisiológicos de la corriente alterna (15÷100 Hz) que atraviesa el cuerpo humano.

5 Protección de las personas

Figura 1: Zonas tiempo-corriente referentes a los efectos de la corriente alterna sobre el cuerpo humano



| Designación de la zona | Límites de la zona | Efectos fisiológicos |
|------------------------|---|---|
| AC-1 | Hasta 0,5 mA línea a | Habitualmente ninguna reacción |
| AC-2 | De 0,5 mA hasta la línea b* | Habitualmente, ningún efecto fisiológico peligroso |
| AC-3 | De la línea b hasta la curva c ₁ | Habitualmente ningún efecto orgánico. Probabilidad de contracciones musculares y dificultades de respiración para duraciones de paso de corriente superiores a 2 s. Perturbaciones reversibles en la formación y la propagación de impulsos del corazón, incluida la fibrilación auricular y paradas temporales del corazón sin fibrilación ventricular, aumentando con la intensidad de la corriente y el tiempo |
| AC-4 | Por encima de la curva c ₁ | Pueden producirse efectos patofisiológicos tales como la parada cardíaca, parada respiratoria, quemaduras graves que aumentan con la intensidad y el tiempo en complemento con los efectos de la zona 3 |
| AC-4.1 | c ₁ - c ₂ | Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando hasta 5%. |
| AC-4.2 | c ₂ - c ₃ | Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando hasta 50% aprox. |
| AC-4.3 | Por encima de la curva c ₃ | Probabilidad de fibrilación ventricular superior al 50%. |

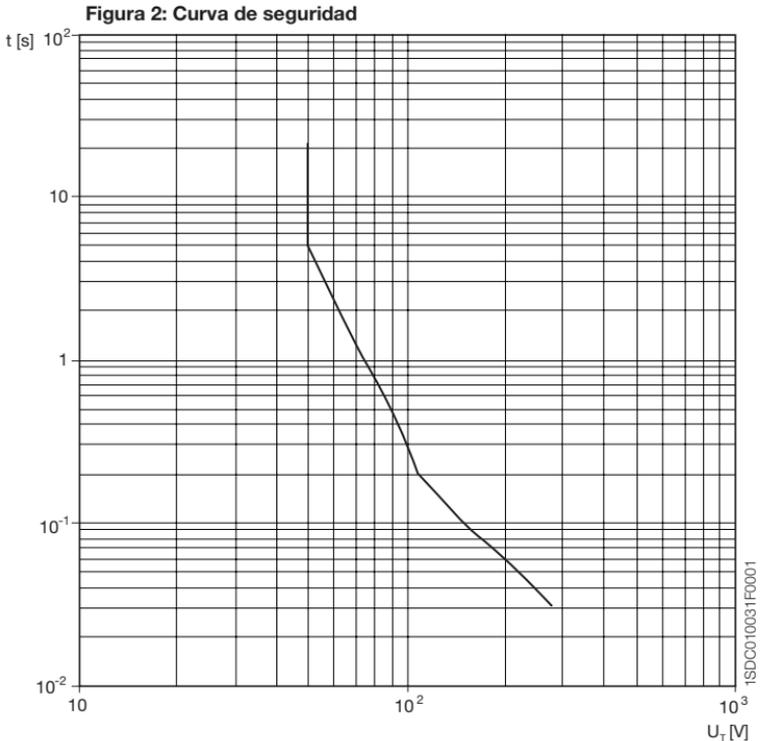
* Para duraciones de paso de corriente inferiores a 10 ms, el límite de corriente que atraviesa el cuerpo por la línea b permanece constante e igual a 200 mA.

Esta norma también suministra un gráfico análogo para corriente continua. Aplicando la ley de Ohm es posible definir la curva de seguridad para las tensiones admisibles, una vez calculada la impedancia que supone el cuerpo humano al paso de corriente. La impedancia eléctrica del cuerpo humano depende de muchos factores. La norma citada da distintos valores de impedancia en función de la tensión de contacto y del recorrido de la corriente.

5 Protección de las personas

La norma IEC 60479-1 ha adoptado valores conservadores de la impedancia dada en los gráficos, para obtener la curva de seguridad tiempo-tensión (Figura 2) referida a la tensión total de tierra U_T (tensión que debido a un fallo de aislamiento, se establece entre una masa y un punto del terreno suficientemente alejado, a potencial cero).

Representa el máximo valor de la tensión de contacto en vacío; por lo que se toma la condición más desfavorable para obtener la máxima seguridad.



De esta curva de seguridad se deduce que para cualquier tensión inferior a 50 V, el tiempo soportable es infinito; para una tensión de 50 V el tiempo soportable es de 5 s. La curva se refiere a un ambiente ordinario; en ambientes particulares varía la resistencia de contacto del cuerpo humano respecto a tierra por consiguiente los valores de tensión soportables por un tiempo infinito serán inferiores a 25 V.

Por consiguiente, si la protección contra los contactos indirectos se realiza mediante la interrupción automática de la alimentación, debe asegurarse que la interrupción se produzca en un tiempo que cumpla con la curva de seguridad, cualquiera que sea el sistema de distribución.

5 Protección de las personas

5.2 Sistemas de distribución

Las faltas a tierra y las consecuencias causadas por el contacto con las masas en tensión, están directamente relacionadas con el sistema de puesta a tierra del neutro y de la conexión de las masas.

Para una correcta elección de los dispositivos de protección es necesario saber cual es el sistema de distribución de la red de alimentación.

La norma IEC 60364-1 clasifica los sistemas de distribución mediante dos letras.

La primera letra representa la situación de la alimentación con respecto a tierra:

- T: conexión directa de un punto de la alimentación a tierra, en sistemas de corriente alterna este punto es generalmente el neutro;
- I: aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia, en sistemas de corriente alterna, generalmente el punto neutro.

La segunda letra representa la relación de las masas de la instalación con respecto a tierra:

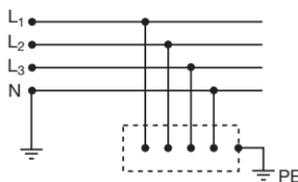
- T: masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación;
- N: masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesto a neutro.

Otras letras (eventuales): se refieren a la situación relativa del conductor neutro y del conductor de protección:

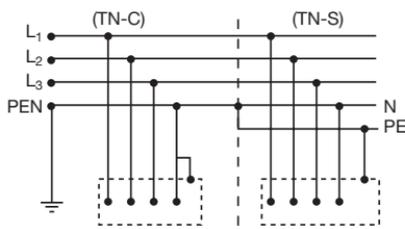
- S: las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados;
- C: las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor PEN).

Hay tres tipos de sistemas de distribución:

Sistema TT



Sistema TN



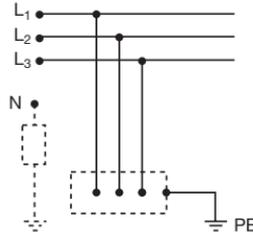
2

1SDCO10032F0001

1SDCO10033F0001

5 Protección de las personas

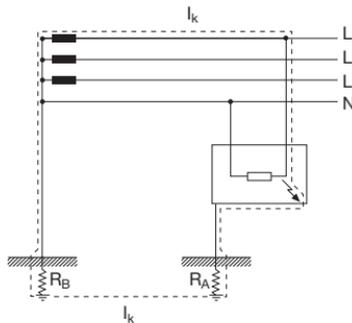
Sistema IT



1SDC010034F0001

En los sistemas **TT** el neutro y las masas están conectados a electrodos de tierra eléctricamente independientes; las corrientes de defecto vuelven a la fuente de alimentación a través de tierra (Fig. 1):

Fig. 1: Falta a tierra en un sistema TT



1SDC010035F0001

En las instalaciones **TT** el conductor neutro se conecta al centro estrella de la alimentación, generalmente se distribuye y permite tener disponible la tensión de fase o tensión simple (p.e. 230V), utilizada para alimentar las cargas monofásicas. Las masas se conectan a una toma de tierra local de la instalación. Los sistemas **TT** se utilizan en las instalaciones en viviendas y en general en todas aquellas en las que el suministro eléctrico se realiza en baja tensión.

Los sistemas **TN** se utilizan generalmente en el caso de que se disponga de centro de transformación propio, es decir que el suministro eléctrico se efectúe en media tensión. El conductor neutro se pone a tierra directamente en el centro de transformación; las masas se conectan al mismo punto de tierra que el conductor neutro.

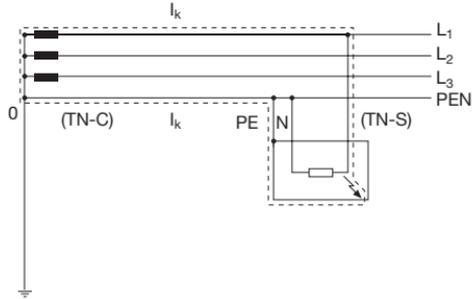
Se consideran tres tipos de sistemas TN según la disposición de los conductores de neutro y de tierra:

1. **TN-C** – las funciones de neutro y protección están combinadas en un único conductor (conductor PEN);
2. **TN-S** – los conductores de neutro y de protección están siempre separados;
3. **TN-C-S** – las funciones de neutro y de protección están combinadas en un único conductor en una parte de la instalación (PEN) y están separados en la otra parte (PE + N).

5 Protección de las personas

En los sistemas **TN** las corrientes de defecto circulan hacia el punto neutro de la instalación a través de un conductor metálico, sin implicar al electrodo de tierra (Fig. 2).

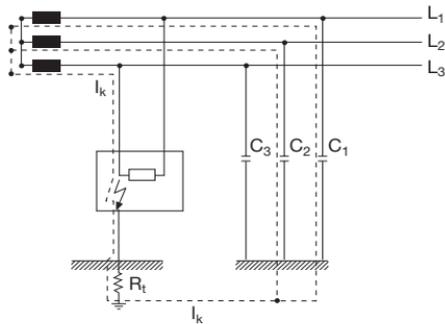
Fig. 2: Falta a tierra en un sistema TN



1SDC010038F0001

Los sistemas **IT** no tienen la alimentación directamente conectada a tierra, aunque puede estarlo a través de una impedancia de valor suficientemente alto. Las masas están puestas a tierra ya sea de forma individual, por grupos, o de forma colectiva, mediante un electrodo de tierra independiente. Las corrientes de tierra circulan hacia la alimentación a través del electrodo de tierra de las masas y la capacidad de los conductores (Fig. 3).

Fig. 3: Falta a tierra en un sistema IT



1SDC010037F0001

Este sistema de distribución se utiliza en plantas en las que la continuidad de servicio es un requisito fundamental. La primera falta a tierra no ocasiona la desconexión de la instalación por ser de un valor muy bajo. En este sistema se utiliza un monitor de aislamiento para la señalización óptica y acústica en caso de falta a tierra.

2

5 Protección de las personas

5.3 Protección contra contactos directos e indirectos

Los contactos que una persona puede tener con partes en tensión se pueden dividir en dos categorías:

- contactos directos;
- contactos indirectos.

Se tiene un contacto directo cuando una parte del cuerpo humano toca con una parte de la instalación eléctrica que está normalmente con tensión (conductores desnudos, bornes, etc.)

Se dice que un contacto es indirecto cuando una parte del cuerpo humano toca con una masa, que normalmente no está en tensión, pero que puede estarlo accidentalmente como consecuencia de un fallo de los materiales aislantes.

Las medidas de protección contra **contactos directos** son:

- aislamiento de las partes activas mediante un material aislante que solo puede ser eliminado por destrucción (p.e. el aislamiento de los cables);
- barreras o envolventes: las partes activas deben estar dentro de envolventes o detrás de barreras con grado de protección de como mínimo IPXXB o IP2X; para superficies horizontales el grado de protección deberá ser como mínimo IPXXD o IP4X;
- obstáculos: la interposición de un obstáculo entre las partes activas y el operario previene solamente del contacto accidental, pero no del contacto intencional debido a quitar el obstáculo sin herramientas o útiles especiales;
- distanciamiento: las partes simultáneamente accesibles a distinta tensión no deben estar al alcance de la mano.

Una medida adicional contra contactos directos es el empleo de interruptores diferenciales con corriente diferencial asignada no superior a 30 mA. Debe recordarse que la utilización del interruptor diferencial como medida de protección contra los contactos directos no excluye la necesidad de aplicar una de las medidas de protección citadas anteriormente.

Las medidas de protección contra **contactos indirectos** son:

- con corte automático de la alimentación: un dispositivo de protección debe interrumpir automáticamente la alimentación del circuito en un tiempo tal que la tensión de contacto en las masas no permanezca un tiempo superior al que puede causar un daño fisiológico en las personas;
- doble aislamiento o aislamiento reforzado, utilizando componentes de Clase II;

5 Protección de las personas

- locales no conductores: locales con un valor elevado de resistencia de los suelos y paredes aislantes ($\geq 50 \text{ k}\Omega$ para $U_r \leq 500\text{V}$; $\geq 100 \text{ k}\Omega$ para $U_r > 500\text{V}$) y sin conductores de protección en el interior;
- separación eléctrica, p.e. utilización de un transformador de aislamiento para alimentar el circuito;
- conexiones equipotenciales locales, las masas están conectadas entre ellas pero no puestas a tierra (earth-free local equipotential bonding)

Finalmente, también existen las siguientes medidas que garantizan la protección combinada tanto contra contactos directos como indirectos:

- sistemas a muy baja tensión de seguridad SELV (Safety Extra Low Voltage) y sistema PELV (Protective Extra Low Voltage);
- sistema FELV (Functional Extra Low Voltage).

La protección combinada contra los contactos directos e indirectos está asegurada cuando se satisface el artículo 411 de la norma UNE 20460-4-41; en particular:

- la tensión nominal no debe superar 50 V valor eficaz c.a. y 120 V c.c. no ondulada;
- la alimentación debe provenir de una fuente SELV o PELV;
- deben ser satisfechas las condiciones de instalación previstas para este tipo de circuito eléctrico.

Un circuito SELV tiene las siguientes características:

1. está alimentado por una fuente autónoma o por un transformador de seguridad. Son fuentes autónomas las pilas, acumuladores y grupos electrógenos;
2. no tiene ningún punto a tierra. Está prohibido conectar a tierra tanto las masas como las partes activas del circuito SELV;
3. debe estar separado de otros sistemas eléctricos. La separación del sistema SELV de otros circuitos debe ser garantizada para todos los componentes; por lo que los conductores del circuito SELV, o bien son puestos en canales separados o tienen que ser provistos de una cubierta aislante suplementaria.

Un circuito PELV tiene los mismos requisitos que un sistema SELV excepto la prohibición de tener puntos a tierra; en un circuito PELV al menos un punto debe estar conectado a tierra.

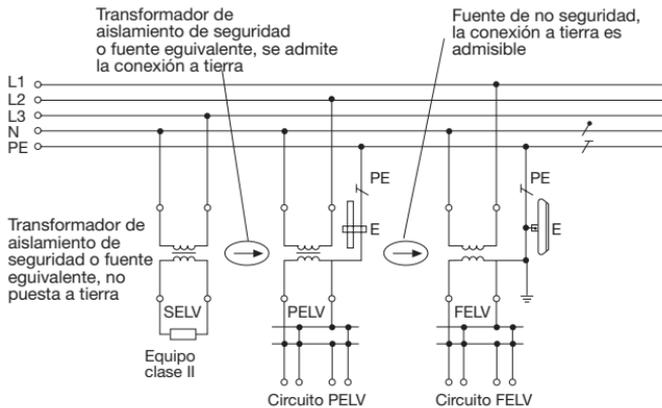
5 Protección de las personas

Los circuitos **FELV** son utilizados cuando por razones funcionales no pueden ser satisfechas las prescripciones de los circuitos **SELV** o **PELV**, requieren que sean respetadas las siguientes reglas:

- la protección contra contactos directos debe ser asegurada por:
 - barreras o envoltentes con grado de protección conforme a lo indicado anteriormente (medidas de protección contra contactos directos);
 - aislamiento correspondiente a la tensión de ensayo requerida por el circuito primario. Si tal ensayo no se supera, el aislamiento de las partes accesibles no conductoras del componente eléctrico debe ser reforzado durante la instalación de modo que pueda soportar una tensión de ensayo de 1500 V c. a. durante 60 s;
- la protección contra los contactos indirectos debe asegurarse por:
 - conexión de las masas del circuito **FELV** al conductor de protección del circuito primario a condición que este último responda a una de las medidas de protección contra los contactos directos;
 - conexión de una parte activa del circuito **FELV** al conductor de protección del circuito primario, a condición que sea aplicada una medida de protección mediante corte automático de la alimentación de dicho circuito primario;
- los conectores del sistema **FELV** no deben poderse insertar en otra tomas alimentadas con otras tensiones y las tomas de de otros circuitos no deben poderse insertar en las tomas del sistema **FELV**.

En la figura 1 están esquematizados dichos sistemas .

Figura 1: Sistemas SELV, PELV, FELV



| | | |
|--|----|---|
| tensiones límite para tensiones extrabajas | E | conexión a tierra de las masas extrañas. Ejemplo: tuberías metálicas o estructura metálica |
| 50 V ca 120 V cc | PE | conductor de protección electrodo de tierra |

Nota 1: Los dispositivos de protección contra sobretensiones no están representados en esta figura.

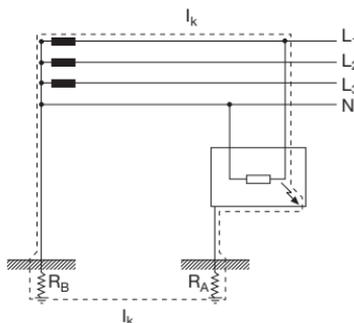
1SDC010043F0201

5 Protección de las personas

5.4 Sistema de distribución TT

Una falta a tierra en un sistema TT puede representarse por el circuito representado en la figura 1:

Figura 1: Falta a tierra en un sistema TT



1SDC010035F0001

La corriente de falta recorre el arrollamiento secundario del transformador, el conductor de fase, la resistencia de falta, el conductor de protección, la resistencia de tierra (de la red de tierra de la utilización (R_A) y de la red de tierra del sistema a la que está conectado el neutro (R_B)).

Según las prescripciones de la norma UNE 20460-4, los dispositivos de protección deben ser coordinados con el sistema de puesta a tierra de manera que interrumpan rápidamente el circuito, cuando la tensión de contacto alcance valores peligrosos para las personas.

Asumiendo como tensiones límite 50 V (25 V en condiciones húmedas), para limitar la tensión de contacto de las masas dentro de estos valores se debe cumplir:

$$R_t \approx \frac{50}{I_a} \quad \text{o bien} \quad R_t \leq \frac{50}{I_{\Delta n}}$$

donde:

R_t es la resistencia total, igual a la suma de la resistencia de la puesta a tierra de las masas (R_A) y del conductor de protección de las masas [Ω];

I_a es la corriente de disparo en 5 s del dispositivo de protección contra sobretensiones, dado en las curvas características de dicho dispositivo [A];

$I_{\Delta n}$ es la corriente asignada de disparo diferencial del interruptor diferencial [A], en un segundo.

2

5 Protección de las personas

De lo indicado es evidente que el valor de R_t debe ser considerablemente distinto si se emplean interruptores automáticos o interruptores diferenciales.

De hecho, con los primeros, es necesario obtener valores de resistencia de tierra muy bajos (generalmente menores de 1Ω) ya que la corriente de disparo en 5 s es generalmente elevada, mientras que con los segundos, por el contrario, se pueden tener puestas a tierra de valores relativamente elevados, por consiguiente de más fácil obtención.

La Tabla 1 indica los valores máximos de la resistencia de tierra que pueden obtenerse con interruptores diferenciales y con referencia a un entorno ordinario (50 V):

Tabla 1: Valores de resistencia de tierra

| $I_{\Delta n}$ [A] | R_t [Ω] |
|-----------------------|-----------------------|
| 0.01 | 5000 |
| 0.03 | 1666 |
| 0.1 | 500 |
| 0.3 | 166 |
| 0.5 | 100 |
| 3 | 16 |
| 10 | 5 |
| 30 | 1.6 |

Ejemplo:

Considerando que se desea efectuar la protección utilizando un interruptor automático ABB serie Tmax T1B160 In125, la corriente de disparo en menos de 5 s, leída en las curvas de disparo, es del orden de 750 A, cuando se parte del estado frío (que es la peor condición para los relés termomagnéticos).

Por lo tanto:

$$R_t \leq \frac{50}{750} = 0.06 \Omega$$

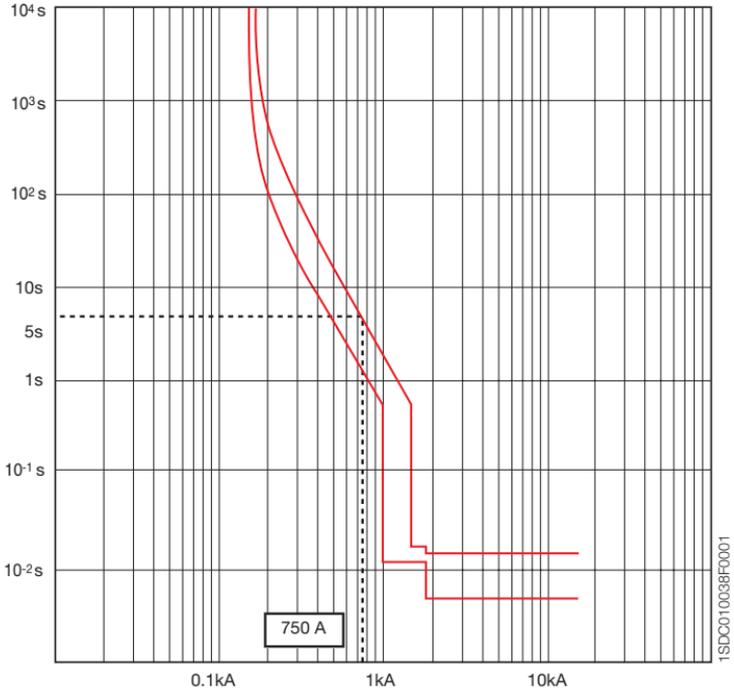
Para asegurar la protección necesaria se deberá realizar una puesta a tierra de $R_t \leq 0,06 \Omega$, valor muy difícil de obtener.

Por el contrario, utilizando el mismo aparato equipado con relé diferencial ABB tipo RC221 con corriente diferencial de disparo $I_{\Delta n} = 0,03 \text{ A}$, el valor requerido de resistencia de tierra podría llegar a ser:

$$R_t \leq \frac{50}{0.03} = 1666.6 \Omega$$

que puede ser fácilmente obtenido en la práctica.

5 Protección de las personas



En una instalación eléctrica con un sistema de tierras común y cargas protegidas por dispositivos que tienen corrientes de disparo distintas, se deberá considerar, para coordinar todas las salidas con el sistema de puesta a tierra, el peor caso que es el que tiene el dispositivo con la corriente de disparo más elevada.

Esto significa que en presencia de derivaciones protegidas en parte con dispositivos de máxima corriente y en parte con dispositivos diferenciales, al tener que calcular la R_T en base a la I_{5S} del dispositivo de sobrecorriente, al ser esta la corriente más elevada entre los dos tipos de dispositivos, quedan anulados todos los beneficios derivados del uso de interruptores diferenciales.

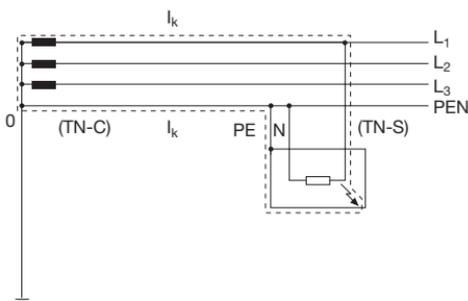
Por consiguiente es aconsejable proteger todas salidas, en una instalación TT, mediante interruptores automáticos diferenciales coordinados con la puesta a tierra, de modo que se puedan obtener las ventajas tanto de una rápida desconexión del circuito cuando ocurra una falta, como la de un sistema de tierras de fácil realización y obtención.

5 Protección de las personas

5.5 Sistema de distribución TN

Una falta a tierra en un sistema TN se representa en la Figura 1:

Figura 1: Falta a tierra en un sistema TN



1SDC010036F0001

El bucle de falta no implica al sistema de tierra y está básicamente formado por el conductor de fase en serie con el conductor de protección.

Para actuar la protección con corte automático de la alimentación, según lo previsto en la norma UNE 20460-4, se debe cumplir la siguiente condición:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

donde:

Z_s es la impedancia del bucle de falta que comprende la fuente, el conductor activo hasta el punto de falta y el conductor de protección entre la falta y la fuente [Ω];

U_0 es la tensión nominal entre fase y tierra de la instalación [V];

I_a es el valor de la corriente de intervención del dispositivo de protección [A] en el tiempo definido en la Tabla 1 en función de la tensión nominal U_0 o bien, para los circuitos de distribución se admite un tiempo convencional no superior a 5 s; si se utiliza un interruptor diferencial I_a es la corriente asignada diferencial $I\Delta_n$.

Tabla 1: Tiempos máximos de desconexión para el sistema TN

| U_0 [V] | Tiempo de desconexión [s] |
|-----------|---------------------------|
| 120 | 0.8 |
| 230 | 0.4 |
| 400 | 0.2 |
| > 400 | 0.1 |

5 Protección de las personas

En instalaciones TN un defecto franco a tierra se convierte en un cortocircuito monofásico bastante elevado, debido al valor bajo de la impedancia del bucle de defecto. La protección contra los contactos indirectos se puede asegurar, en general, con interruptores automáticos: es necesario verificar que la corriente de cortocircuito es superior a la corriente que da lugar al disparo en un tiempo inferior al de la curva de seguridad.

La utilización de interruptores diferenciales mejora las condiciones de protección; en particular cuando la falta no es franca y presenta una impedancia que limita la corriente de cortocircuito, dando lugar a un tiempo de disparo largo, provocando la avería de los conductores y riesgo de incendio.

Se debe tener en cuenta que el interruptor diferencial no puede ser utilizado en los sistemas TN-C, debido a que las funciones de neutro y de protección son asumidos por el mismo conductor PEN, lo que impide el funcionamiento del diferencial.

Ejemplo:

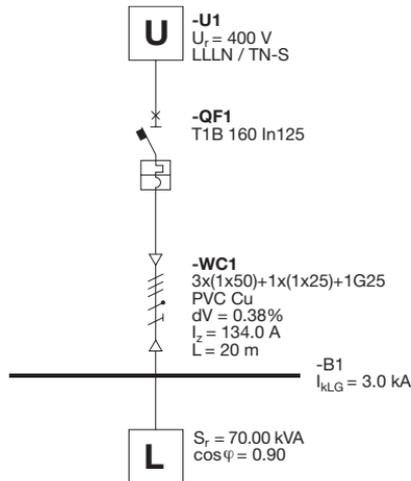
En la instalación representada en la Figura 2 la corriente de falta a tierra es:

$$I_{kLG} = 3 \text{ kA}$$

La tensión nominal entre fase y tierra es 230V por lo tanto, de acuerdo con la Tabla 1, debe cumplirse que:

$$I_a(0.4s) \approx \frac{U_0}{Z_s} = I_{kLG} = 3 \text{ kA}$$

Figura 2



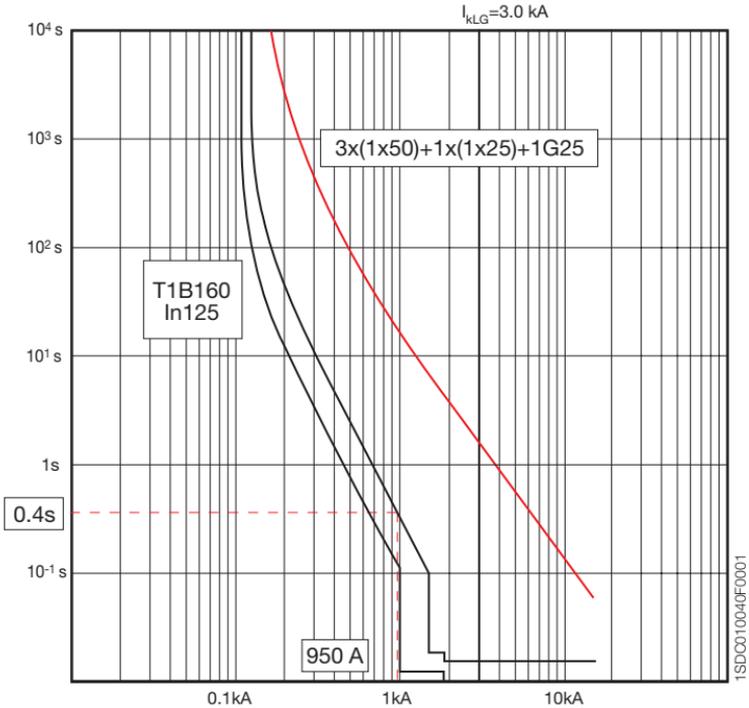
2

1SDC010039F0001

5 Protección de las personas

De la curva tiempo-corriente (Figura 3), se puede ver que el interruptor dispara en 0.4 s para una corriente del orden de 950 A. En consecuencia se cumple la protección contra contactos indirectos utilizando el mismo interruptor que protege el cable contra cortocircuitos y sobrecargas, o sea sin necesidad de utilización de interruptor diferencial.

Figura 3: Curvas tiempo-corriente LG

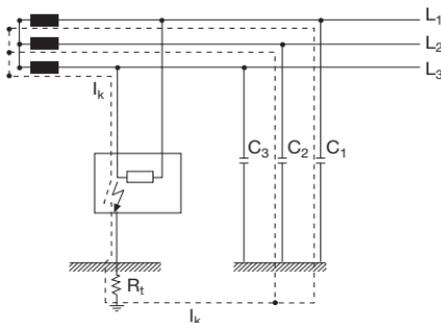


5 Protección de las personas

5.6 Sistema de distribución IT

Como puede verse en la Figura 1, la corriente de falta a tierra en un sistema IT retorna a través de las capacidades a tierra de la instalación; por consiguiente la corriente de la primera falta resulta ser de un valor extremadamente reducido, que no provoca ninguna actuación de las protecciones contra sobrecorrientes; la tensión de contacto originada será de un valor muy bajo.

Fig.1: Falta a tierra en un sistema IT



1SDC010037F0001

Según la norma UNE 20460-4, no es necesario el corte automático del circuito en el caso de la primera falta a tierra a condición que se cumpla la condición:

$$R_t \cdot I_d \leq U_L$$

donde:

R_t es la resistencia de la puesta a tierra, donde se conectan las masas [Ω];

I_d es la corriente de la primera falta a tierra [A];

U_L es 50 V para ambientes ordinarios (25 V para emplazamientos húmedos o mojados).

Si esta condición se cumple, el valor de la tensión de contacto en las masas después de la primera falta es menor de 50 V, tensión soportable por las personas por tiempo indefinido, como se indica en la curva de seguridad (ver cap. 5.1 "Generalidades: efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano")

2

5 Protección de las personas

En las instalaciones que adoptan el sistema IT se debe prever un dispositivo de control de aislamiento para señalar la presencia de la primera falta a tierra; en el caso de una segunda falta a tierra es necesario cortar la alimentación por una de las siguientes modalidades:

- cuando las masas están puestas a tierra por grupos o individualmente, las condiciones para la protección son las mismas que para el sistema TT (ver cap. 4.4 Sistema TT);
- cuando las masas están interconectadas por un conductor de protección puesto a tierra, se aplican las condiciones del sistema TN; en particular deben cumplirse las siguientes condiciones: cuando el neutro no se distribuye:

$$Z_s \leq \frac{U_r}{2 \cdot I_a}$$

cuando el neutro se distribuye:

$$Z'_s \leq \frac{U_0}{2 \cdot I_a}$$

donde

- U_0 tensión de fase [V];
- U_r tensión de línea [V];
- Z_s impedancia del bucle de defecto constituido por el conductor de fase y por el conductor de protección del circuito [Ω];
- Z'_s impedancia del bucle de defecto constituido por el conductor neutro y por el conductor de protección del circuito [Ω];
- I_a es la corriente de actuación del dispositivo de corte que desconecta el circuito en el tiempo especificado en la tabla 1, o dentro de 5 s para los circuitos de distribución.

Tabla 1: Tiempo de desconexión máximo en los sistemas IT

| Tensión nominal U_0/U_r [V] | Tiempo de desconexión [s] | |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------|
| | neutro no distribuido | neutro distribuido |
| 120/240 | 0.8 | 5 |
| 230/400 | 0.4 | 0.8 |
| 400/690 | 0.2 | 0.4 |
| 580/1000 | 0.1 | 0.2 |

La norma UNE 20460-4 establece que en los casos que no se puedan cumplir los requerimientos mencionados en el punto b) con la utilización de dispositivos de sobreintensidad, se debe prever una protección mediante un interruptor diferencial que proteja cada una de estas cargas.

El umbral de actuación del dispositivo diferencial debe ser cuidadosamente elegido con objeto de evitar disparos intempestivos debidos a la corriente de primera falta a través de las capacidades de las líneas extensas, de cable, en las que el primer defecto puede dar lugar a corrientes elevadas.

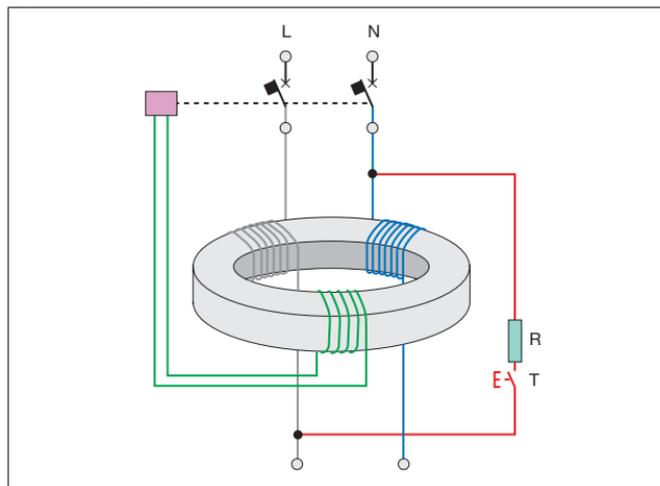
5 Protección de las personas

5.7 Dispositivos diferenciales

Generalidades sobre los dispositivos diferenciales

El principio de funcionamiento del relé diferencial consiste básicamente en la detección de la falta a tierra, mediante un transformador toroidal que abraza a todos los conductores activos, incluido el neutro si está distribuido.

Figura 1: Principio de funcionamiento del relé diferencial



En ausencia de falta a tierra, la suma vectorial de las corrientes I_{Δ} es igual a cero. En el caso de que se produzca una falta a tierra y su valor I_{Δ} supere a la corriente diferencial asignada $I_{\Delta n}$ del dispositivo diferencial, el circuito secundario del toroidal envía una señal a un relé de apertura que provoca el disparo del interruptor.

Una primera clasificación de los dispositivos diferenciales RCDs es en función de el tipo de corriente de falta a tierra que pueden detectar:

- **tipo AC:** el disparo está asegurado para corrientes diferenciales alternas senoidales, tanto si éstas se presentan bruscamente, como si crecen lentamente;
- **tipo A:** el disparo está asegurado para corrientes diferenciales alternas senoidales y para corrientes diferenciales continuas pulsantes, tanto si éstas se presentan bruscamente, como si crecen lentamente;
- **tipo B:** el disparo está asegurado para corrientes diferenciales continuas, para corrientes diferenciales alternas senoidales y para corrientes diferenciales continuas pulsantes, tanto si éstas se presentan bruscamente, como si crecen lentamente.

También se pueden clasificar, según el retardo a la intervención:

- tipo no retardado;
- tipo S selectivo, con retardo intencional.

5 Protección de las personas

El dispositivo diferencial RCDs puede ser acoplado, o no acoplado, con otros dispositivos; se presentan distintos tipos:

- **diferenciales puros:** están dotados solamente de relé diferencial y pueden proteger solamente contra las faltas a tierra. Deben ser coordinados con interruptores automáticos o con fusibles, para la protección contra las sollicitaciones térmicas y dinámicas;
- **diferenciales asociados a interruptor automático magnetotérmico:** son la combinación de un interruptor automático magnetotérmico y un módulo diferencial; por lo tanto garantizan tanto la protección contra sobrecorrientes como contra faltas a tierra;
- **diferenciales con toroidal separado:** se utilizan en plantas industriales con intensidades elevadas. Están constituidos por un relé conectado a un toroidal exterior conteniendo un devanado que detecta la corriente diferencial; en caso de falta a tierra el relé envía una orden de apertura a un interruptor automático o a un contactor.

Un parámetro muy importante de los dispositivos diferenciales es la corriente diferencial de no actuación, que representa el máximo valor que no provoca la apertura del interruptor; y que es igual a $0.5 I_{\Delta n}$ (siendo $I_{\Delta n}$ la corriente diferencial asignada). Por consiguiente se puede asegurar que:

- para $I_{\Delta} < 0.5 \cdot I_{\Delta n}$ el diferencial no interviene;
- para $0.5 \cdot I_{\Delta n} < I_{\Delta} < I_{\Delta n}$ el diferencial puede, o no, intervenir;
- para $I_{\Delta} > I_{\Delta n}$ el diferencial debe intervenir.

Para la elección de la corriente diferencial asignada se debe tener en cuenta, además de la coordinación con el sistema de puesta a tierra, también la suma de corrientes de fuga del conjunto de la instalación; la suma vectorial de cada una de las fases no debe superar $0.5 \cdot I_{\Delta n}$, si se quieren evitar disparos intempestivos.

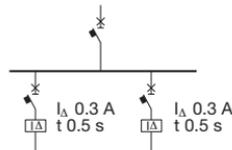
Selectividad entre dispositivos diferenciales

La norma UNE 20460-5-53 establece que se puede requerir selectividad entre dispositivos diferenciales instalados en serie, para garantizar la continuidad de servicio de las partes de la instalación no afectadas por la falta a tierra. Esta selectividad se obtiene instalando dispositivos diferenciales de tal forma, que solamente intervenga el más cercano a la falta.

Tipos de selectividad entre diferenciales:

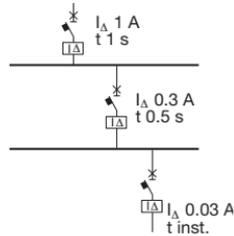
- **selectividad horizontal:** consiste en proteger cada una de las líneas con un interruptor diferencial; de este modo, en caso de falta a tierra, solamente quedará fuera de servicio la línea afectada por la falta, ya que las demás líneas no detectarán ninguna corriente de falta. De todas formas, es necesario prever medidas de protección contra los contactos indirectos en el propio cuadro y en la parte de la instalación situada aguas arriba de los diferenciales;
- **selectividad vertical:** aplicable a los diferenciales conectados en serie.

Figura 2: Selectividad horizontal entre diferenciales



5 Protección de las personas

Figura 3: Selectividad vertical entre diferenciales



En conformidad con la norma UNE 20460-5-53, para asegurar la selectividad entre dos dispositivos diferenciales en serie, dichos dispositivos deberán satisfacer simultáneamente las siguientes condiciones:

- la característica tiempo-corriente de no funcionamiento del dispositivo colocado aguas arriba se debe encontrar por encima de la característica tiempo corriente de funcionamiento del dispositivo colocado aguas abajo;
- la corriente diferencial asignada del dispositivo colocado aguas arriba debe ser mayor que la del dispositivo colocado aguas abajo.

La característica tiempo-corriente de no funcionamiento es la curva que da el tiempo máximo durante el cual una corriente diferencial más elevada que la nominal de no intervención (igual a $0.5 \cdot I_{\Delta n}$) fluye por el interruptor diferencial sin provocar el disparo.

Resumiendo, para obtener la selectividad diferencial entre dos dispositivos puestos en serie:

- para interruptores diferenciales tipo S colocados aguas arriba, (conformes a UNE-EN 61008-1 y UNE-EN 61009), de tipo retardado, es necesario escoger interruptores aguas abajo de tipo general con $I_{\Delta n}$ tres veces inferior a la $I_{\Delta n}$ de los de aguas arriba;
- para relés diferenciales electrónicos (RC221/222/223, RCQ), es suficiente elegir el dispositivo aguas arriba con umbrales de tiempo y corriente mayores que los del de aguas abajo, teniendo en cuenta las tolerancias (véase el Tomo 1, Cap. 2.3 "Tipos de relés").

Para la protección contra los contactos indirectos en los circuitos de distribución de los sistemas TT, el tiempo máximo de interrupción a $I_{\Delta n}$ no deberá exceder de 1 s (UNE 20460-4-41, apartado 413.1).

5 Protección de las personas

5.8 Longitud máxima protegida para la seguridad de las personas

Tal como se describe en los capítulos anteriores, las normas dan indicaciones referentes a los tiempos máximos de intervención de las protecciones con el fin de no causar efectos fisiopatológicos a las personas que entren en contacto con partes en tensión.

En la protección contra los contactos indirectos es necesario verificar que el interruptor intervenga en un tiempo inferior al indicado por la norma; esta verificación se efectúa comparando la corriente de cortocircuito mínima que se produce en el lugar de las masas a proteger, con la corriente de intervención del interruptor automático en el tiempo fijado por la norma.

La corriente de cortocircuito mínima se produce cuando hay un cortocircuito entre la fase y el conductor de protección en el punto más alejado de la línea protegida.

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito mínima, se puede utilizar el siguiente método aproximado, con las hipótesis:

- se considera un incremento de la resistencia de los conductores del 50 %, con respecto al valor a 20 °C, debido al calentamiento causado por la corriente de cortocircuito;
- se considera una reducción al 80 % de la tensión de alimentación, debido a la caída de tensión provocada por la corriente de cortocircuito;
- la reactancia de los conductores, se considera solamente para secciones superiores a 95 mm².

La fórmula indicada más adelante se obtiene de la aplicación de la ley de Ohm entre el dispositivo de protección y el punto de defecto.

Significado de los símbolos y constantes de la fórmula:

- 0.8 es el coeficiente que tiene en cuenta la reducción de la tensión;
- 1.5 es el coeficiente que representa el incremento de resistencia;
- U_r es la tensión nominal entre fases;
- U_0 es la tensión nominal entre fase y tierra;
- S es la sección del conductor de fase;
- S_N es la sección del conductor de neutro;
- S_{PE} es la sección del conductor de protección;
- ρ es la resistividad del conductor a 20 °C;
- L es la longitud del cable;

$m = \frac{S \cdot n}{S_{PE}}$ es la relación entre la sección total del conductor de fase (sección conductor S multiplicada por el número de conductores en paralelo n) y la sección del conductor de protección S_{PE} asumiendo que son del mismo material conductor;

$m_1 = \frac{S_N \cdot n}{S_{PE}}$ es la relación entre la sección total del neutro (sección conductor S_N multiplicada por el número de conductores en paralelo n) y la sección del conductor de protección S_{PE} asumiendo que son del mismo material conductor;

- k_1 es el factor de corrección que tiene en cuenta la reactancia de los cables para secciones superiores a 95 mm², que se obtiene de la siguiente tabla:

| Sección fase [mm ²] | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 0.90 | 0.85 | 0.80 | 0.75 | 0.72 |

5 Protección de las personas

- k_2 es el factor de corrección para conductores en paralelo, que se obtiene de la siguiente fórmula:

$$k_2 = 4 \frac{n-1}{n}$$

- donde n es el número de conductores en paralelo por fase;
- 1,2 es la tolerancia del relé magnético, admitida por la norma.

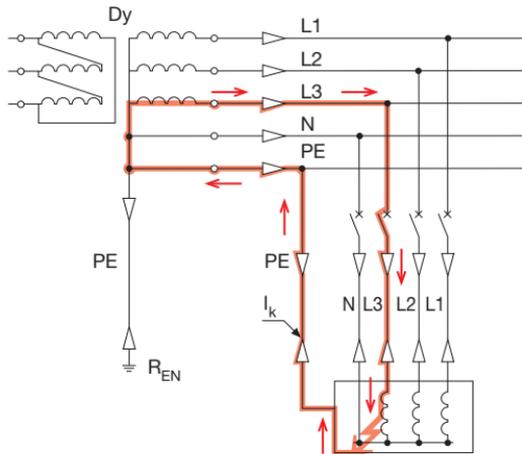
Sistema TN

La fórmula para el cálculo de la corriente de cortocircuito mínima es:

$$I_{k\min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

y por consiguiente:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{k\min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$



2

1SD0010043F0001

Sistema IT

Las fórmulas siguientes son válidas cuando una segunda falta convierte el sistema IT en sistema TN.

Es necesario examinar por separado las instalaciones con el neutro no distribuido y con el neutro distribuido.

5 Protección de las personas

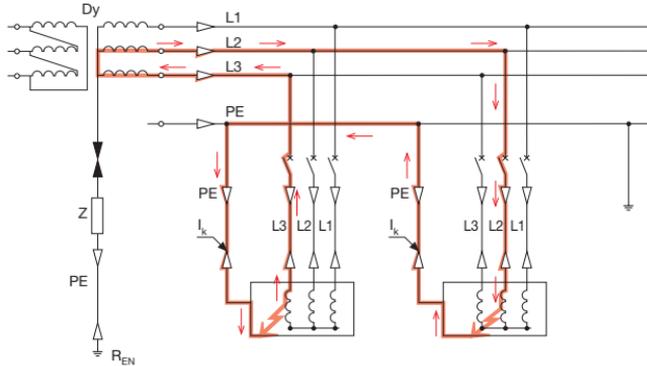
Neutro no distribuido

En caso de una segunda falta, la fórmula es:

$$I_{k\min} = \frac{0.8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

y por consiguiente:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_r \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{k\min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$



1SDC010044F0001

Neutro no distribuido

Caso A: circuitos trifásicos en un sistema IT con neutro distribuido

La fórmula es:

$$I_{k\min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

y por consiguiente:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{k\min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

Caso B: circuitos trifásicos con neutro en un sistema IT con neutro distribuido

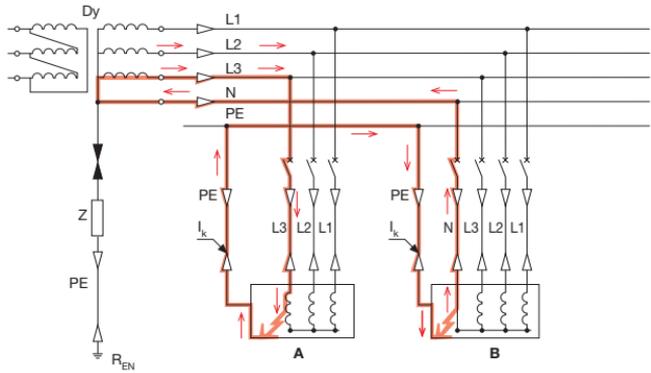
La fórmula es:

$$I_{k\min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

y por consiguiente:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{k\min}} \cdot k_1 \cdot k_2$$

5 Protección de las personas



1SDC010045F0001

Notas para el uso de las tablas

Las tablas que dan la máxima longitud protegida (MPL) han sido definidas considerando las siguientes condiciones:

- un cable por fase;
- tensión de servicio 400 V sistema trifásico;
- cables de cobre;
- para sistema de distribución IT, neutro no distribuido;
- sección conductor de protección como en la Tabla 1:

Tabla 1: Sección del conductor de protección

| Sección del conductor de fase S [mm ²] | Sección del conductor de protección S _{PE} [mm ²] |
|---|---|
| S ≤ 16 | S |
| 16 < S ≤ 35 | 16 |
| S > 35 | S/2 |

Nota: conductores de fase y protección del mismo material aislante y conductor

En los relés electrónicos, si se desea utilizar la función S (cortocircuito retardado) para la definición de la longitud máxima protegida es necesario comprobar que el tiempo de intervención sea inferior al indicado en el Cap. 5.5 Tabla 1 para sistemas TN y en el Cap. 5.6 Tabla 2 para los sistemas IT.

Para condiciones distintas de las de referencia es necesario utilizar los coeficientes de corrección indicados seguidamente.

5 Protección de las personas

Factores de corrección

Factores de corrección para varios cables en paralelo por fase: el valor de la longitud máxima protegida leída en la Tabla 2 (sistema TN) o Tabla 3 (sistema IT) debe ser multiplicada por el siguiente factor:

| | | | | | | | |
|-------|---|-----|---|-----|-----|-----|-----|
| n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| k_p | 2 | 2.7 | 3 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 |

n es el número de conductores en paralelo por fase.

Factor de corrección para tensiones trifásicas distintas de 400 V: el valor de la máxima longitud protegida leída en la Tabla 2 (sistema TN) o la Tabla 3 (sistema IT) debe ser multiplicada por el siguiente factor:

| | | | | | |
|-------------|------|-----|-----|------|------|
| tensión [V] | 230 | 400 | 440 | 500 | 690 |
| k_V | 0.58 | 1 | 1.1 | 1.25 | 1.73 |

Para redes monofásicas a 230 V no es necesario aplicar ningún coeficiente.

Factor de corrección para cables de aluminio: el valor de la máxima longitud protegida leída en la Tabla 2 (sistema TN) o la Tabla 3 (sistema IT) debe ser multiplicada por el siguiente factor:

| | |
|----------|------|
| k_{Al} | 0.64 |
|----------|------|

Factor de corrección para sección del conductor de protección S_{PE} distinta de la standard prevista en la Tabla 1: el valor de la máxima longitud protegida debe ser multiplicada por el coeficiente correspondiente a la sección del conductor de fase y la relación entre el conductor de protección (PE) y las secciones de fase:

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S_{PE}/S | 0.5 | 0.55 | 0.6 | 0.66 | 0.75 | 0.87 | 1 | 1.25 | 1.5 | 2 |
| | k_{PE} | | | | | | | | | |
| $\leq 16 \text{ mm}^2$ | 0.67 | 0.71 | 0.75 | 0.80 | 0.86 | 0.93 | 1.00 | 1.11 | 1.20 | 1.33 |
| 25 mm^2 | 0.85 | 0.91 | 0.96 | 1.02 | 1.10 | 1.19 | 1.28 | 1.42 | 1.54 | 1.71 |
| 35 mm^2 | 1.06 | 1.13 | 1.20 | 1.27 | 1.37 | 1.48 | 1.59 | 1.77 | 1.91 | 2.13 |
| $>35 \text{ mm}^2$ | 1.00 | 1.06 | 1.13 | 1.2 | 1.29 | 1.39 | 1.5 | 1.67 | 1.8 | 2.00 |

Factor de corrección para neutro distribuido en el sistema IT (solo para la Tabla 3): el valor de la máxima longitud protegida debe ser multiplicada por 0.58.

5 Protección de las personas

Sistema TN

Máxima longitud protegida con MCB

Tabla 2.1: con curva Z

| CURVA | | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | |
|-------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| In | | ≤10 | 13 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 |
| Is | | 30 | 39 | 48 | 60 | 75 | 96 | 120 | 150 | 189 |
| S | SPE | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 173 | 133 | 108 | 86 | 69 | 54 | 43 | | |
| 2.5 | 2.5 | 288 | 221 | 180 | 144 | 115 | 90 | 72 | 58 | 45 |
| 4 | 4 | 461 | 354 | 288 | 231 | 185 | 144 | 115 | 92 | 72 |
| 6 | 6 | 692 | 532 | 432 | 346 | 277 | 216 | 173 | 138 | 108 |
| 10 | 10 | 1153 | 886 | 721 | 577 | 461 | 360 | 288 | 231 | 180 |
| 16 | 16 | 1845 | 1419 | 1153 | 923 | 738 | 577 | 461 | 369 | 288 |
| 25 | 16 | 2250 | 1730 | 1406 | 1125 | 900 | 703 | 563 | 450 | 352 |

Tabla 2.2: con curva B

| CURVA | | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | |
|-------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| In | | ≤6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 |
| Is | | 30 | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| S | SPE | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 173 | 130 | 104 | 80 | 65 | 52 | 42 | 32 | 26 | | | | |
| 2.5 | 2.5 | 288 | 216 | 173 | 133 | 108 | 86 | 69 | 54 | 43 | 35 | 27 | | |
| 4 | 4 | 461 | 346 | 277 | 213 | 173 | 138 | 111 | 86 | 69 | 55 | 44 | 35 | 28 |
| 6 | 6 | 692 | 519 | 415 | 319 | 259 | 208 | 166 | 130 | 104 | 83 | 66 | 52 | 42 |
| 10 | 10 | 1153 | 865 | 692 | 532 | 432 | 346 | 277 | 216 | 173 | 138 | 110 | 86 | 69 |
| 16 | 16 | 1845 | 1384 | 1107 | 852 | 692 | 554 | 443 | 346 | 277 | 221 | 176 | 138 | 111 |
| 25 | 16 | 2250 | 1688 | 1350 | 1039 | 844 | 675 | 540 | 422 | 338 | 270 | 214 | 169 | 135 |
| 35 | 16 | | | | | | | | | | | | 190 | 152 |

Tabla 2.3: con curva C

| CURVA | | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | |
|-------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| In | | ≤3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| Is | | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 130 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 |
| S | SPE | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 173 | 130 | 86 | 65 | 52 | 40 | 32 | 26 | 21 | 16 | 13 | | | | | |
| 2.5 | 2.5 | 288 | 216 | 144 | 108 | 86 | 67 | 54 | 43 | 35 | 27 | 22 | 17 | 14 | | | |
| 4 | 4 | 461 | 346 | 231 | 173 | 138 | 106 | 86 | 69 | 55 | 43 | 35 | 28 | 22 | 17 | 14 | 11 |
| 6 | 6 | 692 | 519 | 346 | 259 | 208 | 160 | 130 | 104 | 83 | 65 | 52 | 42 | 33 | 26 | 21 | 17 |
| 10 | 10 | 1153 | 865 | 577 | 432 | 346 | 266 | 216 | 173 | 138 | 108 | 86 | 69 | 55 | 43 | 35 | 28 |
| 16 | 16 | 1845 | 1384 | 923 | 692 | 554 | 426 | 346 | 277 | 221 | 173 | 138 | 111 | 88 | 69 | 55 | 44 |
| 25 | 16 | 2250 | 1688 | 1125 | 844 | 675 | 519 | 422 | 338 | 270 | 211 | 169 | 135 | 107 | 84 | 68 | 54 |
| 35 | 16 | | | | | | | | | | | | | | 95 | 76 | 61 |

5 Protección de las personas

Sistema TN

Máxima longitud protegida con MCCB

Tabla 2.6: TmaxT1 TMD

| | | T1 | T1 | T1 | T1 | T1 | T1 |
|-----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | In | ≤50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| | I _s | 500 A | 10 In |
| S | SPE | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 6 | | | | | |
| 2.5 | 2.5 | 10 | | | | | |
| 4 | 4 | 15 | 12 | 10 | 8 | 6 | |
| 6 | 6 | 23 | 18 | 14 | 12 | 9 | 7 |
| 10 | 10 | 38 | 31 | 24 | 19 | 15 | 12 |
| 16 | 16 | 62 | 49 | 38 | 31 | 25 | 19 |
| 25 | 16 | 75 | 60 | 47 | 38 | 30 | 23 |
| 35 | 16 | 84 | 67 | 53 | 42 | 34 | 26 |
| 50 | 25 | 128 | 102 | 80 | 64 | 51 | 40 |
| 70 | 35 | 179 | 142 | 112 | 90 | 72 | 56 |
| 95 | 50 | 252 | 200 | 157 | 126 | 101 | 79 |

Tabla 2.7: Tmax T2 TMD

| | | T2 |
|-----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | In | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6.3 | 8 | 10 | 12.5 | 16+50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| | I _s | 10 In | 500 A | 10 In |
| S | SPE | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 246 | 197 | 157 | 123 | 98 | 79 | 62 | 49 | 39 | 31 | 8 | | | | | |
| 2.5 | 2.5 | 410 | 328 | 262 | 205 | 164 | 131 | 104 | 82 | 66 | 52 | 13 | | | | | |
| 4 | 4 | 655 | 524 | 419 | 328 | 262 | 210 | 166 | 131 | 105 | 84 | 21 | 17 | 13 | 10 | 8 | |
| 6 | 6 | 983 | 786 | 629 | 491 | 393 | 315 | 250 | 197 | 157 | 126 | 31 | 25 | 20 | 16 | 13 | 10 |
| 10 | 10 | 1638 | 1311 | 1048 | 819 | 655 | 524 | 416 | 328 | 262 | 210 | 52 | 42 | 33 | 26 | 21 | 16 |
| 16 | 16 | 2621 | 2097 | 1677 | 1311 | 1048 | 839 | 666 | 524 | 419 | 335 | 84 | 67 | 52 | 42 | 34 | 26 |
| 25 | 16 | | | | 1598 | 1279 | 1023 | 812 | 639 | 511 | 409 | 102 | 81 | 64 | 51 | 41 | 32 |
| 35 | 16 | | | | | | 1151 | 914 | 720 | 576 | 460 | 115 | 91 | 72 | 58 | 46 | 36 |
| 50 | 25 | | | | | | | | 1092 | 874 | 699 | 175 | 139 | 109 | 87 | 70 | 55 |
| 70 | 35 | | | | | | | | | | 979 | 245 | 194 | 153 | 122 | 98 | 76 |
| 95 | 50 | | | | | | | | | | | 343 | 273 | 215 | 172 | 137 | 107 |
| 120 | 70 | | | | | | | | | | | 417 | 331 | 261 | 209 | 167 | 130 |
| 150 | 95 | | | | | | | | | | | 518 | 411 | 324 | 259 | 207 | 162 |
| 185 | 95 | | | | | | | | | | | 526 | 418 | 329 | 263 | 211 | 165 |

5 Protección de las personas

Sistema TN

Máxima longitud protegida con MCCB

Tabla 2.8: Tmax T3 TMD

| | In | T3 |
|----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 |
| | I _Δ | 10 In |
| S | SPE | | | | | | | |
| 4 | 4 | 17 | 13 | 10 | 8 | | | |
| 6 | 6 | 25 | 20 | 16 | 13 | 10 | 8 | |
| 10 | 10 | 42 | 33 | 26 | 21 | 16 | 13 | 10 |
| 16 | 16 | 67 | 52 | 42 | 34 | 26 | 21 | 17 |
| 25 | 16 | 81 | 64 | 51 | 41 | 32 | 26 | 20 |
| 35 | 16 | 91 | 72 | 58 | 46 | 36 | 29 | 23 |
| 50 | 25 | 139 | 109 | 87 | 70 | 55 | 44 | 35 |
| 70 | 35 | 194 | 153 | 122 | 98 | 76 | 61 | 49 |
| 95 | 50 | 273 | 215 | 172 | 137 | 107 | 86 | 69 |
| 120 | 70 | 331 | 261 | 209 | 167 | 130 | 104 | 83 |
| 150 | 95 | 411 | 324 | 259 | 207 | 162 | 130 | 104 |
| 185 | 95 | 418 | 329 | 263 | 211 | 165 | 132 | 105 |
| 240 | 120 | 499 | 393 | 315 | 252 | 197 | 157 | 126 |

Tabla 2.9: Tmax T4 TMD/TMA

| | In | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 |
|----------|----------------|-------|-------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 20 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 |
| | I _Δ | 320 A | 10 In | 10 In | 5...10 In | 5...10 In | 5...10 In | 5...10 In | 5...10 In | 5...10 In |
| S | SPE | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 14 | 14 | 9 | 11...5 | 9...4 | 7...3 | 5...3 | 4...2 | 3...2 |
| 2.5 | 2.5 | 23 | 23 | 14 | 18...9 | 14...7 | 12...6 | 9...5 | 7...4 | 6...3 |
| 4 | 4 | 36 | 36 | 23 | 29...14 | 23...12 | 18...9 | 14...7 | 12...6 | 9...5 |
| 6 | 6 | 54 | 54 | 35 | 43...22 | 35...17 | 28...14 | 22...11 | 17...9 | 14...7 |
| 10 | 10 | 90 | 90 | 58 | 72...36 | 58...29 | 46...23 | 36...18 | 29...14 | 23...12 |
| 16 | 16 | 144 | 144 | 92 | 115...58 | 92...46 | 74...37 | 58...29 | 46...23 | 37...18 |
| 25 | 16 | 176 | 176 | 113 | 141...70 | 113...56 | 90...45 | 70...35 | 56...28 | 45...23 |
| 35 | 16 | 198 | 198 | 127 | 158...79 | 127...63 | 101...51 | 79...40 | 63...32 | 51...25 |
| 50 | 25 | 300 | 300 | 192 | 240...120 | 192...96 | 154...77 | 120...60 | 96...48 | 77...38 |
| 70 | 35 | 420 | 420 | 269 | 336...168 | 269...135 | 215...108 | 168...84 | 135...67 | 108...54 |
| 95 | 50 | 590 | 590 | 378 | 472...236 | 378...189 | 302...151 | 236...118 | 189...94 | 151...76 |
| 120 | 70 | 717 | 717 | 459 | 574...287 | 459...229 | 367...184 | 287...143 | 229...115 | 184...92 |
| 150 | 95 | 891 | 891 | 570 | 713...356 | 570...285 | 456...228 | 356...178 | 285...143 | 228...114 |
| 185 | 95 | 905 | 905 | 579 | 724...362 | 579...290 | 463...232 | 362...181 | 290...145 | 232...116 |
| 240 | 120 | 1081 | 1081 | 692 | 865...432 | 692...346 | 554...277 | 432...216 | 346...173 | 277...138 |
| 300 | 150 | 1297 | 1297 | 830 | 1038...519 | 830...415 | 664...332 | 519...259 | 415...208 | 332...166 |

5 Protección de las personas

Sistema TN

Máxima longitud protegida con MCCB

Tabla 2.10: Tmax T5-T6 TMA

| | | T5 | T5 | T5 | T6 | T6 |
|-----|-----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | In | 400 | 500 | 630 | 800 |
| | | I ₃ | 5...10 In | 5...10 In | 5...10 In | 5...10 In |
| S | S _{PE} | | | | | |
| 1,5 | 1,5 | 3...1 | 2...1 | 2...1 | 1...1 | 1...1 |
| 2,5 | 2,5 | 5...2 | 4...2 | 3...1 | 2...1 | 2...1 |
| 4 | 4 | 7...4 | 6...3 | 5...2 | 4...2 | 3...1 |
| 6 | 6 | 11...5 | 9...4 | 7...3 | 5...3 | 4...2 |
| 10 | 10 | 18...9 | 14...7 | 12...6 | 9...5 | 7...4 |
| 16 | 16 | 29...14 | 23...12 | 18...9 | 15...7 | 12...6 |
| 25 | 16 | 35...18 | 28...14 | 23...11 | 18...9 | 14...7 |
| 35 | 16 | 40...20 | 32...16 | 25...13 | 20...10 | 16...8 |
| 50 | 25 | 60...30 | 48...24 | 38...19 | 31...15 | 24...12 |
| 70 | 35 | 84...42 | 67...34 | 54...27 | 43...21 | 34...17 |
| 95 | 50 | 118...59 | 94...47 | 76...38 | 60...30 | 47...24 |
| 120 | 70 | 143...72 | 115...57 | 92...46 | 73...36 | 57...29 |
| 150 | 95 | 178...89 | 143...71 | 114...57 | 91...45 | 71...36 |
| 185 | 95 | 181...90 | 145...72 | 116...58 | 92...46 | 72...36 |
| 240 | 120 | 216...108 | 173...86 | 138...69 | 110...55 | 86...43 |
| 300 | 150 | 259...130 | 208...104 | 166...83 | 132...66 | 104...52 |

Tabla 2.11: Tmax T2 con PR221 DS-LS

| | | T2 | T2 | T2 | T2 | T2 |
|-----|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | In | 25 | 63 | 100 | 160 |
| | | I ₃ | 5.5 In | 5.5 In | 5.5 In | 5.5 In |
| S | S _{PE} | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 79 | 31 | 12 | | |
| 2.5 | 2.5 | 131 | 52 | 21 | | |
| 4 | 4 | 210 | 84 | 33 | 21 | |
| 6 | 6 | 315 | 126 | 50 | 31 | 20 |
| 10 | 10 | 524 | 210 | 83 | 52 | 33 |
| 16 | 16 | 839 | 335 | 133 | 84 | 52 |
| 25 | 16 | 1023 | 409 | 162 | 102 | 64 |
| 35 | 16 | 1151 | 460 | 183 | 115 | 72 |
| 50 | 25 | 1747 | 699 | 277 | 175 | 109 |
| 70 | 35 | 2446 | 979 | 388 | 245 | 153 |
| 95 | 50 | 3434 | 1374 | 545 | 343 | 215 |
| 120 | 70 | 4172 | 1669 | 662 | 417 | 261 |
| 150 | 95 | 5183 | 2073 | 823 | 518 | 324 |
| 185 | 95 | 5265 | 2106 | 836 | 526 | 329 |

Nota: si el umbral de regulación de la función I es diferente del valor de referencia (5.5), se deberá multiplicar el valor de la longitud máxima protegida (MPL) por la razón entre el valor de referencia y el valor real del umbral.

5 Protección de las personas

Sistema TN

Máxima longitud protegida con MCCB

Tabla 2.12: Tmax T4-T5-T6 con PR221 - PR222 - PR223
Tmax T7 con PR231 - PR232 - PR331 - PR332

| | T4 | T4 | T4 | T4 | T5 | T5 | T5 | T6 | T6 | T6 | T7 | T7 | T7 | T7 | |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| In | 100 | 160 | 250 | 320 | 320 | 400 | 630 | 630 | 800 | 1000 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | |
| I ₃ | 6.5 In | |
| S | | | | | | | | | | | | | | | |
| S _{PE} | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,5 | 1,5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,5 | 2,5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 6 | 29 | 18 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 10 | 48 | 30 | 19 | | | | | | | | | | | |
| 16 | 16 | 77 | 48 | 31 | 24 | 24 | 19 | | | | | | | | |
| 25 | 16 | 94 | 59 | 38 | 30 | 30 | 24 | 15 | | | | | | | |
| 35 | 16 | 106 | 66 | 43 | 33 | 33 | 27 | 17 | | | | | | | |
| 50 | 25 | 161 | 101 | 65 | 50 | 40 | 26 | 26 | 20 | 20 | | | | | |
| 70 | 35 | 226 | 141 | 90 | 71 | 71 | 56 | 36 | 36 | 28 | 23 | 28 | 23 | 18 | 14 |
| 95 | 50 | 317 | 198 | 127 | 99 | 99 | 79 | 50 | 50 | 40 | 32 | 40 | 32 | 25 | 20 |
| 120 | 70 | 385 | 241 | 154 | 120 | 120 | 96 | 61 | 61 | 48 | 39 | 48 | 39 | 31 | 24 |
| 150 | 95 | 478 | 299 | 191 | 150 | 150 | 120 | 76 | 76 | 60 | 48 | 60 | 48 | 38 | 30 |
| 185 | 95 | 486 | 304 | 194 | 152 | 152 | 121 | 77 | 77 | 61 | 49 | 61 | 49 | 39 | 30 |
| 240 | 120 | 581 | 363 | 232 | 181 | 181 | 145 | 92 | 92 | 73 | 58 | 73 | 58 | 46 | 36 |
| 300 | 150 | 697 | 435 | 279 | 218 | 218 | 174 | 111 | 111 | 87 | 70 | 87 | 70 | 55 | 43 |

Nota: si el umbral de regulación de la función I es diferente del valor de referencia (6.5), se deberá multiplicar el valor de la longitud máxima protegida (MPL) por la razón entre el valor de referencia y el valor real del umbral.

5 Protección de las personas

Sistema IT

Máxima longitud protegida con MCB con curva Z

Tabla 3.1: con curva Z

| CURVA | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z | Z |
|----------------|-----------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| In | ≤8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | |
| I _s | 30 | 30 | 39 | 48 | 60 | 75 | 96 | 120 | 150 | 189 | |
| S | S _{PE} | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 150 | 150 | 115 | 94 | 75 | 60 | 47 | 37 | | |
| 2.5 | 2.5 | 250 | 250 | 192 | 156 | 125 | 100 | 78 | 62 | 50 | 40 |
| 4 | 4 | 400 | 400 | 307 | 250 | 200 | 160 | 125 | 100 | 80 | 63 |
| 6 | 6 | 599 | 599 | 461 | 375 | 300 | 240 | 187 | 150 | 120 | 95 |
| 10 | 10 | 999 | 999 | 768 | 624 | 499 | 400 | 312 | 250 | 200 | 159 |
| 16 | 16 | 1598 | 1598 | 1229 | 999 | 799 | 639 | 499 | 400 | 320 | 254 |
| 25 | 16 | 1949 | 1949 | 1499 | 1218 | 974 | 780 | 609 | 487 | 390 | 309 |

Tabla 3.2: con curva B

| CURVA | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B | B |
|----------------|-----------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| In | ≤6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 |
| I _s | 30 | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| S | S _{PE} | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 150 | 112 | 90 | 69 | 56 | 45 | 36 | 28 | 22 | | | |
| 2.5 | 2.5 | 250 | 187 | 150 | 115 | 94 | 75 | 60 | 47 | 37 | 30 | 24 | |
| 4 | 4 | 400 | 300 | 240 | 184 | 150 | 120 | 96 | 75 | 60 | 48 | 38 | 30 |
| 6 | 6 | 599 | 449 | 360 | 277 | 225 | 180 | 144 | 112 | 90 | 72 | 57 | 45 |
| 10 | 10 | 999 | 749 | 599 | 461 | 375 | 300 | 240 | 187 | 150 | 120 | 95 | 75 |
| 16 | 16 | 1598 | 1199 | 959 | 738 | 599 | 479 | 384 | 300 | 240 | 192 | 152 | 120 |
| 25 | 16 | 1949 | 1462 | 1169 | 899 | 731 | 585 | 468 | 365 | 292 | 234 | 186 | 146 |
| 35 | 16 | | | | | | | | | | | | 165 |
| | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 3.3: con curva C

| CURVA | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
|----------------|-----------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| In | ≤3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 |
| I _s | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 130 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| S | S _{PE} | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 150 | 112 | 75 | 56 | 45 | 35 | 28 | 22 | 18 | 14 | 11 | | | |
| 2.5 | 2.5 | 250 | 187 | 125 | 94 | 75 | 58 | 47 | 37 | 30 | 23 | 19 | 15 | 12 | |
| 4 | 4 | 400 | 300 | 200 | 150 | 120 | 92 | 75 | 60 | 48 | 37 | 30 | 24 | 19 | 15 |
| 6 | 6 | 599 | 449 | 300 | 225 | 180 | 138 | 112 | 90 | 72 | 56 | 45 | 36 | 29 | 22 |
| 10 | 10 | 999 | 749 | 499 | 375 | 300 | 230 | 187 | 150 | 120 | 94 | 75 | 60 | 48 | 37 |
| 16 | 16 | 1598 | 1199 | 799 | 599 | 479 | 369 | 300 | 240 | 192 | 150 | 120 | 96 | 76 | 60 |
| 25 | 16 | 1949 | 1462 | 974 | 731 | 585 | 450 | 365 | 292 | 234 | 183 | 146 | 117 | 93 | 73 |
| 35 | 16 | | | | | | | | | | | | | | 82 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

5 Protección de las personas

Sistema IT

Máxima longitud protegida con MCB con curva Z

Tabla 3.4: con curva K

| CURVA | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K | K |
|----------------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| In | ≤2 | ≤3 | 4 | 4.2 | 5.8 | 6 | 8 | 10 | 11 | 13 | 15 | 16 | 20 | 25 | 26 | 32 | 37 | 40 | 41 | 45 | 50 | 63 | |
| I _s | 28 | 42 | 56 | 59 | 81 | 84 | 112 | 140 | 154 | 182 | 210 | 224 | 280 | 350 | 364 | 448 | 518 | 560 | 574 | 630 | 700 | 882 | |
| 1.5 | 1.5 | 161 | 107 | 80 | 76 | 55 | 54 | 40 | 32 | 29 | 25 | 21 | 20 | 16 | 13 | 12 | 10 | 9 | 8 | | | | |
| 2.5 | 2.5 | 268 | 178 | 134 | 127 | 92 | 89 | 67 | 54 | 49 | 41 | 36 | 33 | 27 | 21 | 21 | 17 | 14 | 13 | 13 | 12 | | |
| 4 | 4 | 428 | 285 | 214 | 204 | 148 | 143 | 107 | 86 | 78 | 66 | 57 | 54 | 43 | 34 | 33 | 27 | 23 | 21 | 21 | 19 | 17 | 14 |
| 6 | 6 | 642 | 428 | 321 | 306 | 221 | 214 | 161 | 128 | 117 | 99 | 86 | 80 | 64 | 51 | 49 | 40 | 35 | 32 | 31 | 29 | 26 | 20 |
| 10 | 10 | 1070 | 713 | 535 | 510 | 369 | 357 | 268 | 214 | 195 | 165 | 143 | 134 | 107 | 86 | 82 | 67 | 58 | 54 | 52 | 48 | 43 | 34 |
| 16 | 16 | 1712 | 1141 | 856 | 815 | 590 | 571 | 428 | 342 | 311 | 263 | 228 | 214 | 171 | 137 | 132 | 107 | 93 | 86 | 84 | 76 | 68 | 54 |
| 25 | 16 | 2088 | 1392 | 1044 | 994 | 720 | 696 | 522 | 418 | 380 | 321 | 278 | 261 | 209 | 167 | 161 | 130 | 113 | 104 | 102 | 93 | 84 | 66 |

Tabla 3.5: con curva D

| CURVA | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D | D |
|----------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----|
| In | ≤2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | |
| I _s | 40 | 60 | 80 | 120 | 160 | 200 | 260 | 320 | 400 | 500 | 640 | 800 | 1000 | 1260 | 1600 | 2000 | |
| 1.5 | 1.5 | 112 | 75 | 56 | 37 | 28 | 22 | 17 | 14 | 11 | 9 | 7 | 6 | | | | |
| 2.5 | 2.5 | 187 | 125 | 94 | 62 | 47 | 37 | 29 | 23 | 19 | 15 | 12 | 9 | 7 | 6 | | |
| 4 | 4 | 300 | 200 | 150 | 100 | 75 | 60 | 46 | 37 | 30 | 24 | 19 | 15 | 12 | 10 | 7 | 6 |
| 6 | 6 | 449 | 300 | 225 | 150 | 112 | 90 | 69 | 56 | 45 | 36 | 28 | 22 | 18 | 14 | 11 | 9 |
| 10 | 10 | 749 | 499 | 375 | 250 | 187 | 150 | 115 | 94 | 75 | 60 | 47 | 37 | 30 | 24 | 19 | 15 |
| 16 | 16 | 1199 | 799 | 599 | 400 | 300 | 240 | 184 | 150 | 120 | 96 | 75 | 60 | 48 | 38 | 30 | 24 |
| 25 | 16 | 1462 | 974 | 731 | 487 | 365 | 292 | 225 | 183 | 146 | 117 | 91 | 73 | 58 | 46 | 37 | 29 |
| 35 | | | | | | | | | | | | | | | | 41 | 33 |

5 Protección de las personas

Sistema IT

Máxima longitud protegida con MCCB

Tabla 3.6: Tmax T1 TMD

| | | T1 | T1 | T1 | T1 | T1 | T1 |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| In | | ≤50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| Is | | 500 A | 10 In |
| S | SPE | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 5 | | | | | |
| 2.5 | 2.5 | 8 | | | | | |
| 4 | 4 | 13 | 11 | 8 | 7 | 5 | |
| 6 | 6 | 20 | 16 | 12 | 10 | 8 | 6 |
| 10 | 10 | 33 | 26 | 21 | 17 | 13 | 10 |
| 16 | 16 | 53 | 42 | 33 | 27 | 21 | 17 |
| 25 | 16 | 65 | 52 | 41 | 32 | 26 | 20 |
| 35 | 16 | 73 | 58 | 46 | 37 | 29 | 23 |
| 50 | 25 | 111 | 88 | 69 | 55 | 44 | 35 |
| 70 | 35 | 155 | 123 | 97 | 78 | 62 | 49 |
| 95 | 50 | 218 | 173 | 136 | 109 | 87 | 68 |

Tabla 3.7: Tmax T2 TMD

| | | T2 | | | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| In | | 1.6 | 2 | 2.5 | 3.2 | 4 | 5 | 6.3 | 8 | 10 | 12.5 | 16+50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | | | | | | | | |
| Is | | 10 In | 500 A | 10 In | | | | | | | | |
| S | SPE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 213 | 170 | 136 | 106 | 85 | 68 | 54 | 43 | 34 | 27 | 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | 2.5 | 355 | 284 | 227 | 177 | 142 | 113 | 90 | 71 | 57 | 45 | 11 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 4 | 567 | 454 | 363 | 284 | 227 | 182 | 144 | 113 | 91 | 73 | 18 | 14 | 11 | 9 | 7 | | | | | | | | | |
| 6 | 6 | 851 | 681 | 545 | 426 | 340 | 272 | 216 | 170 | 136 | 109 | 27 | 22 | 17 | 14 | 11 | 9 | | | | | | | | |
| 10 | 10 | 1419 | 1135 | 908 | 709 | 567 | 454 | 360 | 284 | 227 | 182 | 45 | 36 | 28 | 23 | 18 | 14 | | | | | | | | |
| 16 | 16 | 2270 | 1816 | 1453 | 1135 | 908 | 726 | 576 | 454 | 363 | 291 | 73 | 58 | 45 | 36 | 29 | 23 | | | | | | | | |
| 25 | 16 | | | | | 1384 | 1107 | 886 | 703 | 554 | 443 | 354 | 89 | 70 | 55 | 44 | 35 | 28 | | | | | | | |
| 35 | 16 | | | | | | | 997 | 791 | 623 | 498 | 399 | 100 | 79 | 62 | 50 | 40 | 31 | | | | | | | |
| 50 | 25 | | | | | | | | | 946 | 757 | 605 | 151 | 120 | 95 | 76 | 61 | 47 | | | | | | | |
| 70 | 35 | | | | | | | | | | | 847 | 212 | 168 | 132 | 106 | 85 | 66 | | | | | | | |
| 95 | 50 | | | | | | | | | | | | | 297 | 236 | 186 | 149 | 119 | 93 | | | | | | |
| 120 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | 361 | 287 | 226 | 181 | 145 | 113 | | | | |
| 150 | 95 | | | | | | | | | | | | | | | | | 449 | 356 | 281 | 224 | 180 | 140 | | |
| 185 | 95 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 456 | 362 | 285 | 228 | 182 | 142 |

5 Protección de las personas

Sistema IT

Máxima longitud protegida con Mccb

Tabla 3.8: Tmax T3 TMD

| | | T3 |
|----------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| In | | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 |
| I ₃ | | 10 In |
| S | SPE | | | | | | | |
| 4 | 4 | 14 | 11 | 9 | 7 | | | |
| 6 | 6 | 22 | 17 | 14 | 11 | 9 | 7 | |
| 10 | 10 | 36 | 28 | 23 | 18 | 14 | 11 | 9 |
| 16 | 16 | 58 | 45 | 36 | 29 | 23 | 18 | 15 |
| 25 | 16 | 70 | 55 | 44 | 35 | 28 | 22 | 18 |
| 35 | 16 | 79 | 62 | 50 | 40 | 31 | 25 | 20 |
| 50 | 25 | 120 | 95 | 76 | 61 | 47 | 38 | 30 |
| 70 | 35 | 168 | 132 | 106 | 85 | 66 | 53 | 42 |
| 95 | 50 | 236 | 186 | 149 | 119 | 93 | 74 | 59 |
| 120 | 70 | 287 | 226 | 181 | 145 | 113 | 90 | 72 |
| 150 | 95 | 356 | 281 | 224 | 180 | 140 | 112 | 90 |
| 185 | 95 | 362 | 285 | 228 | 182 | 142 | 114 | 91 |
| 240 | 120 | 432 | 340 | 272 | 218 | 170 | 136 | 109 |

Tabla 3.9: Tmax T4 TMD/TMA

| | | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 | T4 | |
|----------------|-----|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| In | | 20 | 32 | 50 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 |
| I ₃ | | 320 A | 10 In | 10 In | 5...10 In |
| S | SPE | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 12 | 12 | 7 | 9...5 | 7...4 | 6...3 | 5...2 | 4...2 | 3...1 |
| 2.5 | 2.5 | 20 | 20 | 12 | 16...8 | 12...6 | 10...5 | 8...4 | 6...3 | 5...2 |
| 4 | 4 | 31 | 31 | 20 | 25...12 | 20...10 | 16...8 | 12...6 | 10...5 | 8...4 |
| 6 | 6 | 47 | 47 | 30 | 37...19 | 30...15 | 24...12 | 19...9 | 15...7 | 12...6 |
| 10 | 10 | 78 | 78 | 50 | 62...31 | 50...25 | 40...20 | 31...16 | 25...12 | 20...10 |
| 16 | 16 | 125 | 125 | 80 | 100...50 | 80...40 | 64...32 | 50...25 | 40...20 | 32...16 |
| 25 | 16 | 152 | 152 | 97 | 122...61 | 97...49 | 78...39 | 61...30 | 49...24 | 39...19 |
| 35 | 16 | 171 | 171 | 110 | 137...69 | 110...55 | 88...44 | 69...34 | 55...27 | 44...22 |
| 50 | 25 | 260 | 260 | 166 | 208...104 | 166...83 | 133...67 | 104...52 | 83...42 | 67...33 |
| 70 | 35 | 364 | 364 | 233 | 291...146 | 233...117 | 186...93 | 146...73 | 117...58 | 93...47 |
| 95 | 50 | 511 | 511 | 327 | 409...204 | 327...164 | 262...131 | 204...102 | 164...82 | 131...65 |
| 120 | 70 | 621 | 621 | 397 | 497...248 | 397...199 | 318...159 | 248...124 | 199...99 | 159...79 |
| 150 | 95 | 772 | 772 | 494 | 617...309 | 494...247 | 395...198 | 309...154 | 247...123 | 198...99 |
| 185 | 95 | 784 | 784 | 502 | 627...313 | 502...251 | 401...201 | 313...157 | 251...125 | 201...100 |
| 240 | 120 | 936 | 936 | 599 | 749...375 | 599...300 | 479...240 | 375...187 | 300...150 | 240...120 |
| 300 | 150 | 1124 | 1124 | 719 | 899...449 | 719...360 | 575...288 | 449...225 | 360...180 | 288...144 |

5 Protección de las personas

Sistema IT

Máxima longitud protegida con MCCB

Tabla 3.10: Tmax T5-T6 TMA

| In | I ₃ | T5 | T5 | T5 | T6 | T6 |
|-----|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 320 | 400 | 500 | 630 | 800 |
| | | 5...10 In |
| S | SPE | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 2...1 | 2...1 | 1...1 | 1...1 | |
| 2.5 | 2.5 | 4...2 | 3...2 | 2...1 | 2...1 | 2...1 |
| 4 | 4 | 6...3 | 5...2 | 4...2 | 3...2 | 2...1 |
| 6 | 6 | 9...5 | 7...4 | 6...3 | 5...2 | 4...2 |
| 10 | 10 | 16...8 | 12...6 | 10...5 | 8...4 | 6...3 |
| 16 | 16 | 25...12 | 20...10 | 16...8 | 13...6 | 10...5 |
| 25 | 16 | 30...15 | 24...12 | 19...10 | 15...8 | 12...6 |
| 35 | 16 | 34...17 | 27...14 | 22...11 | 17...9 | 14...7 |
| 50 | 25 | 52...26 | 42...21 | 33...17 | 26...13 | 21...10 |
| 70 | 35 | 73...36 | 58...29 | 47...23 | 37...18 | 29...15 |
| 95 | 50 | 102...51 | 82...41 | 65...33 | 52...26 | 41...20 |
| 120 | 70 | 124...62 | 99...50 | 79...40 | 63...32 | 50...25 |
| 150 | 95 | 154...77 | 123...62 | 99...49 | 78...39 | 62...31 |
| 185 | 95 | 157...78 | 125...63 | 100...50 | 80...40 | 63...31 |
| 240 | 120 | 187...94 | 150...75 | 120...60 | 95...48 | 75...37 |
| 300 | 150 | 225...112 | 180...90 | 144...72 | 114...57 | 90...45 |

Tabla 3.11: Tmax T2 con PR221 DS-LS

| In | I ₃ | T2 | T2 | T2 | T2 | T2 |
|-----|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 10 | 25 | 63 | 100 | 160 |
| | | 5.5 In |
| S | SPE | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | 68 | 27 | 11 | | |
| 2.5 | 2.5 | 113 | 45 | 18 | | |
| 4 | 4 | 182 | 73 | 29 | 18 | |
| 6 | 6 | 272 | 109 | 43 | 27 | 17 |
| 10 | 10 | 454 | 182 | 72 | 45 | 28 |
| 16 | 16 | 726 | 291 | 115 | 73 | 45 |
| 25 | 16 | 886 | 354 | 141 | 89 | 55 |
| 35 | 16 | 997 | 399 | 158 | 100 | 62 |
| 50 | 25 | 1513 | 605 | 240 | 151 | 95 |
| 70 | 35 | 2119 | 847 | 336 | 212 | 132 |
| 95 | 50 | 2974 | 1190 | 472 | 297 | 186 |
| 120 | 70 | 3613 | 1445 | 573 | 361 | 226 |
| 150 | 95 | 4489 | 1796 | 713 | 449 | 281 |
| 185 | 95 | 4559 | 1824 | 724 | 456 | 285 |

Nota: si el umbral de regulación de la función I es diferente del valor de referencia (5.5), se deberá multiplicar el valor de la longitud máxima protegida (MPL) por la razón entre el valor de referencia y el valor real del umbral.

5 Protección de las personas

Sistema IT

Máxima longitud protegida con MCCB **Tabla 3.12: Tmax T4-T5-T6 con PR221 - PR222 - PR223**
Tmax T7 con PR231-PR232-PR331-PR332

| | T4 | T4 | T4 | T4 | T5 | T5 | T5 | T6 | T6 | T6 | T7 | T7 | T7 | T7 |
|----------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| In | 100 | 160 | 250 | 320 | 320 | 400 | 630 | 630 | 800 | 1000 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 |
| I ₃ | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In |
| S | S_{PE} | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | 2.5 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 6 | 25 | 16 | | | | | | | | | | | |
| 10 | 10 | 42 | 26 | 17 | | | | | | | | | | |
| 16 | 16 | 67 | 42 | 27 | 21 | 21 | 17 | | | | | | | |
| 25 | 16 | 82 | 51 | 33 | 26 | 26 | 20 | 13 | 13 | | | | | |
| 35 | 16 | 92 | 58 | 37 | 29 | 29 | 23 | 15 | 15 | 12 | | 12 | | |
| 50 | 25 | 140 | 87 | 56 | 44 | 44 | 35 | 22 | 22 | 17 | 14 | 17 | | |
| 70 | 35 | 196 | 122 | 78 | 61 | 61 | 49 | 31 | 31 | 24 | 20 | 24 | 19 | 16 |
| 95 | 50 | 275 | 172 | 110 | 86 | 86 | 69 | 44 | 44 | 34 | 27 | 34 | 27 | 22 |
| 120 | 70 | 333 | 208 | 133 | 104 | 104 | 83 | 53 | 53 | 42 | 33 | 42 | 33 | 26 |
| 150 | 95 | 414 | 259 | 166 | 129 | 129 | 104 | 66 | 66 | 52 | 41 | 52 | 41 | 33 |
| 185 | 95 | 421 | 263 | 168 | 132 | 132 | 105 | 67 | 67 | 53 | 42 | 53 | 42 | 33 |
| 240 | 120 | 503 | 314 | 201 | 157 | 157 | 126 | 80 | 80 | 63 | 50 | 63 | 50 | 40 |
| 300 | 150 | 603 | 377 | 241 | 189 | 189 | 151 | 96 | 96 | 75 | 60 | 75 | 60 | 48 |

Note: si el umbral de regulación de la función I es diferente del valor de referencia (6.5), se deberá multiplicar el valor de la longitud máxima protegida (MPL) por la razón entre el valor de referencia y el valor real del umbral.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.1 Generalidades

El cortocircuito es un defecto de impedancia despreciable entre partes activas, que en condiciones normales están a distinto potencial.

6.2 Tipos de fallos

Tipos de defectos

En una red trifásica pueden presentarse los siguientes tipos de defecto:

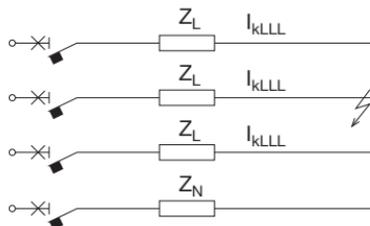
- defecto trifásico
- defecto bifásico
- defecto fase-neutro
- defecto fase-PE.

En las fórmulas se utilizan los siguientes símbolos:

- I_k corriente de cortocircuito
- U_f tensión asignada
- Z_L impedancia de línea
- Z_N impedancia del neutro
- Z_{PE} impedancia del conductor de protección.

La siguiente tabla muestra de forma resumida los tipos de defectos y las relaciones entre el valor de la corriente de cortocircuito por defecto simétrico (trifásico) y la corriente de cortocircuito por defecto asimétrico (bifásico y monofásico) debidos a defectos alejados de generadores. Para un cálculo más preciso, se aconseja el uso del software DOCWin.

Defecto trifásico

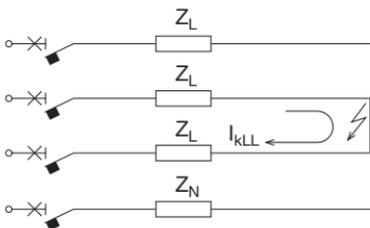


$$I_{kLLL} = \frac{U_f}{\sqrt{3} Z_L}$$

donde

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

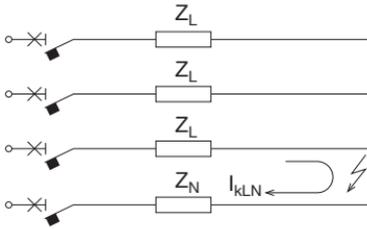
Defecto bifásico



$$I_{kLL} = \frac{U_f}{2Z_L} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{kLLL} = 0.87 I_{kLLL}$$

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Defecto fase-neutro



$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)}$$

Si $Z_L = Z_N$ (sección del neutro igual a la de la fase):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0.5 I_{kLLL}$$

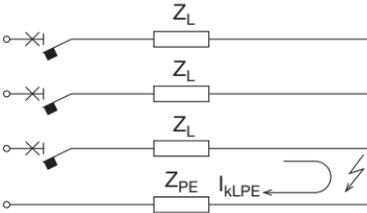
Si $Z_N = 2Z_L$ (sección del neutro mitad de la fase):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0.33 I_{kLLL}$$

Si $Z_N = 0$ condición límite:

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L)} = I_{kLLL}$$

Defecto fase-PE



$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})}$$

Si $Z_L = Z_{PE}$ (sección del conductor de protección igual a la de la fase):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0.5 I_{kLLL}$$

Si $Z_{PE} = 2Z_L$ (sección del conductor de protección mitad de la fase):

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0.33 I_{kLLL}$$

Si $Z_{PE} = 0$ caso límite:

$$I_{kLPE} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_{PE})} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L)} = I_{kLLL}$$

La siguiente tabla permite calcular de forma rápida el valor aproximado de una corriente de cortocircuito.

| Nota | Cortocircuito trifásico | Cortocircuito bifásico | Cortocircuito fase-neutro | Cortocircuito fase-PE (sistemas TN) |
|------------|--|---|--|--|
| I_{kLLL} | I_{kLLL} | $I_{kLL} = 0.87 I_{kLLL}$ | $I_{kLN} = 0.5 I_{kLLL}$ ($Z_L = Z_N$) $I_{kLN} = 0.33 I_{kLLL}$ ($Z_L = 0.5 Z_N$) $I_{kLN} = I_{kLLL}$ ($Z_N = 0$) | $I_{kLPE} = 0.5 I_{kLLL}$ ($Z_L = Z_{PE}$) $I_{kLPE} = 0.33 I_{kLLL}$ ($Z_L = 0.5 Z_{PE}$) $I_{kLPE} = I_{kLLL}$ ($Z_{PE} = 0$) |
| I_{kLL} | $I_{kLLL} = 1.16 I_{kLL}$ | - | $I_{kLN} = 0.58 I_{kLL}$ ($Z_L = Z_N$) $I_{kLN} = 0.38 I_{kLL}$ ($Z_L = 0.5 Z_N$) $I_{kLN} = 1.16 I_{kLL}$ ($Z_N = 0$) | $I_{kLPE} = 0.58 I_{kLL}$ ($Z_L = Z_{PE}$) $I_{kLPE} = 0.38 I_{kLL}$ ($Z_L = 0.5 Z_{PE}$) $I_{kLPE} = 1.16 I_{kLL}$ ($Z_{PE} = 0$) |
| I_{kLN} | $I_{kLLL} = 2 I_{kLN}$ ($Z_L = Z_N$) $I_{kLLL} = 3 I_{kLN}$ ($Z_L = 2 Z_N$) $I_{kLLL} = I_{kLN}$ ($Z_N = 0$) | $I_{kLL} = 1.73 I_{kLN}$ ($Z_L = Z_N$) $I_{kLL} = 2.6 I_{kLN}$ ($Z_L = 2 Z_N$) $I_{kLL} = 0.87 I_{kLN}$ ($Z_N = 0$) | - | |

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.3 Determinación de la corriente de cortocircuito: “método de las potencias”

La corriente de cortocircuito se puede determinar utilizando el “método de las potencias”. Este método permite determinar de forma sencilla la corriente de cortocircuito en un punto de la instalación que, por lo general, ofrece un valor aceptable. Sin embargo, este método no es fiable y ofrece valores más precisos cuanto más similares son los factores de potencia de los componentes considerados (red, generadores, transformadores, motores y cables de gran sección, etc.).

El “método de la potencia de cortocircuito” calcula la corriente de cortocircuito I_k a partir de la fórmula:

$$\text{Cortocircuito trifásico} \quad I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

$$\text{Cortocircuito bifásico} \quad I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

donde:

- S_k es la potencia aparente de cortocircuito vista desde el punto de defecto
- U_r es la tensión asignada.

Para determinar la potencia aparente de cortocircuito S_k se deben considerar todos los componentes de la red, que pueden ser:

- componentes que facilitan un aporte a la corriente de cortocircuito: red, generadores, motores;
- componentes que limitan o reducen el valor de la corriente de cortocircuito: conductores y transformadores.

El procedimiento para calcular la corriente de cortocircuito contempla las siguientes fases:

1. cálculo de la potencia de cortocircuito de los diversos componentes de la instalación
2. cálculo de la potencia de cortocircuito en el punto de defecto
3. cálculo de la corriente de cortocircuito.

6.3.1 Cálculo de la corriente de cortocircuito para los diversos componentes de la instalación

Primero hay que determinar la potencia aparente de cortocircuito S_k para todos los componentes que conforman la instalación:

Red

Por red eléctrica se considera todo lo que se encuentra aguas arriba del punto de suministro de energía.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Generalmente la compañía suministradora de energía facilita como dato la potencia aparente de cortocircuito S_{knet} en el punto de suministro; en cambio, si facilitara el valor de la corriente de cortocircuito I_{knet} , el valor de la potencia se podrá deducir, para un sistema trifásico, a través de la siguiente fórmula:

$$S_{knet} = \sqrt{3} U_r I_{knet}$$

donde U_r es la tensión asignada en el punto de suministro de la energía.

Si los referidos datos no resultaran disponibles, como referencia podrán considerarse los valores de S_{knet} que se indican en la siguiente tabla:

| Tensión asignada de red U_r [kV] | Potencia aparente de cortocircuito S_{knet} [MVA] |
|------------------------------------|---|
| U_p to 20 | 500 |
| U_p to 32 | 750 |
| U_p to 63 | 1000 |

Generador

La potencia de cortocircuito se obtiene de:

$$S_{kgen} = \frac{S_r \cdot 100}{X_{d\%}}$$

donde $X_{d\%}$ es el valor porcentual de la reactancia subtransitoria ($X_{d'}$), la reactancia transitoria ($X_{d''}$) o la reactancia síncrona (X_d), en base al instante en el cual se pretenda evaluar el valor de la potencia de cortocircuito.

Las reactancias en general se expresan en porcentaje de la impedancia asignada del generador, dada por:

$$Z_d = \frac{U_r^2}{S_r}$$

donde U_r y S_r son la tensión asignada y la potencia asignada del generador. Los valores típicos pueden ser:

- $X_{d'}$ de 10 % a 20 %;
- $X_{d''}$ de 15 % a 40 %;
- X_d de 80 % a 300 %.

Normalmente se considera la condición más desfavorable; es decir, se utiliza la reactancia subtransitoria.

La siguiente tabla facilita algunos valores aproximados de la potencia de cortocircuito de los generadores ($X_{d'} = 12.5\%$):

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| S_r [kVA] | 50 | 63 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3200 | 4000 |
| S_{kgen} [MVA] | 0.4 | 0.5 | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 2.0 | 2.6 | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 6.4 | 8.0 | 10.0 | 12.8 | 16.0 | 20.0 | 25.6 | 32.0 |

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Motores asíncronos trifásicos

En caso de cortocircuito, los motores eléctricos proporcionan un aporte por un breve periodo (5-6 periodos).

La potencia puede calcularse en función de la corriente de cortocircuito del motor (I_k) a través de la siguiente ecuación:

$$S_{k\text{mot}} = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_k$$

Valores típicos son:

$$S_{k\text{mot}} = 5-7 S_{\text{mot}}$$

(típicamente I_k vale alrededor de 5-7 I_{mot} : 5 para motores de poca potencia y 7 para motores de potencia más elevada).

Transformadores

La potencia de cortocircuito del transformador $S_{k\text{trafo}}$ se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S_{k\text{trafo}} = \frac{100}{u_k \%} \cdot S_r$$

La siguiente tabla facilita algunos valores aproximados de la potencia de cortocircuito de los transformadores:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| S_r [kVA] | 50 | 63 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3200 | 4000 |
| u_k % | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| $S_{k\text{trafo}}$ [MVA] | 1.3 | 1.6 | 3.1 | 4 | 5 | 6.3 | 8 | 10 | 12.5 | 15.8 | 16 | 20 | 25 | 26.7 | 33.3 | | | |

Cables

La potencia de cortocircuito de los cables, es:

$$S_{k\text{cable}} = \frac{U_r^2}{Z_c}$$

donde la impedancia del cable Z_c es:

$$I_{k\text{LLL}} = \frac{U_r}{\sqrt{3} Z_L}$$

donde

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

La siguiente tabla facilita algunos valores aproximados de la potencia de cortocircuito de los cables, a 50 Hz y a 60 Hz, en función de la tensión de alimentación (longitud del cable = 10 m):

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

| S [mm ²] | 230 [V] | 400 [V] | 440 [V] | 500 [V] | 690 [V] | 230 [V] | 400 [V] | 440 [V] | 500 [V] | 690 [V] |
|----------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | S _{kcable} [MVA] @50 Hz | | | | | S _{kcable} [MVA] @60 Hz | | | | |
| 1.5 | 0.44 | 1.32 | 1.60 | 2.07 | 3.94 | 0.44 | 1.32 | 1.60 | 2.07 | 3.94 |
| 2.5 | 0.73 | 2.20 | 2.66 | 3.44 | 6.55 | 0.73 | 2.20 | 2.66 | 3.44 | 6.55 |
| 4 | 1.16 | 3.52 | 4.26 | 5.50 | 10.47 | 1.16 | 3.52 | 4.26 | 5.50 | 10.47 |
| 6 | 1.75 | 5.29 | 6.40 | 8.26 | 15.74 | 1.75 | 5.29 | 6.40 | 8.26 | 15.73 |
| 10 | 2.9 | 8.8 | 10.6 | 13.8 | 26.2 | 2.9 | 8.8 | 10.6 | 13.7 | 26.2 |
| 16 | 4.6 | 14.0 | 16.9 | 21.8 | 41.5 | 4.6 | 13.9 | 16.9 | 21.8 | 41.5 |
| 25 | 7.2 | 21.9 | 26.5 | 34.2 | 65.2 | 7.2 | 21.9 | 26.4 | 34.1 | 65.0 |
| 35 | 10.0 | 30.2 | 36.6 | 47.3 | 90.0 | 10.0 | 30.1 | 36.4 | 47.0 | 89.6 |
| 50 | 13.4 | 40.6 | 49.1 | 63.4 | 120.8 | 13.3 | 40.2 | 48.7 | 62.9 | 119.8 |
| 70 | 19.1 | 57.6 | 69.8 | 90.1 | 171.5 | 18.8 | 56.7 | 68.7 | 88.7 | 168.8 |
| 95 | 25.5 | 77.2 | 93.4 | 120.6 | 229.7 | 24.8 | 75.0 | 90.7 | 117.2 | 223.1 |
| 120 | 31.2 | 94.2 | 114.0 | 147.3 | 280.4 | 29.9 | 90.5 | 109.5 | 141.5 | 269.4 |
| 150 | 36.2 | 109.6 | 132.6 | 171.2 | 326.0 | 34.3 | 103.8 | 125.6 | 162.2 | 308.8 |
| 185 | 42.5 | 128.5 | 155.5 | 200.8 | 382.3 | 39.5 | 119.5 | 144.6 | 186.7 | 355.6 |
| 240 | 49.1 | 148.4 | 179.5 | 231.8 | 441.5 | 44.5 | 134.7 | 163.0 | 210.4 | 400.7 |
| 300 | 54.2 | 164.0 | 198.4 | 256.2 | 488.0 | 48.3 | 146.1 | 176.8 | 228.3 | 434.7 |

Con n cables en paralelo se deberá multiplicar el valor de la tabla por n.

Si la longitud del cable (L_{act}) es diferente de 10 metros, se deberá multiplicar el valor de la tabla por el siguiente coeficiente:

$$\frac{10}{L_{act}}$$

6.3.2 Cálculo de la potencia aparente de cortocircuito en un punto de la instalación

La regla para determinar la potencia de cortocircuito en un punto de la instalación, en función de la potencia de cortocircuito de los diversos componentes del circuito, es análoga a la referente al cálculo de la admitancia equivalente.

En particular:

- la potencia de componentes en serie equivale al inverso de la suma de los inversos de cada potencia (igual que para el paralelo de impedancias);

$$S_k = \frac{1}{\sum \frac{1}{S_i}}$$

- La potencia de cortocircuito de componentes en paralelo equivale a la suma de cada potencia de cortocircuito (igual que para la serie de impedancias).

$$S_k = \sum S_i$$

Los componentes del circuito se consideran en serie o en paralelo observando el circuito desde el punto de defecto.

En el caso de diversas ramas en paralelo, una vez calculada la corriente de cortocircuito en el punto de defecto, se deberá determinar la repartición del mismo en las diversas ramas de forma que se efectúe una correcta elección de los aparatos de protección instalados en las distintas ramas.

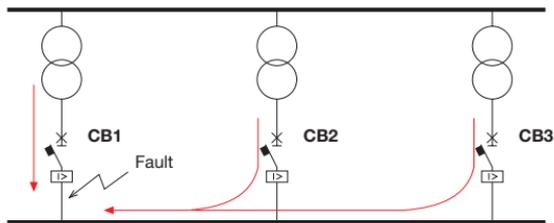
6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.3.3 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Para determinar la corriente de cortocircuito en una instalación, se deberá considerar el punto de defecto y la configuración del sistema que hace máxima la corriente de cortocircuito que circula a través del aparato; de precisarse, se considera el aporte de los motores.

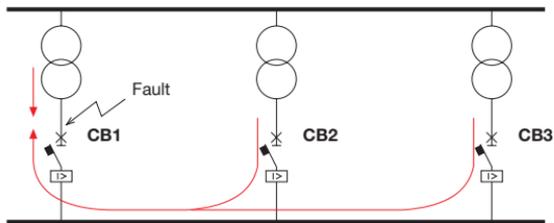
Por ejemplo, en el caso que se indica a continuación, para el interruptor automático CB1 la condición más pesada se presenta cuando el defecto se encuentra inmediatamente aguas arriba del propio interruptor automático. Para determinar el poder de corte del mismo, se deberá considerar el aporte de dos transformadores en paralelo.

Defecto inmediatamente aguas abajo de CB1



1SDC010050F0001

Defecto inmediatamente aguas arriba de CB1
(condición más pesada para CB1)



1SDC010051F0001

Tras haber determinado la potencia de cortocircuito equivalente en el punto de defecto, la corriente de cortocircuito se calcula mediante la siguiente fórmula:

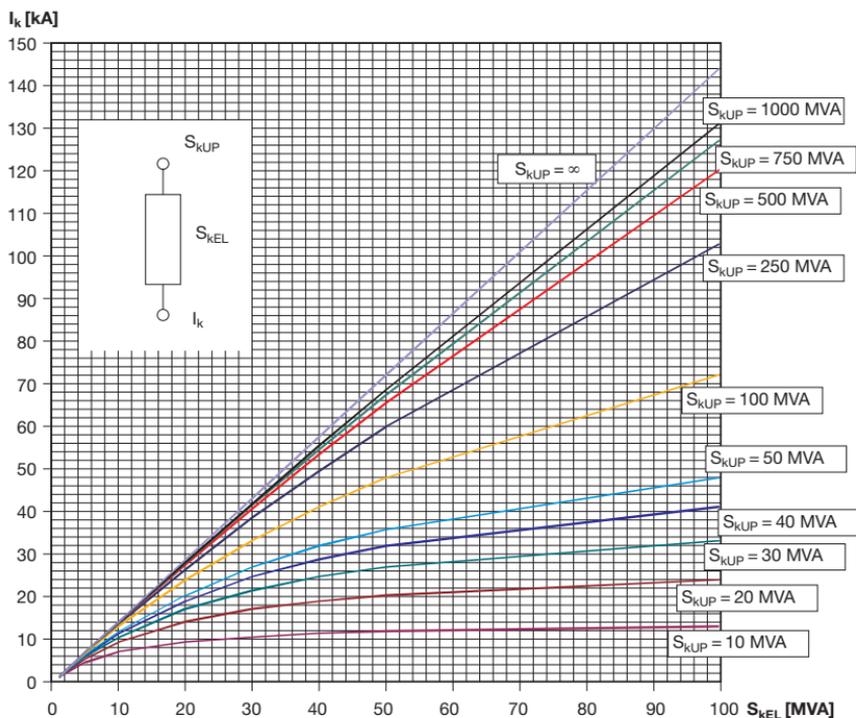
Cortocircuito trifásico
$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

Cortocircuito bifásico
$$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Como primera aproximación, es posible –utilizando el siguiente ábaco– calcular la corriente de cortocircuito trifásica aguas abajo de un objeto del cual se conoce el valor de la potencia de cortocircuito (S_{kEL}); en correspondencia con dicho valor y conocida la potencia de cortocircuito aguas arriba del objeto (S_{kUP}), en las ordenadas se lee el valor de I_k , expresado en kA, a 400 V.

Figura 1: Ábaco para el cálculo de la corriente de cortocircuito trifásica a 400 V



1SDC010062F0001

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.3.4 Ejemplos

Los siguientes ejemplos muestran el cálculo de la corriente de cortocircuito en algunos tipos de instalación.

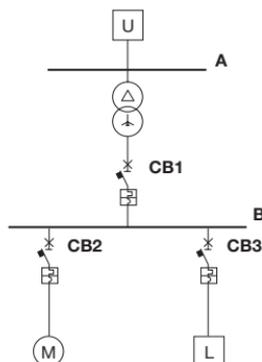
Ejemplo 1

Red aguas arriba: $U_r = 20000 \text{ V}$
 $S_{knet} = 500 \text{ MVA}$

Transformador: $S_r = 1600 \text{ kVA}$
 $u_k \% = 6\%$
 $U_{1r} / U_{2r} = 20000 / 400$

Motor: $P_r = 220 \text{ kW}$
 $I_{kmot} / I_r = 6.6$
 $\cos \varphi_r = 0.9$
 $\eta = 0.917$

Carga genérica: $I_{rL} = 1443.4 \text{ A}$
 $\cos \varphi_r = 0.9$



1SDCC010053P0001

Cálculo de las potencias de cortocircuito para los diversos componentes

Red: $S_{knet} = 500 \text{ MVA}$

Transformador: $S_{ktrafo} = \frac{100}{u_k \%} \cdot S_r = 26.7 \text{ MVA}$

Motor: $S_{rmot} = \frac{P_r}{\eta \cdot \cos \varphi_r} = 267 \text{ kVA}$

$S_{kmot} = 6.6 \cdot S_{rmot} = 1.76 \text{ MVA}$ para los primeros 5-6 períodos (aprox. 100 ms a 50Hz)

Cálculo de la corriente de cortocircuito para poder elegir los interruptores automáticos

Elección de CB1

Para el interruptor automático CB1, la condición más pesada es cuando el defecto se presenta inmediatamente aguas abajo del automático mismo; de hecho, en caso de defecto inmediatamente aguas arriba, a través del interruptor automático circularía sólo la corriente de defecto procedente del motor, la cual es considerablemente inferior al aporte de la red.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

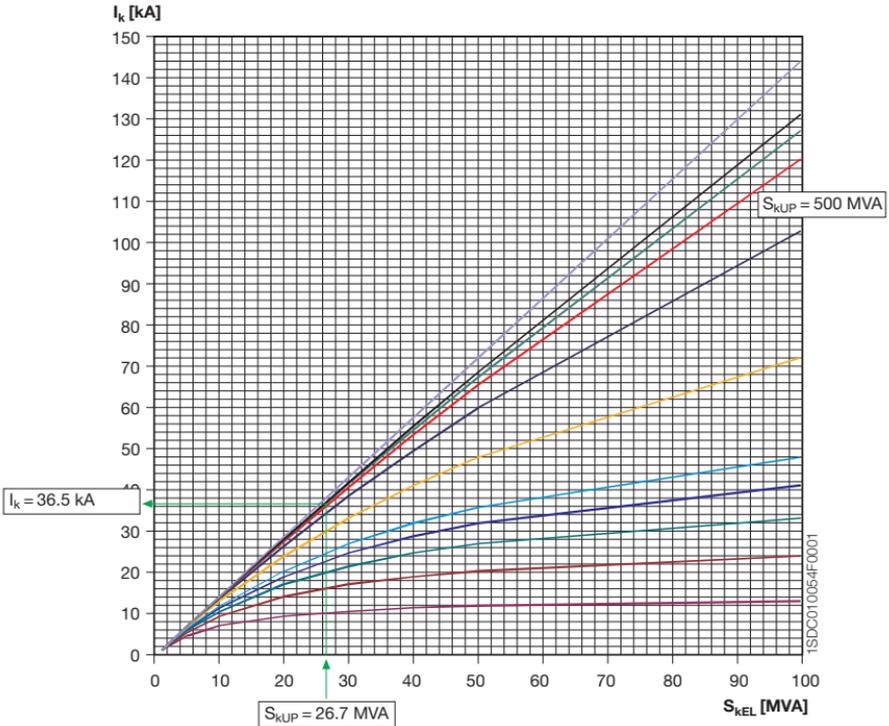
El circuito, visto desde el punto de defecto, consta de la serie de la red y el transformador. Siguiendo las reglas anteriormente enunciadas, la potencia de cortocircuito se determina a través de la siguiente ecuación:

$$S_{kCB1} = \frac{S_{knet} \cdot S_{ktrafo}}{S_{knet} + S_{ktrafo}} = 25.35 \text{ MVA}$$

La corriente de defecto máxima vale:

$$I_{kCB1} = \frac{S_{kCB1}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 36.6 \text{ kA}$$

La corriente nominal en el secundario del transformador vale 2309 A; en consecuencia, el interruptor automático que debe elegirse es un Emax E3N 2500. Utilizando el gráfico que se muestra en la Figura 1, es posible obtener I_{kCB1} de la curva con $S_{kUP} = S_{knet} = 500 \text{ MVA}$ en correspondencia con $S_{kEL} = S_{ktrafo} = 26,7 \text{ MVA}$:



6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Elección de CB2

Para el interruptor automático CB2, la condición más pesada es cuando el defecto se presenta inmediatamente aguas abajo del interruptor automático mismo; en consecuencia, el circuito –visto desde el punto de defecto– consta de la serie de la red y el transformador. La corriente de cortocircuito resulta idéntica a la que debe utilizarse para CB1.

$$I_{kCB1} = \frac{S_{kCB1}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 36.6 \text{ kA}$$

La corriente asignada del motor equivale a 385 A. El interruptor automático que debe elegirse es un Tmax T5H 400.

Elección de CB3

También para el interruptor automático CB3 la condición más pesada es cuando el defecto se presenta inmediatamente aguas abajo del interruptor automático mismo.

El circuito, visto desde el punto de defecto, consta de dos ramas en paralelo: el motor y la serie de red y transformador. Siguiendo las reglas anteriormente explicadas, la potencia de cortocircuito se determina a través de la siguiente fórmula:

Motor // (Red + Transformador)

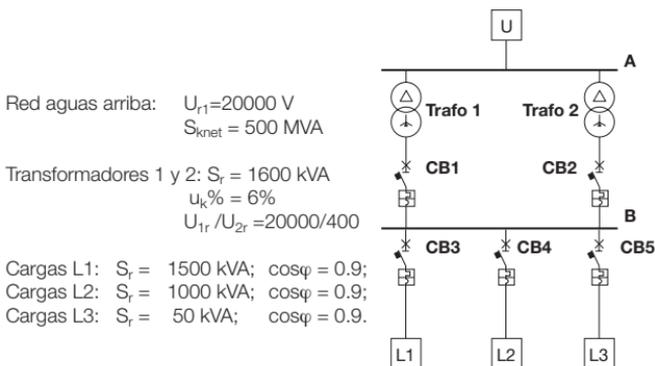
$$S_{kCB3} = S_{kmot} + \frac{1}{\frac{1}{S_{knet}} + \frac{1}{S_{ktrafo}}} = 27.11 \text{ MVA}$$

$$I_{kCB3} = \frac{S_{kCB3}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 39.13 \text{ kA}$$

La corriente nominal de la carga L vale 1443 A; el interruptor automático que debe elegirse es un SACE Isomax S7S 1600 o un Emax E2N1600.

Ejemplo 2

Considérese ahora el circuito que se muestra en la figura, constituido por la alimentación, dos transformadores en paralelo y tres cargas.



2

1SD00100655F0001

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Cálculo de las potencias de cortocircuito de los diversos componentes:

$$\text{Red} \quad S_{\text{knet}} = 500 \text{ MVA}$$

$$\text{Transformadores 1 y 2} \quad S_{\text{ktrafo}} = \frac{S_r}{U_k \%} \cdot 100 = 26.7 \text{ MVA}$$

Elección de CB1 (CB2)

Para el interruptor automático CB1 (CB2) la condición más pesada es cuando el defecto se presenta inmediatamente aguas abajo del mismo. Siguiendo las reglas anteriormente explicadas, el circuito –visto desde el punto de defecto– consta del paralelo de los dos transformadores conectados en serie con la red: Red + (Trafo1 // Trafo2).

La corriente de cortocircuito que se obtiene de esta forma corresponde a la corriente de cortocircuito de la barra. Esta corriente, dada la simetría del circuito, se distribuye de manera uniforme en las dos ramas (mitad cada una). La corriente que circula a través de CB1 (CB2) resulta entonces equivalente a la mitad de la que circula por la barra.

$$S_{\text{kbusbar}} = \frac{S_{\text{knet}} \cdot (S_{\text{rtrafo1}} + S_{\text{ktrafo2}})}{S_{\text{knet}} + (S_{\text{ktrafo1}} + S_{\text{ktrafo2}})} = 48.2 \text{ MVA}$$

$$I_{\text{kbusbar}} = \frac{S_{\text{kbusbar}}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 69.56 \text{ kA}$$

$$I_{\text{kCB1(2)}} = \frac{I_{\text{kbusbar}}}{2} = 34.78 \text{ kA}$$

Los interruptores automáticos CB1 (CB2) que deben elegirse con referencia a la corriente asignada de los transformadores son Emax E3N 2500.

Elección de CB3-CB4-CB5

Para estos interruptores automáticos la condición más desfavorable se tiene con un defecto inmediatamente aguas abajo de los mismos; en consecuencia, la corriente de cortocircuito que debe considerarse es la de la barra:

$$I_{\text{kCB3}} = I_{\text{kbusbar}} = 69.56 \text{ kA}$$

Los interruptores automáticos que deben elegirse con referencia a la corriente de las cargas son:

CB3: Emax E3S 2500

CB4: Emax E3S 1600

CB5: Tmax T2H 160

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.4 Determinación de la corriente de cortocircuito

I_k aguas abajo de un cable en función de la corriente aguas arriba

La siguiente tabla permite determinar, de forma conservativa, la corriente de cortocircuito trifásica en un punto de la red de 400 V aguas abajo de un cable unipolar de cobre a la temperatura de 20°C.

Los valores conocidos son:

- la corriente de cortocircuito trifásica aguas arriba del cable
- la longitud y la sección del cable.

| Sección cable [mm ²] | Longitud [m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0.9 | 1.1 | 1.4 | 1.8 | 2.5 | 3.5 | 5.3 | 7 | 9.4 | 14 | 0.9 | 1 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.3 | 2.9 | 4.1 | 5.9 | 8.8 | 12 | 16 | 24 | | |
| 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 95 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 185 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 240 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 300 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2x120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2x150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2x185 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3x120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3x150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3x185 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I_k aguas arriba [kA] | I_k aguas abajo [kA] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 96 | 92 | 89 | 85 | 82 | 78 | 71 | 65 | 60 | 50 | 43 | 36 | 31 | 27 | 24 | 20 | 17 | 13 | 11 | 7.8 | 5.6 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 1.3 |
| 90 | 86 | 83 | 81 | 78 | 76 | 72 | 67 | 61 | 57 | 48 | 42 | 35 | 31 | 27 | 24 | 20 | 17 | 13 | 11 | 7.8 | 5.6 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 1.3 |
| 80 | 77 | 75 | 73 | 71 | 69 | 66 | 62 | 57 | 53 | 46 | 40 | 34 | 30 | 27 | 24 | 20 | 17 | 13 | 10 | 7.7 | 5.5 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 1.3 |
| 70 | 68 | 66 | 65 | 63 | 62 | 60 | 56 | 53 | 49 | 43 | 38 | 33 | 29 | 26 | 23 | 19 | 16 | 13 | 10 | 7.6 | 5.5 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 1.3 |
| 60 | 58 | 57 | 56 | 55 | 54 | 53 | 50 | 47 | 45 | 40 | 36 | 31 | 28 | 25 | 23 | 19 | 16 | 12 | 10 | 7.5 | 5.4 | 3.7 | 2.7 | 2.0 | 1.3 |
| 50 | 49 | 48 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | 41 | 39 | 35 | 32 | 29 | 26 | 23 | 21 | 18 | 15 | 12 | 10 | 7.3 | 5.3 | 3.6 | 2.6 | 2.0 | 1.3 |
| 40 | 39 | 39 | 38 | 38 | 37 | 37 | 35 | 34 | 33 | 31 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 17 | 15 | 12 | 10 | 7.1 | 5.2 | 3.6 | 2.6 | 2.0 | 1.3 |
| 35 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 | 32 | 32 | 31 | 30 | 28 | 26 | 24 | 22 | 20 | 19 | 16 | 14 | 11 | 10 | 7.1 | 5.1 | 3.5 | 2.6 | 2.0 | 1.3 |
| 30 | 30 | 29 | 29 | 29 | 28 | 28 | 28 | 27 | 26 | 25 | 23 | 22 | 20 | 19 | 18 | 16 | 14 | 11 | 9.3 | 7.0 | 5.0 | 3.5 | 2.6 | 1.9 | 1.3 |
| 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 23 | 23 | 22 | 21 | 21 | 19 | 18 | 17 | 16 | 14 | 13 | 11 | 9.0 | 6.8 | 5.0 | 3.4 | 2.6 | 1.9 | 1.3 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 19 | 19 | 19 | 19 | 18 | 18 | 17 | 16 | 15 | 15 | 14 | 13 | 12 | 10 | 8.4 | 6.5 | 4.8 | 3.3 | 2.5 | 1.9 | 1.3 | |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 11 | 10 | 8.7 | 7.6 | 6.1 | 4.6 | 3.2 | 2.5 | 1.9 | 1.3 |
| 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 11 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 9.3 | 8.8 | 7.8 | 7.0 | 5.7 | 4.4 | 3.1 | 2.4 | 1.9 | 1.3 | |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9.5 | 9.4 | 9.2 | 9.0 | 8.8 | 8.5 | 8.3 | 8.1 | 7.7 | 7.3 | 6.5 | 5.9 | 5.0 | 3.9 | 2.9 | 2.3 | 1.8 | 1.2 |
| 8.0 | 8.0 | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.8 | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 7.6 | 7.5 | 7.4 | 7.2 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 6.5 | 6.2 | 5.7 | 5.2 | 4.5 | 3.7 | 2.8 | 2.2 | 1.7 | 1.2 |
| 6.0 | 6.0 | 5.9 | 5.9 | 5.9 | 5.9 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.7 | 5.6 | 5.5 | 5.4 | 5.3 | 5.2 | 5.1 | 4.9 | 4.8 | 4.4 | 4.1 | 3.6 | 3.1 | 2.4 | 2.0 | 1.6 | 1.1 |
| 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.8 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 1.4 | 1.2 | 0.9 | |

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

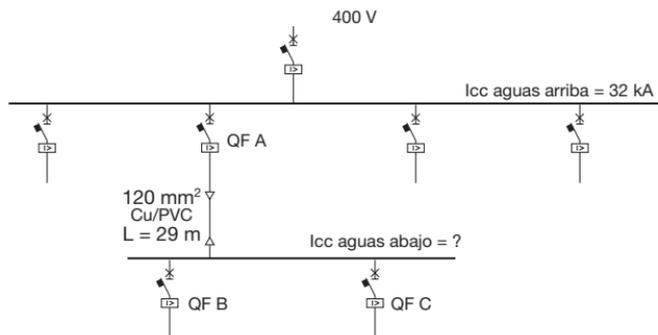
Notas para la utilización de la tabla:

- Si la I_k aguas arriba y la longitud del cable no se indicaran en la tabla, se deberá considerar:
 - el valor inmediatamente superior de la I_k aguas arriba
 - el valor inmediatamente inferior para la longitud del cable.
- Estas aproximaciones permiten realizar un cálculo a favor de la seguridad.
- Si algunos cables en paralelo no se indicaran en la tabla, se deberá dividir la longitud por el número de cables en paralelo.

Ejemplo

Datos
Tensión asignada = 400 V
Sección cable = 120 mm²
Conductor = cobre
Longitud = 29 m

Corriente de cortocircuito
aguas arriba = 32 kA



Procedimiento

En la línea correspondiente a la sección del cable 120 mm² se identifica la columna con una longitud de 29 metros o inmediatamente inferior (en este caso 24). En la columna de la corriente de cortocircuito aguas arriba se identifica la línea con un valor de 32 kA o inmediatamente superior (en este caso 35). A través de la intersección de esta última línea con la columna anteriormente identificada, se lee el valor de la corriente de cortocircuito aguas abajo de 26 kA.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.5 Álgebra de secuencias

6.5.1 Generalidades

Existe la posibilidad de contemplar una red trifásica simétrica y equilibrada de forma sencilla, mediante la reducción de la red trifásica a una única fase con el mismo valor de tensión asignada que la tensión entre fases del sistema trifásico.

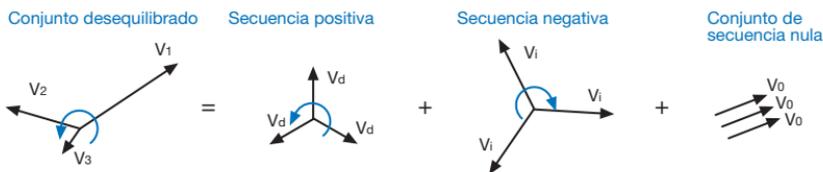
Las redes asimétricas no se pueden reducir al estudio de una red de una sola fase debido a este desequilibrio. En este caso, en el que resulta imposible realizar simplificación alguna, es necesario proceder según los métodos de análisis típicos para la solución de los sistemas eléctricos.

La técnica de modelado, que permite calcular una red asimétrica y desequilibrada convirtiéndola en un conjunto de tres redes equilibradas cada una de las cuales puede ser representada por un circuito equivalente de una fase, es el método de los componentes simétricos.

Este método se obtiene a partir de las consideraciones matemáticas según las cuales un conjunto de tres fasores¹ se puede dividir en tres conjuntos de fasores con las siguientes características:

- un conjunto equilibrado, llamado *secuencia positiva*, formado por tres fasores de igual magnitud desplazados a 120° y con la misma secuencia de fase que el sistema original
- un conjunto equilibrado, llamado *secuencia negativa*, formado por tres fasores de igual magnitud desplazados a 120° y con una secuencia de fase inversa respecto al sistema original
- un conjunto de *secuencia nula* formado por tres fasores de igual magnitud en la fase.

Figura 1



¹ El fasor es una representación vectorial de magnitud que varía en el tiempo. Una señal del tipo $v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$ se representa mediante el fasor $\vec{v} = V \cdot e^{j\varphi}$

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.5.2 Sistemas de secuencia positiva, negativa y nula

Las siguientes relaciones* representan la conexión entre los valores de la red trifásica equilibrada y los sistemas de secuencia positiva, negativa y nula:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\bar{V}_0 = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3)$ | $\bar{I}_0 = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3)$ | $\bar{V}_1 = \bar{V}_0 + \bar{V}_d + \bar{V}_i$ | $\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}_d + \bar{I}_i$ |
| $\bar{V}_d = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \alpha \cdot \bar{V}_2 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_3)$ | $\bar{I}_d = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \alpha \cdot \bar{I}_2 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_3)$ | $\bar{V}_2 = \bar{V}_0 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_d + \alpha \cdot \bar{V}_i$ | $\bar{I}_2 = \bar{I}_0 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_d + \alpha \cdot \bar{I}_i$ |
| $\bar{V}_i = \frac{1}{3} (\bar{V}_1 + \alpha^2 \cdot \bar{V}_2 + \alpha \cdot \bar{V}_3)$ | $\bar{I}_i = \frac{1}{3} (\bar{I}_1 + \alpha^2 \cdot \bar{I}_2 + \alpha \cdot \bar{I}_3)$ | $\bar{V}_3 = \bar{V}_0 + \alpha \cdot \bar{V}_d + \alpha^2 \cdot \bar{V}_i$ | $\bar{I}_3 = \bar{I}_0 + \alpha \cdot \bar{I}_d + \alpha^2 \cdot \bar{I}_i$ |

* En las fórmulas, los subíndices relativos a los componentes de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia nula están representados por "d", "i" y "0" respectivamente.

$$\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

La constante compleja α es un versor que, multiplicado por un vector, gira el vector 120° en una dirección positiva (en sentido contrario a las agujas del reloj).

$$\alpha^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

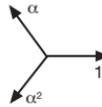
La constante compleja α^2 realiza un giro de -120° .

Algunas propiedades útiles de este conjunto de tres vectores son:

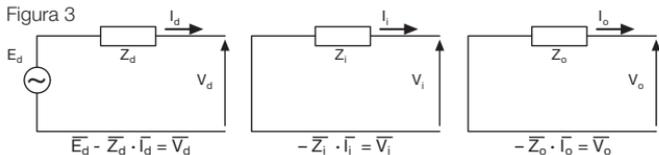
$$1 + \alpha + \alpha^2 = 0$$

$$|\alpha^2 - \alpha| = \sqrt{3}$$

Figura 2



Por tanto, se puede afirmar que una red trifásica real se puede sustituir por tres redes de una fase relacionadas con las tres secuencias positivas, negativas y nulas, mediante la sustitución de cada componente por el correspondiente circuito equivalente. Si los generadores pueden ser simétricos, como sucede en una instalación, considerando como positiva la secuencia que generan, las tres redes de una fase son representadas por los siguientes circuitos y ecuaciones:



- E_d es la tensión fase-neutro ($E_d = \frac{U_f}{\sqrt{3}}$) de la sección aguas arriba del defecto
- Z es la impedancia del lugar del defecto
- I es la corriente de fallo
- V es la tensión medida en el lugar del defecto.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

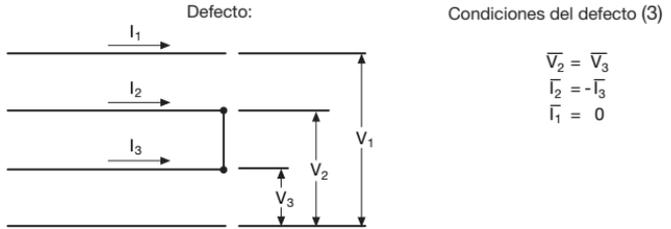
6.5.3 Cálculo de la corriente de cortocircuito con el álgebra de secuencias

Sin entrar en los detalles de un enfoque teórico, es posible ilustrar con un ejemplo el procedimiento para simplificar y resolver la red eléctrica bajo una condición de fallo previa.

Defecto bifásico aislado

El diagrama que muestra esta tipología de defecto y la relación entre corrientes y tensiones se puede representar de la siguiente forma:

Figura 4

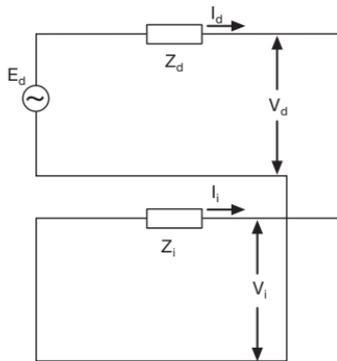


Tomando las condiciones de defecto y la fórmula 1), se obtiene que:

$$\begin{aligned} V_d &= V_i \\ I_d &= -I_i \\ I_o &= 0 \text{ por tanto } V_o = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Estas relaciones aplicadas a los tres circuitos de secuencia de la figura 3 permiten definir la red de secuencia que equivale a la red trifásica objeto de estudio y representa el estado de defecto inicial. Esta red se puede representar como sigue:

Figura 5



6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Al solucionar esta red simple (formada por elementos conectados en serie) en relación con la corriente I_d , se obtiene lo siguiente:

$$\bar{I}_d = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} \quad 5)$$

Utilizando las fórmulas 2) referidas a la corriente, y las fórmulas 4), se obtiene:

$$\bar{I}_2 = (\alpha^2 - \alpha) \cdot \bar{I}_d \quad \bar{I}_3 = (\alpha - \alpha^2) \cdot \bar{I}_d$$

Dado que $|(\alpha^2 - \alpha)|$ resulta ser igual a $\sqrt{3}$, el valor de la corriente entre fases en las dos fases afectadas por el defecto se puede expresar de la siguiente forma:

$$|\bar{I}_2| = |\bar{I}_3| = |\bar{I}_{k2}| = \sqrt{3} \cdot \left| \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} \right|$$

Utilizando las fórmulas 2) referidas a la tensión, y las fórmulas 4) previamente obtenidas, se llega a lo siguiente:

$$\bar{V}_1 = 2 \cdot \bar{V}_i \quad 6) \text{ para la fase no afectada por el defecto}$$

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = (\alpha^2 + \alpha) \cdot \bar{V}_d = -\bar{V}_d \quad 7) \text{ para las fases afectadas por el defecto}$$

Mediante el circuito de secuencia negativa, la relación 6) se puede representar como $\bar{V}_1 = -2 \cdot \bar{Z}_1 \cdot \bar{I}_i$.

Con referencia a lo anterior, y según $\bar{I}_d = -\bar{I}_i$, la fase no afectada por el defecto debe ser:

$$\bar{V}_1 = \frac{2 \cdot \bar{Z}_1}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} \cdot \bar{E}_d$$

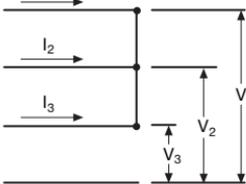
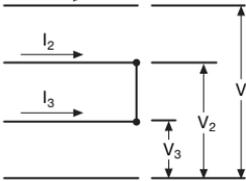
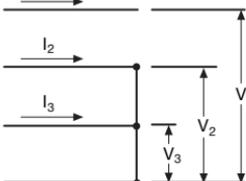
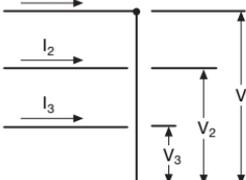
Para las fases afectadas por el defecto, siendo $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \frac{\bar{V}_1}{2}$, se obtiene:

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = -\frac{\bar{V}_1}{2} = \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1}$$

Haciendo referencia al ejemplo anterior, es posible analizar todas las tipologías de defectos y expresar las corrientes y tensiones de defecto como una función de las impedancias de los componentes de la secuencia.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

A continuación, en la Tabla 1, se ofrece un resumen:

| Tipo de fallo | Condiciones de fallo: | Corriente | Tensión en las fases |
|--|---|---|--|
| <p>Cortocircuito trifásico</p>  | $\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3$ $\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = 0$ | $ \bar{I}_{k3} = \bar{I}_1 = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_d }$ | $\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$ |
| <p>Cortocircuito entre fases</p>  | $\bar{V}_2 = \bar{V}_3$ $\bar{I}_2 = -\bar{I}_3$ | $ \bar{I}_{k2} = \bar{I}_2 = \frac{U_n}{ \bar{Z}_d + \bar{Z}_1 }$ | $ \bar{V}_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} \right $ $ \bar{V}_d = \bar{V}_3 = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \left \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} \right $ |
| <p>Cortocircuito entre fases con conexión a tierra</p>  | $\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$ $\bar{I}_1 = 0$ | $ \bar{I}_2 = U_n \cdot \left \frac{(1 + \alpha^2) \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_d} \right $ $ \bar{I}_3 = U_n \cdot \left \frac{(1 + \alpha) \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_d} \right $ $ \bar{I}_{ground} = \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_d} \right $ | $\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = 0$ $ \bar{V}_1 = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_0 + \bar{Z}_0 \cdot \bar{Z}_d} \right $ |
| <p>Cortocircuito en una fase</p>  | $\bar{V}_1 = 0$ $\bar{I}_2 = \bar{I}_3 = 0$ | $ \bar{I}_{k1} = \bar{I}_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n}{ \bar{Z}_d + \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0 }$ | $\bar{V}_1 = 0$ $ \bar{V}_d = U_n \cdot \left \frac{\bar{Z}_1 \cdot \alpha \cdot \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0} \right $ $ \bar{V}_3 = U_n \cdot \left \frac{-\alpha \cdot \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1 + \bar{Z}_0} \right $ |

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.5.4 Impedancias de cortocircuito de secuencia positiva, negativa y nula del equipo eléctrico

Todos los componentes de una red eléctrica (utilidad – transformador – generador – cable) pueden ser representados por un valor de impedancia de secuencia positiva, negativa y nula.

Utilidad

Por utilidad se entiende la red de alimentación de distribución (normalmente MV) de la cual se alimenta la planta. Se caracteriza por elementos de secuencia positiva y negativa, mientras que la impedancia de secuencia nula no se tiene en cuenta, dado que los arrollamientos conectados en triángulo del circuito primario del transformador impiden la corriente de la secuencia nula. En lo que respecta a las impedancias existentes, se puede escribir lo siguiente:

$$Z_d = Z_i = Z_{NET} \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}}$$

Transformador

Se caracteriza por elementos de secuencia positiva y negativa; además, como una función de la conexión de los arrollamientos y del sistema de distribución en la parte LV, el componente de la secuencia nula también puede estar presente.

Así, se puede concluir que:

$$Z_d = Z_i = Z_T = \frac{\text{uk \%}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r}$$

mientras que el componente de la secuencia nula se puede expresar como: $Z_0 = Z_T$ si las corrientes de la secuencia nula pueden fluir en los dos arrollamientos

$Z_0 = \infty$ si las corrientes de la secuencia nula no pueden fluir en los dos arrollamientos

Cable

Se caracteriza por los elementos de secuencia positiva, negativa y nula que varían como una función del retorno de la corriente de cortocircuito.

En lo que respecta a los componentes de la secuencia positiva y negativa, es posible concluir que:

$$Z_d = Z_i = Z_C = R_C + j X_C$$

Para evaluar la impedancia de la secuencia nula, es necesario conocer el retorno de la corriente:

$$Z_0 = Z_C + j3 \cdot Z_{nC} = (R_C + 3 \cdot R_{nC}) + j(X_C + 3 \cdot X_{nC})$$

Retorno a través del cable neutro (defecto fase-neutro)

$$Z_0 = Z_C + j3 \cdot Z_{PEC} = (R_C + 3 \cdot R_{PEC}) + j(X_C + 3 \cdot X_{PEC})$$

Retorno a través de PE (defecto de conductor fase-PE en el sistema TN-S)

$$Z_0 = Z_{EC} + j3 \cdot Z_{EC} = (R_C + 3 \cdot R_{EC}) + j(X_C + 3 \cdot X_{EC})$$

Retorno a través de tierra (defecto de fase-tierra en el sistema TT)

donde:

- Z_C , R_C y X_C hacen referencia al conductor de línea
- Z_{nC} , R_{nC} y X_{nC} hacen referencia al conductor neutro
- Z_{PEC} , R_{PEC} y X_{PEC} hacen referencia al conductor de protección PE
- Z_{EC} , R_{EC} y X_{EC} hacen referencia a tierra.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Generadores síncronos

En general, las reactancias de secuencia positiva, negativa y nula de *generadores síncronos* (y también de las máquinas giratorias) tienen valores diferentes.

Para la secuencia positiva, sólo se utiliza la reactancia subtransitoria X_d'' , dado que, en este caso, el cálculo de la corriente de fallo proporciona el valor más alto.

La reactancia de secuencia negativa es muy variable, y oscila entre los valores de X_d'' y X_q'' . En los momentos iniciales del cortocircuito, X_d'' y X_q'' no difieren en gran medida y, por tanto, podemos considerar que $X_1 = X_d''$. Al contrario, si X_d'' y X_q'' son muy diferentes, es posible utilizar un valor igual al valor medio de las dos reactancias; se concluye que:

$$X_1 = \frac{X_d'' + X_q''}{2}$$

La reactancia de la secuencia nula también es muy variable, y resulta ser inferior a las otras dos reactancias anteriormente mencionadas. Para esta reactancia, se puede tomar un valor igual a 0.1 a 0.7 veces las reactancias de secuencia negativa o positiva, y se puede calcular de la siguiente forma:

$$X_0 = \frac{x_0\%}{100} \cdot \frac{U_r}{S_r}$$

donde $x_0\%$ es un parámetro típico de la máquina. Además, el componente de la secuencia nula también se ve influenciado por la modalidad a tierra del generador, mediante la introducción de los parámetros R_G y X_G que representan, respectivamente, la resistencia a tierra y la reactancia del generador. Si el nodo del generador resulta inaccesible o no está puesto a tierra, la impedancia a tierra es ∞ .

En resumen, se deben tener en cuenta las siguientes expresiones para las impedancias de secuencia:

$$Z_d = (R_a + j \cdot X_d'')$$

$$Z_1 = (R_a + j \cdot X_d'')$$

$$Z_0 = R_a + 3 \cdot R_G + j \cdot (X_0 + 3 \cdot X_G)$$

donde R_G es la resistencia del estátor definida como $R_a = \frac{X_d''}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_a}$, siendo T_a la constante de tiempo del estátor.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Cargas

Si la carga es pasiva, la impedancia se debe considerar infinita.

Si la carga no es pasiva, como podría suceder en un motor asíncrono, es posible considerar la máquina representada por la impedancia Z_M para la secuencia positiva y negativa, mientras que para la secuencia nula, el valor Z_{0M} debe ser facilitado por el fabricante. Además, si los motores no están puestos a tierra, la impedancia de la secuencia nula sería ∞ .

Así:

$$Z_d = Z_i = Z_M = (R_M + j \cdot X_M)$$

siendo Z_M igual a

$$Z_M = \frac{U_r^2}{I_{LR}} \cdot \frac{1}{I_r}$$

donde:

I_{LR} es el valor de corriente cuando el rotor es bloqueado por el motor

I_r es la corriente asignada del motor

$S_r = \frac{P_r}{(\eta \cdot \cos\phi_r)}$ es la potencia aparente asignada del motor

La razón $\frac{R_M}{X_M}$ se suele conocer; para los motores LV, esta razón se puede

considerar igual a 0.42 con $X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_M}{X_M}\right)^2}}$, a partir de la cual se puede determinar $X_M = 0.922 \cdot Z_M$

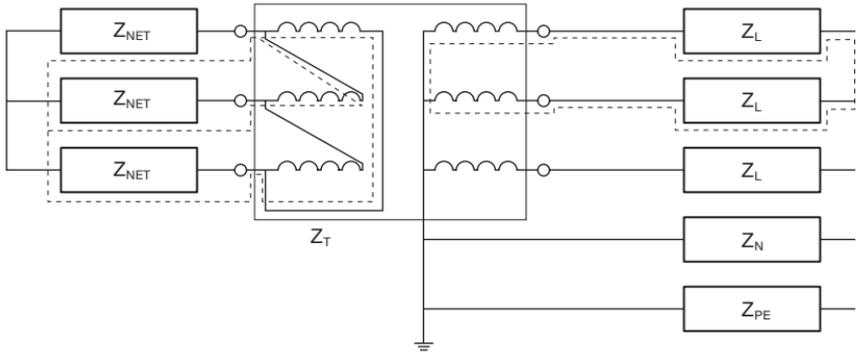
6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.5.5 Fórmulas para calcular las corrientes de fallo como una función de los parámetros eléctricos de la instalación

Mediante la Tabla 1 y las fórmulas para las impedancias de secuencia expresadas como una función de los parámetros eléctricos de los componentes de la instalación, existe la posibilidad de calcular las diferentes corrientes de cortocircuito.

En el siguiente ejemplo, tomamos una red con un transformador MV/LV con arrollamiento primario en triángulo y arrollamiento secundario con nodo puesto a tierra, y suponemos que existe un fallo entre fases aguas abajo de la línea de distribución.

Figura 6



Aplicando el álgebra de secuencias:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)}$$

las impedancias relativas a las secuencias positiva y negativa objeto de examen son:

$$Z_d = Z_i = Z_{NET} + Z_T + Z_L$$

considerando que $E_d = \frac{U_r}{\sqrt{3}}$, se obtiene lo siguiente:

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_d}{(Z_d + Z_i)} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$$

donde:

U_r es la tensión asignada en la parte LV

Z_T es la impedancia del transformador

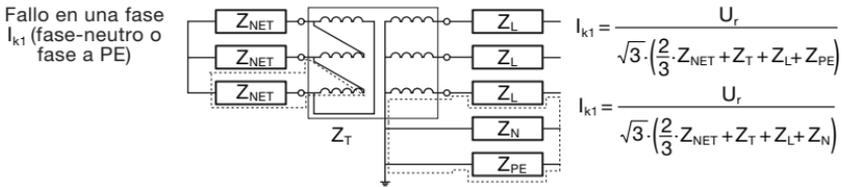
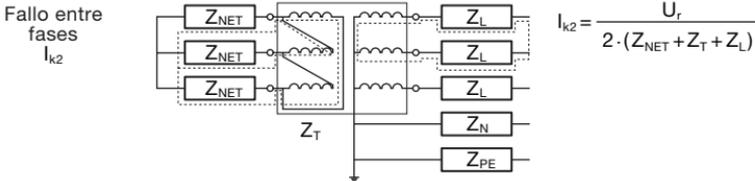
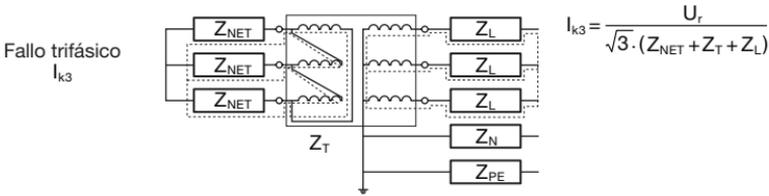
Z_L es la impedancia del conductor de la fase

Z_{NET} es la impedancia de la red aguas arriba

Haciendo referencia al ejemplo anterior, es posible obtener la Tabla 2 que vemos a continuación, que incluye las expresiones de las corrientes de cortocircuito según las diferentes tipologías de fallos.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Tabla 2



Donde:

U_r es la tensión asignada en la parte LV

Z_T es la impedancia del transformador

Z_L es la impedancia del conductor de la fase

Z_{NET} es la impedancia de la red aguas arriba

Z_{PE} es la impedancia del conductor de protección (PE)

Z_N es la impedancia del conductor neutro

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

La Tabla 3, que figura a continuación, resume las relaciones de las corrientes de fallo, teniendo en cuenta la corriente arriba definida o los valores de red de potencia infinitos y la distancia del fallo desde el transformador.

Tabla 3

| | Red de potencia definida aguas arriba | | Red de potencia infinita aguas arriba $Z_{NET} \rightarrow 0$ | |
|----------|---|--|---|---|
| | Lejos del transformador | Cerca del transformador $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE}$ (o Z_N) $\rightarrow 0$ | Lejos del transformador | Cerca del transformador $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE}$ (o Z_N) $\rightarrow 0$ |
| I_{k3} | $I_{k3} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$ | $I_{k3} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T)}$ | $I_{k3} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L)}$ | $I_{k3} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$ |
| I_{k2} | $I_{k2} = \frac{U_f}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$ | $I_{k2} = \frac{U_f}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T)}$ | $I_{k2} = \frac{U_f}{2 \cdot (Z_T + Z_L)}$ | $I_{k2} = \frac{U_f}{2 \cdot (Z_T)}$ |
| | $I_{k2} < I_{k3}$ | $I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$ | $I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$ | $I_{k2} = 0.87 \cdot I_{k3}$ |
| I_{k1} | $I_{k1} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_{PE}\right)}$ | $I_{k1} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T\right)}$ | $I_{k1} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_T + Z_L + Z_{PE})}$ | $I_{k1} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot (Z_T)}$ |
| | $I_{k1} > I_{k3}$ if $Z_{NET} > 3 \cdot Z_{PE}$ | $I_{k1} > I_{k3}$ | $I_{k1} \approx I_{k3}$ | $I_{k1} = I_{k3}$ |

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.6 Cálculo del valor máximo de la corriente de cortocircuito

Los efectos electrodinámicos de las corrientes de cortocircuito son especialmente peligrosos para los conductos del bus, aunque también pueden dañar los cables.

La corriente máxima también es importante para evaluar el valor I_{cm} del interruptor automático.

El valor I_{cm} también está relacionado con el valor I_{cu} , según la Tabla 16 de la norma IEC 60947-1. Con referencia a la corriente de cortocircuito de la instalación, debe ser $I_{cm} > I_{kp}$.

La corriente máxima de una instalación se debe calcular a partir de la siguiente fórmula (véase la norma IEC 60909-0):

$$I_{kp} = I_k'' \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1.02 + 0.98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot R}{X}} \right)$$

donde:

- I_k'' es la corriente de cortocircuito (valor rms) en el momento inicial del cortocircuito
- R es el componente resistivo de la impedancia de cortocircuito en el lugar del fallo
- X es el componente reactivo de la corriente de cortocircuito en el lugar del fallo

Si se conoce el factor de potencia $\cos\varphi_k$, es posible escribir:

$$I_{kp} = I_k'' \cdot \sqrt{2} \cdot \left(1.02 + 0.98 \cdot e^{-\frac{3}{\tan\varphi_k}} \right)$$

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

6.7 Consideraciones sobre la contribución de UPS (alimentación de potencia ininterrumpida) a las corrientes de cortocircuito

En las siguientes consideraciones se presta especial atención a una doble conversión o UPS directa, que pertenece a la categoría VFI (tensión y frecuencia independientes), para la cual la tensión de salida es independiente de las variaciones de tensión de la red, y las variaciones de frecuencia son controladas por este dispositivo dentro de los límites estándar prescritos por las normas; este sistema se caracteriza por las siguientes modalidades de funcionamiento:

- en condiciones de funcionamiento normales, en presencia de la tensión de red, la carga es alimentada por la propia red a través de UPS;
- en condiciones de emergencia (ausencia de red), la potencia de la carga es suministrada por la batería y el inversor (alimentación de red separada con la UPS desconectada de la red);
- en caso de sobreintensidad temporal requerida por la carga (p. ej., arranque del motor), la alimentación de potencia a la carga está garantizada por la red a través del interruptor estático que excluye la UPS;
- en caso de mantenimiento, debido por ejemplo a un fallo en la UPS, la carga se alimenta por la red a través de un interruptor manual con paso directo, renunciando temporalmente a la disponibilidad de la alimentación de potencia de emergencia.

En lo que respecta al dimensionado de las protecciones en la parte de la alimentación de la UPS, es necesario conocer las características de la tensión de red y de la corriente de cortocircuito; para el dimensionado de las protecciones en la parte de la carga, es necesario conocer los valores de corriente que permite pasar la UPS.

Si la alimentación de potencia de las cargas es suministrada directamente de la red a través de un interruptor manual con paso directo, el interruptor automático de la parte de la carga también debe tener una capacidad de corte (Icu) apropiada para la corriente de cortocircuito de la red de la parte de la alimentación.

Además, si se requiere, es necesario realizar una evaluación de la coordinación de la protección en relación con las condiciones de funcionamiento.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Sin embargo, para seleccionar las protecciones adecuadas, es importante diferenciar entre dos condiciones de funcionamiento para la UPS:

1) UPS en estados normales de funcionamiento

a) Estado de sobrecarga:

- si, debido a un posible fallo en la batería, este estado afecta sólo al interruptor automático en la parte de la alimentación de la UPS (también es probable la intervención de las protecciones dentro de la batería);
- si la carga lo requiere, el UPS no asume este estado, que es desviado por el convertidor estático.

b) Estado de cortocircuito:

La corriente de cortocircuito está limitada por el dimensionado de los tiristores del inversor en puente. En la práctica, UPS puede suministrar una corriente de cortocircuito máxima de 150 a 200% del valor asignado. En caso de cortocircuito, el inversor suministra la corriente máxima durante un tiempo limitado (cientos de milisegundos) y posteriormente cambia a la red, de modo que la potencia de la carga es alimentada por el circuito de paso.

En este caso, la selectividad entre el interruptor automático en la parte de la alimentación y el interruptor automático en la parte de la carga es importante, con la finalidad de desconectar sólo la carga afectada por el fallo.

El circuito de paso, que también se conoce como interruptor estático y está formado por tiristores protegidos por fusibles ultra rápidos, puede alimentar la carga con una corriente superior con respecto al inversor; esta corriente está limitada por el dimensionado de los tiristores utilizados, por la potencia instalada y por las protecciones proporcionadas.

Los tiristores del circuito de paso suelen estar dimensionados para resistir los siguientes estados de sobrecarga:

| | |
|-------|--------------------------|
| 125% | durante 600 segundos |
| 150% | durante 60 segundos |
| 700% | durante 600 milisegundos |
| 1000% | durante 100 milisegundos |

Normalmente se pueden obtener datos más precisos en la información técnica facilitada por el fabricante.

6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

2) UPS en estado de funcionamiento de emergencia

a) Estado de sobrecarga:

este estado, que influye sólo al interruptor automático en la parte de la carga, es asumido por la batería con el inversor, que presenta un estado de sobrecarga que se puede calcular normalmente en la siguiente magnitud:

$1.15 \times I_n$ durante un tiempo indefinido

$1.25 \times I_n$ durante 600 segundos

$1.5 \times I_n$ durante 60 segundos

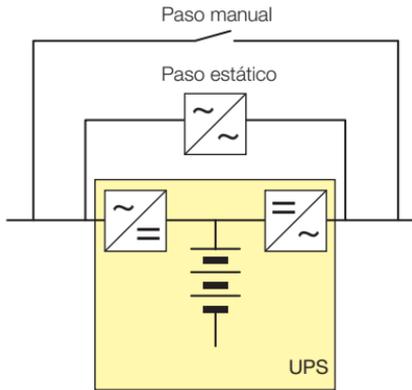
$2 \times I_n$ durante 1 segundo

Normalmente se pueden obtener datos más precisos en la información técnica facilitada por el fabricante.

b) Estado de cortocircuito:

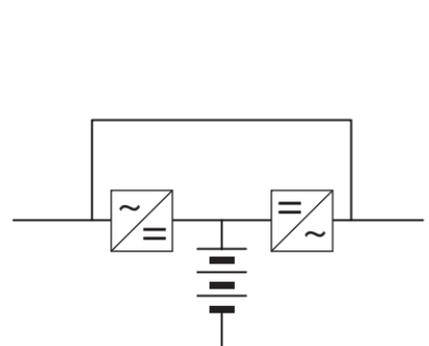
la corriente máxima para la carga está limitada sólo por el circuito del inversor (con un valor de 150 a 200% del valor nominal). El inversor alimenta el cortocircuito durante un determinado periodo de tiempo, normalmente limitado a milisegundos, después del cual la unidad UPS desconecta la carga y la deja sin alimentación. En esta modalidad de funcionamiento, es necesario obtener la selectividad entre el interruptor automático en la parte de la carga y el inversor, lo que resulta bastante difícil debido a los tiempos de activación reducidos del dispositivo de protección del inversor.

Figura 7



UPS en red con el interruptor estático

Figura 8



UPS fuera de red: la carga es alimentada directamente por la red

Anexo A: Instrumentos de cálculo

A.1 DOCWin

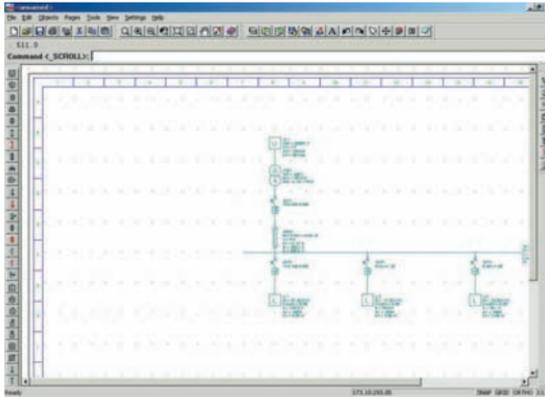
DOCWin es un programa para el dimensionamiento de redes eléctricas, alimentadas en baja tensión o en media tensión.

Las redes pueden calcularse completamente mediante sencillas operaciones a partir de la definición del esquema unifilar y gracias a las funciones de diseño facilitadas por el CAD incorporado.

Diseño y definición de las redes

Creación del esquema unifilar, sin ningún límite sea cual sea la complejidad de la red; admite redes radiales y redes malladas.

- El esquema puede dividirse en un número ilimitado de páginas.
- El programa controla en tiempo real la coherencia del dibujo.
- Es posible introducir los datos de los objetos que conforman la red y modificarlos mediante una tabla.
- Es posible definir diversas condiciones de funcionamiento (configuraciones) de la red, indicando el estado abierto/cerrado de los dispositivos de maniobra y protección.



Alimentaciones

- No hay límites predefinidos: el programa es capaz de manejar suministros de media y baja tensión, generadores y transformadores MT/bt y bt/bt, con dos o tres arrollamientos, con o sin regulador de tensión, de acuerdo a las exigencias específicas.

Cálculos de red

- Cálculo del flujo de cargas (Load-Flow), método de Newton-Raphson, con gestión de múltiples nudos (multislack) y los desequilibrios debidos a cargas no trifásicas. La tensión de nudo y la corriente de rama se definen completamente en módulo y fase en cada punto de la red, tanto en media tensión como en baja tensión.
- Cálculo de la potencia activa y reactiva requerida por cada fuente de potencia.

Anexo A: Instrumentos de cálculo

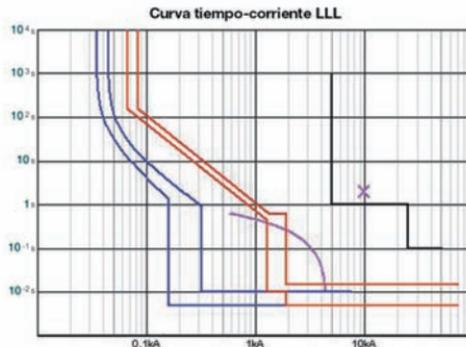
- Gestión de la corrección del factor de potencia local (en los motores) y centralizado, con grupos capacitivos.
- Gestión del factor de simultaneidad en cada nudo de la red y del factor de utilización en las cargas.
- Cálculo de las corrientes de cortocircuito con defecto trifásico, fase-fase, fase-neutro, fase-tierra. El cálculo se realiza también en las partes de media tensión, en conformidad con las normas IEC 60909-1, IEC 61363-1 (instalaciones navales) o con el método de las componentes simétricas. Se considera el aporte de las máquinas giratorias (generadores y motores).
- Cálculo de sobretensión en cuadros, según la norma IEC 60890. La potencia disipada por cada aparato se obtiene automáticamente de los ficheros presentes en el interior del programa y puede definirse en función de la corriente asignada o de la corriente de carga.

Dimensionamiento de las conducciones

- Dimensionamiento térmico de los cables según la norma CEI 64-8 (tablas CEI UNEL 35024-35026), IEC 60364, VDE 298-4, NFC 15-100, IEC 60092 (instalaciones navales) e IEC 60890 (Cableado interior en cuadros).
- Posibilidad de fijar como criterio de cálculo adicional los criterios de ahorro de funcionamiento, tal y como se indican en la norma IEC 60827-3-2.
- Posibilidad de fijar como criterio de cálculo adicional la máxima caída de tensión admitida a final de línea.
- Dimensionamiento automático de los conductos de barras.
- Dimensionamiento y comprobación de la resistencia dinámica de las barras, según la norma IEC 60865.

Curvas y comprobaciones

- Representación de las curvas:
 - corriente-tiempo ($I-t$)
 - corriente-energía específica pasante ($I-I^2t$)
 - corriente-corriente limitada (cresta): es posible realizar el control visual de los efectos de las regulaciones sobre las características de actuación de las protecciones.

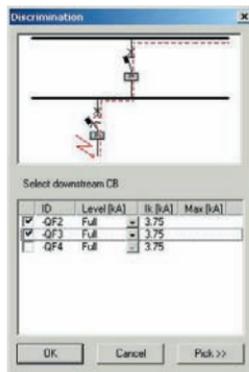


Anexo A: Instrumentos de cálculo

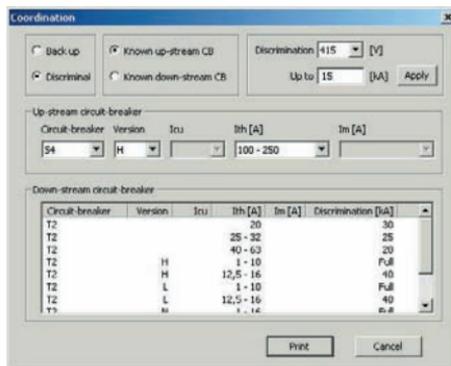
- Se representan las curvas de interruptores automáticos, fusibles, cables, transformadores, motores y generadores.
- Es posible insertar las curvas de la alimentación y de los componentes de media tensión por puntos para comprobar la selectividad de actuación de las protecciones.
- Comprobación de la máxima caída de tensión de cada carga utilizada.
- Comprobación de las protecciones, con gestión de las regulaciones de los relés (tanto magnetotérmicos como electrónicos).

Elección de los dispositivos de maniobra y protección

- Elección automática de los dispositivos de protección (interruptores automáticos y fusibles).
- Elección automática de los dispositivos de maniobra (contactores e interruptores-seccionadores).
- Gestión de la selectividad y el back-up como criterio de elección, con nivel de selectividad configurable por parejas de interruptores automáticos.



- Posibilidad de comprobar la selectividad y el back-up, incluso accediendo de forma rápida a los datos de las tablas de coordinación.



Anexo A: Instrumentos de cálculo

- Gestión de las coordinaciones para arranque de motores con acceso rápido a las tablas ABB.

The screenshot shows the 'Motor (MS1)' window with the following settings:

- Co-ordination and protection present:**
- V_i:** 400 [V]
- P_i:** 30 [kW]
- I_{LLI}:** 28 [A] **Used:** [A] **Apply**
- Protection type:** Circuit breaker
- Starter type:** star / delta / normal
- Co-ordination type:** Type 2
- Circuit breaker:** T2N 160 R80 I720
- Fuse switch:**
- Contactor L/D:** A63 **Safety clearance:** [mm]
- Contactor Y:** A30 [D-Q] **Safety clearance:** [mm]
- Thermal relay:** TA75DU42 **Coils:**
- Current transformer:**
- Probe:**
- Section of the 2.4m reference cable:** [mm²]

Buttons: **OK** **Cancel**

Impresión

- Impresión del esquema unifilar, de los diagramas de las curvas y de los informes de cada componente de la red.
- Posibilidad de exportar todas las informaciones en los formatos de intercambio de datos más comunes.
- Todas las modalidades de impresión permiten ser personalizadas.

Anexo B: Cálculo de la corriente de empleo I_b

Cargas genéricas

La fórmula que permite calcular la corriente de empleo de una carga genérica es la siguiente:

$$I_b = \frac{P}{k \cdot U_r \cdot \cos\varphi}$$

donde:

- P es la potencia activa expresada en W
- k es un coeficiente que vale:
 - 1 para sistemas monofásicos o para sistemas de corriente continua
 - $\sqrt{3}$ para sistemas trifásicos
- U_r es la tensión asignada expresada en voltios (para los sistemas trifásicos es la tensión entre fases, mientras que para los sistemas monofásicos es la tensión de fase)
- $\cos\varphi$ es el factor de potencia.

La Tabla 1 permite calcular la corriente de empleo para algunos valores de potencia en función de la tensión asignada. Esta tabla ha sido calculada considerando un factor de potencia igual a 0.9; para otros valores del factor de potencia, se deberá multiplicar el valor indicado en la Tabla 1 por el coeficiente que se indica en la Tabla 2 en correspondencia con el valor del factor de potencia real ($\cos\varphi_{act}$).

Tabla 1: Corriente de empleo para sistemas trifásicos con $\cos\varphi = 0.9$

| P [kW] | U_r [V] | | | | | | |
|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 230 | 400 | 415 | 440 | 500 | 600 | 690 |
| | I_b [A] | | | | | | |
| 0.03 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| 0.04 | 0.11 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |
| 0.06 | 0.17 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.06 |
| 0.1 | 0.28 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.13 | 0.11 | 0.09 |
| 0.2 | 0.56 | 0.32 | 0.31 | 0.29 | 0.26 | 0.21 | 0.19 |
| 0.5 | 1.39 | 0.80 | 0.77 | 0.73 | 0.64 | 0.53 | 0.46 |
| 1 | 2.79 | 1.60 | 1.55 | 1.46 | 1.28 | 1.07 | 0.93 |
| 2 | 5.58 | 3.21 | 3.09 | 2.92 | 2.57 | 2.14 | 1.86 |
| 5 | 13.95 | 8.02 | 7.73 | 7.29 | 6.42 | 5.35 | 4.65 |
| 10 | 27.89 | 16.04 | 15.46 | 14.58 | 12.83 | 10.69 | 9.30 |
| 20 | 55.78 | 32.08 | 30.92 | 29.16 | 25.66 | 21.38 | 18.59 |
| 30 | 83.67 | 48.11 | 46.37 | 43.74 | 38.49 | 32.08 | 27.89 |
| 40 | 111.57 | 64.15 | 61.83 | 58.32 | 51.32 | 42.77 | 37.19 |
| 50 | 139.46 | 80.19 | 77.29 | 72.90 | 64.15 | 53.46 | 46.49 |
| 60 | 167.35 | 96.23 | 92.75 | 87.48 | 76.98 | 64.15 | 55.78 |
| 70 | 195.24 | 112.26 | 108.20 | 102.06 | 89.81 | 74.84 | 65.08 |
| 80 | 223.13 | 128.30 | 123.66 | 116.64 | 102.64 | 85.53 | 74.38 |
| 90 | 251.02 | 144.34 | 139.12 | 131.22 | 115.47 | 96.23 | 83.67 |
| 100 | 278.91 | 160.38 | 154.58 | 145.80 | 128.30 | 106.92 | 92.97 |
| 110 | 306.80 | 176.41 | 170.04 | 160.38 | 141.13 | 117.61 | 102.27 |
| 120 | 334.70 | 192.45 | 185.49 | 174.95 | 153.96 | 128.30 | 111.57 |
| 130 | 362.59 | 208.49 | 200.95 | 189.53 | 166.79 | 138.99 | 120.86 |
| 140 | 390.48 | 224.53 | 216.41 | 204.11 | 179.62 | 149.68 | 130.16 |
| 150 | 418.37 | 240.56 | 231.87 | 218.69 | 192.45 | 160.38 | 139.46 |
| 200 | 557.83 | 320.75 | 309.16 | 291.59 | 256.60 | 213.83 | 185.94 |

Anexo B: Cálculo de la corriente de empleo I_b

| P [kW] | U_r [V] | | | | | | |
|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | 230 | 400 | 415 | 440 | 500 | 600 | 690 |
| | I_b [A] | | | | | | |
| 250 | 697.28 | 400.94 | 386.45 | 364.49 | 320.75 | 267.29 | 232.43 |
| 300 | 836.74 | 481.13 | 463.74 | 437.39 | 384.90 | 320.75 | 278.91 |
| 350 | 976.20 | 561.31 | 541.02 | 510.28 | 449.05 | 374.21 | 325.40 |
| 400 | 1115.65 | 641.50 | 618.31 | 583.18 | 513.20 | 427.67 | 371.88 |
| 450 | 1255.11 | 721.69 | 695.60 | 656.08 | 577.35 | 481.13 | 418.37 |
| 500 | 1394.57 | 801.88 | 772.89 | 728.98 | 641.50 | 534.58 | 464.86 |
| 550 | 1534.02 | 882.06 | 850.18 | 801.88 | 705.65 | 588.04 | 511.34 |
| 600 | 1673.48 | 962.25 | 927.47 | 874.77 | 769.80 | 641.50 | 557.83 |
| 650 | 1812.94 | 1042.44 | 1004.76 | 947.67 | 833.95 | 694.96 | 604.31 |
| 700 | 1952.39 | 1122.63 | 1082.05 | 1020.57 | 898.10 | 748.42 | 650.80 |
| 750 | 2091.85 | 1202.81 | 1159.34 | 1093.47 | 962.25 | 801.88 | 697.28 |
| 800 | 2231.31 | 1283.00 | 1236.63 | 1166.36 | 1026.40 | 855.33 | 743.77 |
| 850 | 2370.76 | 1363.19 | 1313.92 | 1239.26 | 1090.55 | 908.79 | 790.25 |
| 900 | 2510.22 | 1443.38 | 1391.21 | 1312.16 | 1154.70 | 962.25 | 836.74 |
| 950 | 2649.68 | 1523.56 | 1468.49 | 1385.06 | 1218.85 | 1015.71 | 883.23 |
| 1000 | 2789.13 | 1603.75 | 1545.78 | 1457.96 | 1283.00 | 1069.17 | 929.71 |

Tabla 2: Factor de corrección de la corriente de empleo para $\cos\varphi$ distinto de 0.9

| $\cos\varphi_{act}$ | 1 | 0.95 | 0.9 | 0.85 | 0.8 | 0.75 | 0.7 |
|---------------------|-----|-------|-----|-------|-------|------|-------|
| $k_{\cos\varphi}$ | 0.9 | 0.947 | 1 | 1.059 | 1.125 | 1.2 | 1.286 |

* Para valores de $\cos\varphi_{act}$ no presentes en la tabla, $k_{\cos\varphi} = \frac{0.9}{\cos\varphi_{act}}$

La Tabla 3 permite calcular la corriente de empleo para algunos valores de potencia en función de la tensión asignada. Esta tabla ha sido calculada considerando un factor de potencia igual a 1; para otros valores del factor de potencia, se deberá multiplicar el valor indicado en la Tabla 3 por el coeficiente que se indica en la Tabla 4 en correspondencia con el valor actual del factor de potencia ($\cos\varphi_{act}$).

Tabla 3: Corriente de empleo para sistemas monofásicos con $\cos\varphi = 1$ o sistemas de corriente continua

| P [kW] | U_r [V] | | | | | | |
|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 230 | 400 | 415 | 440 | 500 | 600 | 690 |
| | I_b [A] | | | | | | |
| 0.03 | 0.13 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| 0.04 | 0.17 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.06 |
| 0.06 | 0.26 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.12 | 0.10 | 0.09 |
| 0.1 | 0.43 | 0.25 | 0.24 | 0.23 | 0.20 | 0.17 | 0.14 |
| 0.2 | 0.87 | 0.50 | 0.48 | 0.45 | 0.40 | 0.33 | 0.29 |
| 0.5 | 2.17 | 1.25 | 1.20 | 1.14 | 1.00 | 0.83 | 0.72 |
| 1 | 4.35 | 2.50 | 2.41 | 2.27 | 2.00 | 1.67 | 1.45 |
| 2 | 8.70 | 5.00 | 4.82 | 4.55 | 4.00 | 3.33 | 2.90 |
| 5 | 21.74 | 12.50 | 12.05 | 11.36 | 10.00 | 8.33 | 7.25 |
| 10 | 43.48 | 25.00 | 24.10 | 22.73 | 20.00 | 16.67 | 14.49 |
| 20 | 86.96 | 50.00 | 48.19 | 45.45 | 40.00 | 33.33 | 28.99 |

Anexo B: Cálculo de la corriente de empleo I_b

| P [kW] | U_r [V] | | | | | | |
|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 230 | 400 | 415 | 440 | 500 | 600 | 690 |
| | I_b [A] | | | | | | |
| 30 | 130.43 | 75.00 | 72.29 | 68.18 | 60.00 | 50.00 | 43.48 |
| 40 | 173.91 | 100.00 | 96.39 | 90.91 | 80.00 | 66.67 | 57.97 |
| 50 | 217.39 | 125.00 | 120.48 | 113.64 | 100.00 | 83.33 | 72.46 |
| 60 | 260.87 | 150.00 | 144.58 | 136.36 | 120.00 | 100.00 | 86.96 |
| 70 | 304.35 | 175.00 | 168.67 | 159.09 | 140.00 | 116.67 | 101.45 |
| 80 | 347.83 | 200.00 | 192.77 | 181.82 | 160.00 | 133.33 | 115.94 |
| 90 | 391.30 | 225.00 | 216.87 | 204.55 | 180.00 | 150.00 | 130.43 |
| 100 | 434.78 | 250.00 | 240.96 | 227.27 | 200.00 | 166.67 | 144.93 |
| 110 | 478.26 | 275.00 | 265.06 | 250.00 | 220.00 | 183.33 | 159.42 |
| 120 | 521.74 | 300.00 | 289.16 | 272.73 | 240.00 | 200.00 | 173.91 |
| 130 | 565.22 | 325.00 | 313.25 | 295.45 | 260.00 | 216.67 | 188.41 |
| 140 | 608.70 | 350.00 | 337.35 | 318.18 | 280.00 | 233.33 | 202.90 |
| 150 | 652.17 | 375.00 | 361.45 | 340.91 | 300.00 | 250.00 | 217.39 |
| 200 | 869.57 | 500.00 | 481.93 | 454.55 | 400.00 | 333.33 | 289.86 |
| 250 | 1086.96 | 625.00 | 602.41 | 568.18 | 500.00 | 416.67 | 362.32 |
| 300 | 1304.35 | 750.00 | 722.89 | 681.82 | 600.00 | 500.00 | 434.78 |
| 350 | 1521.74 | 875.00 | 843.37 | 795.45 | 700.00 | 583.33 | 507.25 |
| 400 | 1739.13 | 1000.00 | 963.86 | 909.09 | 800.00 | 666.67 | 579.71 |
| 450 | 1956.52 | 1125.00 | 1084.34 | 1022.73 | 900.00 | 750.00 | 652.17 |
| 500 | 2173.91 | 1250.00 | 1204.82 | 1136.36 | 1000.00 | 833.33 | 724.64 |
| 550 | 2391.30 | 1375.00 | 1325.30 | 1250.00 | 1100.00 | 916.67 | 797.10 |
| 600 | 2608.70 | 1500.00 | 1445.78 | 1363.64 | 1200.00 | 1000.00 | 869.57 |
| 650 | 2826.09 | 1625.00 | 1566.27 | 1477.27 | 1300.00 | 1083.33 | 942.03 |
| 700 | 3043.48 | 1750.00 | 1686.75 | 1590.91 | 1400.00 | 1166.67 | 1014.49 |
| 750 | 3260.87 | 1875.00 | 1807.23 | 1704.55 | 1500.00 | 1250.00 | 1086.96 |
| 800 | 3478.26 | 2000.00 | 1927.71 | 1818.18 | 1600.00 | 1333.33 | 1159.42 |
| 850 | 3695.65 | 2125.00 | 2048.19 | 1931.82 | 1700.00 | 1416.67 | 1231.88 |
| 900 | 3913.04 | 2250.00 | 2168.67 | 2045.45 | 1800.00 | 1500.00 | 1304.35 |
| 950 | 4130.43 | 2375.00 | 2289.16 | 2159.09 | 1900.00 | 1583.33 | 1376.81 |
| 1000 | 4347.83 | 2500.00 | 2409.64 | 2272.73 | 2000.00 | 1666.67 | 1449.28 |

Tabla 4: Factor de corrección de la corriente de empleo para $\cos\varphi$ distinto de 1

| | | | | | | | |
|----------------------------|---|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| $\cos\varphi_{\text{act}}$ | 1 | 0.95 | 0.9 | 0.85 | 0.8 | 0.75 | 0.7 |
| $k_{\cos\varphi}$ * | 1 | 1.053 | 1.111 | 1.176 | 1.25 | 1.333 | 1.429 |

* Para valores de $\cos\varphi_{\text{act}}$ no presentes en la tabla, $k_{\cos\varphi} = \frac{1}{\cos\varphi_{\text{act}}}$

Circuitos de iluminación

La corriente absorbida por el sistema de iluminación puede deducirse del catálogo de la aparatamenta de iluminación o calcularse de forma aproximada con la siguiente fórmula:

$$I_b = \frac{P_L n_L k_B k_N}{U_{rL} \cos\varphi}$$

donde:

- P_L es la potencia de la lámpara [W]
- n_L es el número de lámparas por fase
- k_B es un coeficiente que vale:
 - 1 para lámparas que no precisan dispositivos auxiliares de encendido
 - 1.25 para lámparas que precisan dispositivos auxiliares de encendido
- k_N es un coeficiente que vale:
 - 1 para lámparas conectadas en estrella
 - $\sqrt{3}$ para lámparas conectadas en triángulo
- U_{rL} es la tensión asignada de las lámparas
- $\cos\varphi$ es el factor de potencia de las lámparas que vale:
 - 0.4 para lámparas sin compensación
 - 0.9 para lámparas con compensación

Anexo B: Cálculo de la corriente de empleo I_b**Motores**

Nota: Los valores indicados son aproximados y podrán variar en función del tipo de motor y el número de polos.

La Tabla 5 indica los valores aproximados de la corriente de empleo de algunos motores trifásicos de jaula de ardilla, 1.500 RPM a 50 Hz en función de la tensión nominal.

Tabla 5: Corriente absorbida por los motores
Corriente asignada del motor a:

| Potencia del motor | | Corriente asignada del motor a: | | | | | | | |
|--------------------|---------|---------------------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| [kW] | PS = hp | 220-230 V [A] | 240 V [A] | 380-400 V [A] | 415 V [A] | 440 V [A] | 500 V [A] | 600 V [A] | 660-690 V [A] |
| 0.06 | 1/12 | 0.38 | 0.35 | 0.22 | 0.20 | 0.19 | 0.16 | 0.12 | — |
| 0.09 | 1/8 | 0.55 | 0.50 | 0.33 | 0.30 | 0.28 | 0.24 | 0.21 | — |
| 0.12 | 1/6 | 0.76 | 0.68 | 0.42 | 0.40 | 0.37 | 0.33 | 0.27 | — |
| 0.18 | 1/4 | 1.1 | 1 | 0.64 | 0.60 | 0.55 | 0.46 | 0.40 | — |
| 0.25 | 1/3 | 1.4 | 1.38 | 0.88 | 0.85 | 0.76 | 0.59 | 0.56 | — |
| 0.37 | 1/2 | 2.1 | 1.93 | 1.22 | 1.15 | 1.06 | 0.85 | 0.77 | 0.7 |
| 0.55 | 3/4 | 2.7 | 2.3 | 1.5 | 1.40 | 1.25 | 1.20 | 1.02 | 0.9 |
| 0.75 | 1 | 3.3 | 3.1 | 2 | 2 | 1.67 | 1.48 | 1.22 | 1.1 |
| 1.1 | 1.5 | 4.9 | 4.1 | 2.6 | 2.5 | 2.26 | 2.1 | 1.66 | 1.5 |
| 1.5 | 2 | 6.2 | 5.6 | 3.5 | 3.5 | 3.03 | 2.6 | 2.22 | 2 |
| 2.2 | 3 | 8.7 | 7.9 | 5 | 5 | 4.31 | 3.8 | 3.16 | 2.9 |
| 2.5 | 3.4 | 9.8 | 8.9 | 5.7 | 5.5 | 4.9 | 4.3 | 3.59 | 3.3 |
| 3 | 4 | 11.6 | 10.6 | 6.6 | 6.5 | 5.8 | 5.1 | 4.25 | 3.5 |
| 3.7 | 5 | 14.2 | 13 | 8.2 | 7.5 | 7.1 | 6.2 | 5.2 | 4.4 |
| 4 | 5.5 | 15.3 | 14 | 8.5 | 8.4 | 7.6 | 6.5 | 5.6 | 4.9 |
| 5 | 6.8 | 18.9 | 17.2 | 10.5 | 10 | 9.4 | 8.1 | 6.9 | 6 |
| 5.5 | 7.5 | 20.6 | 18.9 | 11.5 | 11 | 10.3 | 8.9 | 7.5 | 6.7 |
| 6.5 | 8.8 | 23.7 | 21.8 | 13.8 | 12.5 | 12 | 10.4 | 8.7 | 8.1 |
| 7.5 | 10 | 27.4 | 24.8 | 15.5 | 14 | 13.5 | 11.9 | 9.9 | 9 |
| 8 | 11 | 28.8 | 26.4 | 16.7 | 15.4 | 14.4 | 12.7 | 10.6 | 9.7 |
| 9 | 12.5 | 32 | 29.3 | 18.3 | 17 | 15.8 | 13.9 | 11.6 | 10.6 |
| 11 | 15 | 39.2 | 35.3 | 22 | 21 | 19.3 | 16.7 | 14.1 | 13 |
| 12.5 | 17 | 43.8 | 40.2 | 25 | 23 | 21.9 | 19 | 16.1 | 15 |
| 15 | 20 | 52.6 | 48.2 | 30 | 28 | 26.3 | 22.5 | 19.3 | 17.5 |
| 18.5 | 25 | 64.9 | 58.7 | 37 | 35 | 32 | 28.5 | 23.5 | 21 |
| 20 | 27 | 69.3 | 63.4 | 40 | 37 | 34.6 | 30.6 | 25.4 | 23 |
| 22 | 30 | 75.2 | 68 | 44 | 40 | 37.1 | 33 | 27.2 | 25 |
| 25 | 34 | 84.4 | 77.2 | 50 | 47 | 42.1 | 38 | 30.9 | 28 |
| 30 | 40 | 101 | 92.7 | 60 | 55 | 50.1 | 44 | 37.1 | 33 |
| 37 | 50 | 124 | 114 | 72 | 66 | 61.9 | 54 | 45.4 | 42 |
| 40 | 54 | 134 | 123 | 79 | 72 | 67 | 60 | 49.1 | 44 |
| 45 | 60 | 150 | 136 | 85 | 80 | 73.9 | 64.5 | 54.2 | 49 |
| 51 | 70 | 168 | 154 | 97 | 90 | 83.8 | 73.7 | 61.4 | 56 |
| 55 | 75 | 181 | 166 | 105 | 96 | 90.3 | 79 | 66.2 | 60 |
| 59 | 80 | 194 | 178 | 112 | 105 | 96.9 | 85.3 | 71.1 | 66 |
| 75 | 100 | 245 | 226 | 140 | 135 | 123 | 106 | 90.3 | 82 |
| 80 | 110 | 260 | 241 | 147 | 138 | 131 | 112 | 96.3 | 86 |
| 90 | 125 | 292 | 268 | 170 | 165 | 146 | 128 | 107 | 98 |
| 100 | 136 | 325 | 297 | 188 | 182 | 162 | 143 | 119 | 107 |
| 110 | 150 | 358 | 327 | 205 | 200 | 178 | 156 | 131 | 118 |
| 129 | 175 | 420 | 384 | 242 | 230 | 209 | 184 | 153 | 135 |
| 132 | 180 | 425 | 393 | 245 | 242 | 214 | 186 | 157 | 140 |
| 140 | 190 | 449 | 416 | 260 | 250 | 227 | 200 | 167 | 145 |
| 147 | 200 | 472 | 432 | 273 | 260 | 236 | 207 | 173 | 152 |
| 160 | 220 | 502 | 471 | 295 | 280 | 256 | 220 | 188 | 170 |
| 180 | 245 | 578 | 530 | 333 | 320 | 289 | 254 | 212 | 190 |
| 184 | 250 | 590 | 541 | 340 | 325 | 295 | 259 | 217 | 200 |
| 200 | 270 | 626 | 589 | 370 | 340 | 321 | 278 | 235 | 215 |
| 220 | 300 | 700 | 647 | 408 | 385 | 353 | 310 | 260 | 235 |
| 250 | 340 | 803 | 736 | 460 | 425 | 401 | 353 | 295 | 268 |
| 257 | 350 | 826 | 756 | 475 | 450 | 412 | 363 | 302 | 280 |
| 295 | 400 | 948 | 868 | 546 | 500 | 473 | 416 | 348 | 320 |
| 315 | 430 | 990 | 927 | 580 | 535 | 505 | 445 | 370 | 337 |
| 355 | 480 | 1080 | 1010 | 636 | 580 | 549 | 483 | 405 | 366 |
| 400 | 545 | 1250 | 1130 | 710 | 650 | 611 | 538 | 450 | 410 |
| 450 | 610 | 1410 | 1270 | 800 | 740 | 688 | 608 | 508 | 460 |
| 475 | 645 | 1490 | 1340 | 850 | 780 | 730 | 645 | 540 | 485 |
| 500 | 680 | 1570 | 1420 | 890 | 830 | 770 | 680 | 565 | 510 |
| 560 | 760 | 1750 | 1580 | 1000 | 920 | 860 | 760 | 630 | 570 |
| 600 | 810 | — | — | 1080 | 990 | 920 | 810 | 680 | 610 |
| 670 | 910 | — | — | 1200 | 1100 | 1030 | 910 | 760 | 680 |

Anexo C: Armónicos

Definición

Los armónicos permiten representar cualquier forma de onda periódica; de hecho, según el teorema de Fourier, cualquier función periódica de un periodo T puede ser representada como una suma de:

- un senoide con el mismo periodo T ;
- diversos sinusoides con la misma frecuencia que múltiplos enteros del componente fundamental;
- un posible componente continuo, si la función tiene un valor medio no igual a cero en el periodo.

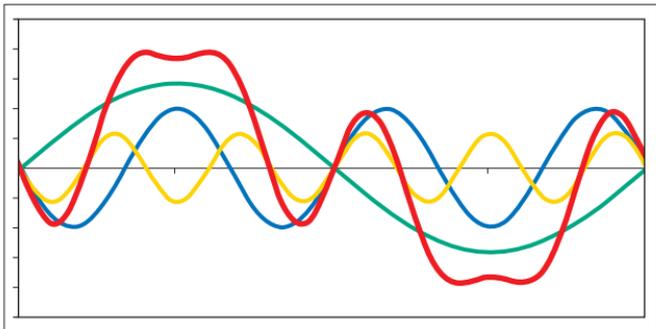
El armónico con frecuencia correspondiente al periodo de la forma de onda original recibe el nombre de fundamental, y el armónico con una frecuencia igual a "n" veces del fundamental se conoce como componente armónico de orden "n".

Una forma de onda perfectamente sinusoidal que cumpla con el teorema de Fourier no presenta componentes armónicos de un orden diferente al fundamental. Por ello, se puede comprender por qué no existen armónicos en un sistema eléctrico cuando las formas de onda de corriente y tensión son sinusoidales. Al contrario, la presencia de armónicos en un sistema eléctrico es un signo indicador de la distorsión de la forma de onda de la tensión o corriente, y ello implica una distribución de la potencia eléctrica que podría causar fallos en el equipo y los dispositivos de protección.

En resumen: los armónicos son componentes de una forma de onda deformada, y su uso nos permite analizar cualquier forma de onda periódica no sinusoidal a través de diferentes componentes de forma de onda sinusoidales.

La figura siguiente muestra una representación gráfica de este concepto.

Figura 1



Legendas:

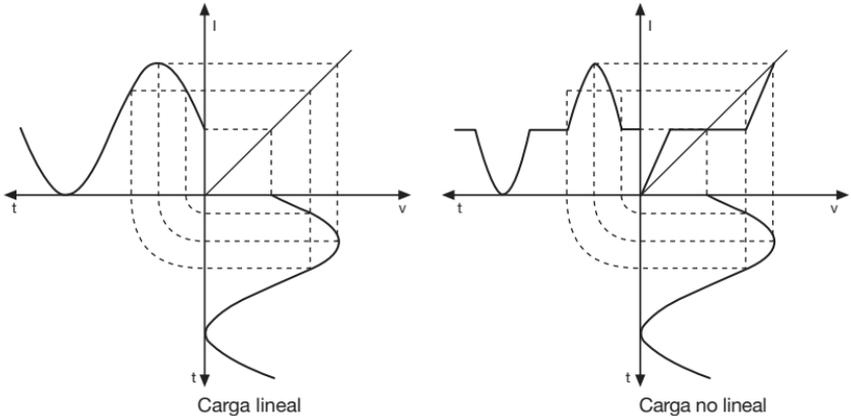
- onda no sinusoidal
- primer armónico (fundamental)
- tercer armónico
- quinto armónico

Anexo C: Armónicos

Cómo se generan los armónicos

Los armónicos son generados por cargas no lineales. Si aplicamos una tensión sinusoidal a una carga de este tipo, debemos obtener una corriente con forma de onda no sinusoidal. El diagrama de la Figura 2 ilustra un ejemplo de forma de onda de corriente no sinusoidal debido a una carga no lineal:

Figura 2



Como se ha indicado anteriormente, esta forma de onda no sinusoidal puede ser deconstruida en armónicos. Si las impedancias de red son muy bajas, la distorsión de tensión que resulta de una corriente armónica también es baja, y rara vez se encuentra por encima del nivel de polución presente en la red. Como consecuencia de ello, la tensión puede continuar siendo prácticamente sinusoidal también en presencia de armónicos de corriente.

Para funcionar debidamente, muchos dispositivos electrónicos precisan una forma de onda de corriente definida y, así, deben "cortar" la forma de onda sinusoidal para cambiar su valor rms o para obtener una corriente continua de un valor alterno; en esos casos, la corriente de la línea tiene una curva no sinusoidal.

Los principales equipos que generan armónicos son:

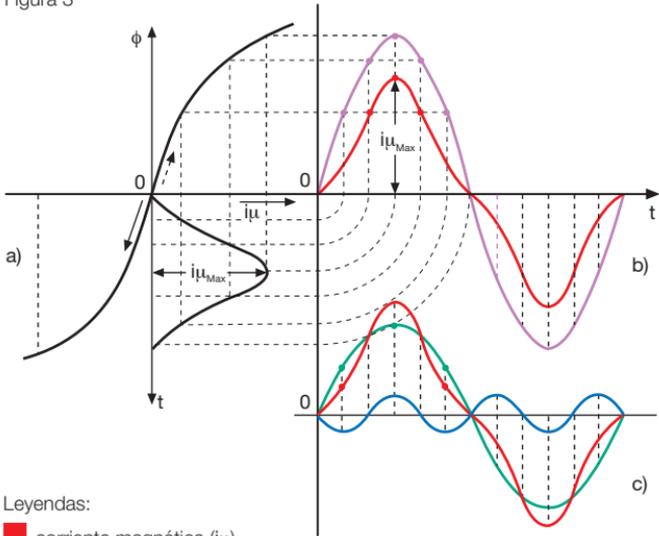
- ordenadores
- lámparas fluorescentes
- convertidores estáticos
- grupos de continuidad
- variadores de velocidad variable
- soldadores

Por lo general, la deformación de la forma de onda se debe a la presencia dentro del equipo de rectificadores en puente, cuyos dispositivos semiconductores transportan la corriente sólo durante una parte de todo el periodo, originando así curvas discontinuas, con la consiguiente aparición de numerosos armónicos.

Anexo C: Armónicos

Los transformadores pueden ser también una causa de contaminación armónica; de hecho, si se aplica una tensión sinusoidal perfecta a un transformador, se genera un flujo magnético sinusoidal pero, debido al fenómeno de la saturación magnética del hierro, la corriente magnética no debe ser sinusoidal. En la Figura 3 se muestra una representación gráfica de este fenómeno:

Figura 3



Leyendas:

- corriente magnética ($i\mu$)
- corriente del primer armónico (fundamental)
- corriente del tercer armónico
- flujo variable en el tiempo: $\phi = \phi_{Max} \sin \omega t$

La forma de onda resultante de la corriente magnética contiene numerosos armónicos, y el tercero es el mayor. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la corriente magnética suele representar un pequeño porcentaje de la corriente asignada del transformador, y que el efecto de deformación es cada vez más insignificante cuanto mayor es la carga del transformador.

Efectos

Los principales problemas provocados por las corrientes armónicas son:

- 1) sobrecarga de neutros
- 2) aumento de pérdidas en los transformadores
- 3) aumento del efecto superficial

Los principales efectos de las tensiones armónicas son:

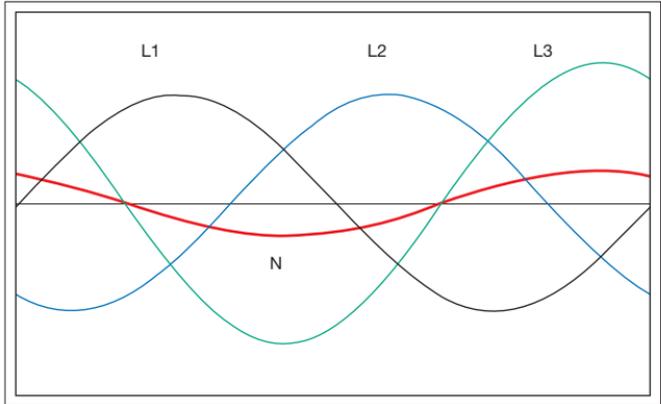
- 4) distorsión de la tensión
- 5) perturbaciones en el par de los motores de inducción

Anexo C: Armónicos

1) Sobrecarga de neutros

En un sistema trifásico y equilibrado con neutros, las formas de onda entre las fases son desplazadas por un ángulo de fase de 120° de modo que, cuando las fases tienen una carga equilibrada, la corriente en el neutro es cero. La presencia de cargas no equilibradas (entre fases, fase-neutro, etc.) permite el flujo de una corriente no equilibrada en el neutro.

Figura 4



En la Figura 4 se muestra un sistema de corrientes no equilibrado (la fase 3 tiene una carga un 30% superior a las otras dos fases), y la corriente resultante en el neutro se destaca en rojo. En estas circunstancias, las normas permiten que el conductor neutro sea dimensionado con una sección transversa inferior a los conductores de fase. En presencia de cargas de deformación, es necesario valorar correctamente los efectos de los armónicos.

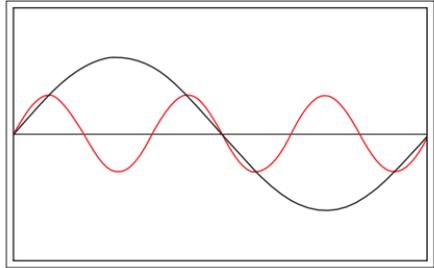
De hecho, aunque las corrientes a una frecuencia fundamental en las tres fases se anulan entre sí, los componentes del tercer armónico, con un periodo igual a una tercera parte del fundamental, esto es, igual al cambio de fase entre las fases (véase la Figura 5), son recíprocos en la fase y, en consecuencia, suman el conductor neutro al sumarse a sí mismos a las corrientes normales no equilibradas.

Lo mismo ocurre con los armónicos múltiplos de tres (pares e impares, aunque en realidad los impares son más comunes).

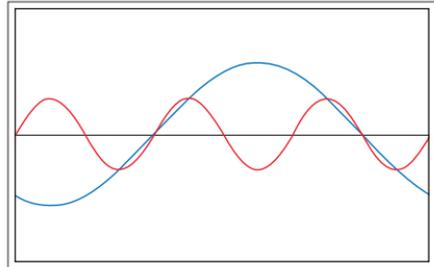
Anexo C: Armónicos

Figura 5

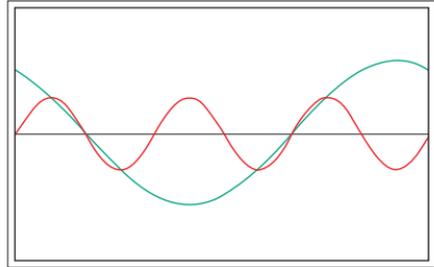
Fase 1:
armónico fundamental y 3^{er} armónico



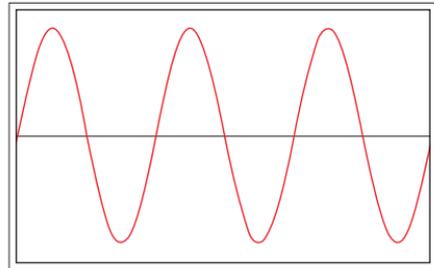
Fase 2:
armónico fundamental y 3^{er} armónico



Fase 3:
armónico fundamental y 3^{er} armónico



Resultante de las corrientes de las tres fases



Anexo C: Armónicos

2) Aumento de pérdidas en los transformadores

Los efectos de los armónicos en el interior de los transformadores abarcan principalmente tres aspectos:

- a) aumento de las pérdidas de hierro (o pérdidas sin carga)
 - b) aumento de las pérdidas de cobre
 - c) presencia de armónicos circulando en los arrollamientos
- a) Las pérdidas de hierro se deben al fenómeno de histéresis y a las pérdidas por corrientes de Foucault; las pérdidas a causa de la histéresis son proporcionales a la frecuencia, mientras que las pérdidas por corrientes de Foucault dependen del cuadrado de la frecuencia.
- b) Las pérdidas de cobre corresponden a la potencia disipada por el efecto Joule en los arrollamientos del transformador. A medida que aumenta la frecuencia (a partir de 350 Hz), la corriente tiende a espesar la superficie de los conductores (efecto superficial); en estas circunstancias, los conductores ofrecen una sección transversa inferior al flujo de corriente, dado que las pérdidas por el efecto Joule aumentan.

Estos dos primeros aspectos afectan al sobrecalentamiento, lo que en ocasiones provoca una reducción de la capacidad del transformador.

- c) El tercer aspecto hace referencia a los efectos de los armónicos triple-N (armónicos homopolares) en los arrollamientos del transformador. En el caso de los arrollamientos en triángulo, los armónicos fluyen por los arrollamientos y no se propagan aguas arriba hacia la red, dado que se encuentran en fase; por tanto, los arrollamientos en triángulo representan una barrera para los armónicos triple-N, pero es necesario prestar especial atención a este tipo de componentes armónicos para un correcto dimensionado del transformador.

3) Aumento del "skin effect"

Cuando aumenta la frecuencia, la corriente tiende a fluir por la superficie externa de un conductor. Este fenómeno se conoce como efecto superficial, y es más pronunciado en frecuencias elevadas. A una frecuencia de alimentación de potencia de 50 Hz, el efecto superficial es insignificante, pero por encima de 350 Hz, que corresponde al séptimo armónico, la sección transversa del flujo de corriente disminuye, de modo que aumenta la resistencia y se generan pérdidas adicionales y calentamiento.

En presencia de armónicos de alto orden, es necesario tener en cuenta el efecto superficial, dado que afecta a la vida útil de los cables. Para superar este problema, es posible utilizar múltiples cables de conductor o sistemas de barras formados por varios conductores elementales aislados.

2

4) Distorsión de la tensión

La corriente de carga distorsionada producida por la carga no lineal provoca una caída de tensión distorsionada en la impedancia del cable. La forma de onda de tensión distorsionada se aplica a las demás cargas conectadas al mismo circuito, de modo que las corrientes armónicas fluyen por ellas, aunque se trate de cargas lineales.

La solución consiste en separar los circuitos que proporcionan armónicos que generan cargas, de aquellos que suministran cargas sensibles a los armónicos.

5) Perturbaciones en el par de los motores de inducción

La distorsión de la tensión armónica provoca un aumento de pérdidas por corrientes de Foucault en los motores, de la misma forma que en los transformadores. Las pérdidas adicionales se deben a la generación de campos armónicos en el estator, cada uno de los cuales intenta hacer girar el motor a una velocidad diferente, tanto hacia delante (1°, 4°, 7°, etc.) como hacia atrás (2°, 5°, 8°, etc.). Las corrientes de alta frecuencia inducidas en el rotor aumentan aún más las pérdidas.

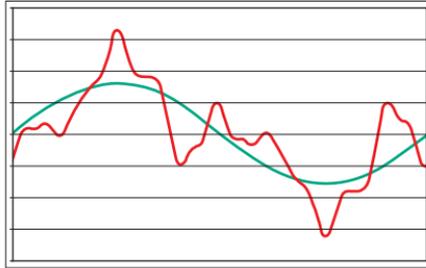
Anexo C: Armónicos

Fórmulas principales

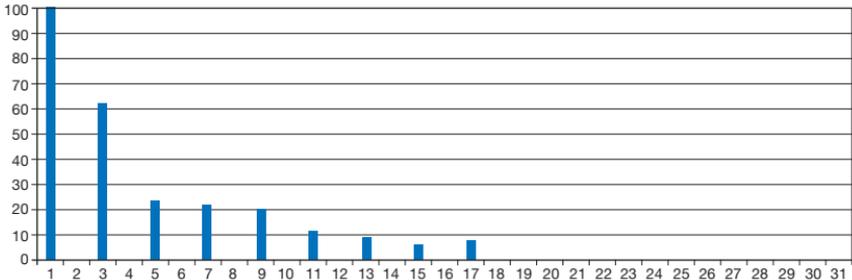
A continuación se indican las definiciones de las cantidades principales utilizadas normalmente en un análisis de armónicos.

Espectro de frecuencia

El espectro de frecuencia es la representación clásica del contenido armónico de una forma de onda, y consiste en un histograma que refleja el valor de cada armónico como un porcentaje del componente fundamental. Por ejemplo, para la siguiente forma de onda:



el espectro de frecuencia es:



El espectro de frecuencia ofrece las dimensiones de los componentes armónicos existentes.

Factor de cresta

El factor de cresta se define como la razón entre el valor de cresta y el valor rms de la forma de onda:

$$k = \frac{I_p}{I_{rms}}$$

en caso de formas de onda sinusoidales perfectas, vale $\sqrt{2}$, pero en presencia de armónicos puede alcanzar valores superiores.

Los factores de cresta elevados pueden provocar una activación no deseada de los dispositivos de protección.

Valor Rms

El valor rms de una forma de onda periódica $e(t)$ se define como:

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt}$$

donde T es el período.

Anexo C: Armónicos

Si se conocen los valores rms de los componentes armónicos, el valor total de rms se puede calcular fácilmente a partir de la siguiente fórmula:

$$E_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} E_n^2}$$

Distorsión armónica total THD

La distorsión armónica total se define como:

$$\text{THD}_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad \text{THD en corriente}$$

$$\text{THD}_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \quad \text{THD en tensión}$$

El factor de distorsión armónica es un parámetro muy importante que ofrece información sobre el contenido armónico de las formas de onda de la tensión y la corriente, así como sobre las medidas que se deben tomar si estos valores son elevados. Para $\text{THD}_i < 10\%$ y $\text{THD}_u < 5\%$, el contenido armónico se considera insignificante y no requiere medida alguna.

Referencias de normas de los interruptores automáticos

IEC 60947 Interruptores de maniobra y control de baja tensión

En el anexo F de la norma IEC 60947-2 (tercera edición de 2003) se ofrece información sobre las pruebas necesarias para comprobar la inmunidad de los relés de sobreintensidad contra los armónicos.

En particular, describe la forma de onda de la corriente de prueba a la cual, en correspondencia con los valores determinados de corriente inyectada, el relé debe actuar según las disposiciones de esta norma.

A continuación se indican las características de la forma de onda de la corriente de prueba, que se debe formar de la siguiente forma:

1) por el componente fundamental y por una variable del tercer armónico entre el 72% y el 88% del fundamental, con un factor de cresta igual a 2 o por una variable del quinto armónico entre el 45% y el 55% del fundamental, con un factor de cresta igual a 1.9

o

2) por el componente fundamental y por un tercer armónico superior al 60% del fundamental, por un quinto armónico superior al 14% del fundamental y por un séptimo armónico superior al 7% del fundamental. Esta corriente de prueba debe tener un factor de cresta ≥ 2.1 y debe fluir durante un tiempo determinado $\leq 42\%$ del periodo en cada medio periodo.

Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables (K⁵ S²)

Utilizando la fórmula (1), es posible calcular la sección mínima S del conductor, suponiendo que el conductor genérico sufra un calentamiento adiabático desde una temperatura inicial conocida hasta una temperatura final específica (aplicable si el tiempo de eliminación del defecto no es superior a 5 seg.):

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

donde:

- S es la sección del conductor [mm²]
- I es el valor eficaz (rms) de la corriente de defecto prevista que puede circular a través del dispositivo de protección debido a un defecto de impedancia despreciable [A]
- t es el tiempo de actuación del dispositivo de protección [s]

El valor de k puede calcularse utilizando las Tablas 2÷7 o mediante la fórmula (2):

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i} \right)} \quad (2)$$

donde:

- Q_c es la capacidad térmica por unidad de volumen del material del conductor [J/°Cmm³] a 20 °C
- B es el inverso del coeficiente de temperatura de la resistividad a 0 °C para el conductor [°C]
- ρ₂₀ es la resistividad eléctrica del material conductor a 20 °C [Ωmm]
- θ_i es la temperatura inicial del conductor [°C]
- θ_f es la temperatura final del conductor [°C].

La Tabla 1 indica los valores de los parámetros descritos anteriormente.

Tabla 1: Valor de los parámetros para distintos materiales

| Material | B [°C] | Q _c [J/°Cmm ³] | ρ ₂₀ [Ωmm] | $\sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\rho_{20}}}$ |
|----------|-----------|--|--------------------------|---------------------------------------|
| Cobre | 234.5 | 3.45·10 ⁻³ | 17.241·10 ⁻⁶ | 226 |
| Aluminio | 228 | 2.5·10 ⁻³ | 28.264·10 ⁻⁶ | 148 |
| Plomo | 230 | 1.45·10 ⁻³ | 214·10 ⁻⁶ | 41 |
| Acero | 202 | 3.8·10 ⁻³ | 138·10 ⁻⁶ | 78 |

Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables

Tabla 2: Valores de k para conductores de fase

| | Aislamiento del conductor | | | | | |
|---|---------------------------|-----------------------|------|--------|---------|----------------------|
| | PVC | PVC | EPR | Caucho | Mineral | |
| | ≤ 300 mm ² | ≤ 300 mm ² | XLPE | 60 °C | PVC | Desnudo |
| Temperatura inicial °C | 70 | 70 | 90 | 60 | 70 | 105 |
| Temperatura final °C | 160 | 140 | 250 | 200 | 160 | 250 |
| Material del conductor: | | | | | | |
| <i>cobre</i> | 115 | 103 | 143 | 141 | 115 | 135/115 ^a |
| <i>aluminio</i> | 76 | 68 | 94 | 93 | - | - |
| <i>uniones soldadas en cond. de cobre</i> | 115 | - | - | - | - | - |

^a Este valor se debe utilizar para cables expuestos a ser tocados.

Tabla 3: Valores de k para conductores de protección aislados, pero no incorporados en cables ni agrupados con otros cables

| Aislamiento conductor | Temperatura °C ^b | | Material del conductor | | |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| | Inicial | Final | Cobre | Aluminio | Acero |
| | | | Valor para k | | |
| 70 °C PVC | 30 | 160/140 ^a | 143/133 ^a | 95/88 ^a | 52/49 ^a |
| 90 °C PVC | 30 | 160/140 ^a | 143/133 ^a | 95/88 ^a | 52/49 ^a |
| 90 °C termoestable | 30 | 250 | 176 | 116 | 64 |
| 60 °C caucho | 30 | 200 | 159 | 105 | 58 |
| 85 °C caucho | 30 | 220 | 166 | 110 | 60 |
| Caucho silicona | 30 | 350 | 201 | 133 | 73 |

^a El valor inferior es aplicable a conductores aislados en PVC de sección transversa superior a 300 mm².

^b Los límites de temperatura para los distintos tipos de aislamiento se indican en IEC 60724.

Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables

Tabla 2: Valores de k para conductores de fase

| | Aislamiento del conductor | | | | | |
|---|---------------------------|-----------------------|------|--------|---------|----------------------|
| | PVC | PVC | EPR | Caucho | Mineral | |
| | ≤ 300 mm ² | ≤ 300 mm ² | XLPE | 60 °C | PVC | Desnudo |
| Temperatura inicial °C | 70 | 70 | 90 | 60 | 70 | 105 |
| Temperatura final °C | 160 | 140 | 250 | 200 | 160 | 250 |
| Material del conductor: | | | | | | |
| <i>cobre</i> | 115 | 103 | 143 | 141 | 115 | 135/115 ^a |
| <i>aluminio</i> | 76 | 68 | 94 | 93 | - | - |
| <i>uniones soldadas en cond. de cobre</i> | 115 | - | - | - | - | - |

^a Este valor se debe utilizar para cables expuestos a ser tocados.

Tabla 3: Valores de k para conductores de protección aislados, pero no incorporados en cables ni agrupados con otros cables

| Aislamiento conductor | Temperatura °C ^b | | Material del conductor | | |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| | Inicial | Final | Cobre | Aluminio | Acero |
| | | | Valor para k | | |
| 70 °C PVC | 30 | 160/140 ^a | 143/133 ^a | 95/88 ^a | 52/49 ^a |
| 90 °C PVC | 30 | 160/140 ^a | 143/133 ^a | 95/88 ^a | 52/49 ^a |
| 90 °C termoestable | 30 | 250 | 176 | 116 | 64 |
| 60 °C caucho | 30 | 200 | 159 | 105 | 58 |
| 85 °C caucho | 30 | 220 | 166 | 110 | 60 |
| Caucho silicona | 30 | 350 | 201 | 133 | 73 |

^a El valor inferior es aplicable a conductores aislados en PVC de sección transversa superior a 300 mm².

^b Los límites de temperatura para los distintos tipos de aislamiento se indican en IEC 60724.

Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables ($K^2 S^2$)

Tabla 4: Valores de k para conductores de protección desnudos en contacto con el revestimiento exterior de los cables, pero no agrupados con otros cables

| Cubierta cable | Temperatura °C ^a | | Material del conductor | | |
|----------------|-----------------------------|-------|------------------------|--------------------------|-------|
| | Inicial | Final | Cobre | Aluminio Valor para k | Acero |
| PVC | 30 | 200 | 159 | 105 | 58 |
| Poliétileno | 30 | 150 | 138 | 91 | 50 |
| CSP | 30 | 220 | 166 | 110 | 60 |

^a Los límites de temperatura para los distintos tipos de aislamiento se indican en IEC 60724.

Tabla 5: Valores de k para conductores de protección incorporados en cables o agrupados con otros cables o conductores aislados

| Cubierta cable | Temperatura °C ^b | | Material del conductor | | |
|--------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| | Inicial | Final | Cobre | Aluminio Valor para k | Acero |
| 70 °C PVC | 70 | 160/140 ^a | 115/103 ^a | 76/68 ^a | 42/37 ^a |
| 90 °C PVC | 90 | 160/140 ^a | 100/86 ^a | 66/57 ^a | 36/31 ^a |
| 90 °C termoestable | 90 | 250 | 143 | 94 | 52 |
| 60 °C caucho | 60 | 200 | 141 | 93 | 51 |
| 85 °C caucho | 85 | 220 | 134 | 89 | 48 |
| Caucho silicona | 180 | 350 | 132 | 87 | 47 |

^a El valor inferior es aplicable a conductores aislados en PVC de sección transversal superior a 300 mm².

^b Los límites de temperatura para los distintos tipos de aislamiento se indican en IEC 60724.

Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables (K² S²)

Tabla 6: Valores de k para conductores de protección como revestimiento metálico de un cable; por ej. armadura, funda metálica, conductor concéntrico, etc.

| Aislamiento conductor | Temperatura °C | | Material del conductor | | | |
|--------------------------------------|----------------|-------|------------------------|----------|-------|-------|
| | Inicial | Final | Cobre | Aluminio | Plomo | Acero |
| | | | Valor para k | | | |
| 70 °C PVC | 60 | 200 | 141 | 93 | 26 | 51 |
| 90 °C PVC | 80 | 200 | 128 | 85 | 23 | 46 |
| 90 °C termoendurecible | 80 | 200 | 128 | 85 | 23 | 46 |
| 60 °C caucho | 55 | 200 | 144 | 95 | 26 | 52 |
| 85 °C caucho | 75 | 220 | 140 | 93 | 26 | 51 |
| Mineral cubierto de PVC ^a | 70 | 200 | 135 | - | - | - |
| Mineral sin cubierta | 105 | 250 | 135 | - | - | - |

^a Este valor debe usarse para cables desnudos expuestos a ser tocados, en contacto con material combustible.

Tabla 7: Valores de k para conductores desnudos sin riesgo de dañar los materiales contiguos a las temperaturas indicadas

| Aislamiento conductor | Temperatura inicial °C | Material del conductor | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|
| | | Cobre | | Aluminio | | Acero | |
| | | Maxima temperatura | | Maxima temperatura | | Maxima temperatura | |
| | | °C | valor k | °C | valor k | °C | valor k |
| Visible en área restringida | 30 | 228 | 500 | 125 | 300 | 82 | 500 |
| Condiciones normales | 30 | 159 | 200 | 105 | 200 | 58 | 200 |
| Riesgo de fuego | 30 | 138 | 150 | 91 | 150 | 50 | 150 |

Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

Sistema internacional de unidades SI

Las unidades fundamentales del sistema internacional son:

| Magnitudes básicas | Símbolo | Unidad de medida |
|---------------------------|---------|------------------|
| Longitud | m | metro |
| Masa | kg | kilogramo |
| Tiempo | s | segundo |
| Corriente eléctrica | A | amperio |
| Temperatura termodinámica | K | kelvin |
| Cantidad de materia | mol | mol |
| Intensidad luminosa | cd | candela |

Prefijos para múltiplos y submúltiplos de las unidades

| Potencia decimal | Prefijo | Símbolo | Potencia decimal | Prefijo | Símbolo |
|------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|
| 10^{24} | yotta | Y | 10^{-1} | deci | d |
| 10^{21} | zetta | Z | 10^{-2} | centi | c |
| 10^{18} | exa | E | 10^{-3} | milli | m |
| 10^{15} | peta | P | 10^{-6} | mikro | μ |
| 10^{12} | tera | T | 10^{-9} | nano | n |
| 10^9 | giga | G | 10^{-12} | pico | p |
| 10^6 | mega | M | 10^{-15} | femto | f |
| 10^3 | kilo | k | 10^{-18} | atto | a |
| 10^2 | etto | h | 10^{-21} | zepto | z |
| 10 | deca | da | 10^{-24} | yocto | y |

Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

Principales magnitudes y unidades del SI

| Magnitud | Unidad SI | | Otras unidades | | Conversión | |
|-----------------------------------|---------------------|--------------------|--|-----------------------------|--|---|
| | Símbolo | Nombre | Símbolo | Nombre | | |
| Longitud, área, volumen | | | | | | |
| l | longitud | m | metro | in | pulgada | 1 in = 25.4 mm |
| | | | | ft | pie | 1 ft = 30.48 cm |
| | | | | fth | brazo (fathom) | 1 fth = 6 ft = 1.8288 m |
| | | | | milla | milla | 1 milla = 1609.344 m |
| | | | | mn | milla náutica | 1 mn = 1852 m |
| A | área | m ² | metro cuadrado | yd | yarda | 1 yd = 91.44 cm |
| | | | | a | área | 1 a = 10 ² m ² |
| | | | | ha | hectárea | 1 ha = 10 ⁴ m ² |
| V | volumen | m ³ | metro cúbico | l | litro | 1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³ |
| | | | | UK pt | pinta | 1 UK pt = 0.5683 dm ³ |
| | | | | UK gal | galón | 1 UK gal = 4.5461 dm ³ |
| | | | | US gal | galón | 1 US gal = 3.7855 dm ³ |
| Ángulos | | | | | | |
| α, β, γ | ángulo plano | rad | radián | ° | grados | 1° = $\frac{\pi}{180}$ · rad |
| Ω | ángulo sólido | sr | estereorradián | | | |
| Masa | | | | | | |
| m | masa, peso | kg | kilogramo | lb | libra | 1 lb = 0.45359 kg |
| ρ | densidad | kg/m ³ | kilogramo por metro cúbico | | | |
| v | volumen específico | m ³ /kg | metro cúbico por kilogramo | | | |
| M | mom. de inercia | kg·m ² | kilogramo por metro cúbico | | | |
| Tiempo | | | | | | |
| t | duración | s | segundo | | | |
| f | frecuencia | Hz | Hercio | 1 Hz = 1/s | | |
| ω | pulsación | 1/s | segundo recíproco | ω = 2πf | | |
| v | velocidad | m/s | metro por segundo | km/h | kilómetros por hora | 1 km/h = 0.2777 m/s |
| | | | | mi/h | milla por hora | 1 mi/h = 0.4470 m/s |
| g | aceleración | m/s ² | metros por segundo elevado al cuadrado | kn | kn | 1 kn = 0.5144 m/s |
| Fuerza, energía y potencia | | | | | | |
| F | fuerza | N | newton | kgf | 1 N = 1 kg·m/s ² 1 kgf = 9.80665 N | |
| p | presión | Pa | pascal | bar | bar | 1 Pa = 1 N/m ² 1 bar = 10 ⁵ Pa |
| W | energía, trabajo | J | julio | 1 J = 1 W·s = 1 N·m | | |
| P | potencia | W | vatio | Hp | caballo | 1 Hp = 745.7 W |
| Temperatura y calor | | | | | | |
| T | temperatura | K | kelvin | °C | Celsius | T[K] = 273.15 + T [°C] |
| | | | | °F | Fahrenheit | T[K] = 273.15 + (5/9)·(T [°F]-32) |
| Q | cantidad de calor | J | julio | | | |
| S | entropía | J/K | julio por kelvin | | | |
| Magnitudes fotométricas | | | | | | |
| I | intensidad luminosa | cd | candela | | | |
| L | luminancia | cd/m ² | candela por metro cuadrado | | | |
| Φ | flujo luminoso | lm | lumen | 1 lm = 1 cd·sr | | |
| E | iluminancia | lux | | 1 lux = 1 lm/m ² | | |

Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

Principales magnitudes eléctricas, magnéticas y unidades del SI

| Magnitud | Nombre | Unidad SI | Símbolo | Nombre | Otras unidades | Nombre | Conversión |
|----------|---------------------|-----------|---------|----------------------------|----------------|-------------------|--|
| I | corriente | A | | amperio | | | |
| V | tensión | V | | voltio | | | |
| R | resistencia | Ω | | ohm | | | |
| G | conductancia | S | | siemens | | | $G = 1/R$ |
| X | reactancia | Ω | | ohm | | | $X_L = \omega L$ $X_C = -1/\omega C$ |
| B | susceptancia | S | | siemens | | | $B_L = -1/\omega L$ $B_C = \omega C$ |
| Z | impedancia | Ω | | ohm | | | |
| Y | admitancia | S | | siemens | | | |
| P | potencia activa | W | | vatio | | | |
| Q | potencia reactiva | var | | voltios amperios reactivos | | | |
| S | potencia aparente | VA | | voltios amperios | | | |
| Q | carga eléctrica | C | | culombio | Ah | amperios por hora | $1 C = 1 A \cdot s$ $1 Ah = 3600 A \cdot s$ |
| E | campo eléctrico | V/m | | voltio por metro | | | |
| B | inducción magnética | T | | tesla | G | gauss | $1 T = 1 V \cdot s/m^2$ $1 G = 10^{-4} T$ |
| L | inductancia | H | | henrio | | | $1 H = 1 \Omega \cdot s$ |

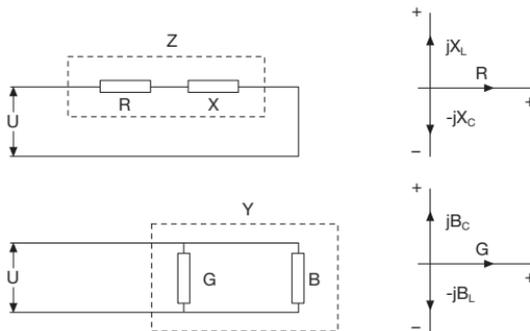
Valores de resistividad, conductividad y coeficiente de temperatura a 20 °C de los principales materiales eléctricos

| Conductor | Resistividad ρ_{20} [mm ² Ω/m] | Conductividad $\chi_{20} = 1/\rho_{20}$ [m/mm ² Ω] | Coefficiente de temperatura α_{20} [K ⁻¹] |
|-------------------|---|---|---|
| Aluminio | 0.0287 | 34.84 | $3.8 \cdot 10^{-3}$ |
| Latón, CuZn 40 | ≤ 0.067 | ≥ 15 | $2 \cdot 10^{-3}$ |
| Constantán | 0.50 | 2 | $-3 \cdot 10^{-4}$ |
| Cobre | 0.0175 | 57.14 | $3.95 \cdot 10^{-3}$ |
| Oro | 0.023 | 43.5 | $3.8 \cdot 10^{-3}$ |
| Alambre de hierro | 0.1 to 0,15 | 10 to 6.7 | $4.5 \cdot 10^{-3}$ |
| Plomo | 0.208 | 4.81 | $3.9 \cdot 10^{-3}$ |
| Magnesio | 0.043 | 23.26 | $4.1 \cdot 10^{-3}$ |
| Manganina | 0.43 | 2.33 | $4 \cdot 10^{-6}$ |
| Mercurio | 0.941 | 1.06 | $9.2 \cdot 10^{-4}$ |
| Ni Cr 8020 | 1 | 1 | $2.5 \cdot 10^{-4}$ |
| Niquelina | 0.43 | 2.33 | $2.3 \cdot 10^{-4}$ |
| Plata | 0.016 | 62.5 | $3.8 \cdot 10^{-3}$ |
| Cinc | 0.06 | 16.7 | $4.2 \cdot 10^{-3}$ |

Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

Principales fórmulas de electrotecnia

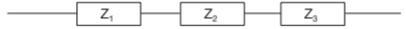
| | |
|---|---|
| Resistencia de un conductor a la temperatura ϑ | $R_{\vartheta} = \rho_{\vartheta} \cdot \frac{\ell}{S}$ |
| Conductancia de un conductor a la temperatura ϑ | $G_{\vartheta} = \frac{1}{R_{\vartheta}} = \chi_{\vartheta} \cdot \frac{S}{\ell}$ |
| Resistividad de un conductor a la temperatura ϑ | $\rho_{\vartheta} = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (\vartheta - 20)]$ |
| Reactancia capacitiva | $X_C = \frac{-1}{\omega \cdot C} = - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$ |
| Reactancia inductiva | $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ |
| Impedancia | $Z = R + jX$ |
| Impedancia módulo | $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ |
| Impedancia fase | $\varphi = \arctan \frac{R}{X}$ |
| Conductancia | $G = \frac{1}{R}$ |
| Susceptancia capacitiva | $B_C = \frac{-1}{X_C} = \omega \cdot C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$ |
| Susceptancia inductiva | $B_L = \frac{-1}{X_L} = - \frac{1}{\omega \cdot L} = - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$ |
| Admitancia | $Y = G - jB$ |
| Admitancia módulo | $Y = \sqrt{G^2 + B^2}$ |
| Admitancia fase | $\varphi = \arctan \frac{B}{G}$ |



Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

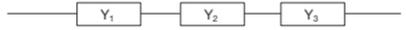
Impedancias en serie

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$



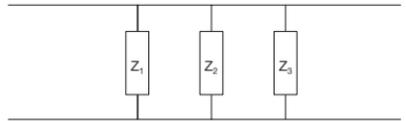
Admitancias en serie

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_2} + \frac{1}{Y_3} + \dots}$$



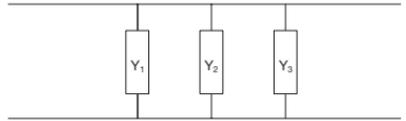
Impedancias en paralelo

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots}$$

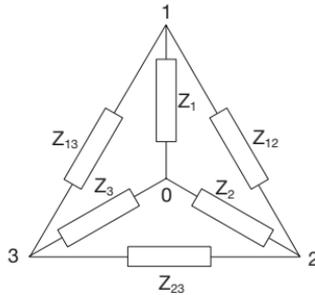


Admitancias en paralelo

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$$



Transformaciones estrella/triángulo y triángulo/estrella



| $Y \rightarrow \Delta$ | $\Delta \rightarrow Y$ |
|--|--|
| $Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_3}$ | $Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$ |
| $Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_1}$ | $Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$ |
| $Z_{13} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_2}$ | $Z_3 = \frac{Z_{23} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$ |

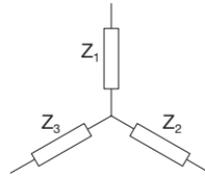
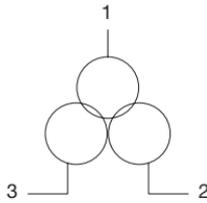
Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

Transformadores

Transformadores con dos arrollamientos

| | |
|----------------------------|---|
| corriente asignada | $I_r = \frac{S_r}{\sqrt{3} \cdot U_r}$ |
| potencia de cortocircuito | $S_k = \frac{S_r}{u_k\%} \cdot 100$ |
| corriente de cortocircuito | $I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r} = \frac{I_r}{u_k\%} \cdot 100$ |
| impedancia longitudinal | $Z_T = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} = \frac{u_k\%}{100} \cdot \frac{S_r}{3 \cdot I_r^2}$ |
| resistencia longitudinal | $R_T = \frac{p_k\%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r} = \frac{p_k\%}{100} \cdot \frac{S_r}{3 \cdot I_r^2}$ |
| reactancia longitudinal | $X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$ |

Transformador de tres arrollamientos



$$Z_{12} = \frac{u_{12}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r12}}$$

$$Z_1 = \frac{1}{2} (Z_{12} + Z_{13} - Z_{23})$$

$$Z_{13} = \frac{u_{13}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r13}}$$

$$Z_2 = \frac{1}{2} (Z_{12} + Z_{23} - Z_{13})$$

$$Z_{23} = \frac{u_{23}}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_{r23}}$$

$$Z_3 = \frac{1}{2} (Z_{13} + Z_{23} - Z_{12})$$

Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

Caída de tensión y potencia

| | Monofásica | Trifásica | Continua |
|---------------------------|---|--|---|
| Caída de tensión | $\Delta U = 2 \cdot l \cdot \ell \cdot (r \cdot \cos\varphi_x + \text{sen}\varphi)$ | $\Delta U = \sqrt{3} \cdot l \cdot \ell \cdot (r \cdot \cos\varphi_x + \text{sen}\varphi)$ | $\Delta U = 2 \cdot l \cdot \ell \cdot r$ |
| Caída de tensión % | $\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$ | $\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$ | $\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$ |
| Potencia activa | $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ | $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$ | $P = U \cdot I$ |
| Potencia reactiva | $Q = U \cdot I \cdot \text{sen}\varphi$ | $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \text{sen}\varphi$ | - |
| Potencia aparente | $S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$ | $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$ | - |
| Factor de potencia | $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ | $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ | - |
| Pérdidas | $\Delta P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$ | $\Delta P = 3 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$ | $\Delta P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$ |

Leyenda

- ρ_{20} resistividad a 20 °C
- ℓ longitud del conductor
- S sección del conductor
- α_{20} coeficiente de temperatura del conductor a 20 °C
- θ temperatura del conductor
- $\rho\theta$ resistividad a la temperatura del conductor
- ω pulsación
- f frecuencia
- r resistencia del conductor por unidad de longitud
- x reactancia del conductor por unidad de longitud
- $u_k\%$ tensión de cortocircuito porcentual del transformador
- S_r potencia aparente asignada del transformador
- U_r potencia aparente asignada del transformador
- $p_k\%$ pérdidas en cortocircuito porcentuales del transformador

Contacte con nosotros

Asea Brown Boveri, S.A.
Low Voltage Products
Torrent de l'Olla 220
08012 Barcelona
Tel. 93 484 21 21
Fax 93 484 21 90
www.abb.es/bajatension



1TX008001D0703-001007