

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 sobretemperaturas 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

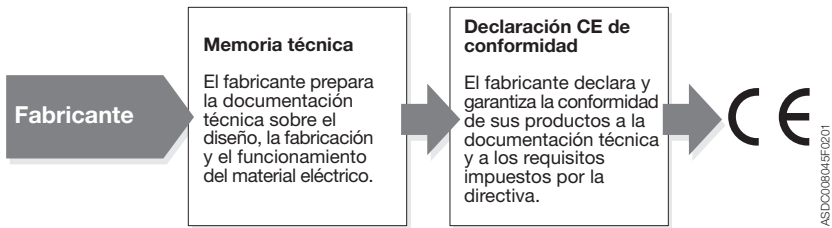
Marcado CE

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:



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




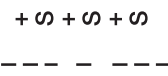




1 Normas

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
Icu (kA)	150	85	75	50	10	85	85
Ics (% Icu)	75	75	75	75	75	75	75
Cat A	~ 50-60Hz			2 P $\frac{1}{3}$ 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	IEC 947-2
I _{cu} (kA)	65	65	
I _{cs} (kA)	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

moldeada y abiertos ABB SACE pueden controlar y proteger cualquier instalación, desde las más sencillas hasta las más complejas, gracias a sus amplias posibilidades de regulación de los umbrales y de los tiempos de actuación. Entre los dispositivos sensibles a las sobreintensidades se encuentran los siguientes:

- relés magnetotérmicos o sólo magnéticos
- relés electrónicos
- relés diferenciales

El tipo y la regulación del relé de protección dependen de las características de la instalación y de la necesidad de coordinación con otros dispositivos. En general, los criterios determinantes para la elección de un relé son el umbral, el tiempo y la característica de la curva de disparo necesarios.

1

2.3.1 RELÉS MAGNETOTÉRMICOS O SÓLO MAGNÉTICOS

Los relés magnetotérmicos utilizan un elemento bimetálico y un electroimán para detectar sobrecargas y cortocircuitos. Son idóneos para proteger redes en corriente alterna o continua.

En la tabla siguiente se indican las intensidades asignadas disponibles y las correspondientes regulaciones magnéticas.

50	52	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	630	800
35-50	-	44-63	56-80	70-100	88-125	112-160	140-200	175-250	224-320	280-400	350-500	441-630	560-800
500		630	800	1000	1250	1600							
500		630	800	1000	1250	1600							
		200	240	300	375	480							
		314-624	480-960	600-1200									
		630	800	1000	1250	1600	2000	2500					
		400	400	400	400	480	600	750					
				600-1200	750-1500	960-1920	1200-2400						
500													
			400-800	500-1000	625-1250	800-1600	1000-2000	1250-2500					
		314-728	480-1120	600-1400	750-1750	960-2240	1200-2800						
									1600-3200	2000-4000	2500-5000		
									800-1600	1000-2000	1250-2500		
												3150-6300	4000-8000

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						
	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													
	800													
	1000-1250													
E1N	1600													
	1000-1250													
E2B	1600													
	2000													
E2N	1000-1250													
	1600													
	2000													
E2S	800													
	1000-1250													
	1600													
E2L	2000													
	1250													
E3N	1600													
	2500													
	3200													
E3S	1000-1250													
	1600													
	2000													
	2500													
E3H	3200													
	800													
	1000-1250													
	1600													
	2000													
E3V	2500													
	3200													
	1600													
	1250													
E3L	2000													
	2500													
E4S, E4S/f	4000													
	3200													
E4H, E4H/f	4000													
	3200													
E4V	4000													
	3200													
E6H, E6H/f	4000													
	5000													
	6300													
E6V	3200													
	4000													
	5000													
	6300													

Corriente asignada In [A] →		400	630	800	1000	1250	
L	Función	PR121/PR122/PR123 PR331/PR332/PR333	160÷400	252÷630	320÷800	400÷1000	500÷1250
	S	Función	PR121	400÷4000	630÷6300	800÷8000	1000÷10000
I	Función	PR122/PR123 PR331/PR332/PR333	240÷4000	378÷6300	480÷8000	600÷10000	750÷12500
	Función	PR121/PR122/PR123 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.

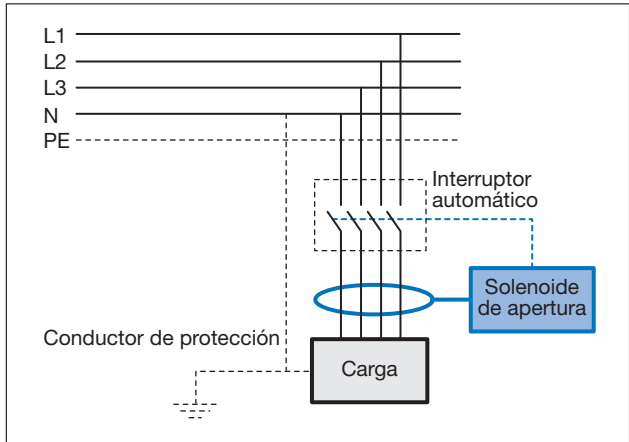
Su funcionamiento se basa en la medición de la suma vectorial de las intensidades de la línea mediante un toroide interno o externo.

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)






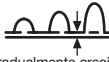

El principio de funcionamiento del relé diferencial permite utilizarlo en los sistemas de distribución TT, IT (en estos casos con particular atención) y TN-S, pero no en los sistemas TN-C. En estos sistemas el neutro se utiliza también como conductor de protección y, dado que pasa por dentro del toroide, 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		
		AC	A	B
Senoidal alterna	 aplicado bruscamente			
	 gradualmente creciente	+	+	+
Pulsante continua	 aplicado bruscamente con o sin \uparrow (max. 0,006A)		+	+
	 gradualmente creciente			
Alisada continua				+

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

Tmax T3		Tmax T4				Tmax T5				Tmax T6				Tmax T7					
250		250/320				400/630				630/800/1000				800/1000/1250/1600					
3/4		3/4				3/4				3/4				3/4					
690		690				690				690				690					
500		750				750				750				-					
8		8				8				8				8					
800		1000				1000				1000				1000					
3000		3500				3500				3500				3500					
N	S	N	S	H	L	V	N	S	H	L	V	N	S	H	L	S	H	L	V^(B)
50	85	70	85	100	200	200	70	85	100	200	200	70	85	100	200	85	100	200	200
36	50	36	50	70	120	200	36	50	70	120	200	36	50	70	100	50	70	120	150
25	40	30	40	65	100	180	30	40	65	100	180	30	45	50	80	50	65	100	130
20	30	25	30	50	85	150	25	30	50	85	150	25	35	50	65	40	50	85	100
5	8	20	25	40	70	80	20	25	40	70	80	20	22	25	30	30	42	50	60
36	50	36	50	70	100	150	36	50	70	100	150	36	50	70	100	-	-	-	-
40	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	25	36	50	70	100	25	36	50	70	100	20	35	50	65	-	-	-	-
36	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	16	25	36	50	70	16	25	36	50	70	16	20	36	50	-	-	-	-
75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
75%	50% (27 kA)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	75%	100%
75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%
105	187	154	187	220	440	660	154	187	220	440	660	154	187	220	440	187	220	440	440
75,6	105	75,6	105	154	264	440	75,6	105	154	264	440	75,6	105	154	220	105	154	264	330
52,5	84	63	84	143	220	396	63	84	143	220	396	63	94,5	105	176	105	143	220	286
40	63	52,5	63	105	187	330	52,5	63	105	187	330	52,5	73,5	105	143	84	105	187	220
7,7	13,6	40	52,5	84	154	176	40	52,5	84	154	176	40	48,4	55	66	63	88,2	105	132
7	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	10	9	6	7	15	10	8	8
A		A					B (400 A) ^(C) - A (630 A)					B (630A - 800A) ^(C) - A (1000A)				B ^(F)			
IEC 60947-2		IEC 60947-2					IEC 60947-2					IEC 60947-2				IEC 60947-2			
■		■					■					■				■			
-		-					-					-				-			
■		■ (up to 50 A)					-					-				-			
-		■ (up to 250 A)					■ (up to 500 A)					■ ^(R)				-			
■		-					-					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
-		■					■					■				-			
F-P		F-P-W					F-P-W					F-W ^(H)				F-W			
F-FC Cu-FC Cu A-EF-ES-R		F-FC Cu-FC Cu A-EF-ES-R-MC					F-FC Cu A-EF-ES-R-R C					F-FC Cu-FC Cu A-EF-ES- R				F-EF-ES-FC Cu A-HR/VR			
F-FC Cu-FC Cu A-EF-ES-R		EF-ES-HR-VR-FC Cu-FC Cu A					EF-ES-HR-VR-FC Cu-FC Cu A					-				-			
-		EF-ES-HR-VR-FC Cu-FC Cu A					EF-ES-HR-VR-FC Cu-FC Cu A					EF-HR-VR				F-HR/VR			
-		-					-					-				-			
-		-					-					-				-			
-		-					-					-				-			
-		-					-					-				-			
-		-					-					-				-			
-		-					-					-				-			
-		-					-					-				-			
-		-					-					-				-			
-		-					-					-				-			
DIN EN 50022																			
25000		20000					20000					20000				10000			
240		240					120					120				60			
8000		8000 (250 A) - 6000 (320 A)					7000 (400 A) - 5000 (630 A)					7000 (630A)-5000 (800A)-4000 (1000A)				2000 (versiones S,H,L) - 3000 (versión V)			
120		120					60				60					60			
105		105					140				210					210			
140		140					184				280					280			
70		103,5					103,5				103,5					154 (manual) / 178 (motorizable)			
150		205					205				268					268			
1,5/2		2,35/3,05					3,25/4,15				9,5/12					9,7/12,5 (manual) - 11/14 (motorizable)			
2,7/3,7		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)			

^(D) 75% para T5 630^(E) 50% para T5 630^(F) I_{ow} = 5 kA^(G) Versión W no disponible en T6 1000 A^(H) I_{ow} = 7,6 kA (630 A) - 10 kA (800 A)^(I) Sólo para T7 800/1000/1250 A^(J) I_{ow} = 20 kA (versiones S,H,L) - 15 kA (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 °C

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 °C

3 Características generales

Tmax T4					Tmax T5					Tmax T6				Tmax T7			
250, 320					400, 630					630, 800				800/1000/1250			
10...320					320, 400, 630					630				-			
3					3					3				3			
690					690					690				690			
750					750					750				-			
8					8					8				8			
1000					1000					1000				1000			
3500					3500					3500				3500			
N	S	H	L	V	N	S	H	L	V	N	S	H	L	S	H	L	V
70	85	100	200	200	70	85	100	200	200	70	85	100	200	85	100	200	200
36	50	70	120	200	36	50	70	120	200	36	50	70	100	50	70	120	150
30	40	65	100	180	30	40	65	100	180	30	45	50	80	50	65	100	130
25	30	50	85	150	25	30	50	85	150	25	35	50	65	40	50	85	100
20	25	40	70	80	20	25	40	70	80	20	22	25	30	30	42	50	60
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100% ⁽¹⁾	100% ⁽²⁾	100%	100%	100%	75%	100%	100%	75%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100% ⁽¹⁾	100% ⁽²⁾	100% ⁽²⁾	75%	75%	75%	75%	100%	75%	75%	75%
154	187	220	440	660	154	187	220	440	660	154	187	220	440	187	220	440	440
75,6	105	154	264	440	75,6	105	154	264	440	75,6	105	154	220	105	154	264	330
63	84	143	220	396	63	84	143	220	396	63	94,5	105	176	105	143	220	286
52,5	63	105	187	330	52,5	63	105	187	330	52,5	73,5	105	143	84	105	187	220
40	52,5	84	154	176	40	52,5	84	154	176	40	48,4	55	66	63	88,2	105	132
														15	10	8	8
A					B (400 A) ⁽³⁾ - A (630 A)					B ⁽⁴⁾				B ⁽⁵⁾			
■					■					■				■			
IEC 60947-2/IEC 60947-4					IEC 60947-2/IEC 60947-4					IEC 60947-2/IEC 60947-4				IEC 60947-2			
■					-					-				-			
■					■					■				-			
-					-					-				■			
■					■					■				-			
■					■					■				■			
F - P - W					F - P - W					F - W				F-W			
F - FC Cu - FC CuAl - EF - ES - R - MC					F - FC Cu - FC CuAl - EF - ES - R					F - FC CuAl - EF - ES - R - RC				F-EF-ES-FC CuAl-HR/VR			
EF - ES - R - FC Cu - FC CuAl					EF - ES - R - FC Cu - FC CuAl					-				-			
EF - ES - R - FC Cu - FC CuAl					EF - ES - R - FC Cu - FC CuAl					EF - HR - VR				F-HR/VR			
-					-					-				-			
20000					20000					20000				10000			
240					120					120				60			
8000					7000					5000				2000 (versiones SH4) - 3000 (versión V)			
120					60					60				60			
105					140					210				210			
103,5					103,5					103,5				154 (manual) /178 (motorizable)			
205					205					268				268			
2,35					3,25					9,5/12				9,7/12,5 (manual) - 11/14 (motorizable)			
3,6					5,15					-				-			
3,85					5,4					12,1/15,1				29,7/39,6 (manual) - 32/42,6(motorizable)			

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]
	[A]
	[A]
	[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.

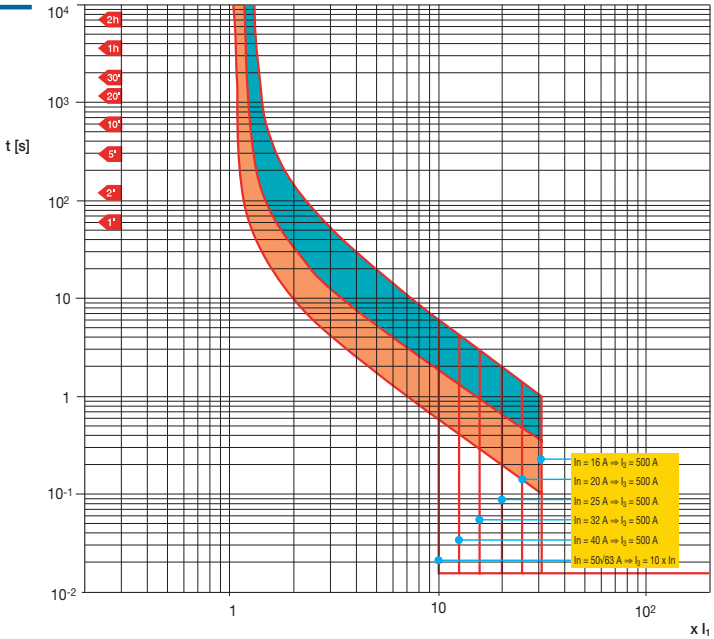
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T1 160

TMD

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



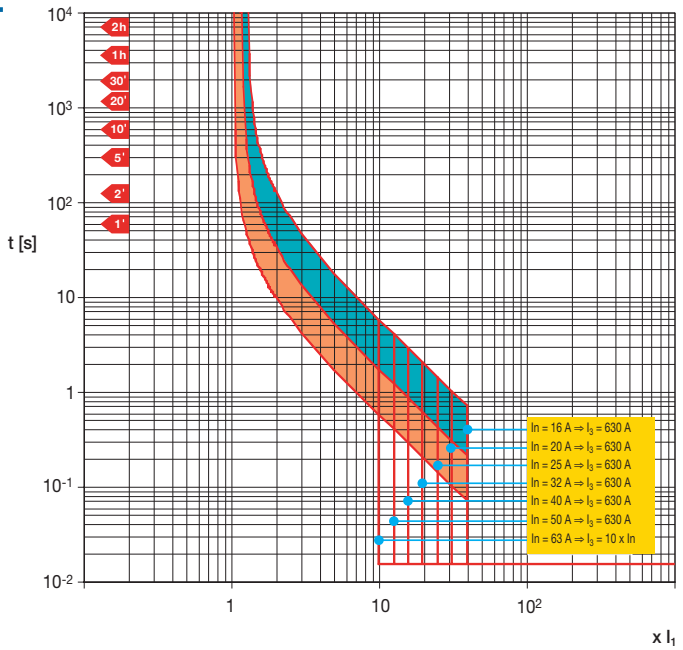
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T1 160

TMD

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



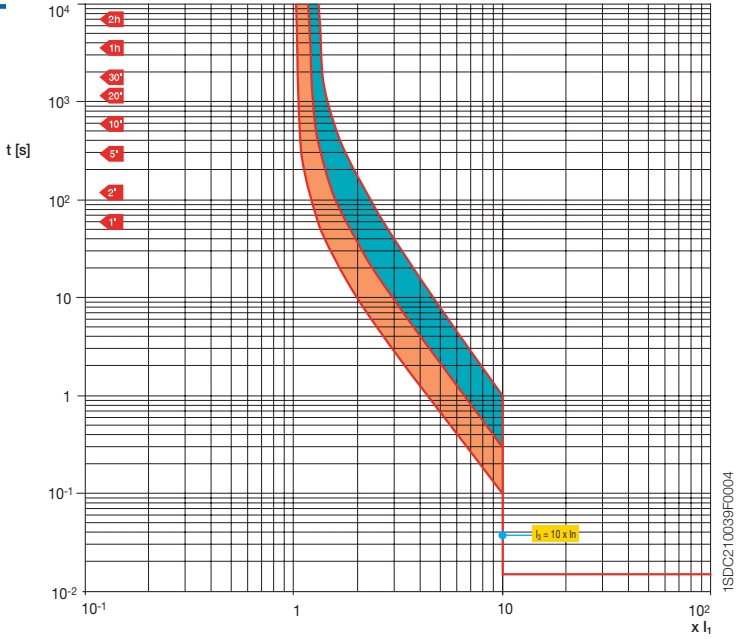
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T1 160

TMD

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



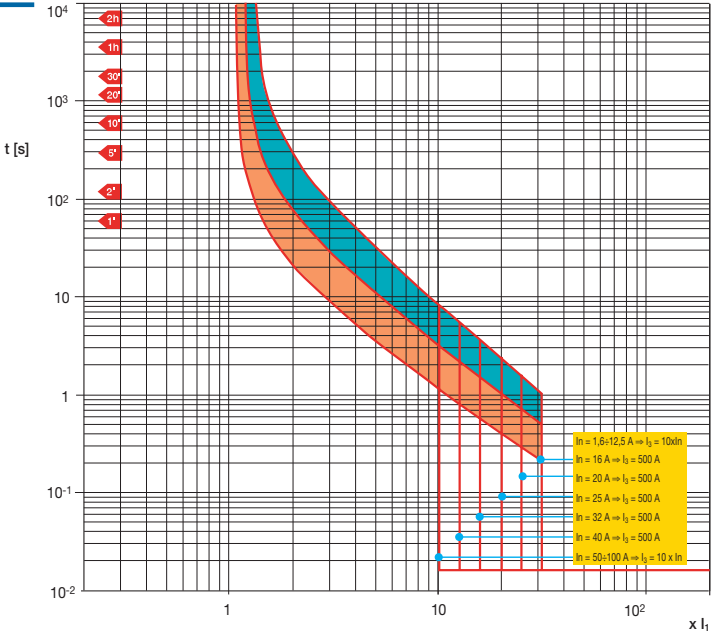
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160

TMD

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



1SDC210040F0004

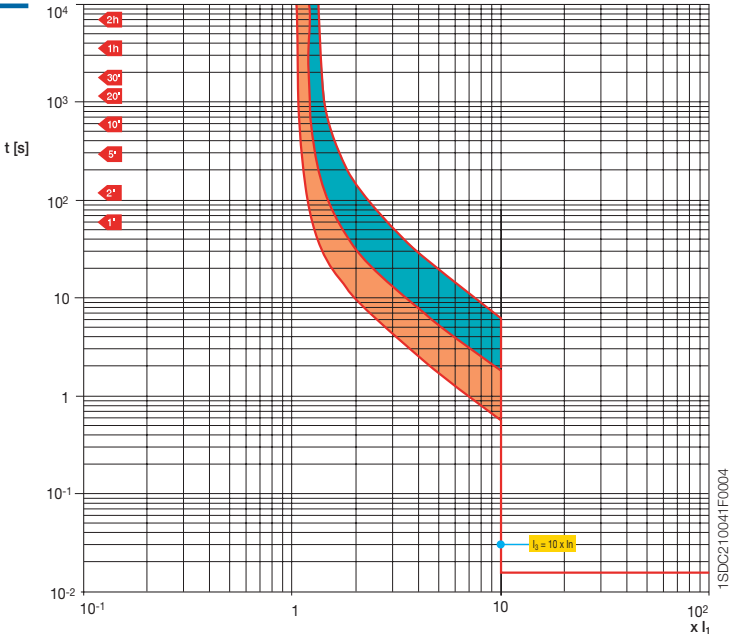
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160

TMD

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



TSDC210041F0004

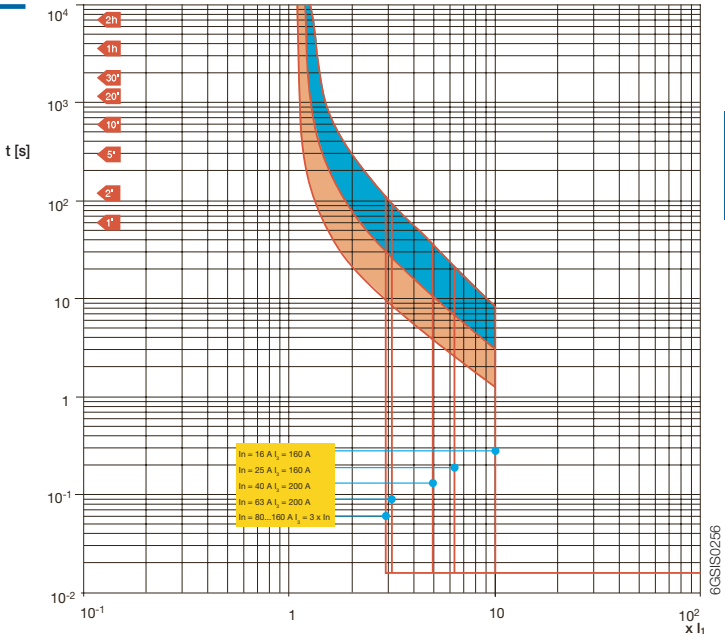
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160

TMG

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



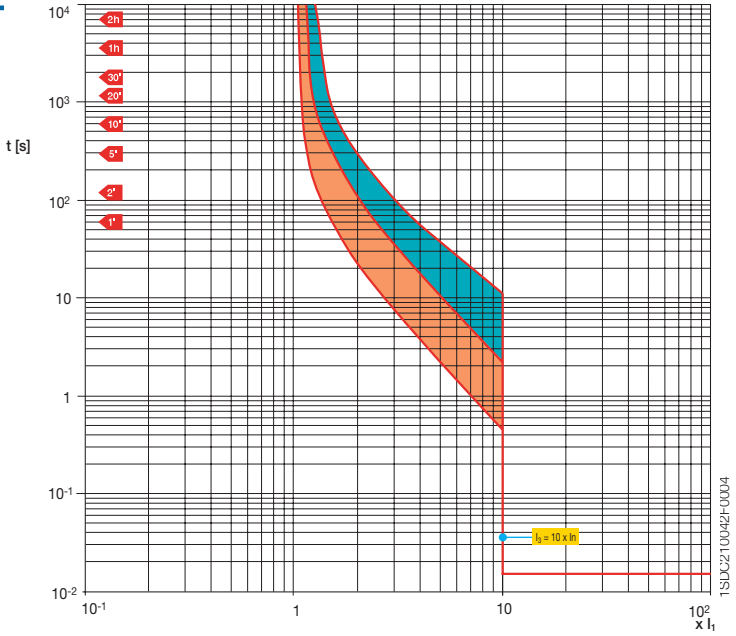
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T3 250

TMD

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



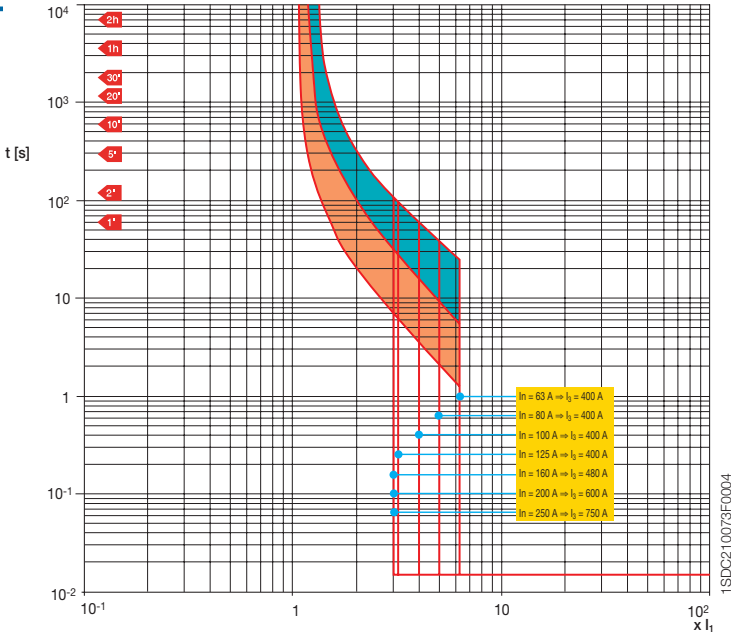
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T3 250

TMG

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



1SDC210073F0004

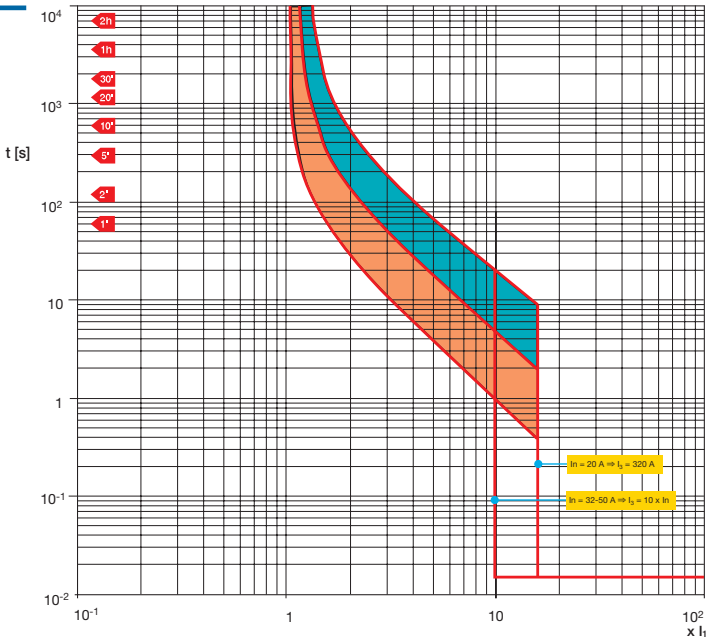
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T4 250

TMD

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



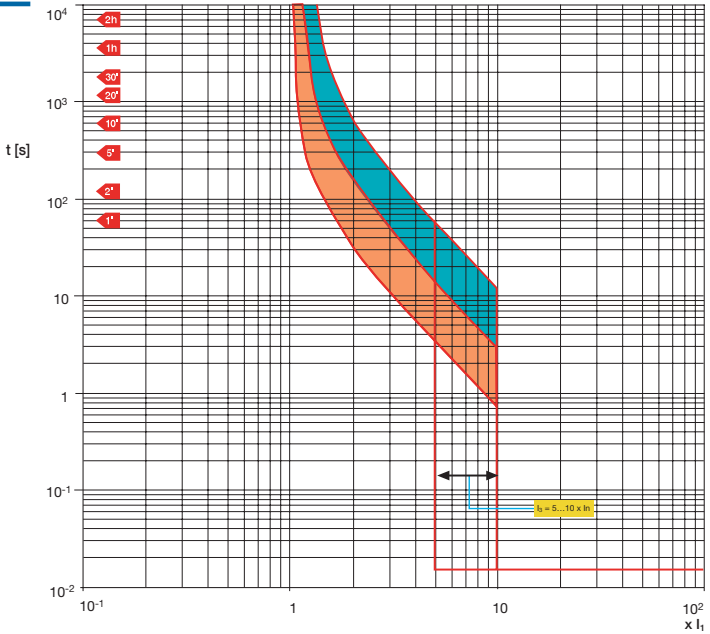
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T4 250/320

TMA

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



1SDC210033F0004

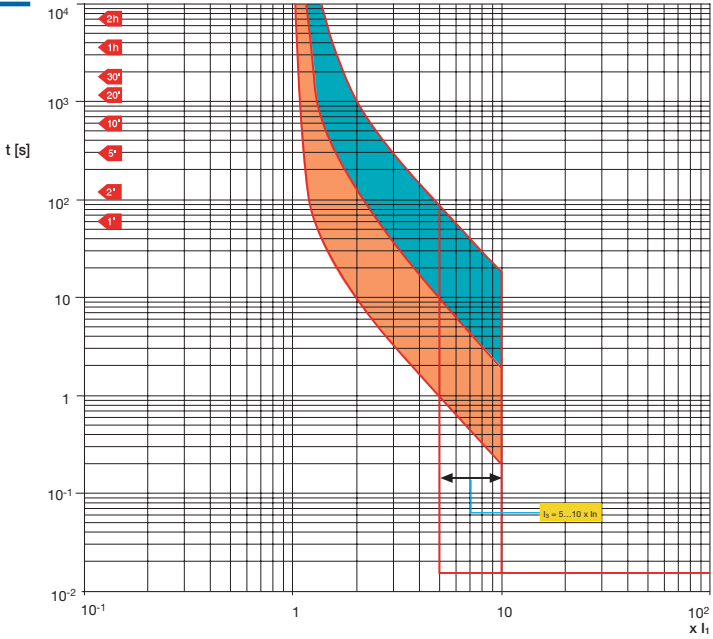
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T5 400/630

TMA

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



T5DC210034F0004

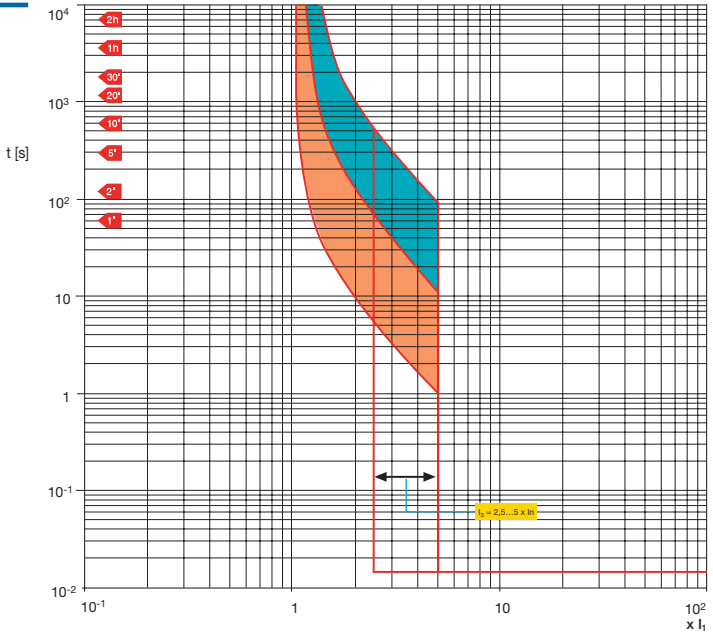
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T5 400/630

TMG

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



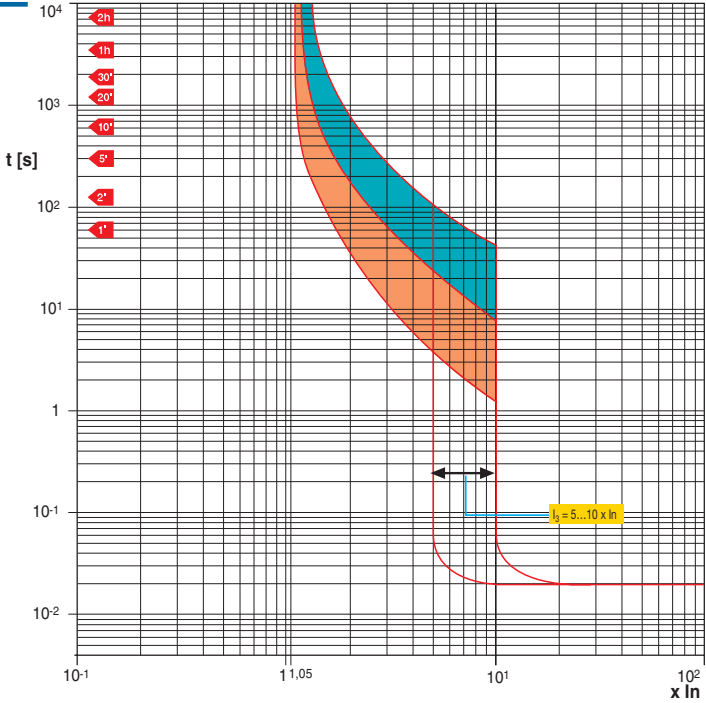
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T6 630

TMA

$I_n = 630 \text{ A}$



GSIS0209-2

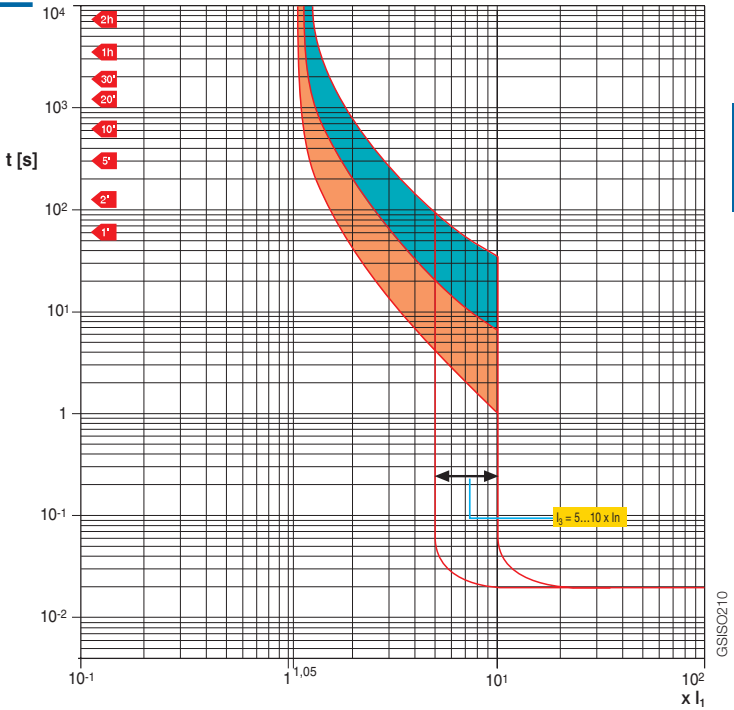
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T6 800

TMA

$I_n = 800 \text{ A}$



GSIS0210

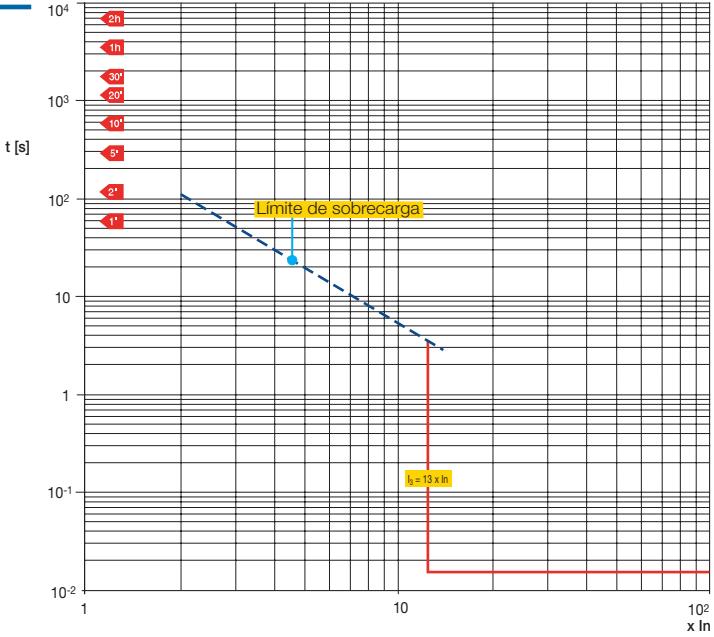
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160

MF

$I_3 = 13 \times I_n$



1SDC210045F0004

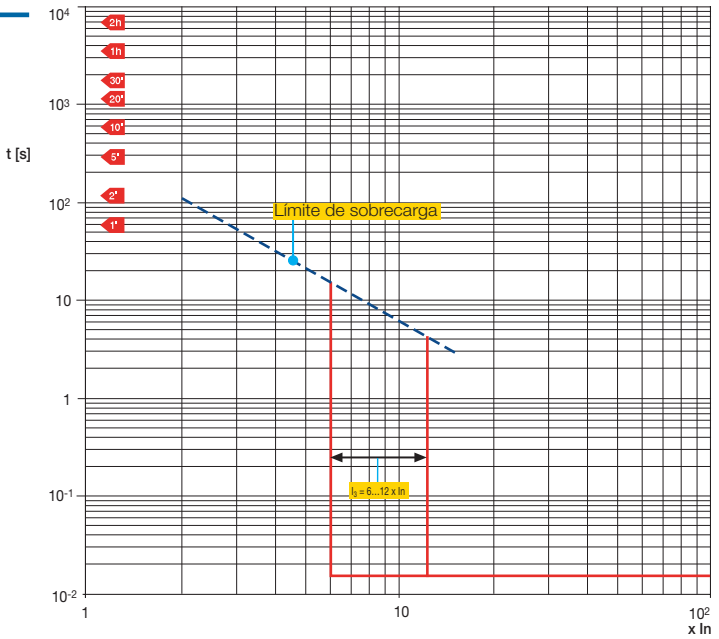
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T2 160/T3 250

MA

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



1SDC210048F0004

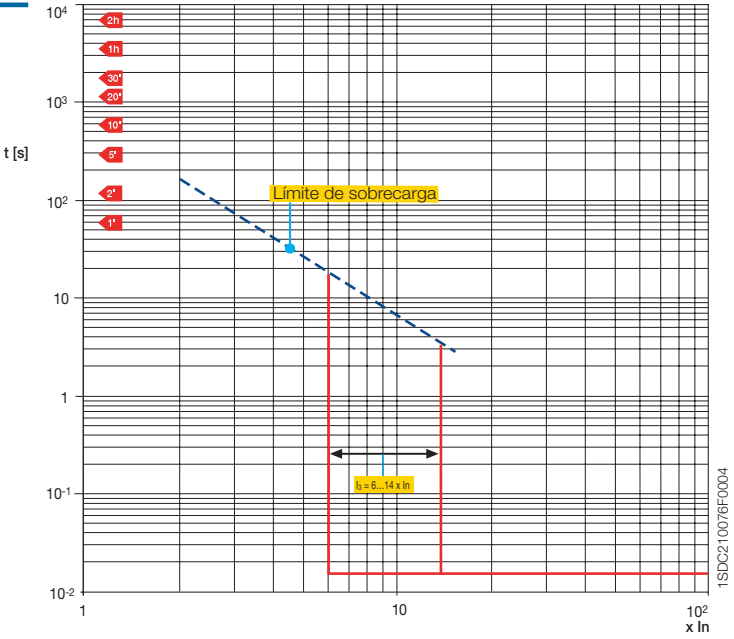
3 Características generales

Curva de actuación del relé termomagnético

T4 250

MA

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



TSDC210076F0004

3 Características generales

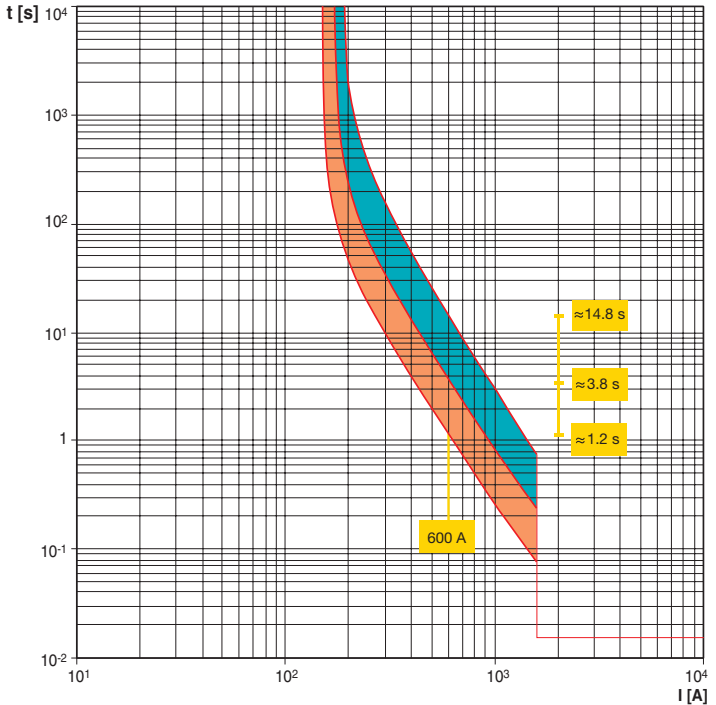
Ejemplo de regulación de un relé termomagnético

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



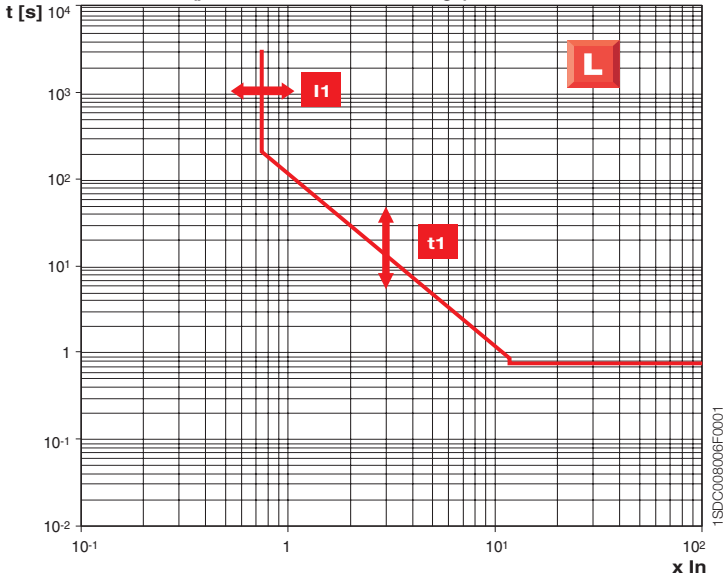
3 Características generales

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 (@6xI1) para T2 y 12s para T4-T5-T6
PR231 (0.4...1) x In con paso 0.04 x In	3s-12s (@6xI1)
PR232	3s-6s-12s-18s (@6xI1)
PR222 (0.4...1) x In con paso 0.02 x In	3s-6s-9s-18s ⁽¹⁾ (@6xI1)
PR223 (0.18...1) x In con paso 0.01 x In	3...18s con paso 0.5 ⁽²⁾
PR211 (0.4-0.5-0.6-0.7-0.8-0.9-0.95-1) x In	A=3s;B=6s;C=12s;D=18s (@6xI1)
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 In con paso 0.025 x In	3s-12s-24s-36s-48s-72s-108s-144s (@3xI1)
PR332	
PR333	
PR122 (0.4...1) x In con paso 0.01 x In	3...144s con paso 3s (@3xI1)
PR123	

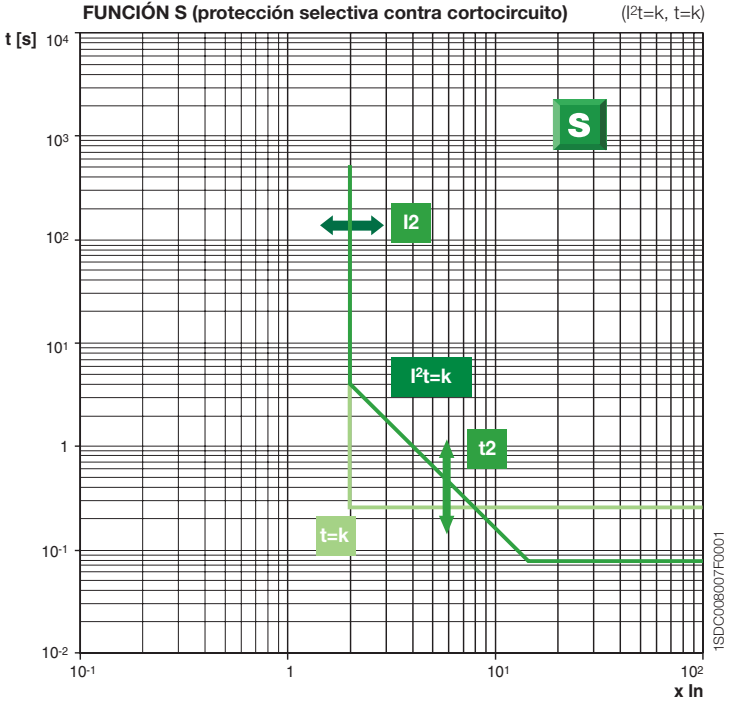
⁽¹⁾ para T4 In=320 A y T5 In=630A t^t=12s

Tolerancias:

I^t	t^t
PR221	
PR211 1.05÷1.3 xI1	
PR212 1.1÷1.3 xI1 (para T4-T5-T6)	± 10% (hasta 6xIn) (hasta 2x para T2)
PR212	± 20% (por encima de 6xIn) (por encima de 2xIn para T2)
PR331	
PR332	
PR333 1.05÷1.2 xI1	
PR121	
PR122 1.05÷1.2 xI1	± 10% (hasta 4xIn)
PR123	± 20% (por encima de 4xIn)
PR222	
PR223	
PR231 1.1÷1.3 xI1	± 10%
PR232	

⁽²⁾ para T4-T5-T6

3 Características generales



3 Características generales

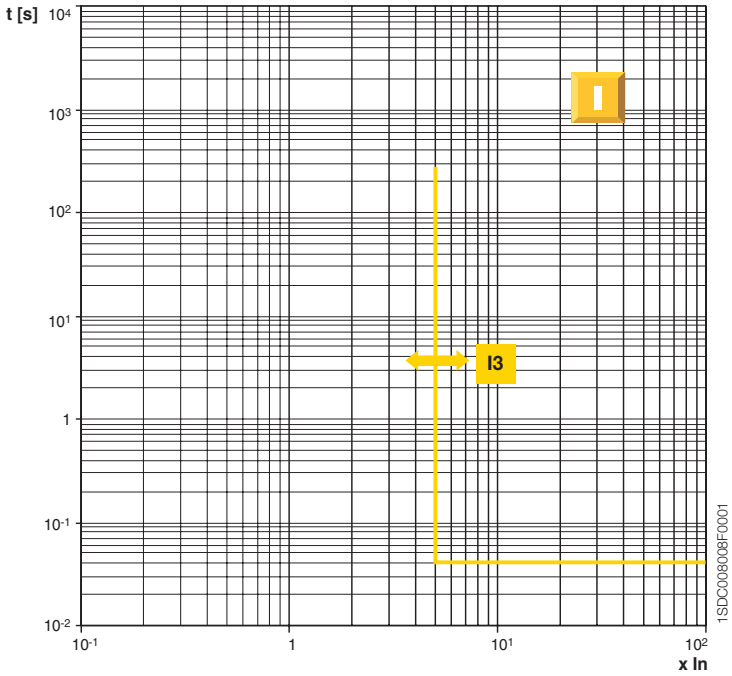
	I2	t2
PR221	(1-1.5-2-2.5-3-3.5-4.5-5.5-6.5-7-7.5-8-8.5-9-10) xln	0.1s-0.25s (@8xln con I ^t =k)
PR231		0.1s-0.25s (@10xln con I ^t =k)
PR232	(0.6-0.8-1.2-1.8-2.4-3-3.6-4.2-5-5.8-6.6-7.4-8.2-9-10) xln	0.1s-0.25s-0.5s-0.8s (@10xln con I ^t =k) 0.1s-0.25s-0.5s-0.8s (con t=k)
PR222	(0.6-10) xln con paso 0.6 x ln	0.05s-0.1s-0.25s-0.5s (@8xln con I ^t =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 I ^t =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 I ^t =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 I ^t =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 (@I>I2 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 I ^t =k)
PR122		0.05...0.8s con paso 0.01s (@I>I2xln 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% (I _g < 4xln) ± 10% (I _g > 4xln)	± 15% (I _g < 4xln con t=k) ± 20% (I _g > 4xln con t=k) el mejor dato entre: ± 10% ó 40ms (con I ^t =k)
PR121		
PR122		
PR123		
PR333	± 7% (I _g < 6xln) ± 10% (I _g > 6xln)	

3 Características generales

FUNCIÓN I (protección instantánea contra cortocircuito)



3 Características generales

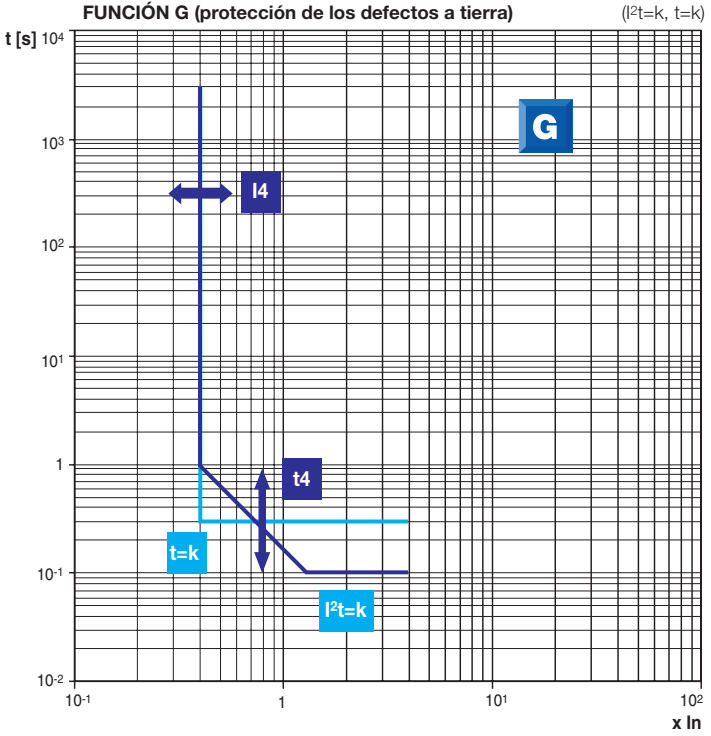
I3	
PR221	(1-1.5-2-2.5-3-3.5-4.5-5.5-6.5-7-7.5-8-8.5-9-10-12*) x In
PR231	
PR222	(1.5-2.5-3-4-4.5-5-5.5-6.5-7-7.5-8-9-9.5-10.5-12) x In
PR232	
PR223	(1.5...12) x In con paso 0.1 x In
PR211	(1.5-2-4-6-8-10-12) x In
PR212	
PR331	(1.5-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15) x In
PR121	
PR332	
PR333	(1.5...15)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



1SDC008009F0001

3 Características generales

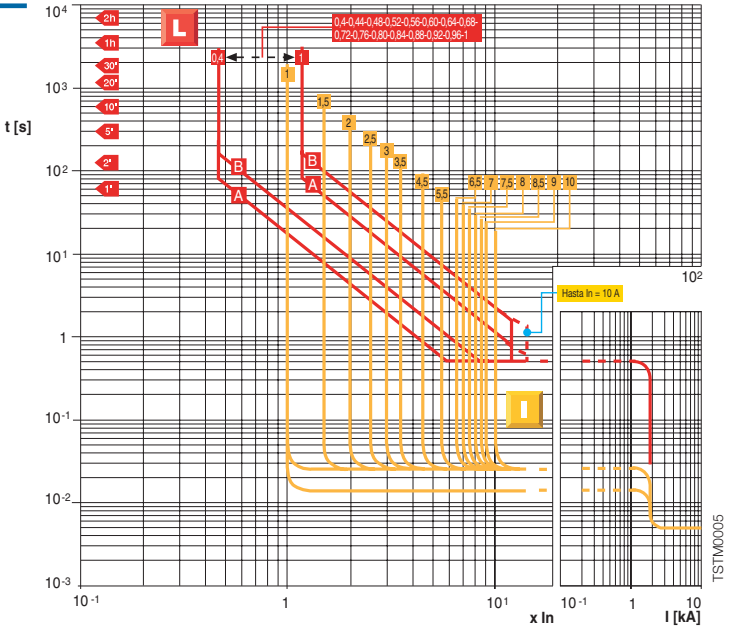
I4	t4
PR222 (0.2-0.25-0.45-0.55-0.75-0.8-1) xln	0.1s hasta 3.15x I4; 0.2s hasta 2.25x I4; 0.4s hasta 1.6x I4; 0.8s hasta 1.10x I4
PR223 (0.2...1) xln con paso 0.1xln	0.1...0.8 xln con paso 0.01s
PR212 (0.2-0.3-0.4-0.6-0.8-0.9-1) xln	A=0.1s; B=0.2s; C=0.4s; D=0.8s (@ 4x I4)
PR331 (0.2-0.3-0.4-0.6-0.8-0.9-1) xln	0.1s hasta 4.47 x I4; 0.2s hasta 3.16 x I4; 0.4s hasta 2.24x I4; 0.80s hasta 1.58x I4 (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%	el mejor dato entre: ± 10% ó 40ms (con 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



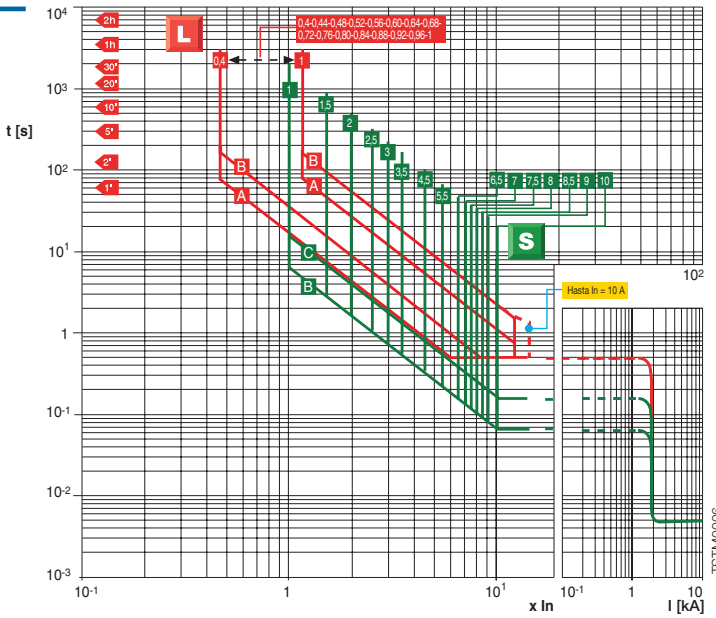
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T2 160

PR221DS

Funciones L-S



1

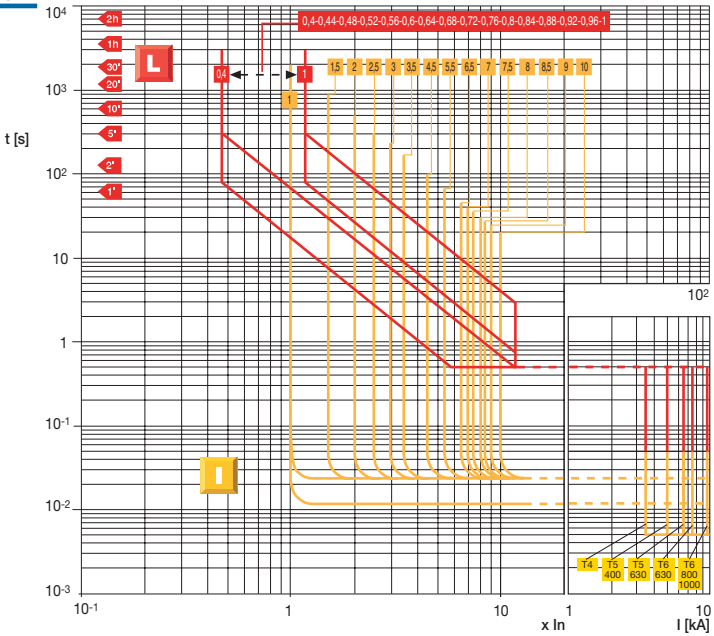
TSTM0006

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

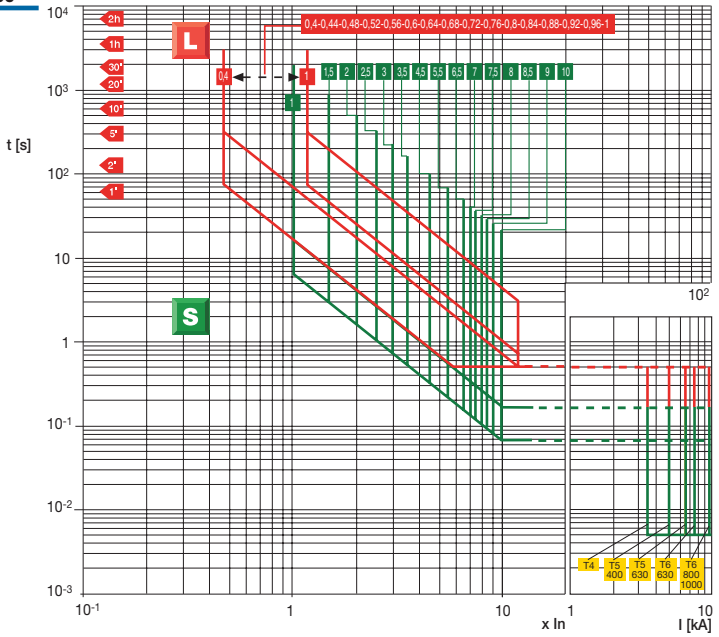
T4 250/320

T5 400/630

T6 630/800/1000

PR221DS

Funciones L-S



1SDC210004F0004

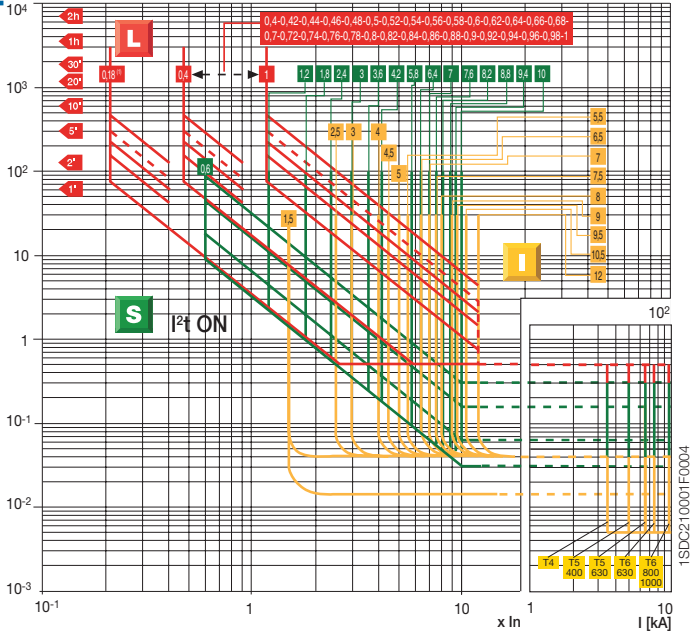
3 Características generales

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

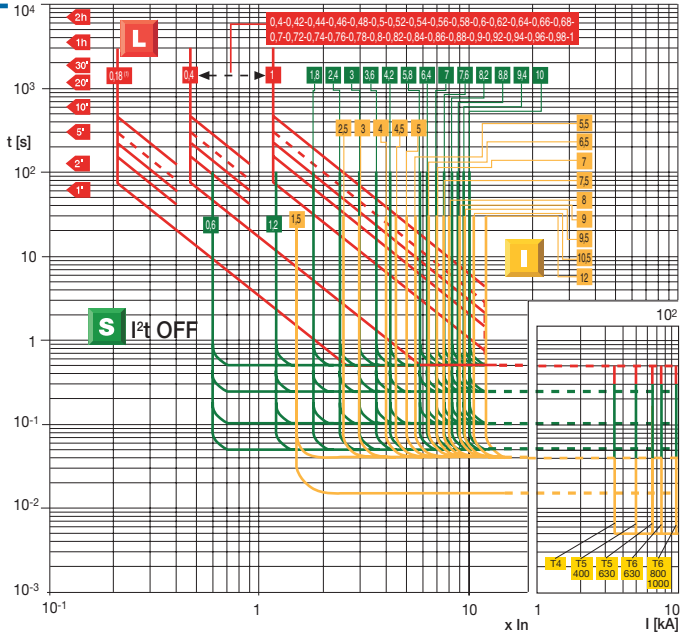
T6 630/800/1000

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 $\Rightarrow I_{2max} = 8 \cdot 8 \times I_n$, $I_{3max} = 9,5 \times I_n$.

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

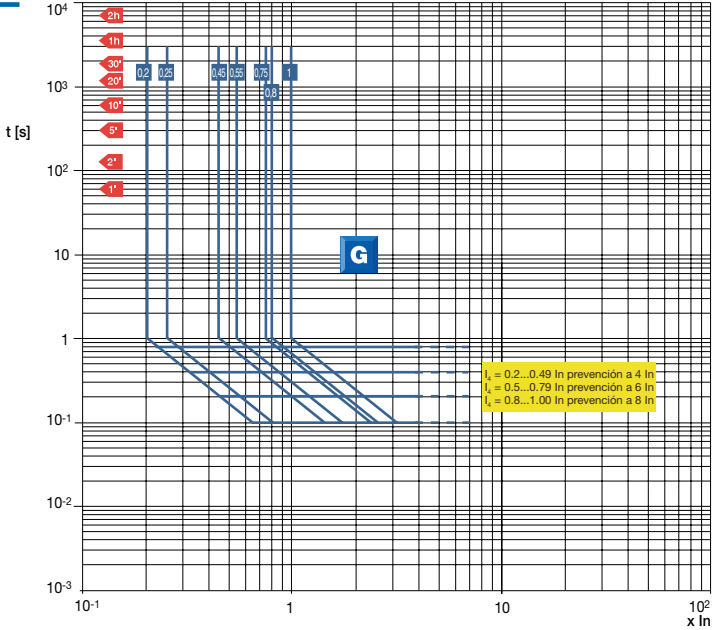
3 Características generales

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.

1SDC210003F0004

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T4L 250/320

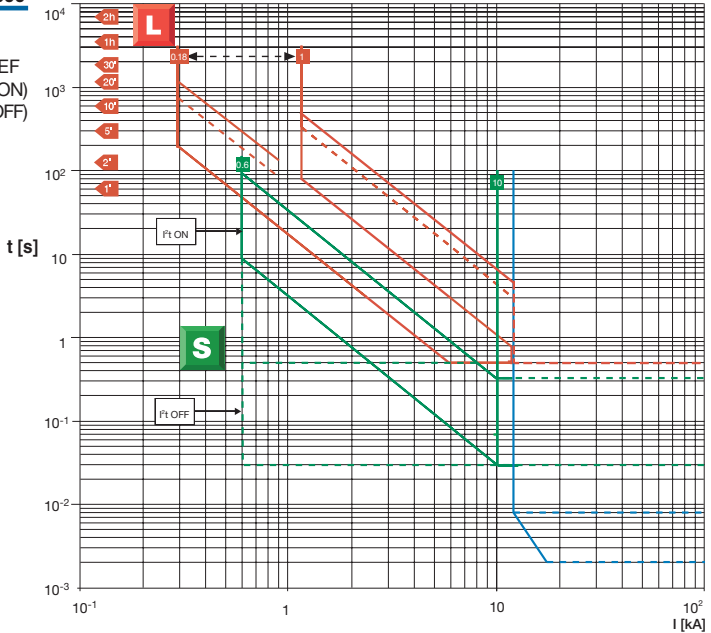
T5L 400/630

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 $t_1=12$ s.

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

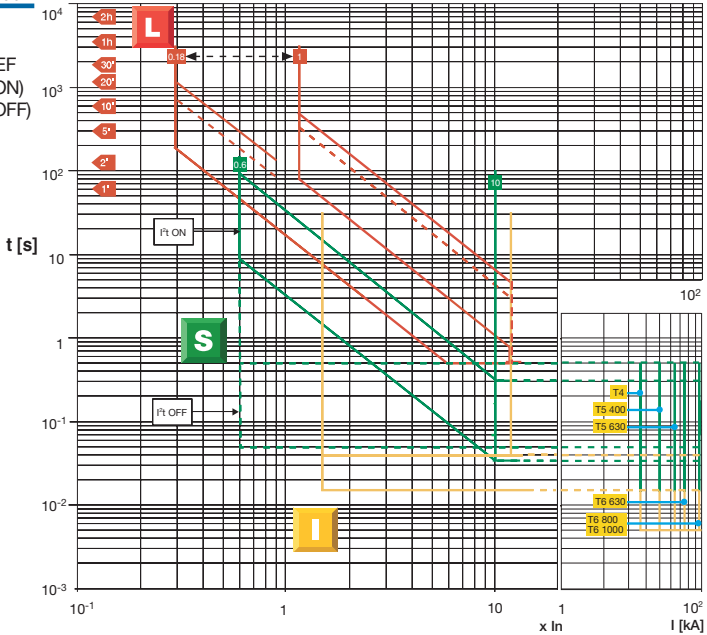
PR223EF

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

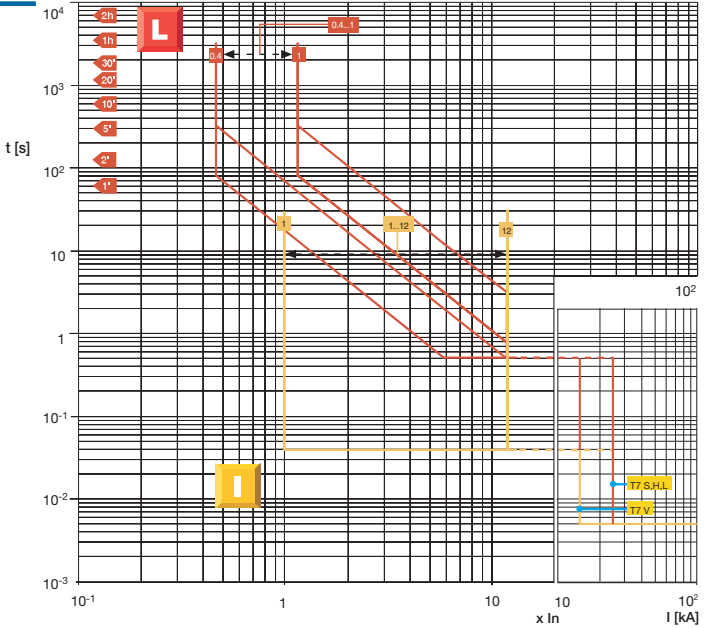
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR231/P

Funciones L-I



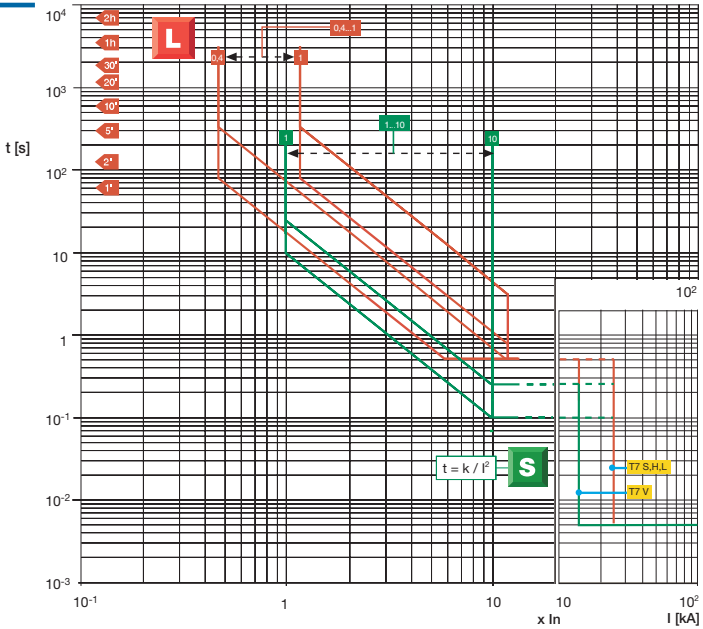
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T7
800/1000/1250/1600

PR231/P

Funciones L-S



3 Características generales

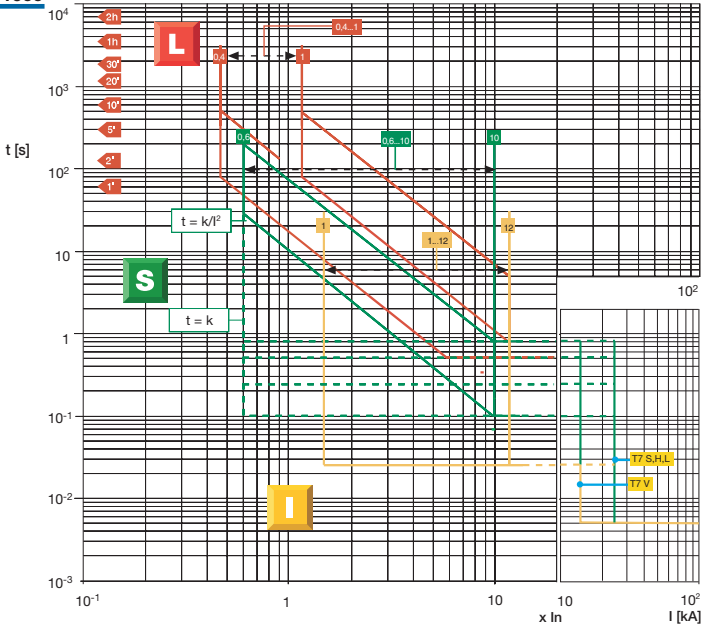
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR232/P

Funciones L-S-I



3 Características generales

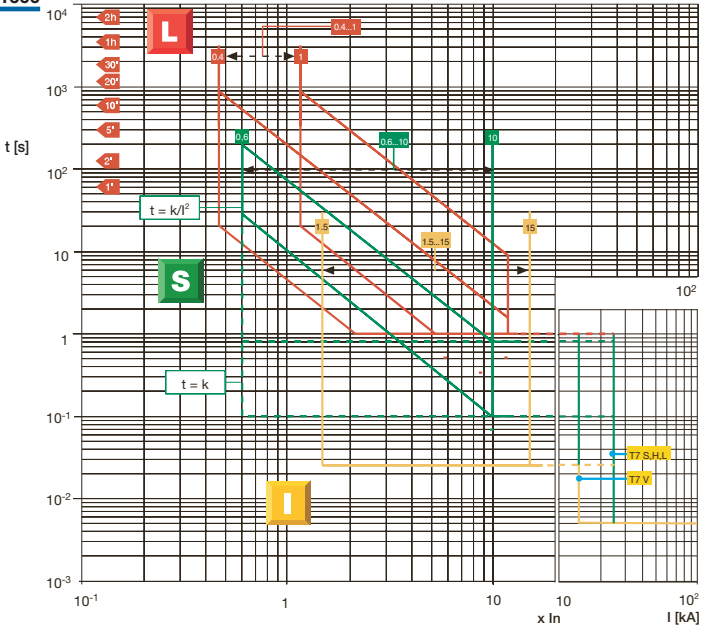
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR331/P

Funciones L-S-I

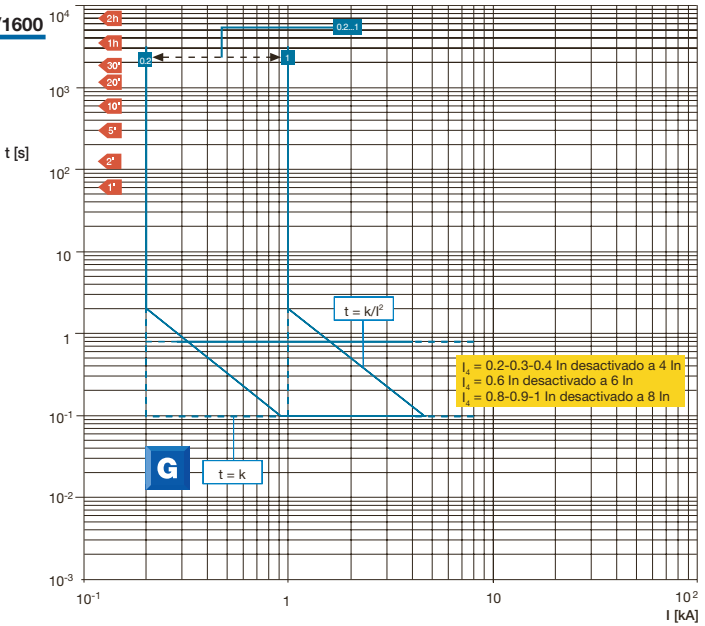


Para T7 $I_n = 1250 \text{ A}, 1600 \text{ A} \Rightarrow I_3 \text{ max} = 12 \times I_n$.

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

T7
800/1000/1250/1600
PR331/P
 Funciones G



1

3 Características generales

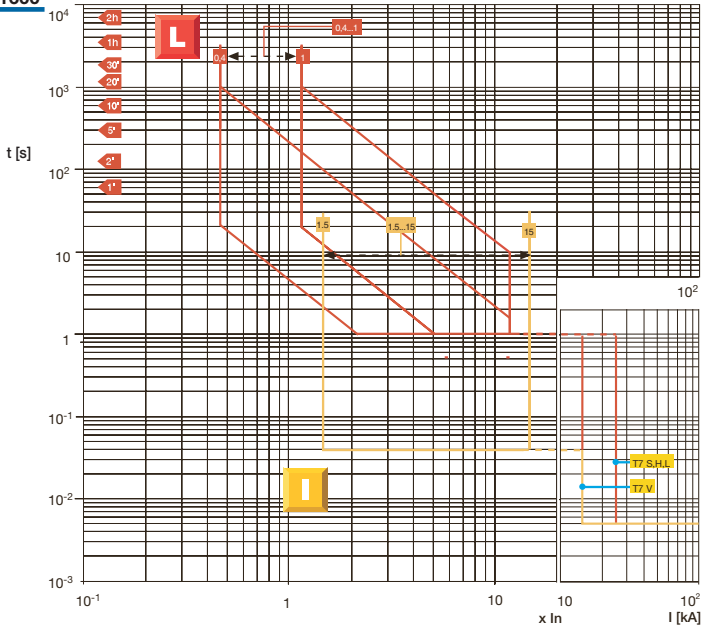
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR332/P

Funciones L-I



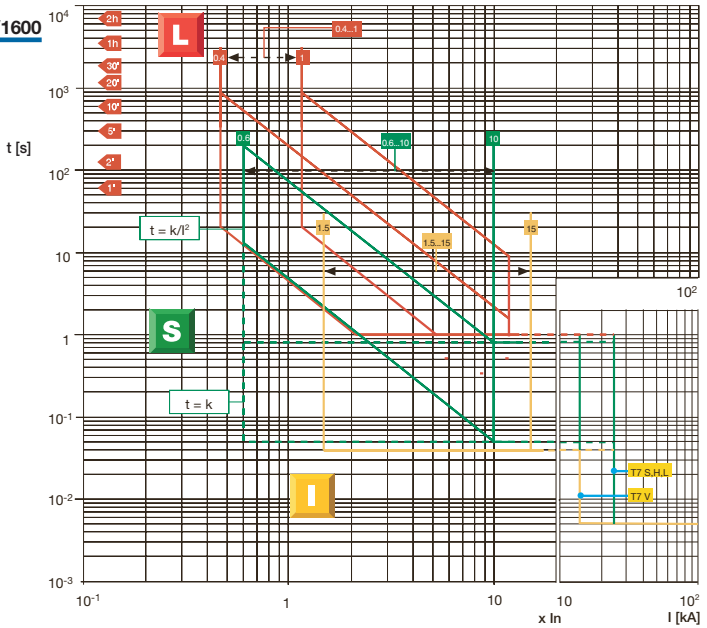
Nota:

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

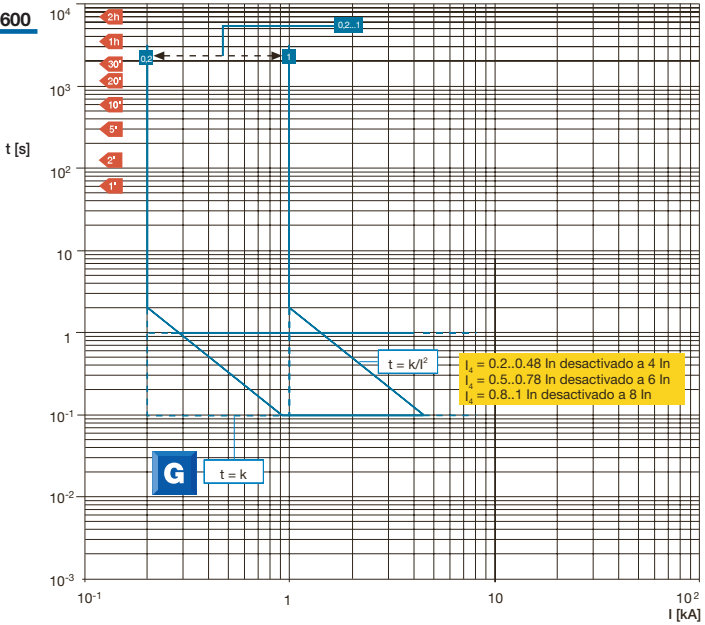
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR332/P

Funciones G



3 Características generales

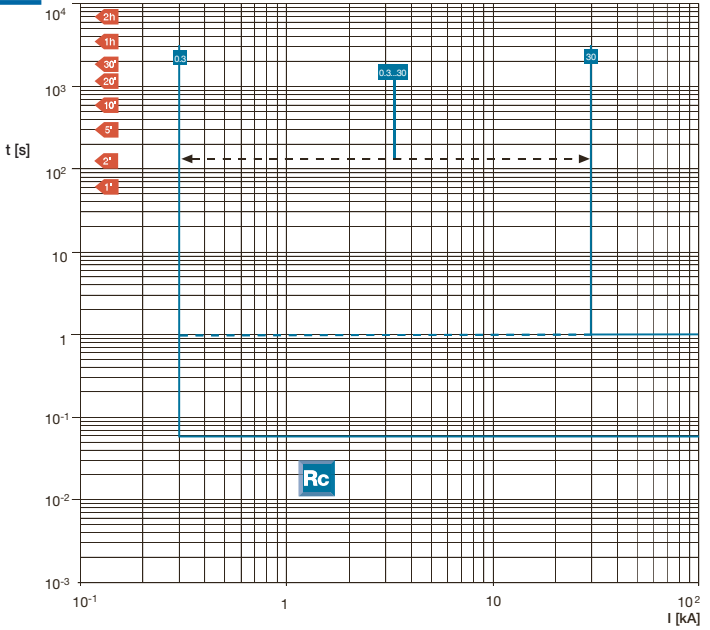
Curva de actuación de los relés electrónicos

T7

800/1000/1250/1600

PR332/P

Funciones Rc



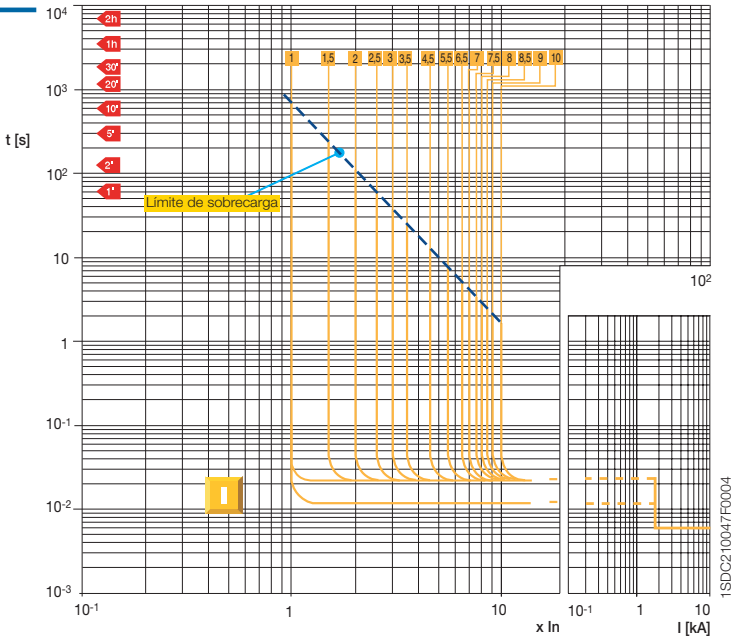
1

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

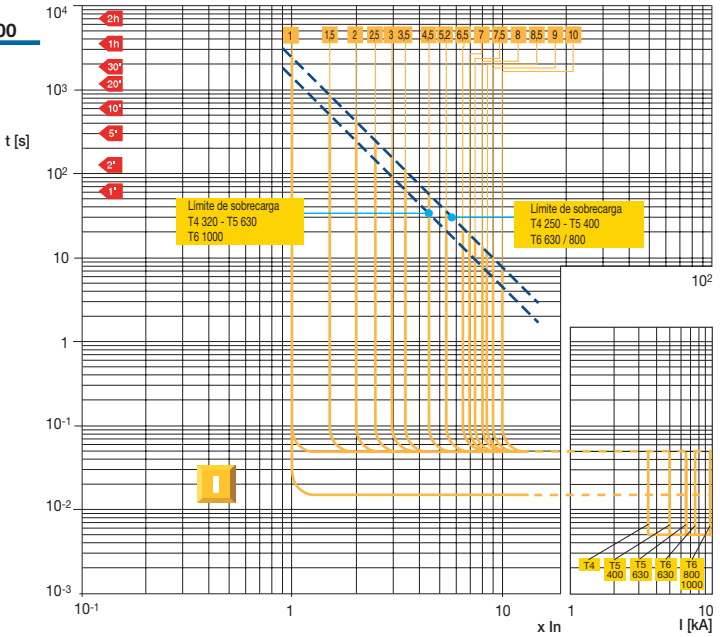
T4 250/320

T5 400/630

T6 630/800/1000

PR221DS-I

Función I



TSDC210006F0004

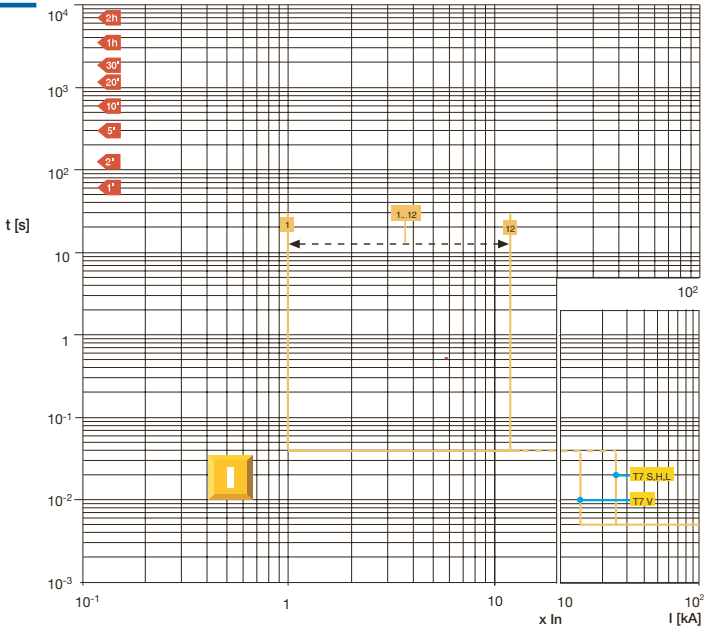
3 Características generales

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

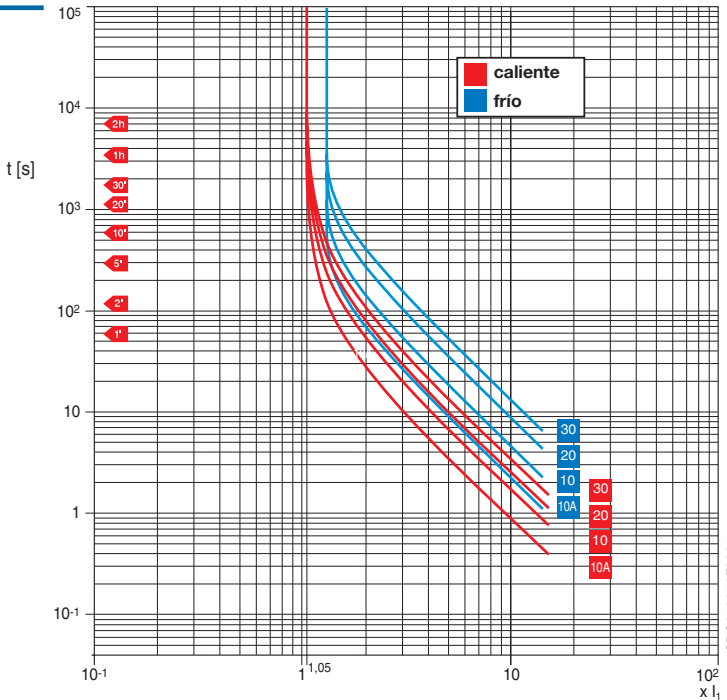
T4 250

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

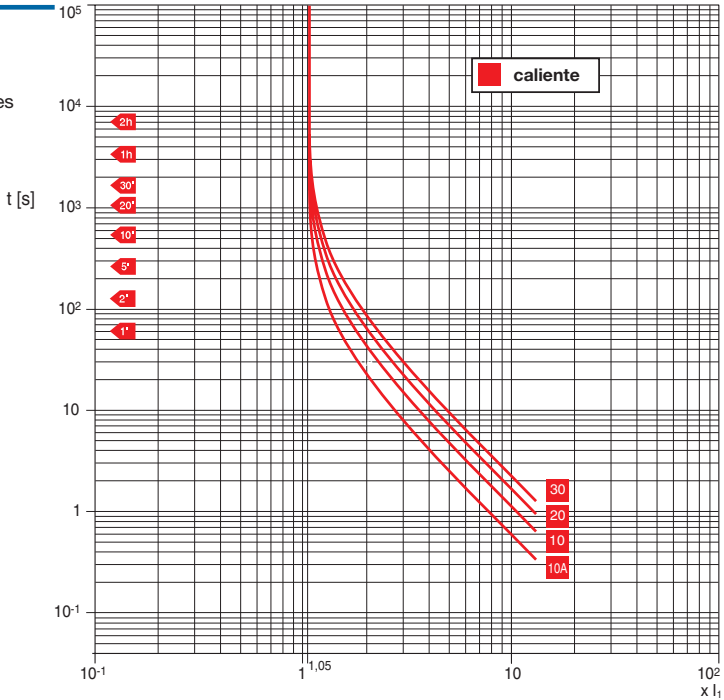
	I₁	t₁
PR222MP	De conformidad con IEC 60947-4-1	Según IEC 60947-4-1

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

I_1	t_1
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

I_1	t_1
PR222MP	$\pm 15\%$
	$\pm 15\%$

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

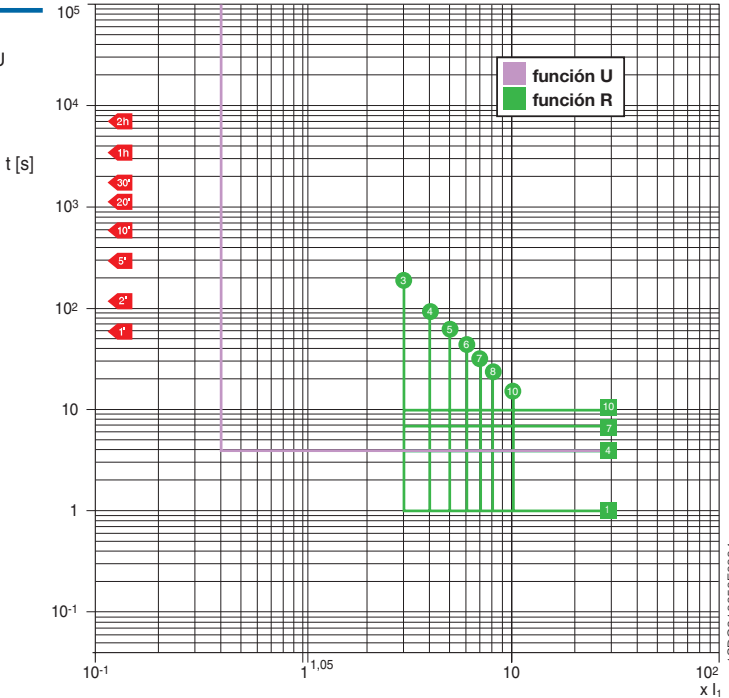
T4 250

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

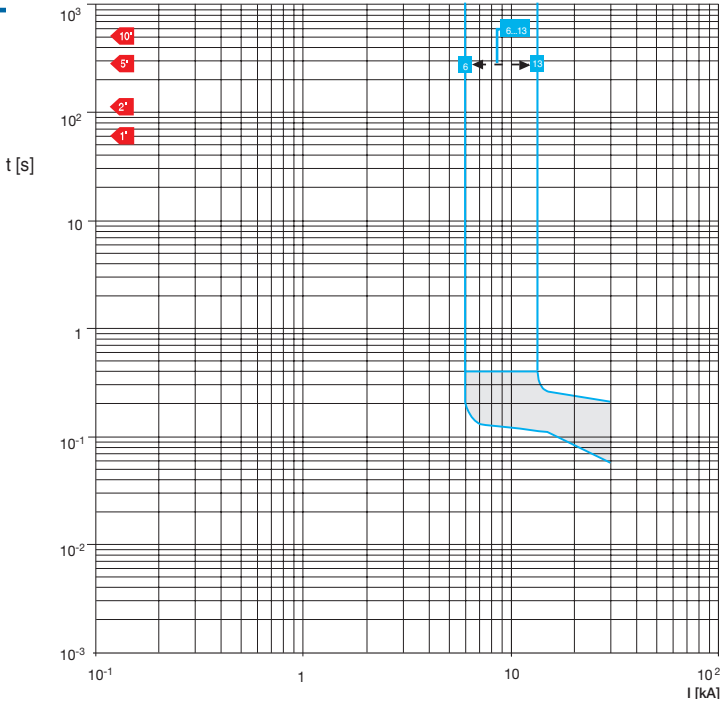
R	I5	t5
PR222MP	± 15 %	± 10 %
U	I6	t6
PR222MP	± 15 %	± 10 %

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 %

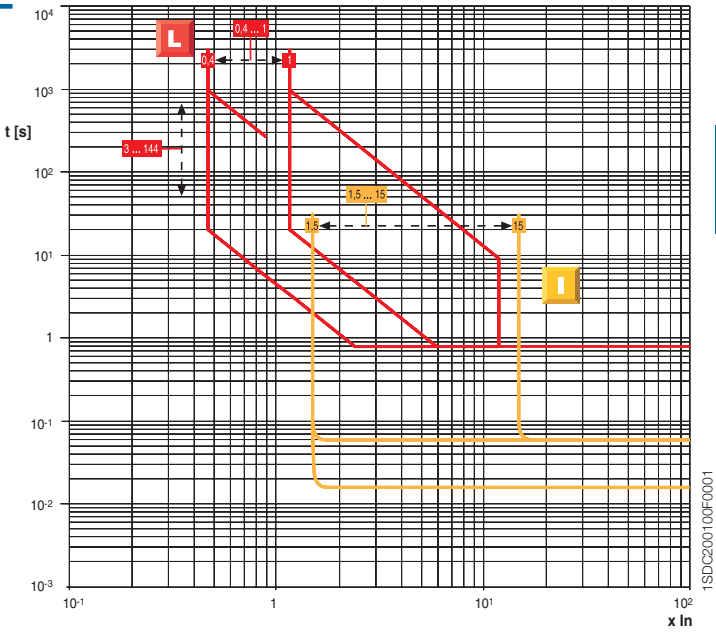
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR121/P
PR331/P

Funciones L- I



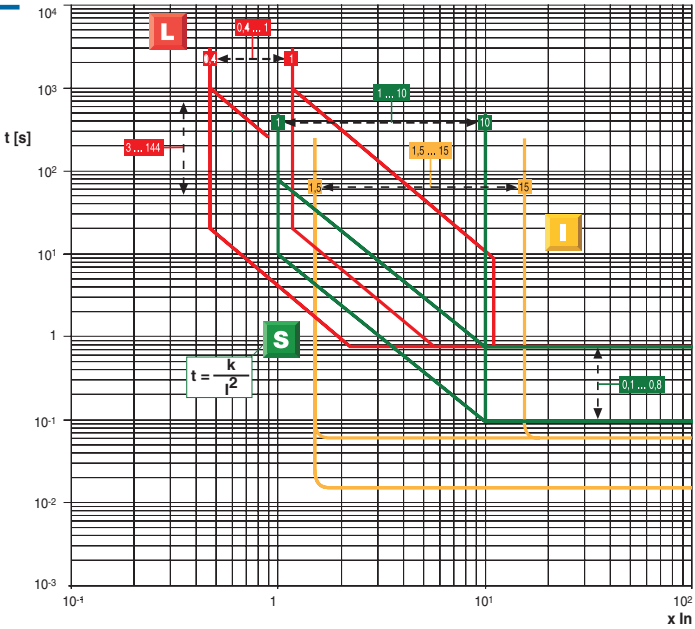
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR121/P
PR331/P

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



1SDC200101F0001

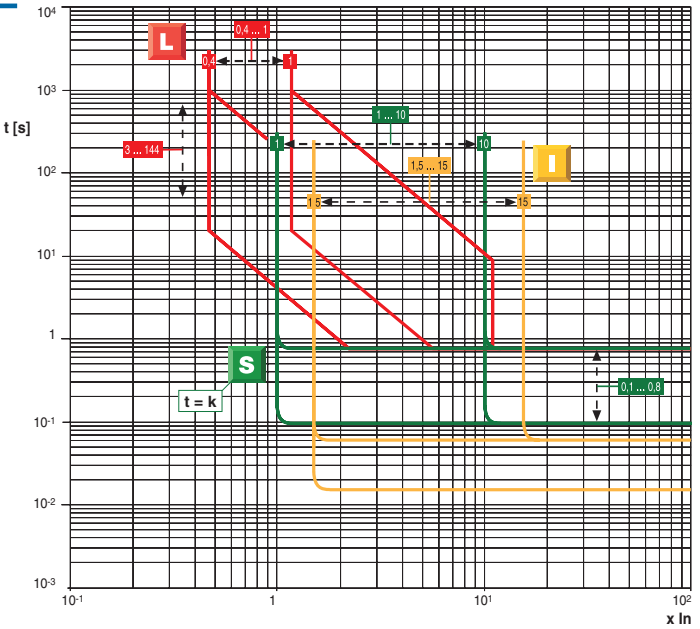
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR121/P
PR331/P

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



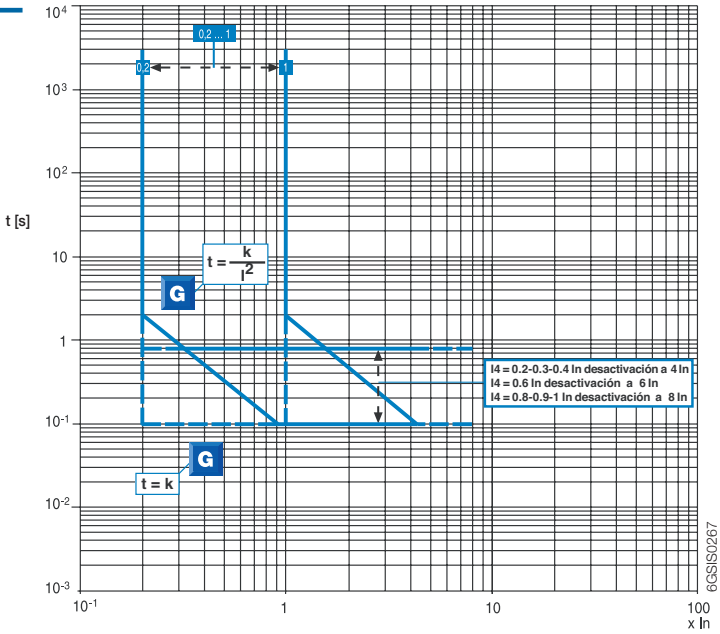
1SDC200102F0001

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

E_{max}
PR121/P
PR331/P

Función G



3 Características generales

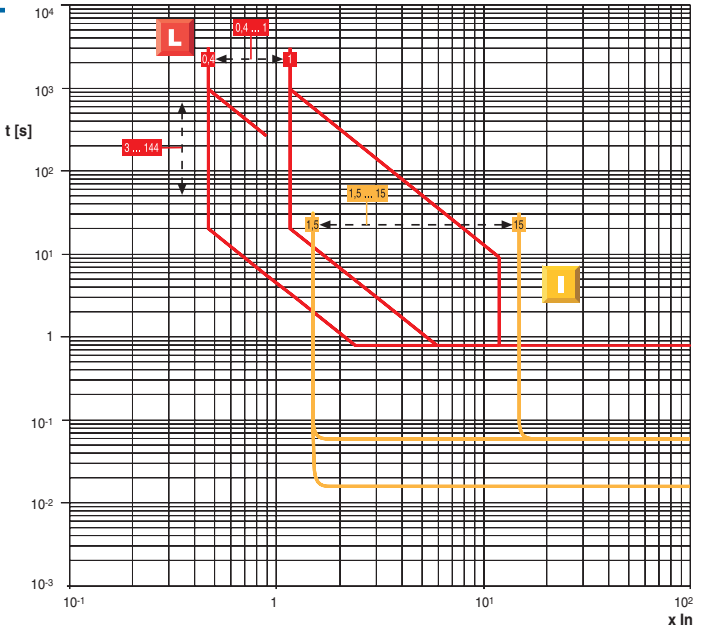
Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

PR122/P

PR332/P

Funciones L-I



1SDC200602F001

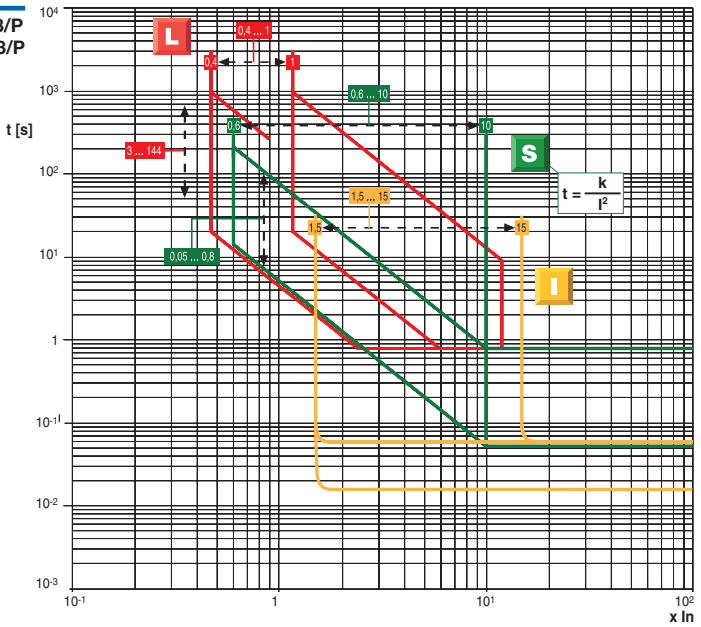
3 Características generales

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

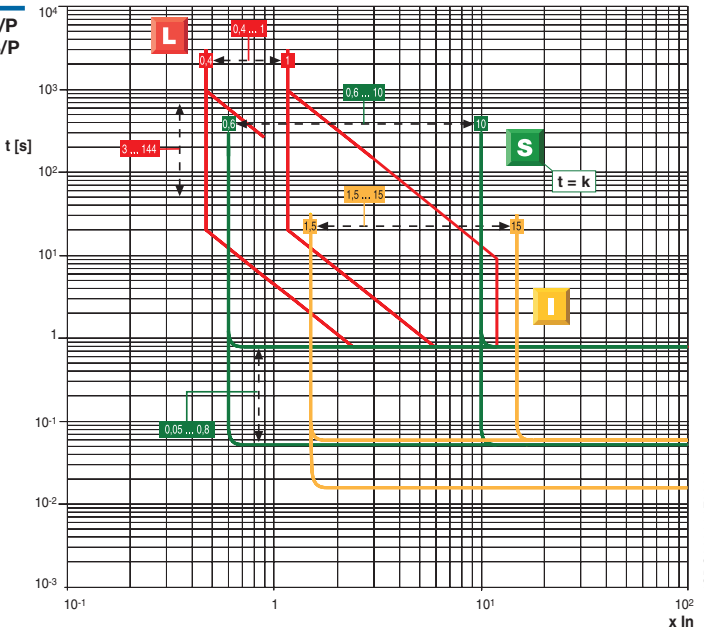
3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

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

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



1SDC200111F0001

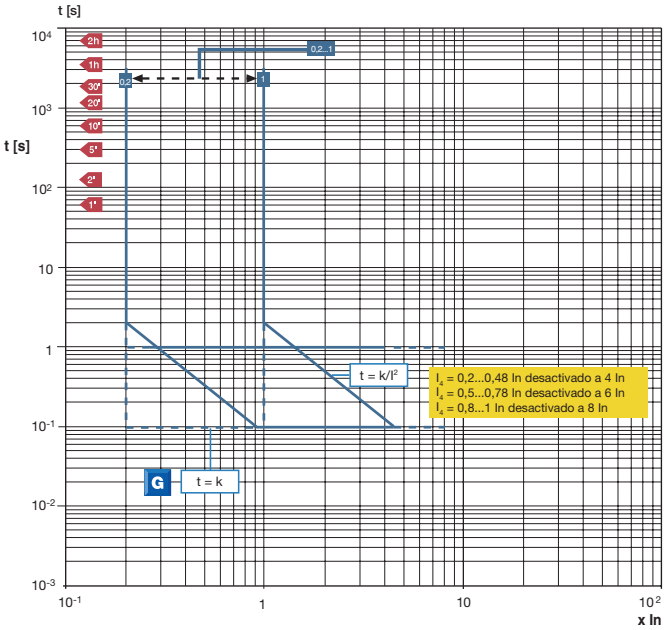
3 Características generales

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

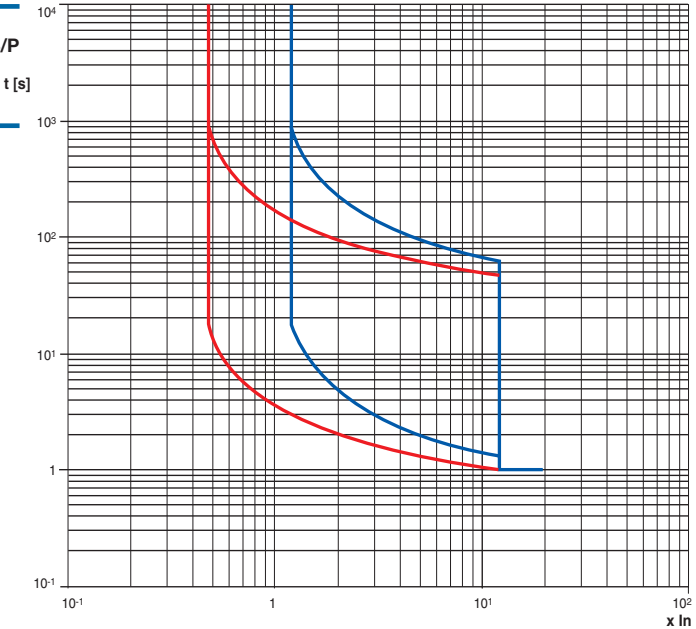
Las tres curvas que se muestran a continuación hacen referencia a la función de protección L de conformidad con la norma IEC 60255-3 e integran la norma en versión estándar; se aplican en coordinación con los fusibles y los interruptores automáticos de media tensión.

$k=0.14$ $\alpha=0.02$

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

$k=13.5$ $\alpha=1$

Emax

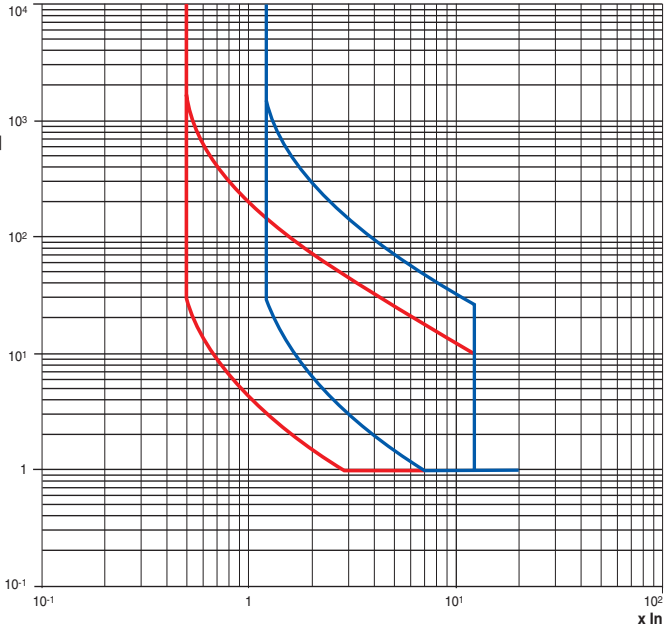
PR123/P
PR332/P- PR333/P

Tmax

PR332/P

t [s]

Función L
(IEC 60255-3)



1SDC200119F0001

	I1	t1
PR123/P	$(0.4...1) \times I_n$ con pasos de 0.01 $\times I_n$	$t_1=3s...1.144s$ con pasos de 3s
PR332/P-PR333/P		(1) (@ $I=3 \times U_n$)

A continuación se indican los valores de tolerancia:

	I1	
PR123/P	$1.05...1.2 \times I_n$	$\pm 20\% I_g > 5 \times I_1$
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

$k=80$ $\alpha=2$

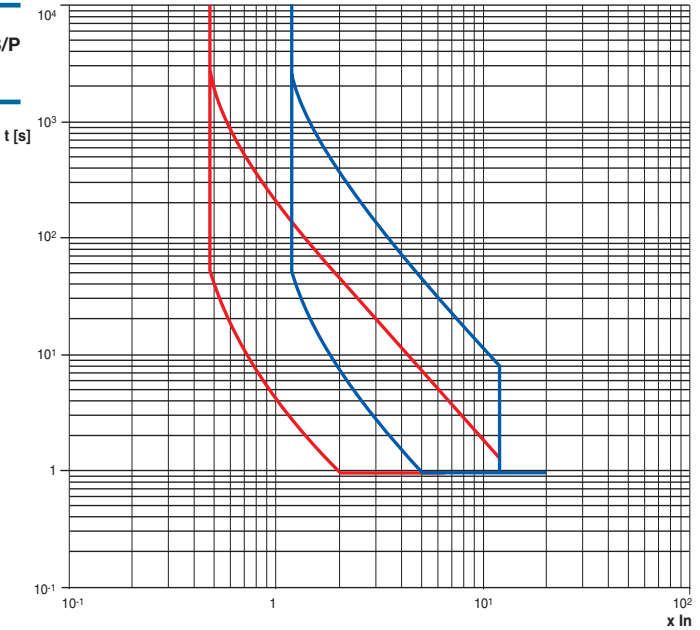
Emax

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 $0.01 \times I_n$	$t_1 = 3s \dots 144s$ 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

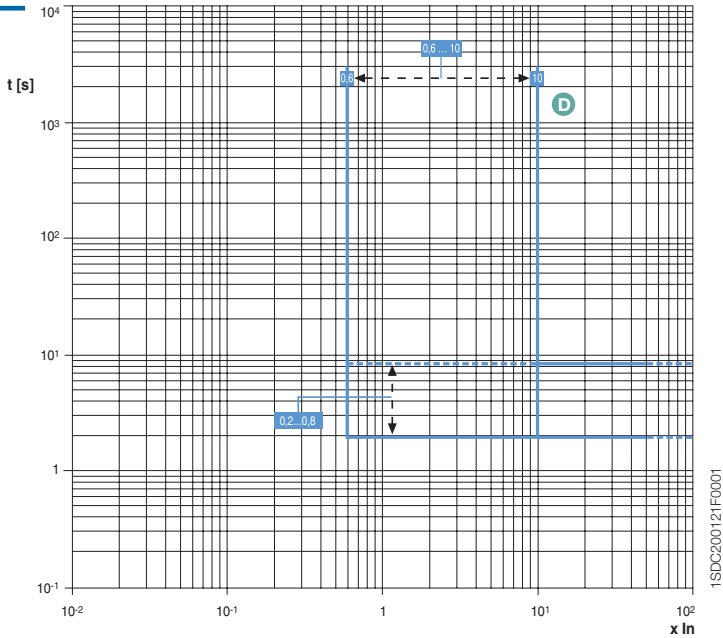
Relé PR 122/PR123 – Otras funciones de protección

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

Emax

PR123/P
PR333/P

Función D



1SDCC00121F0001

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

A continuación se indican los valores de tolerancia:

	I7	t7
PR123/P	± 10 %	el mejor de los dos:
PR333/P		± 10 % o ± 40 ms

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

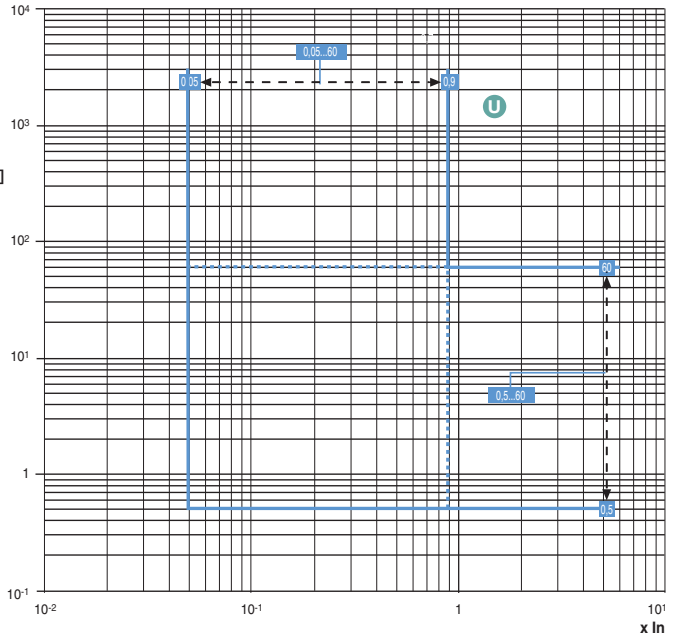
PR332/P-PR333/P
PR122/P-PR123/P

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	± 10 %	el mejor de los dos: ± 20 % o ± 100 ms

3 Características generales

Curva de actuación de los relés electrónicos

Emax

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

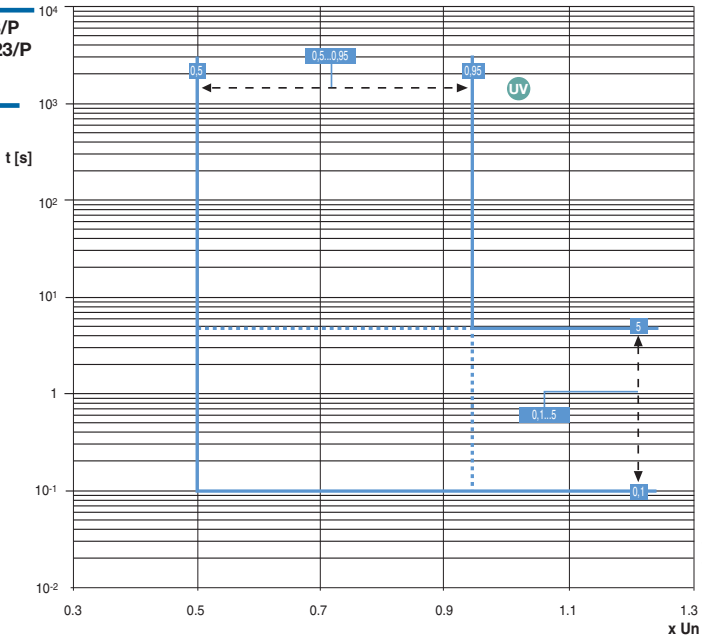
Tmax

PR332/P*

Función UV

*con PR330/V

**con PR120/V



	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

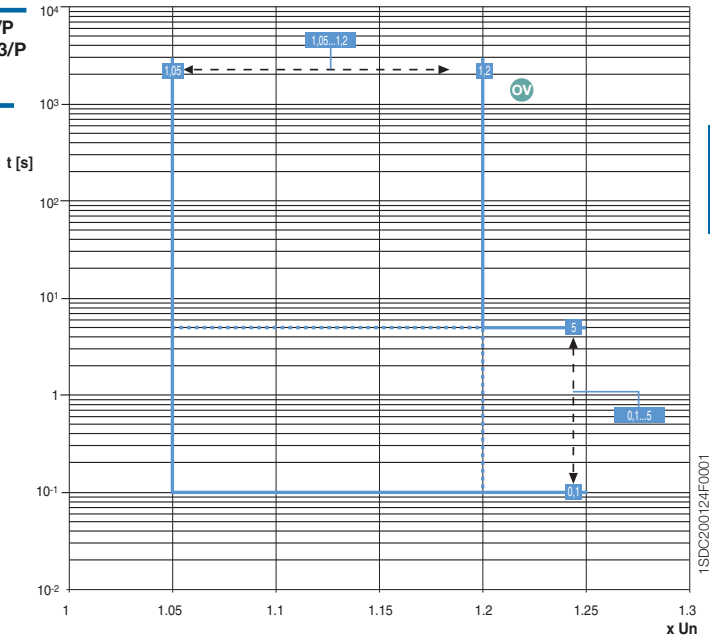
Tmax

PR332/P*

Función OV

*con PR330/V

**con PR120/V



	U9	t9
PR122/P-PR123/P	(1.05 ... 1.2 – OFF) x Un con pasos de 0.01 x Un	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:

	U9	t9
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

E_{max}

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

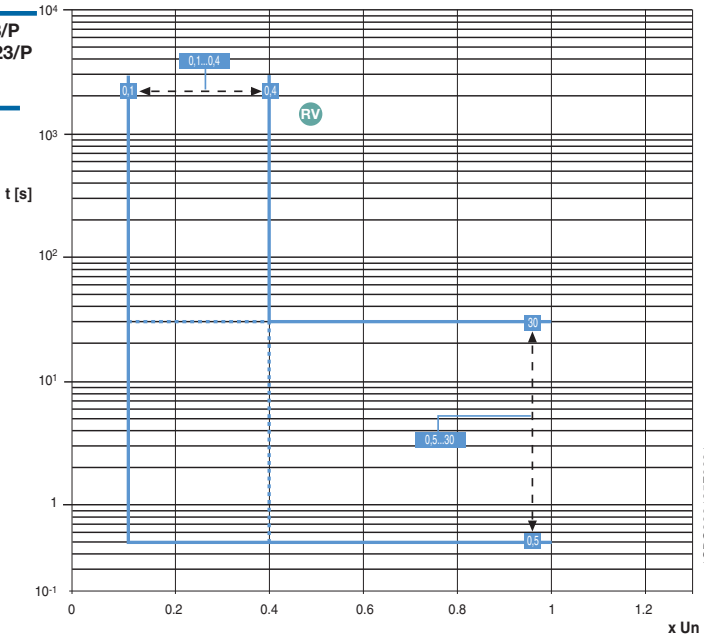
T_{max}

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

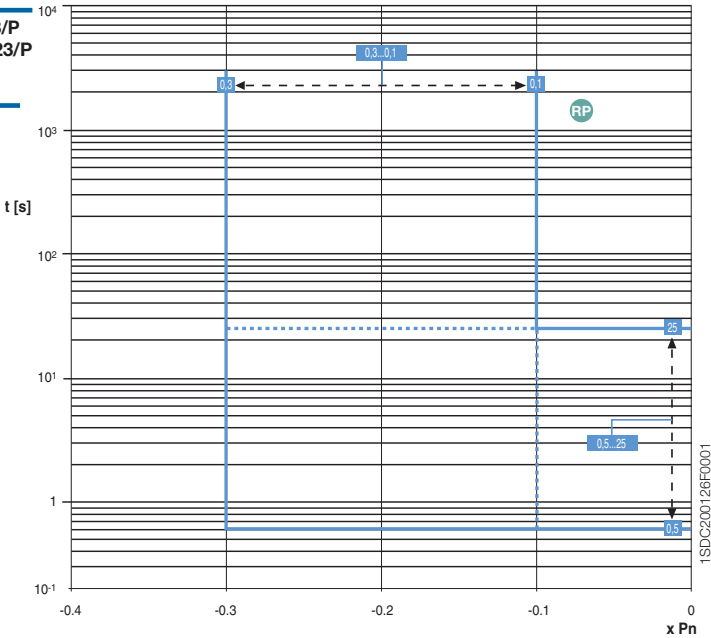
Tmax

PR332/P*

Función RP

*con PR330/V

**con PR120/V



1SDC200126R0001

	P11	t11
PR122/P	$(-0.3 \dots -0.1 - \text{OFF}) \times P_n$ con pasos de $0.02 \times P_n$	con $P < P_{11}$
PR123/P		$0.1 \dots 25$ s con pasos de 0.1 s

A continuación se indican los valores de tolerancia:

	P11	t11
PR122/P-PR332/P	$\pm 5 \%$	el mejor de los dos:
PR123/P-PR333/P	10%	$\pm 10\% \text{ o } \pm 100 \text{ ms}$

3 Características generales

Ejemplo de regulación de un relé electrónico

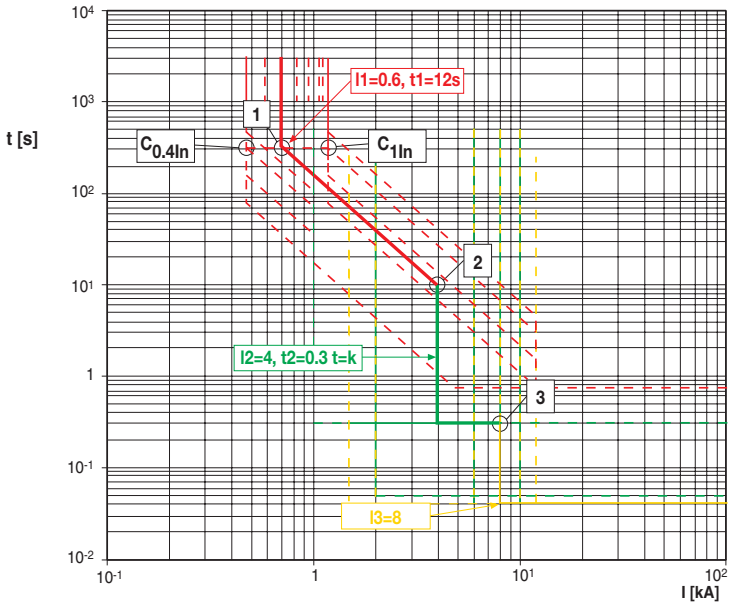
Tomando como ejemplo un interruptor automático tipo E1B1000 equipado con un relé PR121/P LSI y con un TA de 1000, se supone que por exigencias del sistema, las funciones de protección se deben regular según los siguientes ajustes:

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

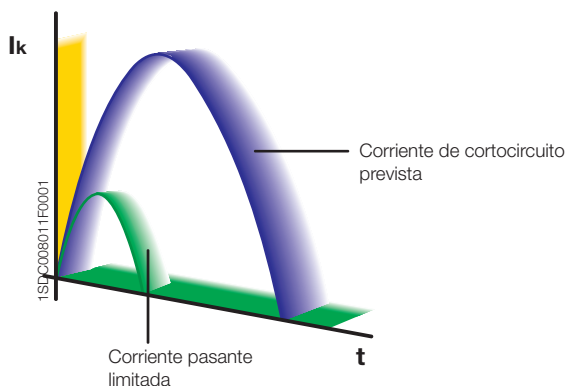


1SDC008010F0001

3 Características generales

3.3 Curvas de limitación

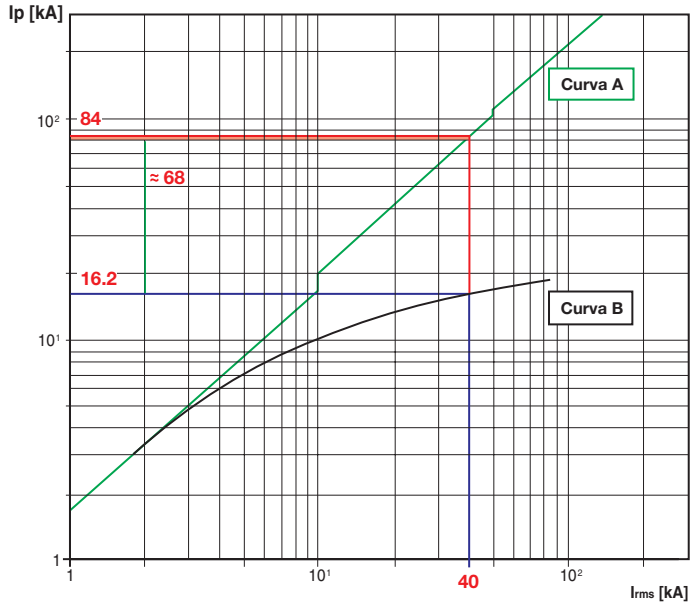
Un interruptor automático cuya apertura de contactos se efectúa después del paso de la cresta de la corriente de cortocircuito o cuya interrupción se cumple en correspondencia con el paso natural de la corriente por cero, permite que los componentes de la instalación sufran sollicitaciones elevadas, tanto térmicas como dinámicas. Para reducir dichas sollicitaciones, 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...”

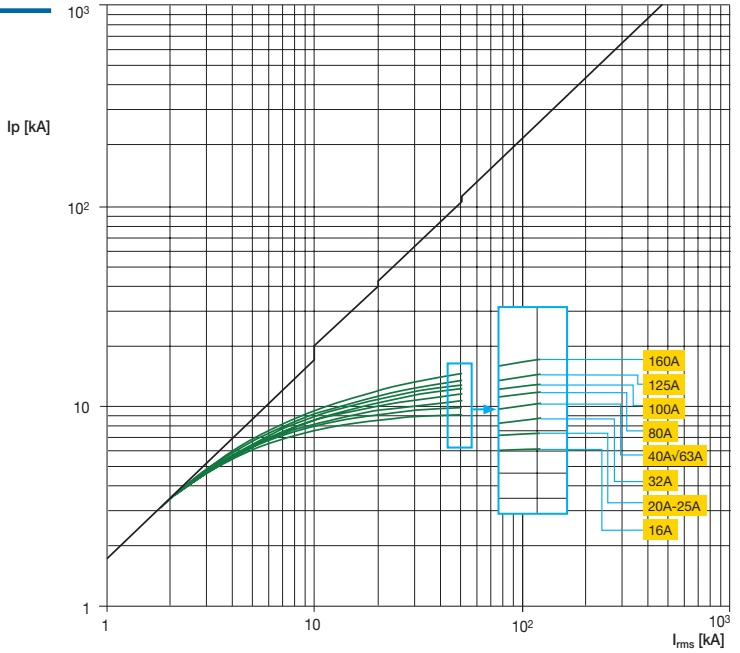
El ejemplo anterior está incluido en los casos contemplados por la norma; si el referido interruptor automático se utilizara como interruptor general de un cuadro destinado a instalarse en un punto de la instalación en el cual la corriente de cortocircuito prevista es de 40 kA, no haría falta realizar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

3 Características generales

Curvas de limitación

T1 160

230 V



1SDC210061F0004

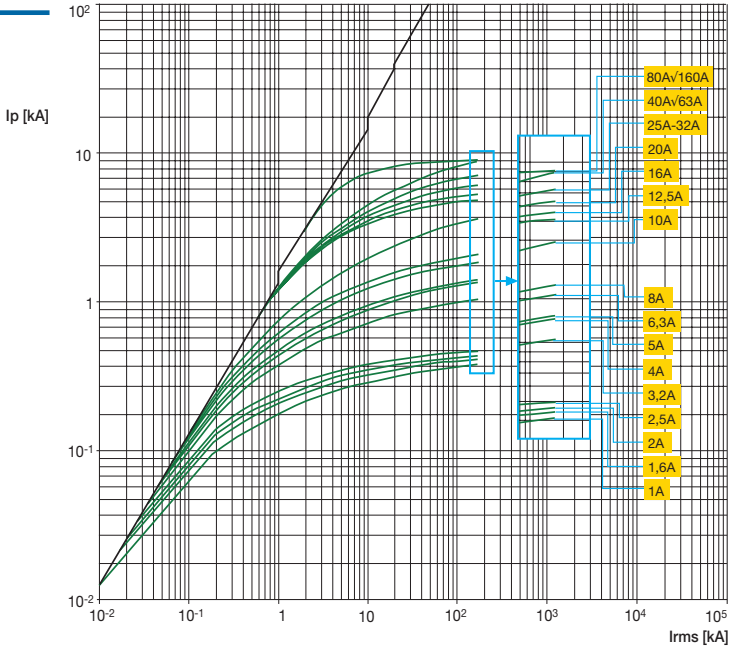
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T2 160

230 V



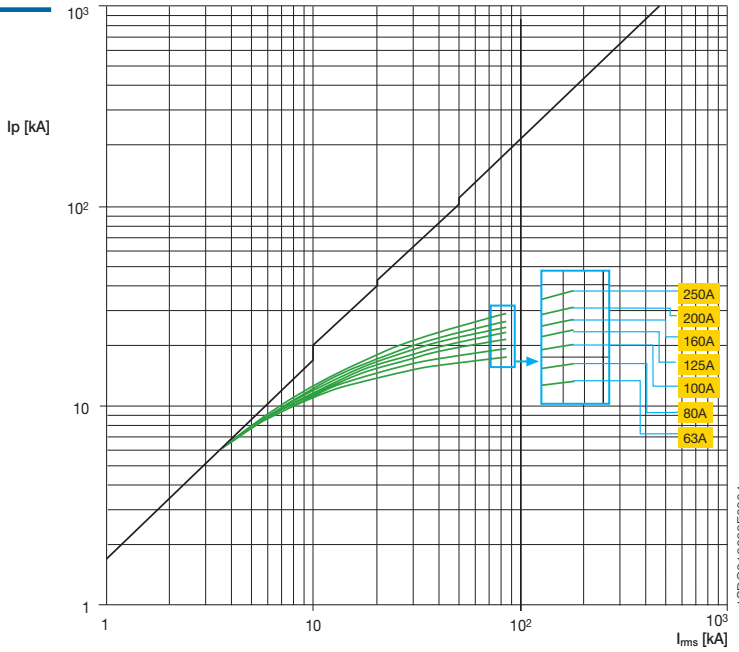
1SDC210062F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T3 250

230 V



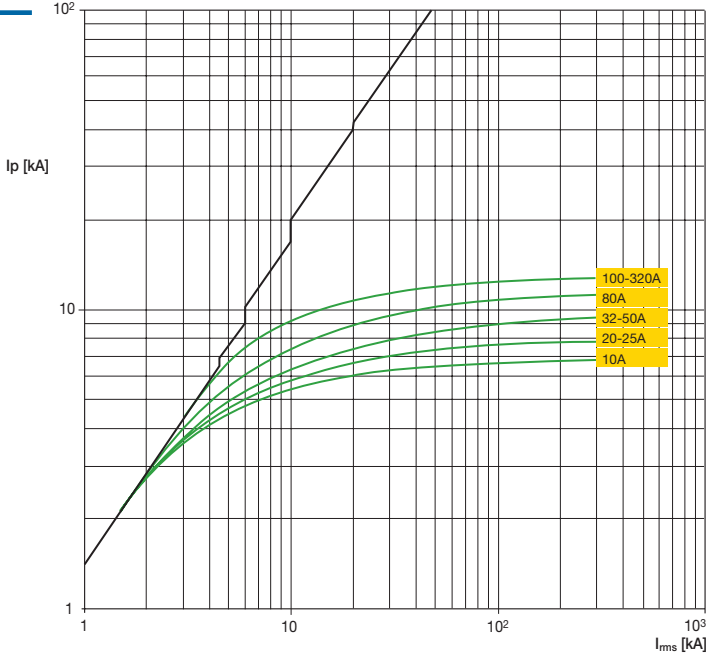
1SDC210063F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250/320

230 V



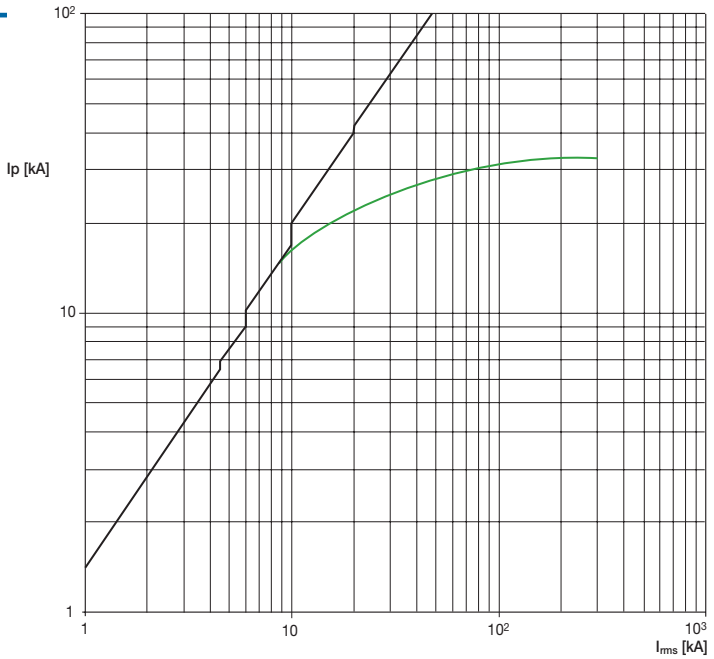
1SDC200127F0001

3 Características generales

Curvas de limitación

T5 400/630

230 V



1SDC200500F0001

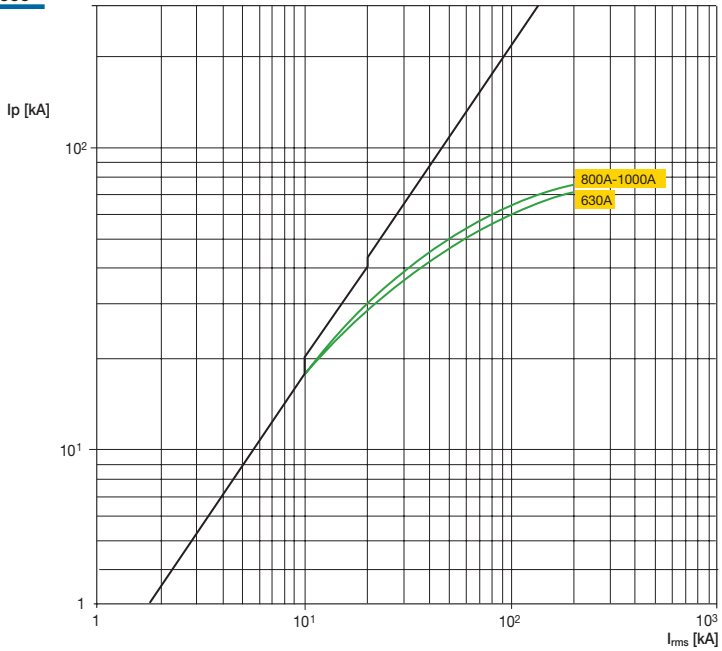
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T6 630/800/1000

230 V



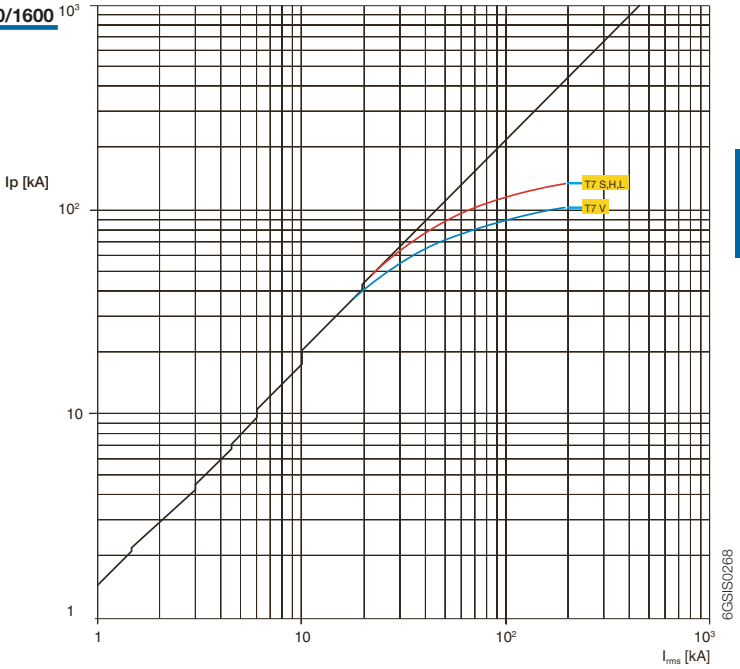
1SDC200555F0001

3 Características generales

Curvas de limitación

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

230 V



6CSIS0268

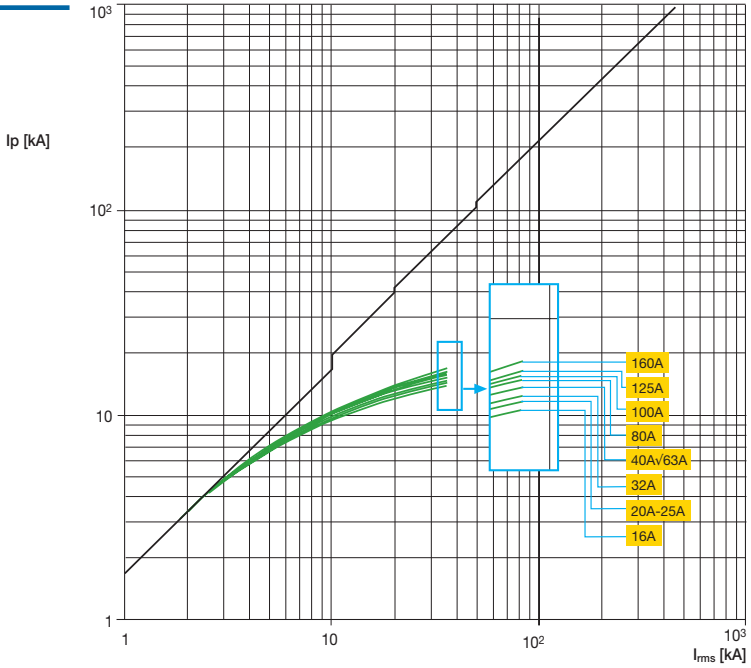
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T1 160

400-440 V



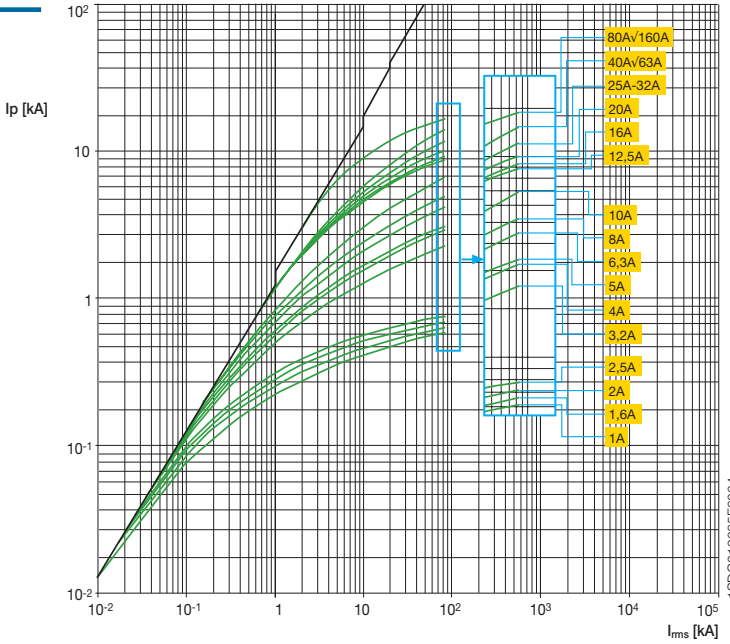
1SDC210064F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T2 160

400-440 V

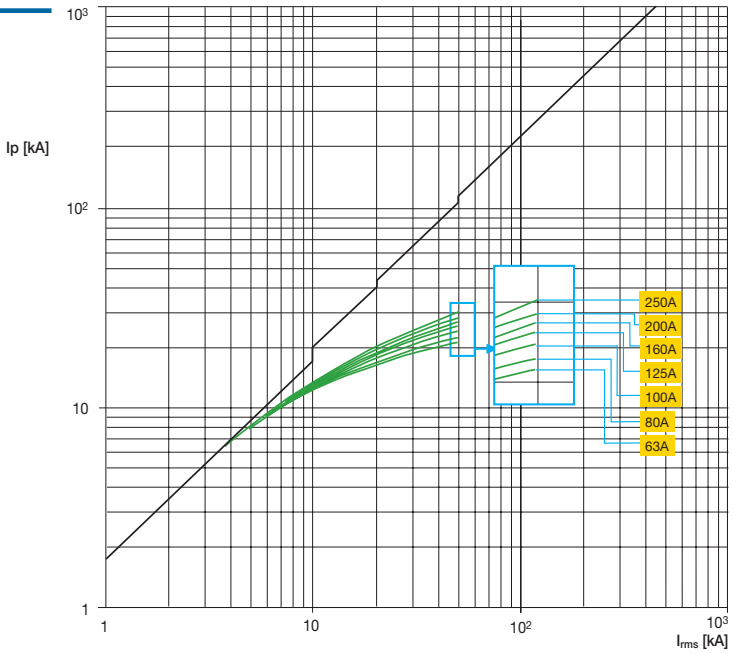


3 Características generales

Curvas de limitación

T3 250

400-440 V



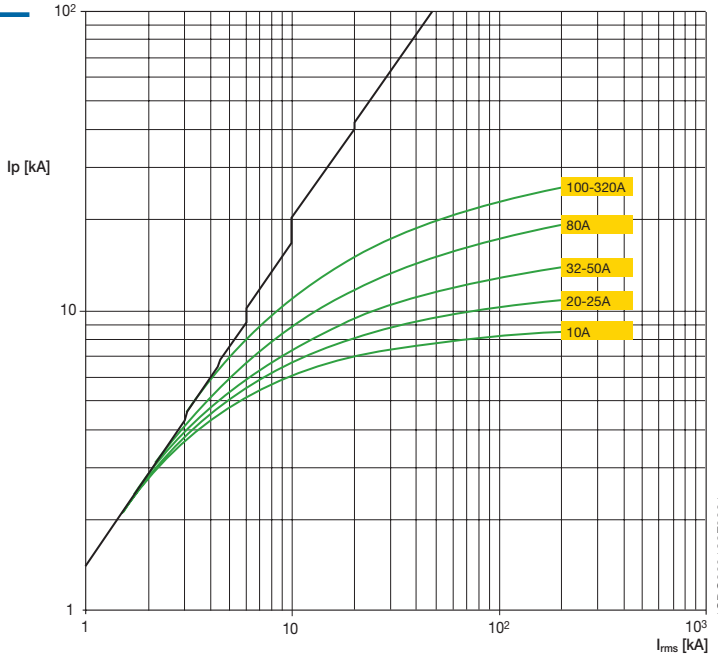
1SDC210066F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250/320

400-440 V



1SDC200128F0001

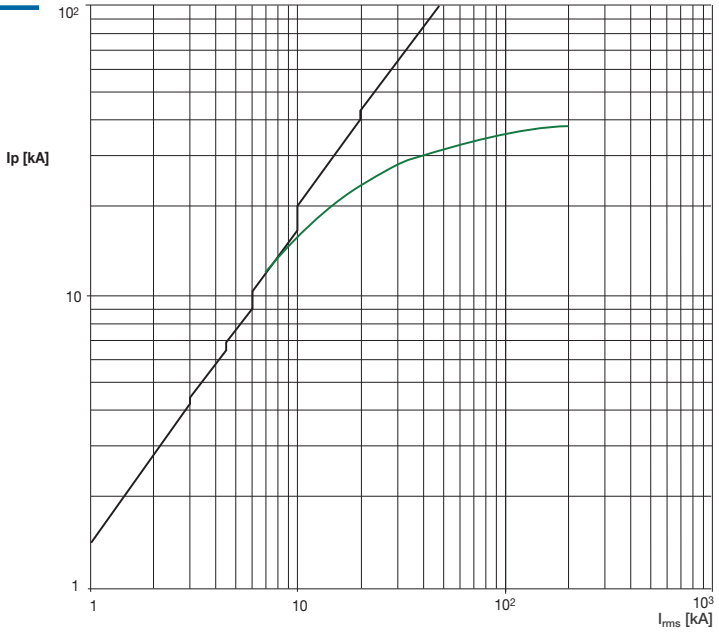
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T5 400/630

400-440 V



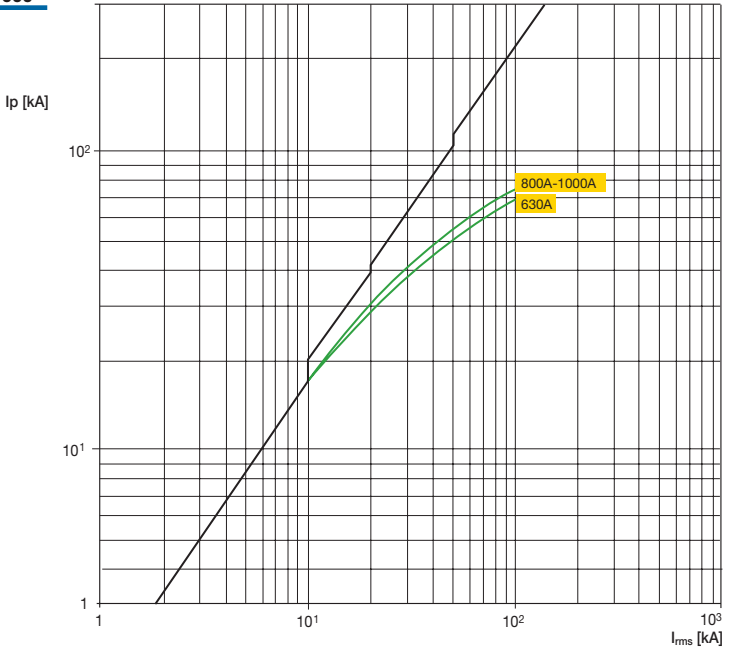
1SDC210024F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T6 630/800/1000

400-440 V



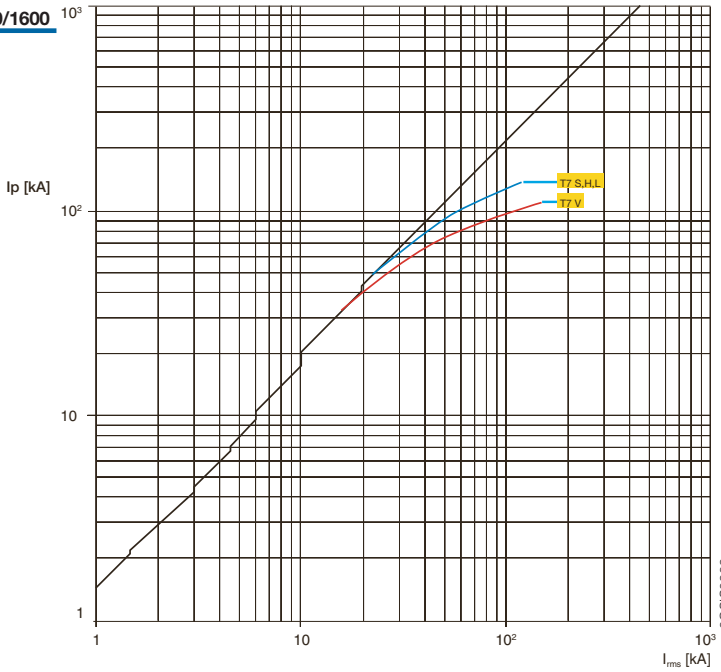
1

3 Características generales

Curvas de limitación

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

400-440 V



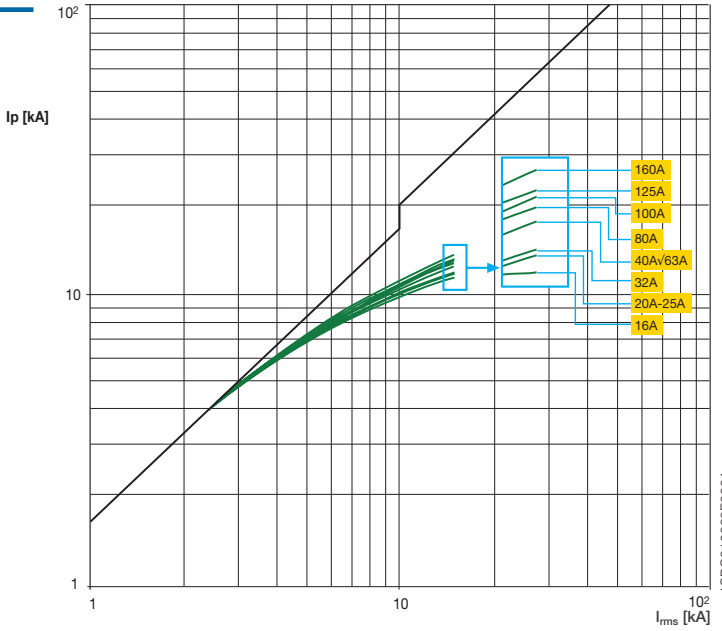
6G5S0269

3 Características generales

Curvas de limitación

T1 160

500 V

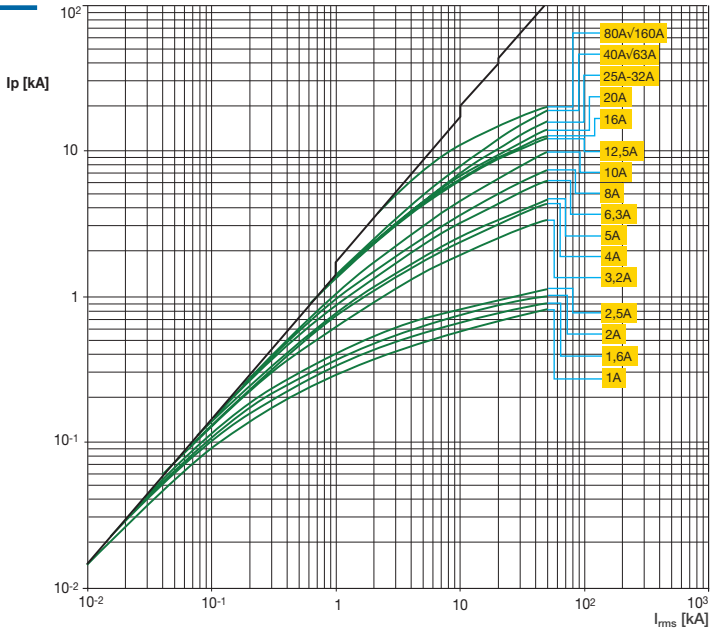


3 Características generales

Curvas de limitación

T2 160

500 V



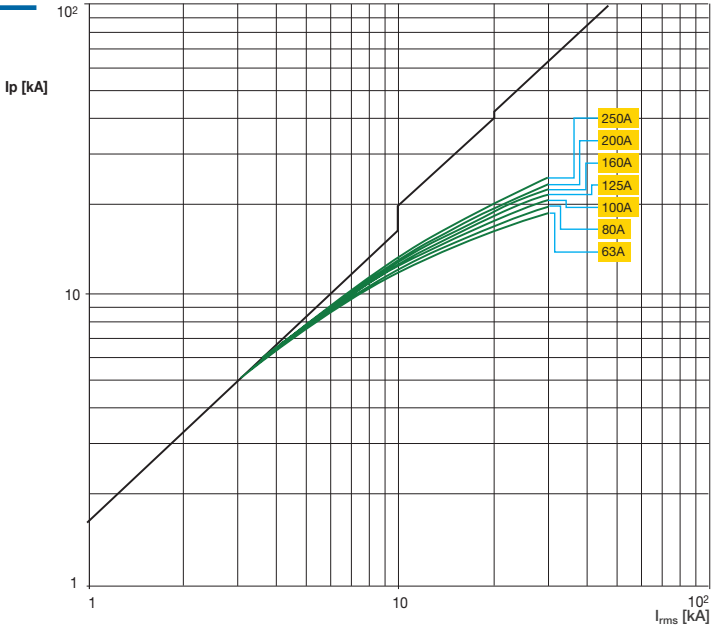
1SDC210030F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T3 250

500 V

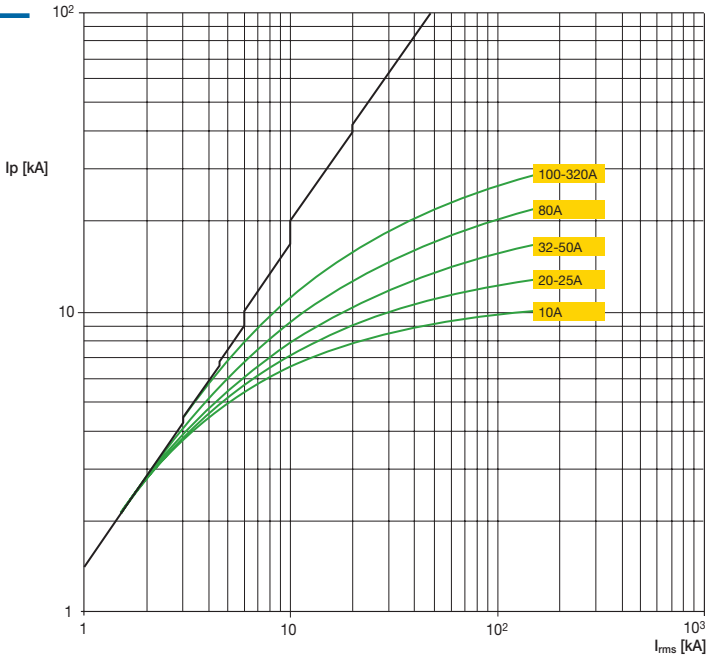


3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250/320

500 V



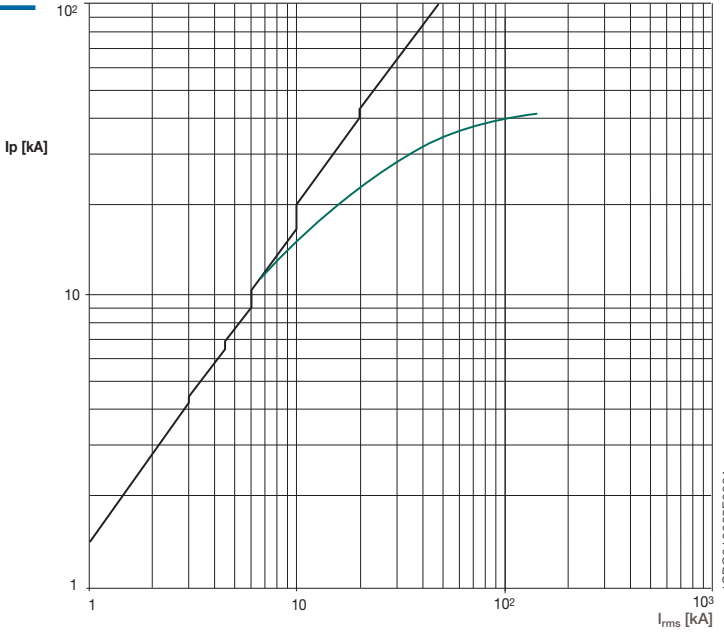
1SDC200129F0001

3 Características generales

Curvas de limitación

T5 400/630

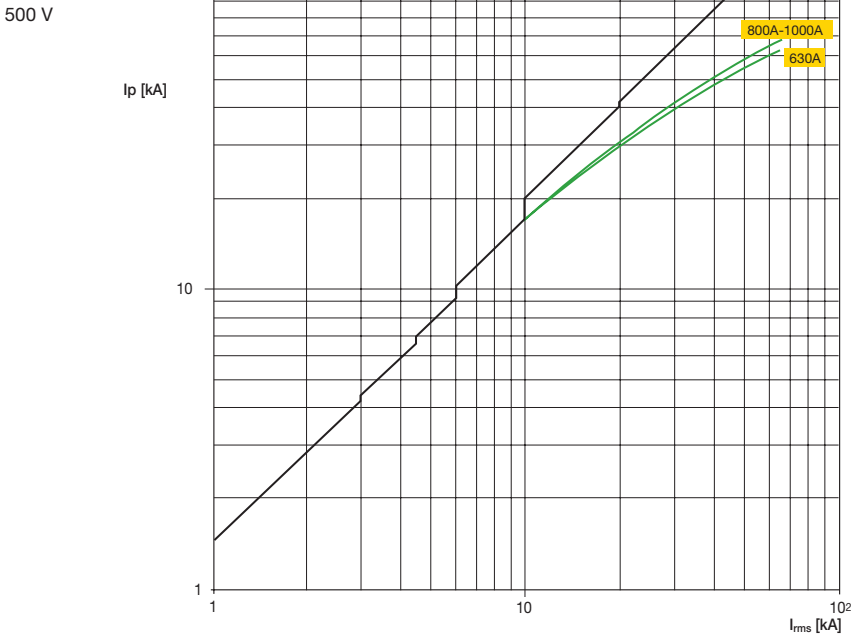
500 V



1SDC210025F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

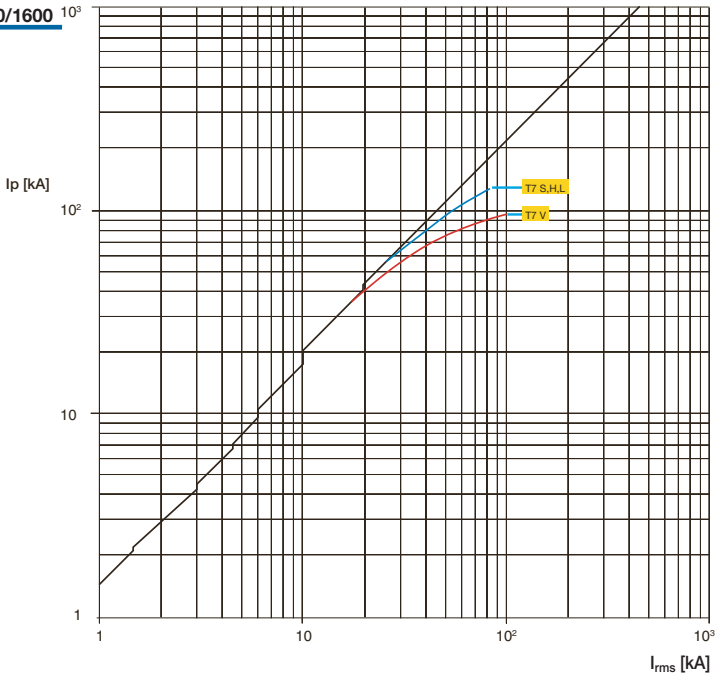
T6 630/800/1000

3 Características generales

Curvas de limitación

T7**800/1000/1250/1600** ^{10³}

500 V



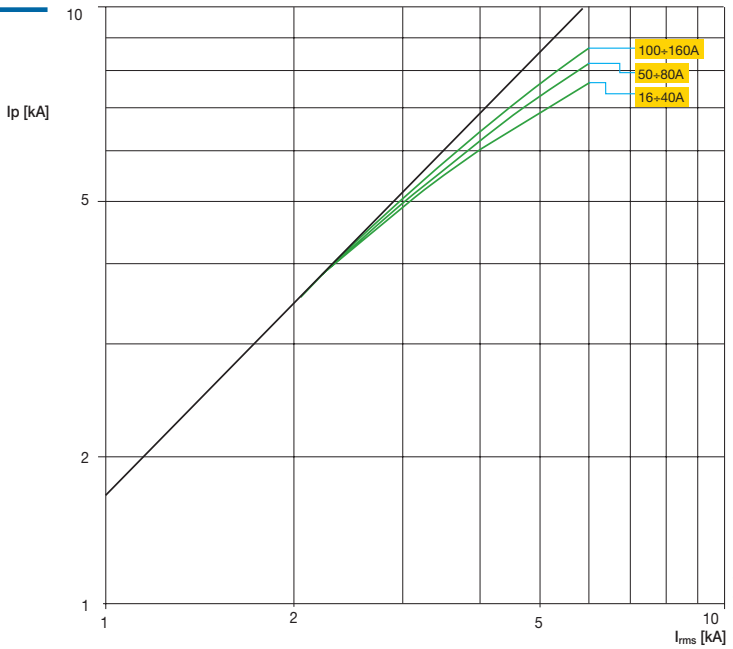
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T1 160

690 V



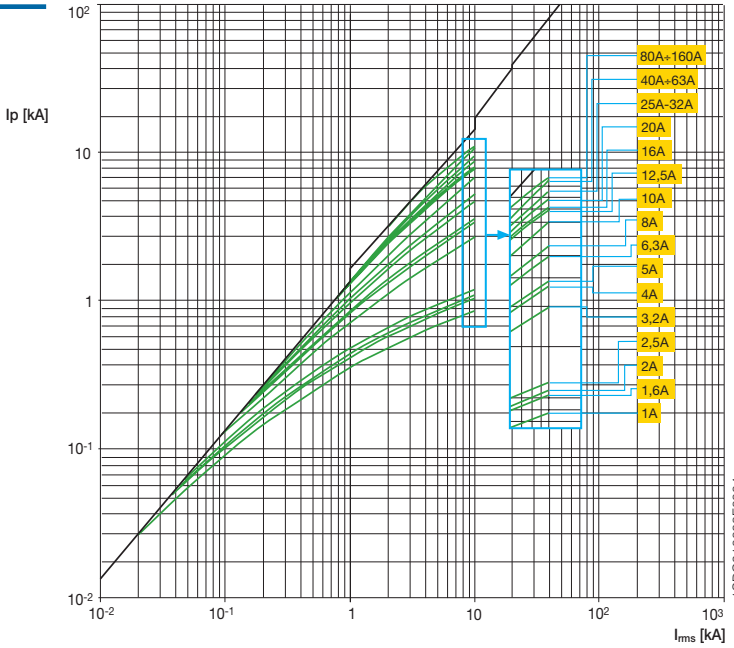
1SDC210067F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T2 160

690 V

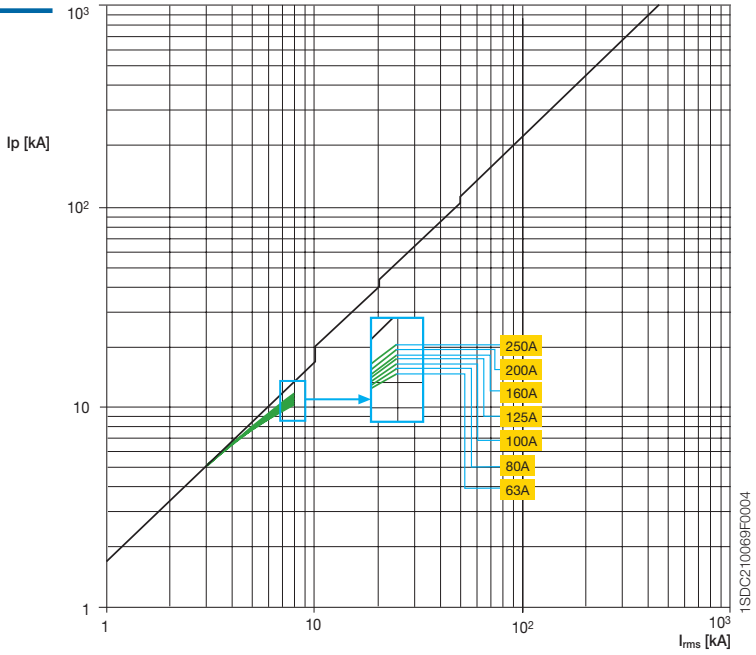


3 Características generales

Curvas de limitación

T3 250

690 V

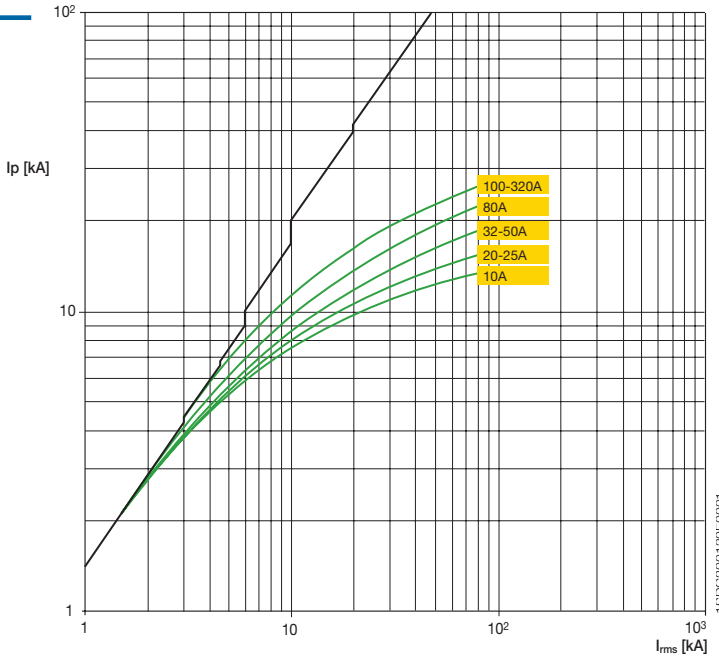


3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250/320

690 V



TSDC200130F-0001

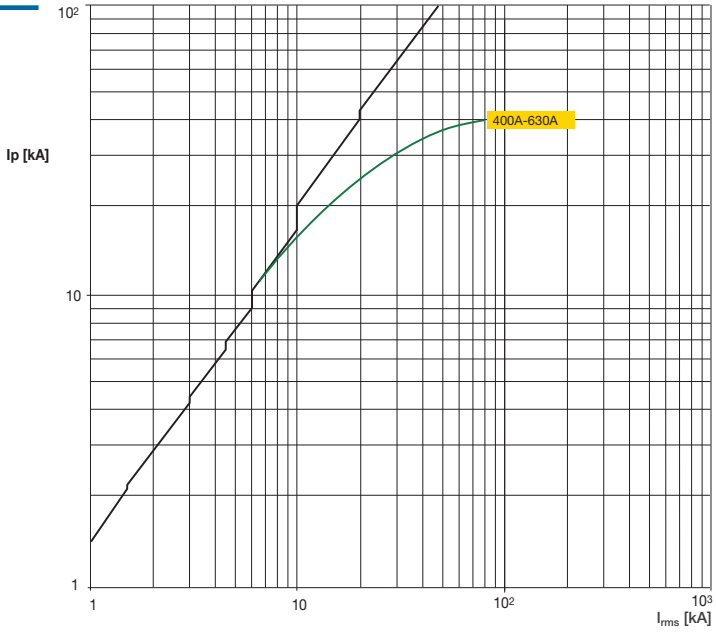
1

3 Características generales

Curvas de limitación

T5 400/630

690 V



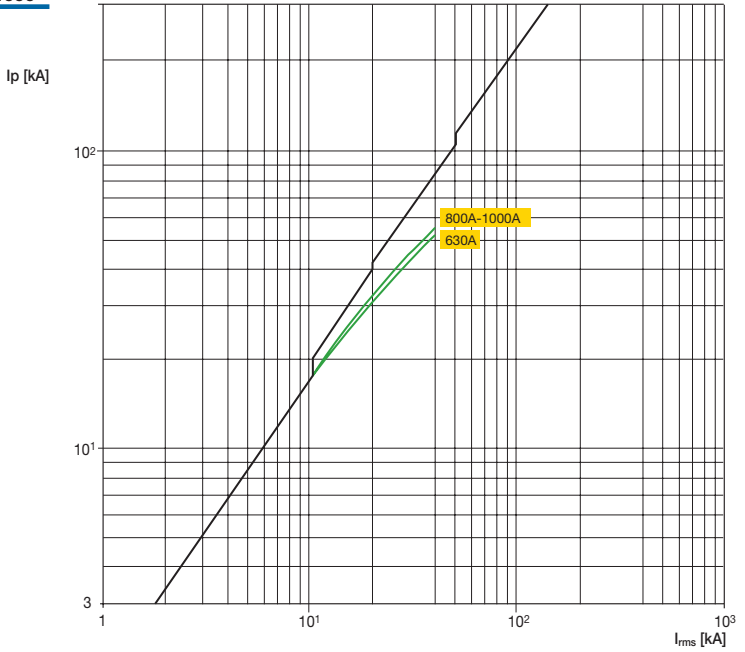
1SDC210026F0004

3 Características generales

Curvas de limitación

T6 630/800/1000

690 V

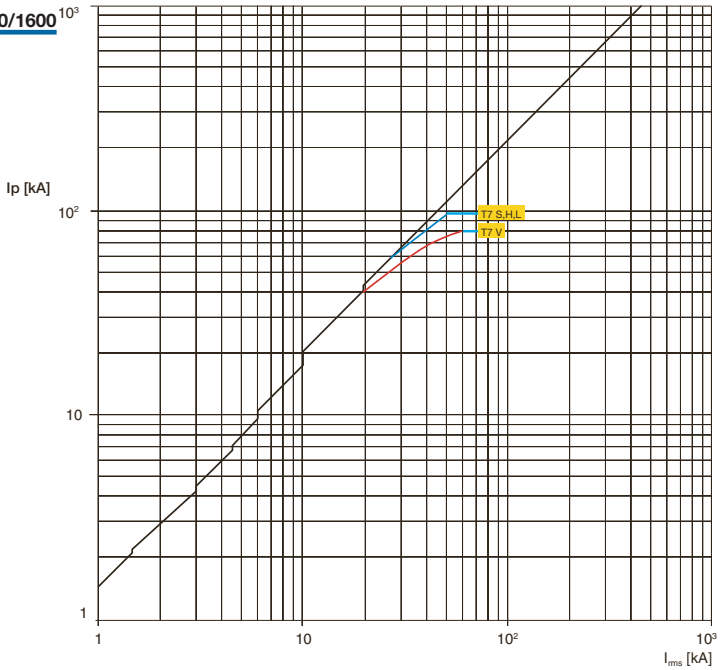


1

3 Características generales

Curvas de limitación

T7
800/1000/1250/1600¹⁰³
 690 V

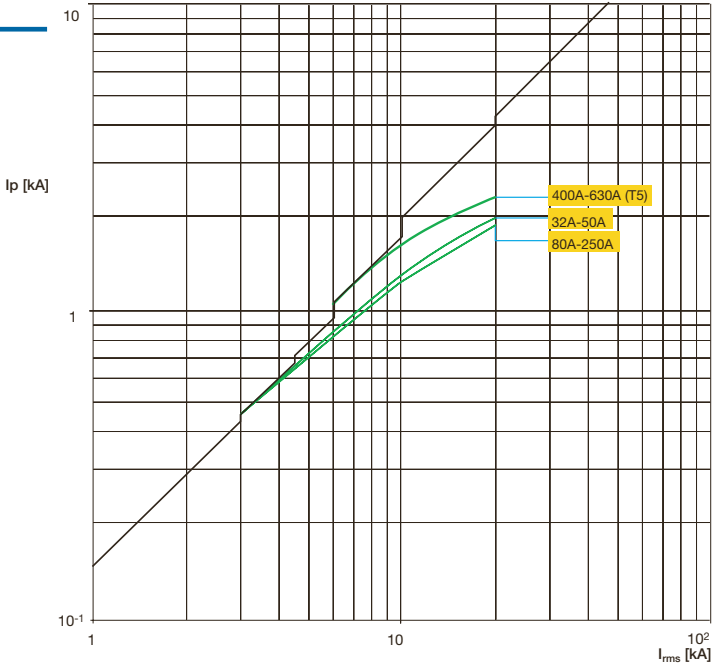


3 Características generales

Curvas de limitación

T4 250**T5 400/630**

1000 V



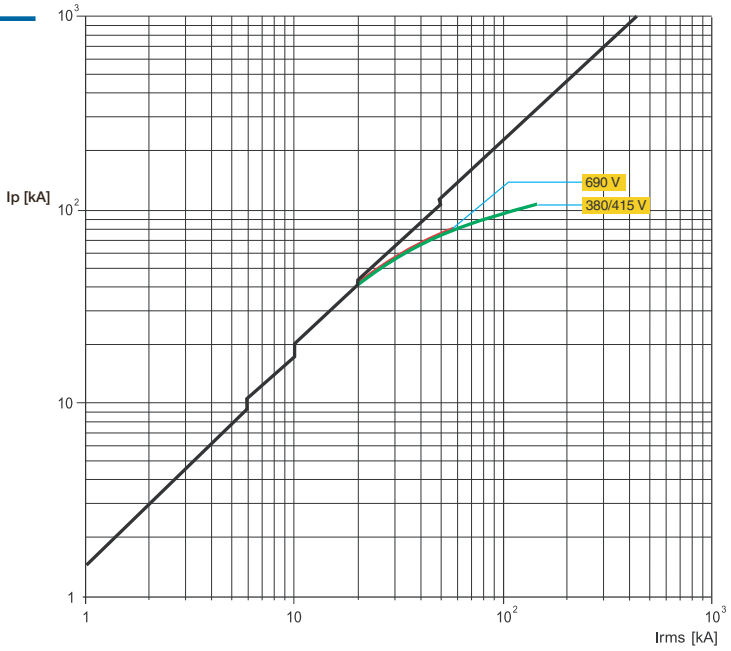
1

3 Características generales

Limitation curves

X1L

690 V ~
380/415 V ~



1SDC210038F0004

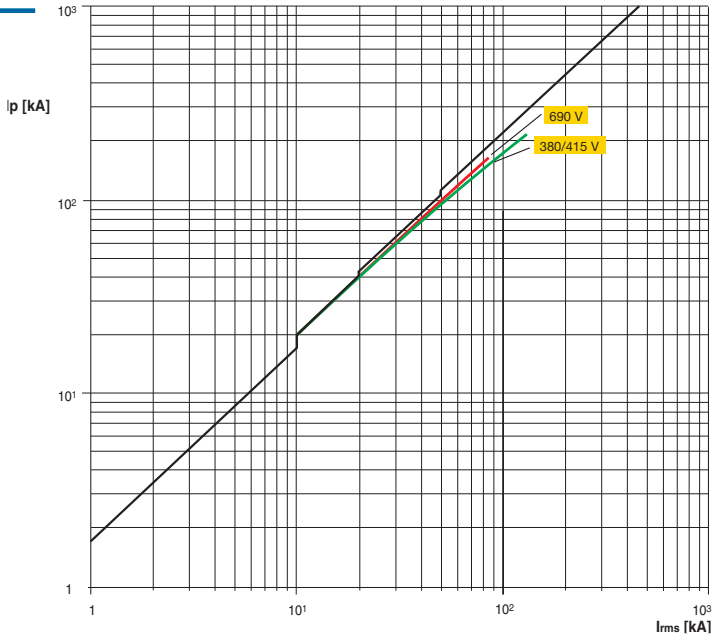
3 Características generales

Curvas de limitación

E2L

690 V ~

380/415 V ~



1SDC200092F0001

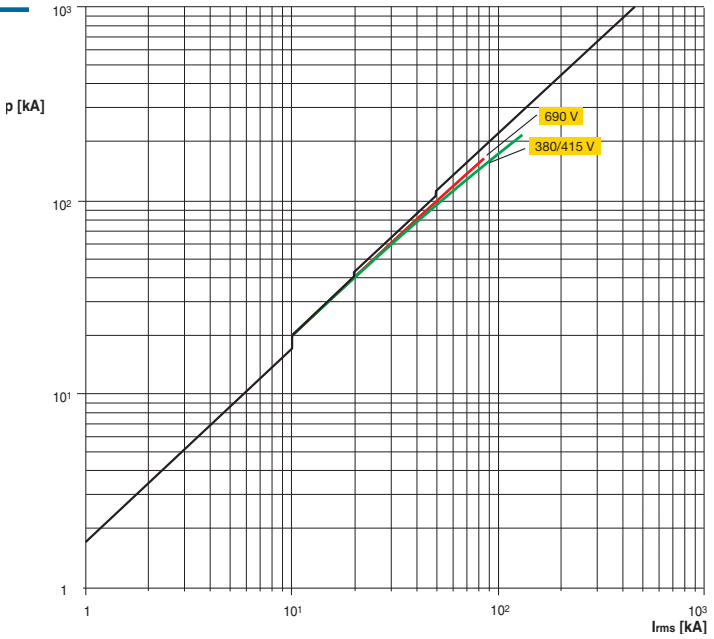
1

3 Características generales

Curvas de limitación

E3L

690 V ~
380/415 V ~



1SDC200094F0001

3 Características generales

3.4 Curvas de energía específica pasante

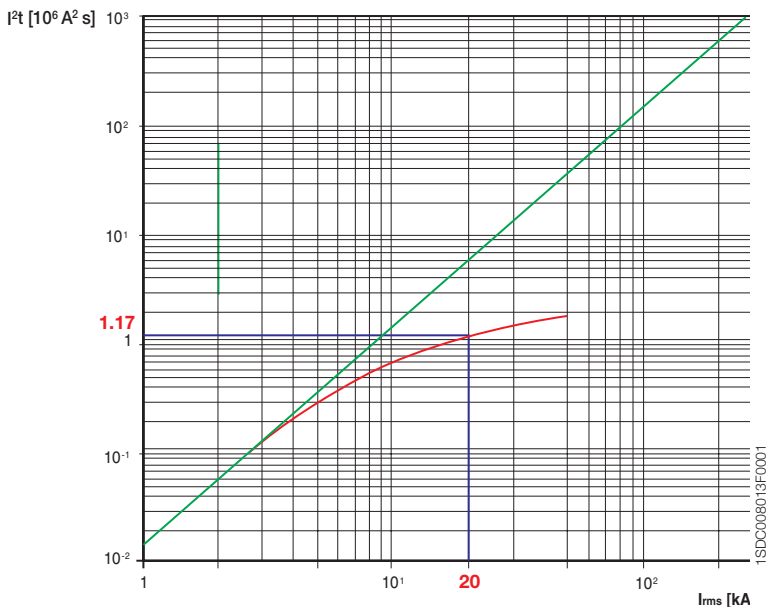
En caso de cortocircuito, las partes de una instalación involucrada en el defecto se someten a solicitaciones térmicas proporcionales, tanto al cuadrado de la corriente de defecto como al tiempo empleado por las protecciones para interrumpirla. La energía que deja pasar el dispositivo de protección durante 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).

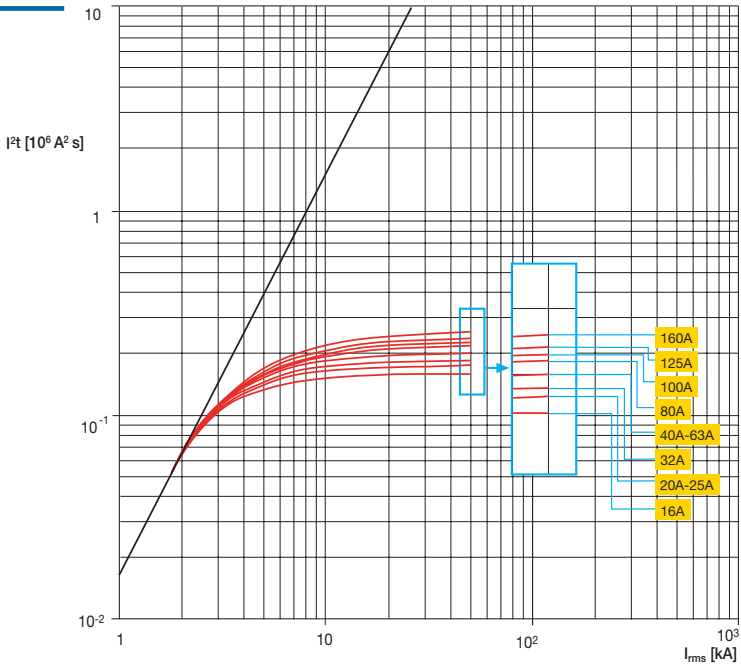


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T1 160

230 V



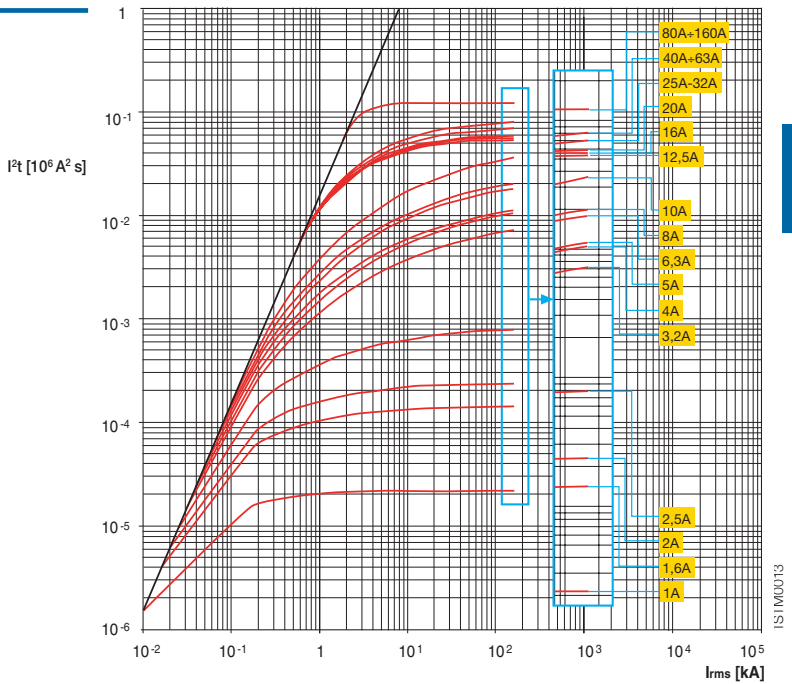
1SDC210052F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T2 160

230 V

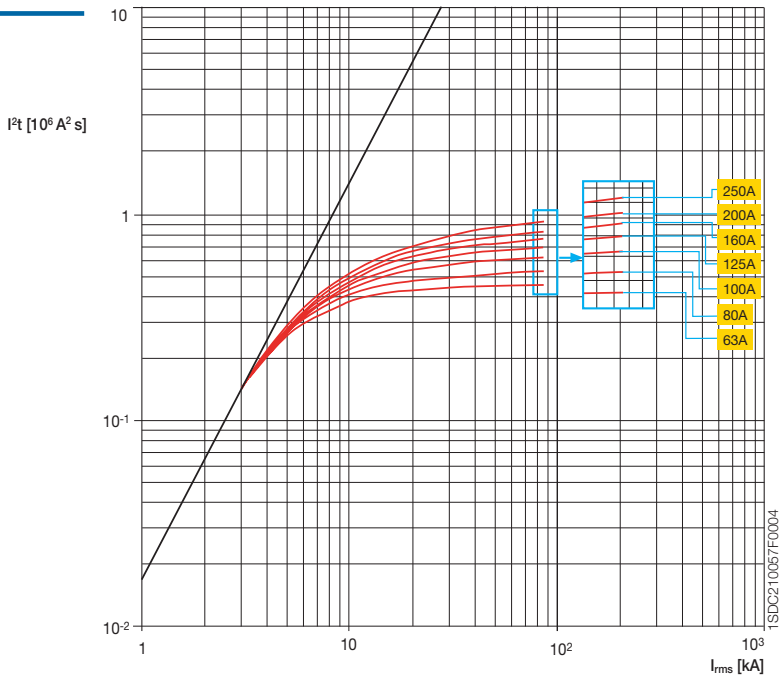


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T3 250

230 V

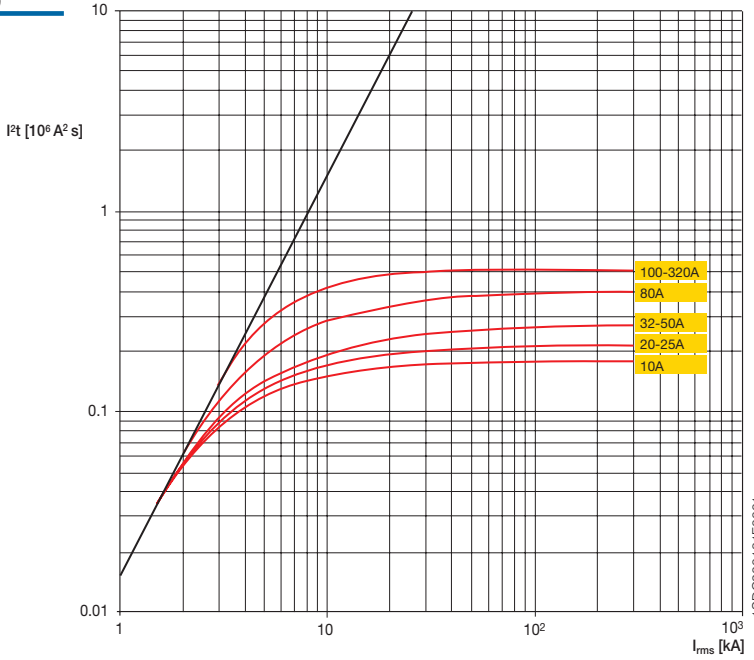


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T4 250/320

230 V

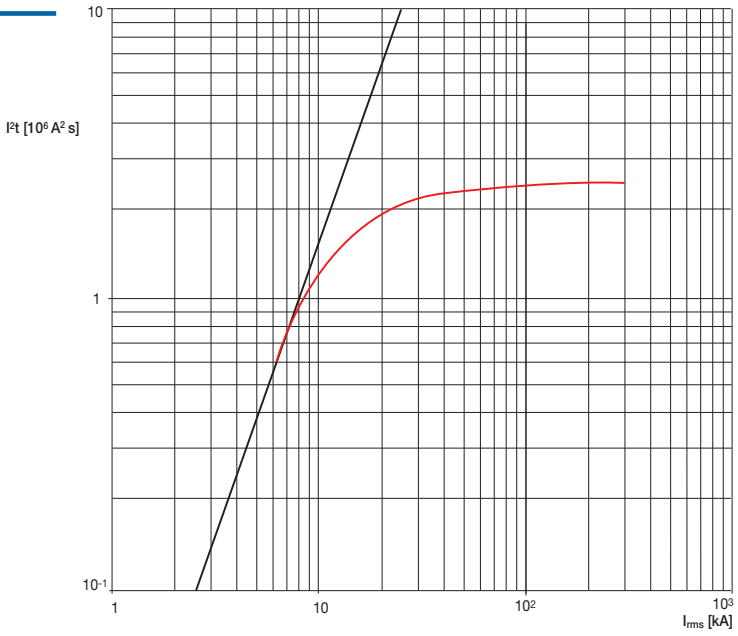


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T5 400/630

230 V



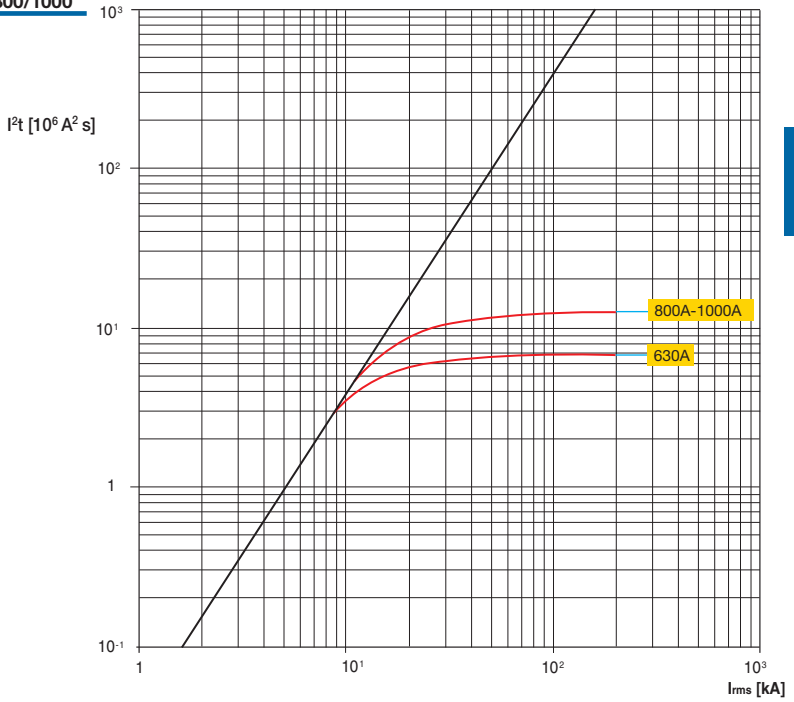
1SDC210019F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T6 630/800/1000

230 V

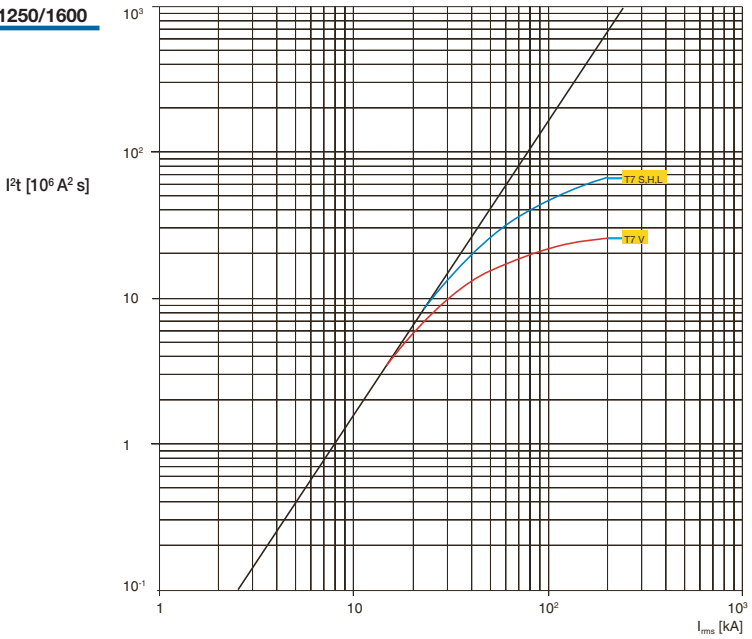


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T7
800/1000/1250/1600

230 V

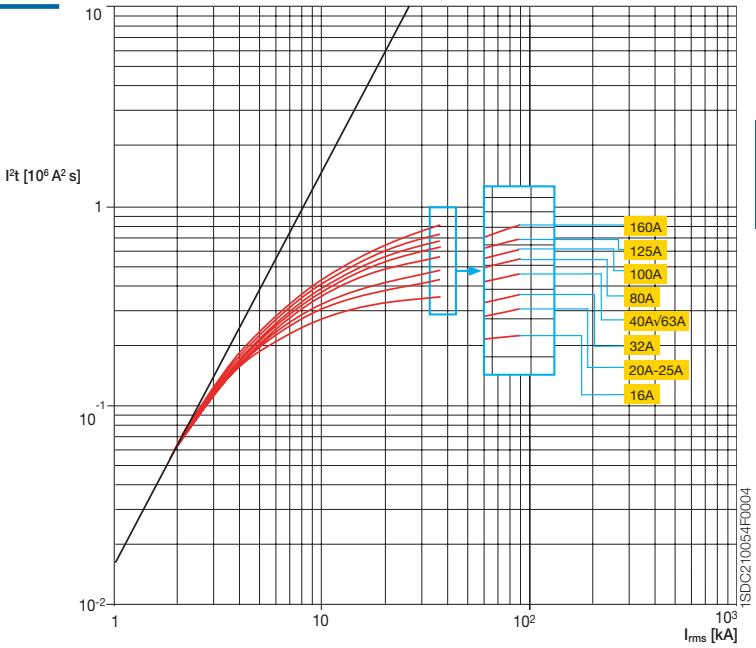


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T1 160

400-440 V

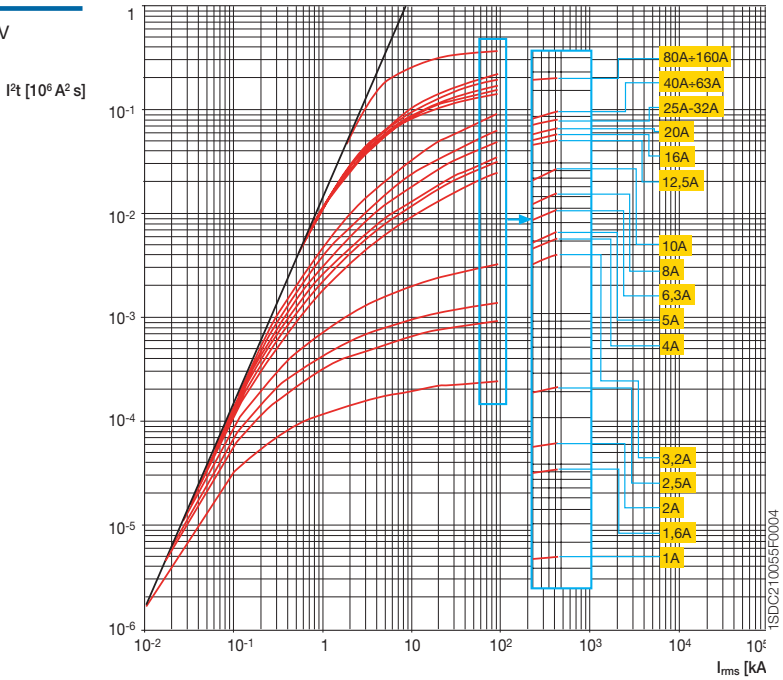


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T2 160

400-440 V

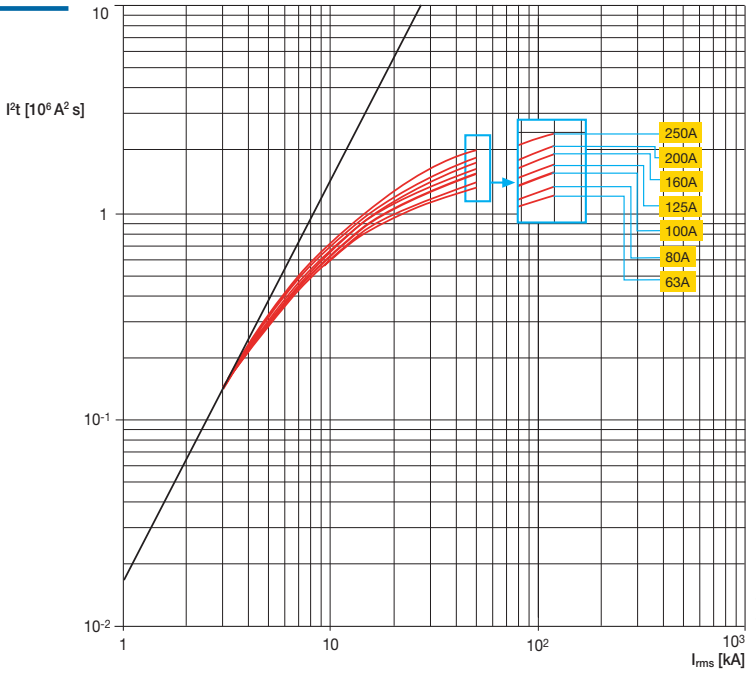


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T3 250

400-440 V

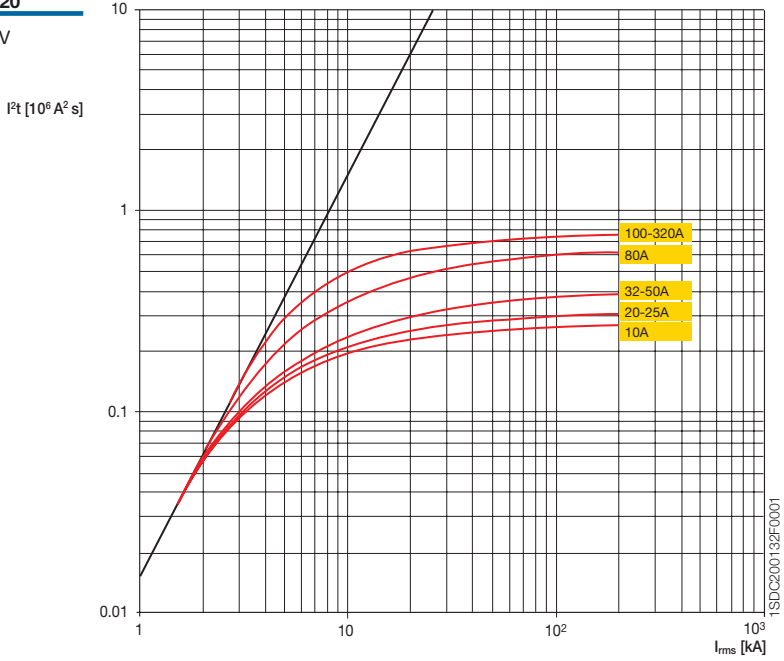


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T4 250/320

400-440 V

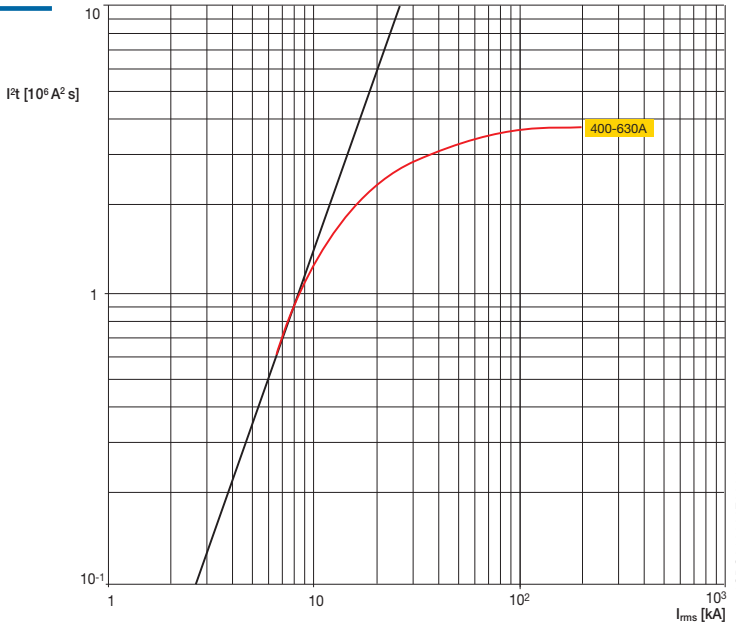


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T5 400/630

400-440 V



1SDC210020F0004

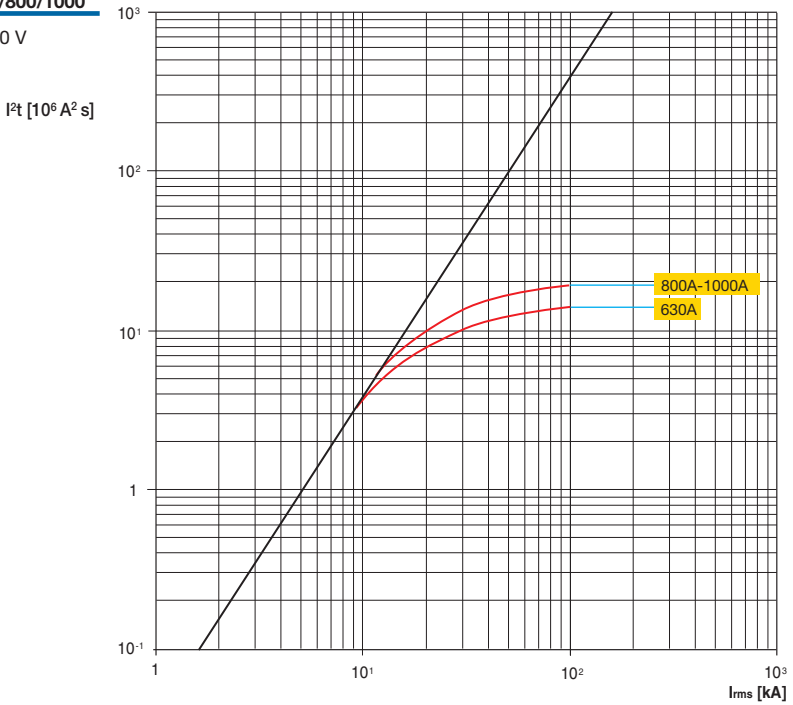
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T6 630/800/1000

400-440 V



3 Características generales

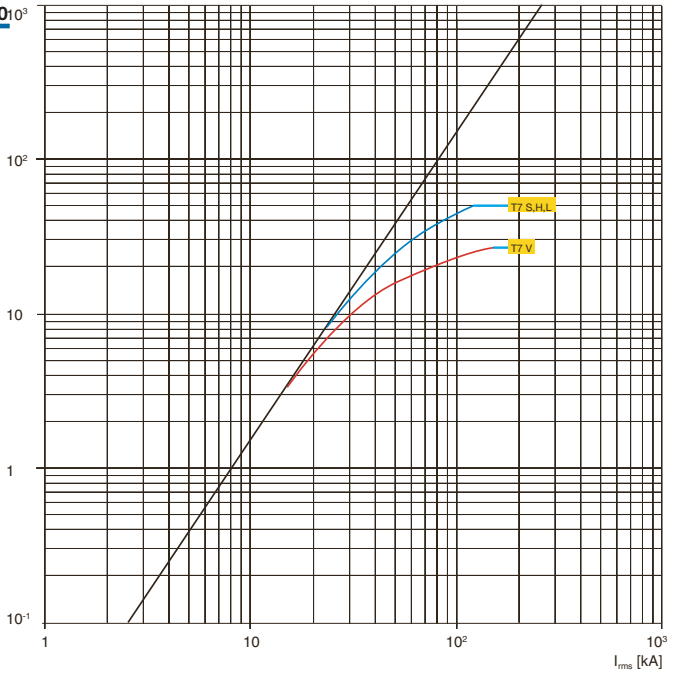
Curvas de energía
específica pasante

T7

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

400-440 V

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



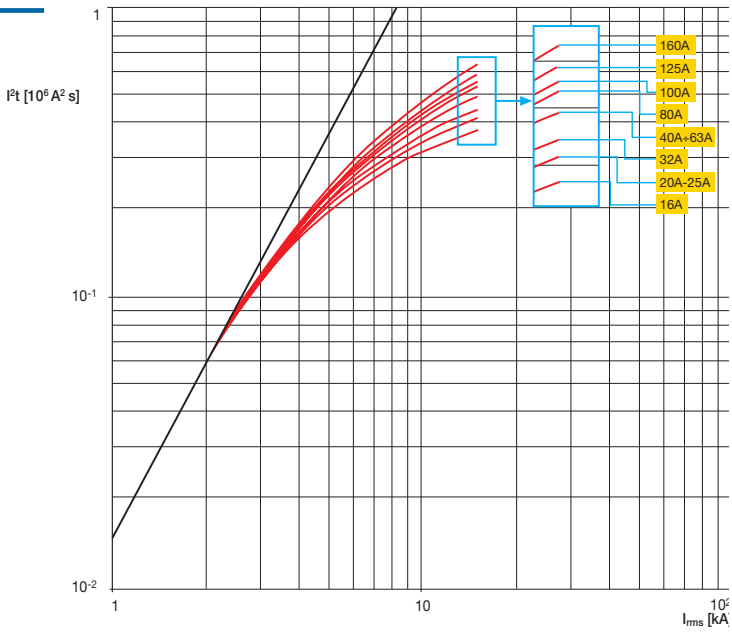
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T1 160

500 V



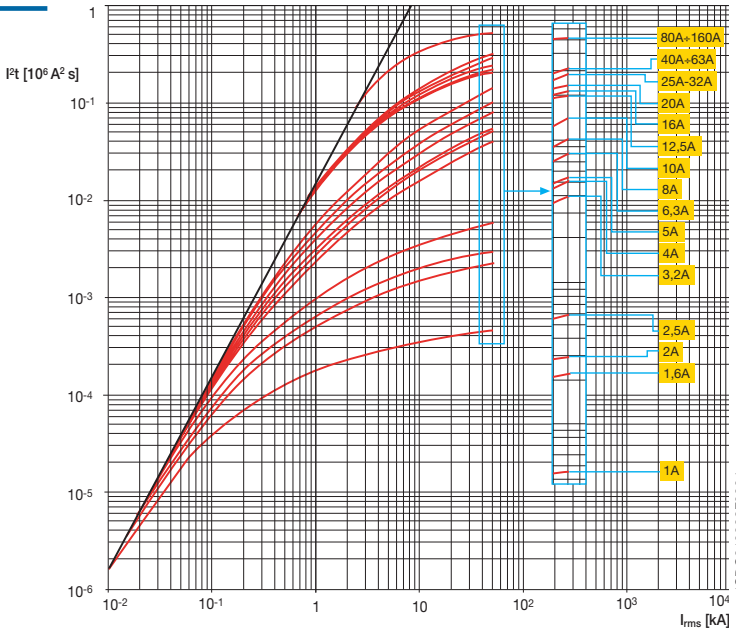
1SDC210027F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T2 160

500 V

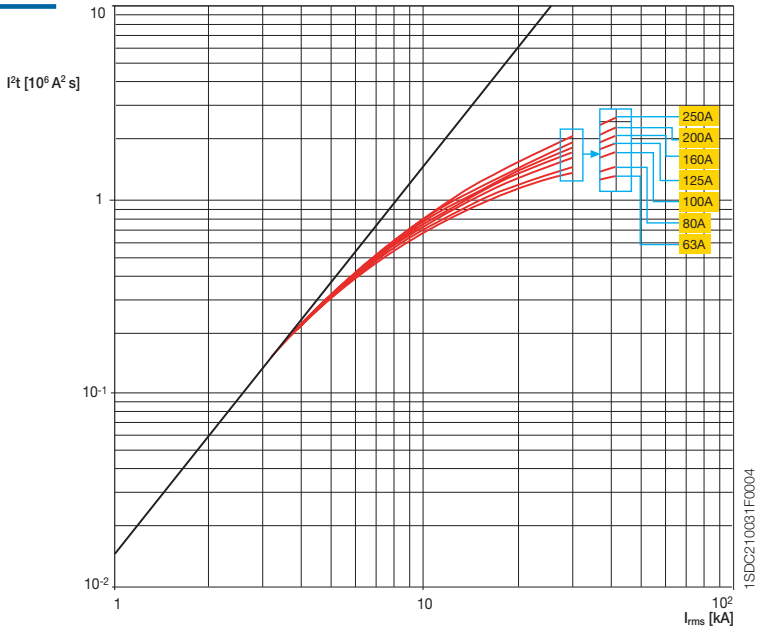


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T3 250

500 V

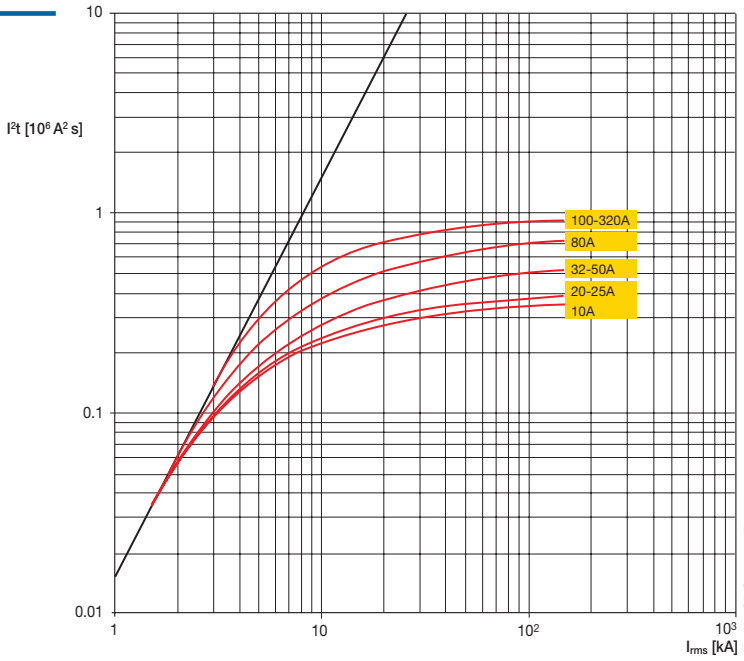


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T4 250/320

500 V



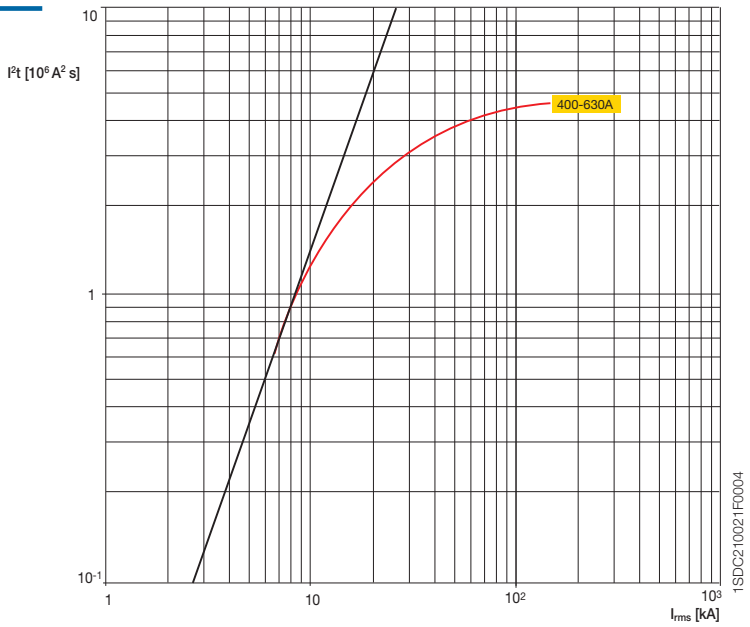
1SDC200133F0001

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T5 400/630

500 V



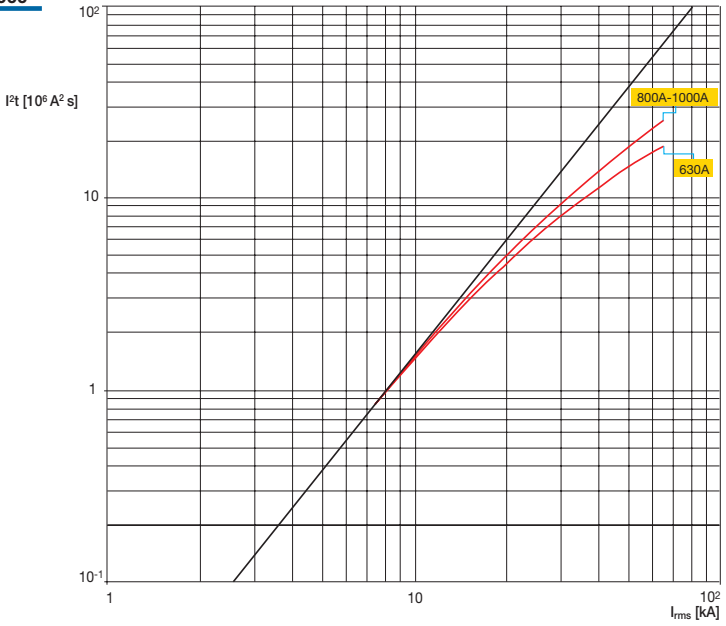
1SDC210021F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T6 630/800/1000

500 V



1

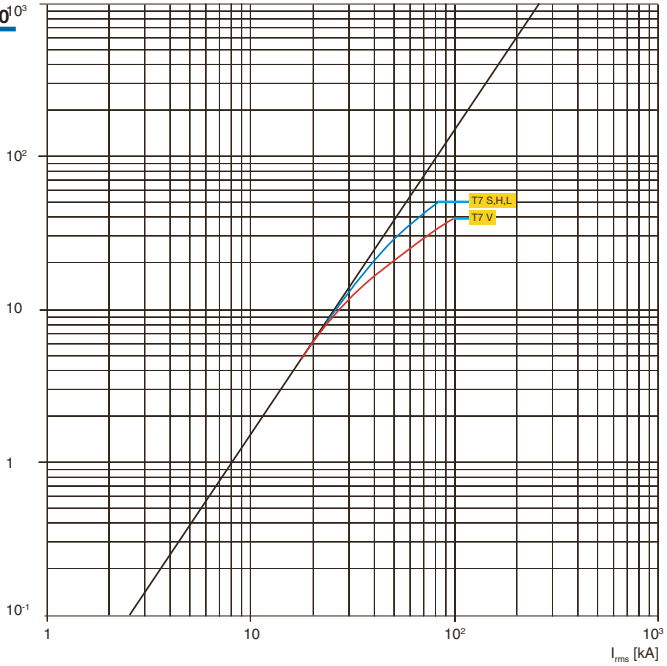
3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T7
800/1000/1250/1600¹⁰³

500 V

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

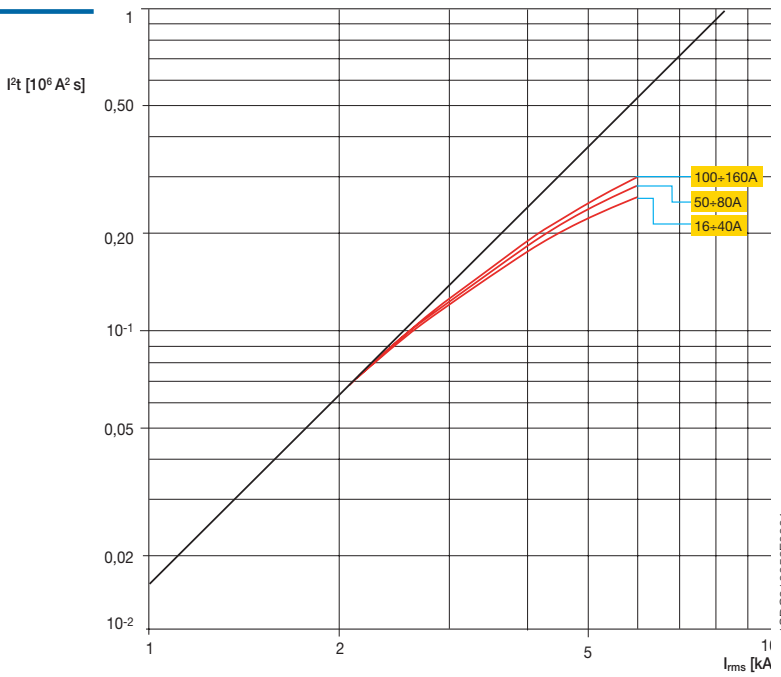


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T1 160

690 V

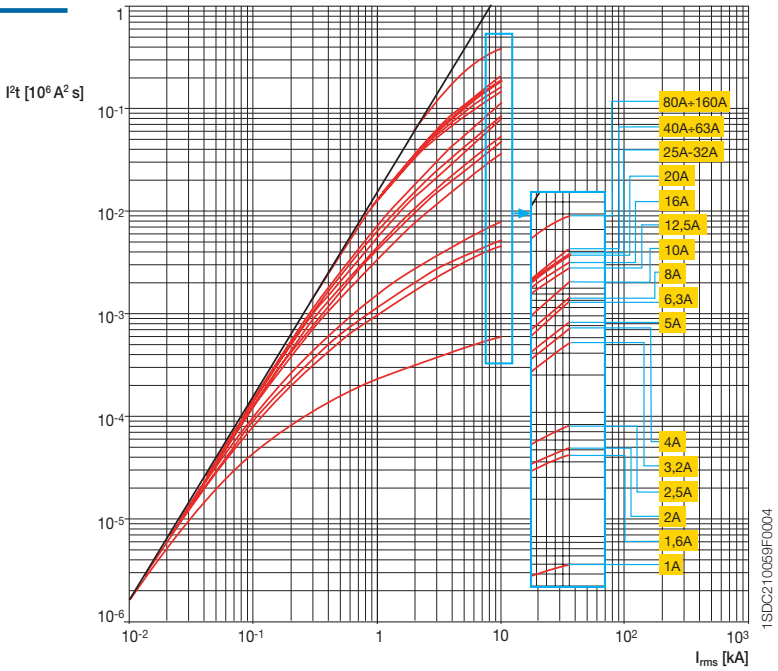


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T2 160

690 V

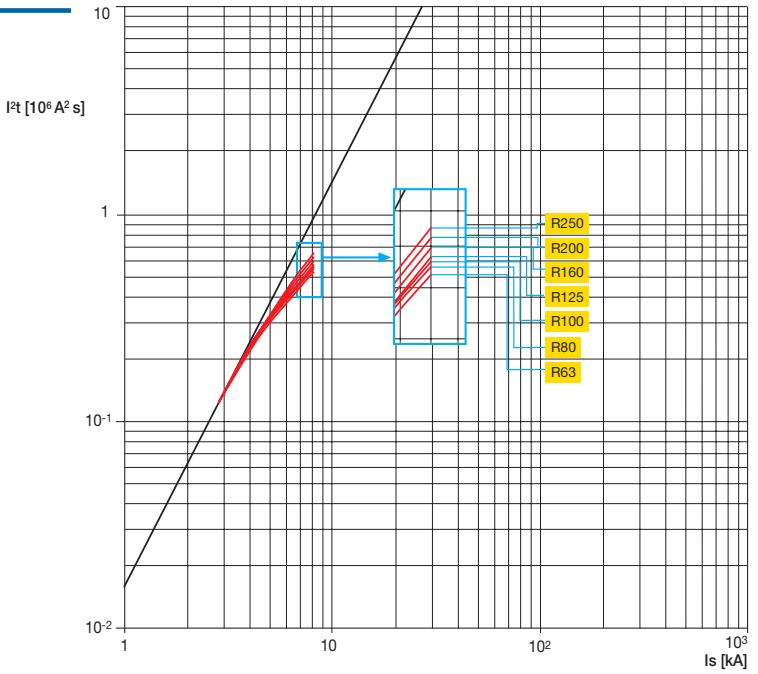


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T3 250

690 V



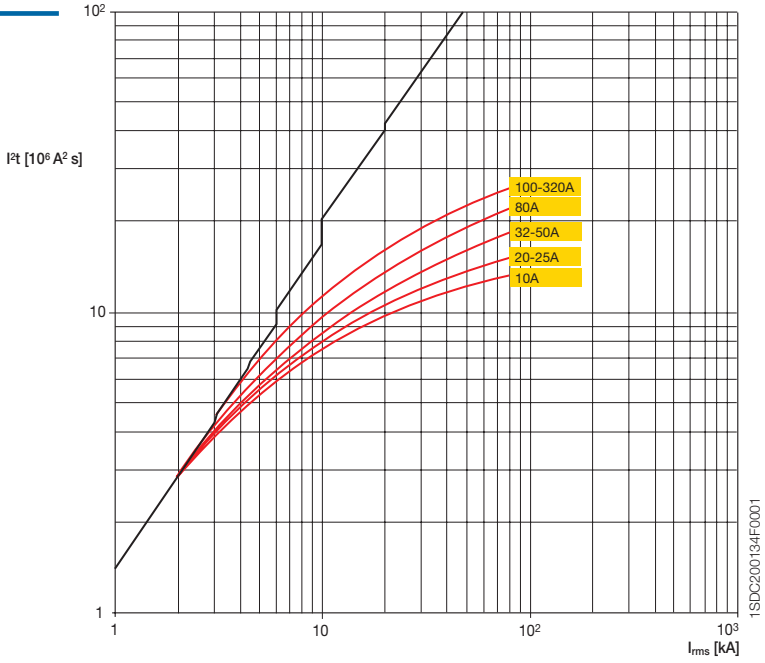
1SDC210060F0004

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T4 250/320

690 V

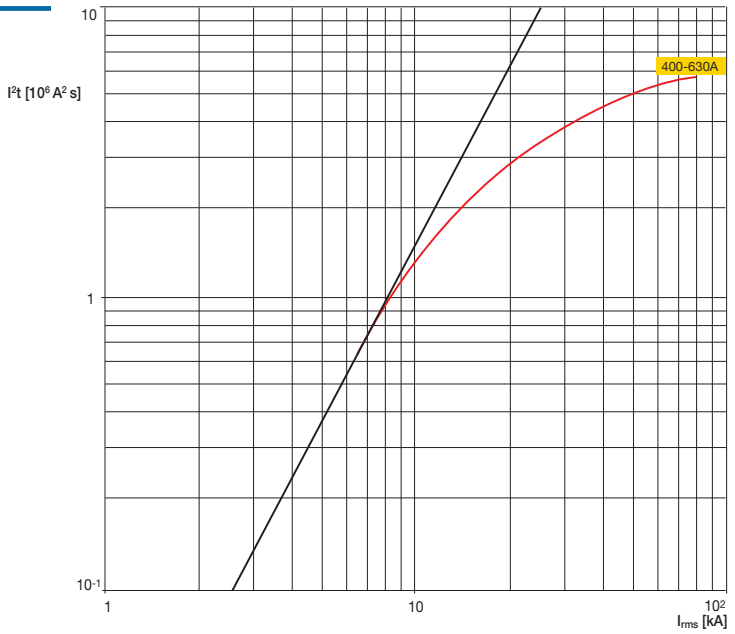


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T5 400/630

690 V



1SDC210022F0004

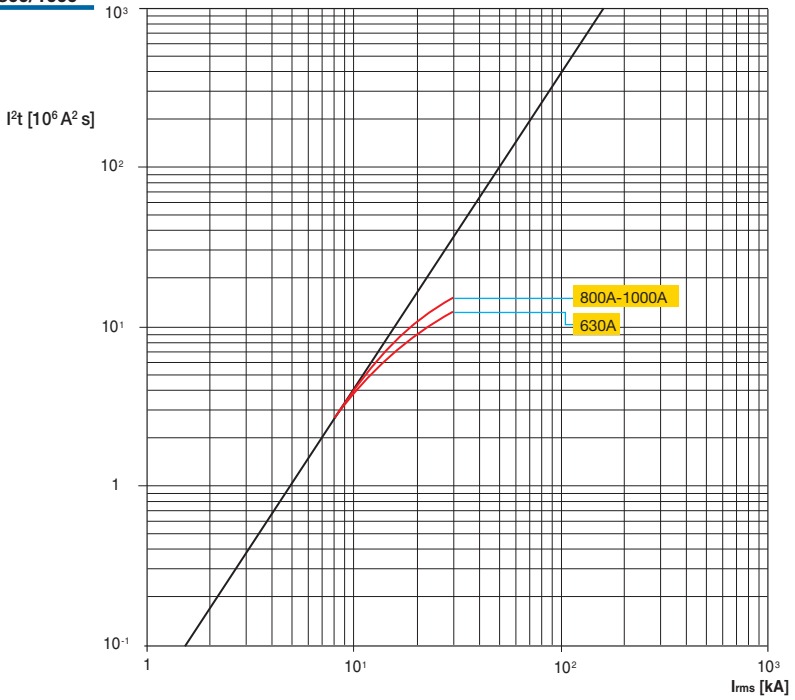
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

T6 630/800/1000

690 V



3 Características generales

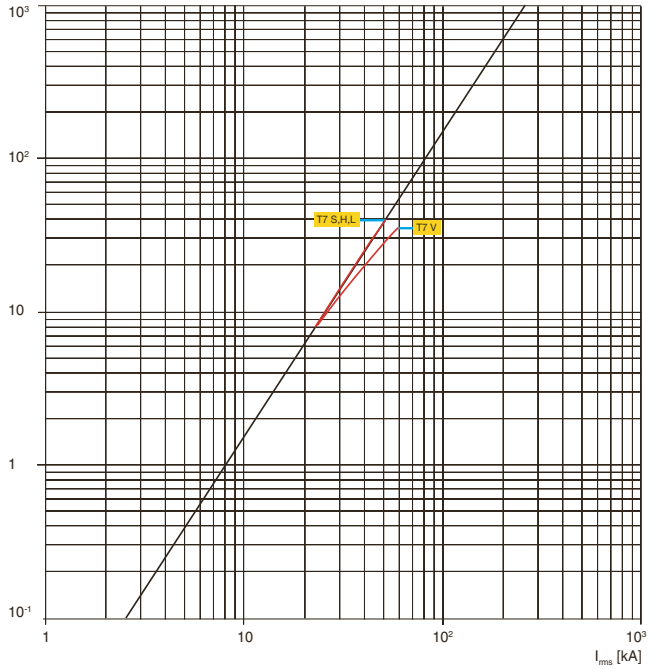
Curvas de energía
específica pasante

T7

800/1000/1250/1600

690 V

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



1

3 Características generales

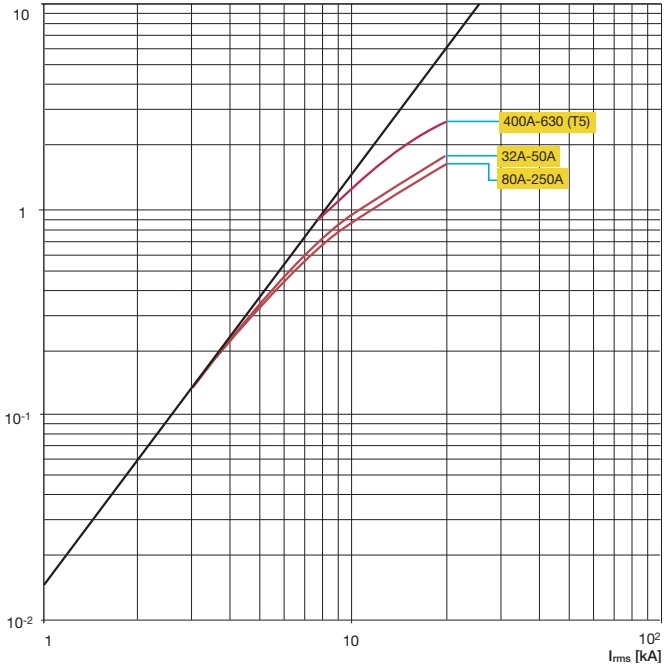
Curvas de energía
específica pasante

T4 250

T5 400/630

1000 V

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

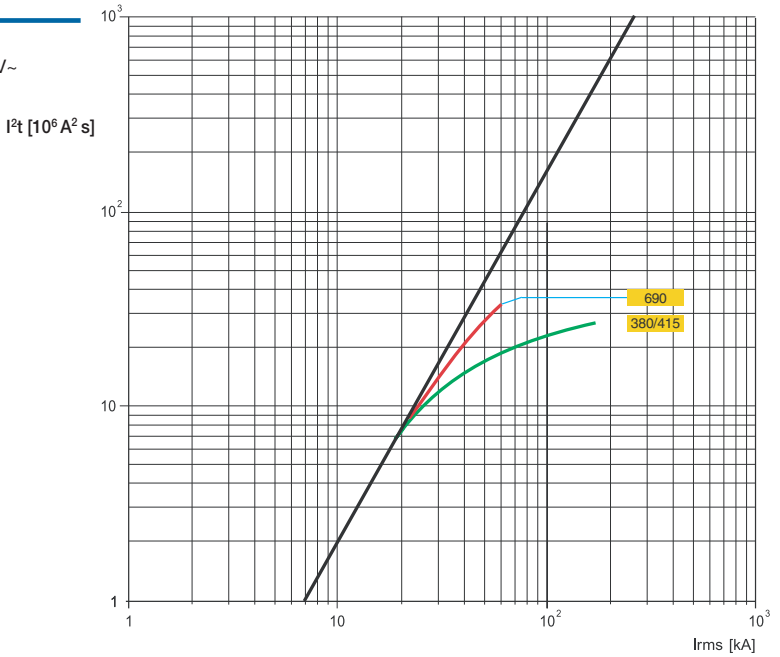


3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

X1L

690 V~
380/415 V~



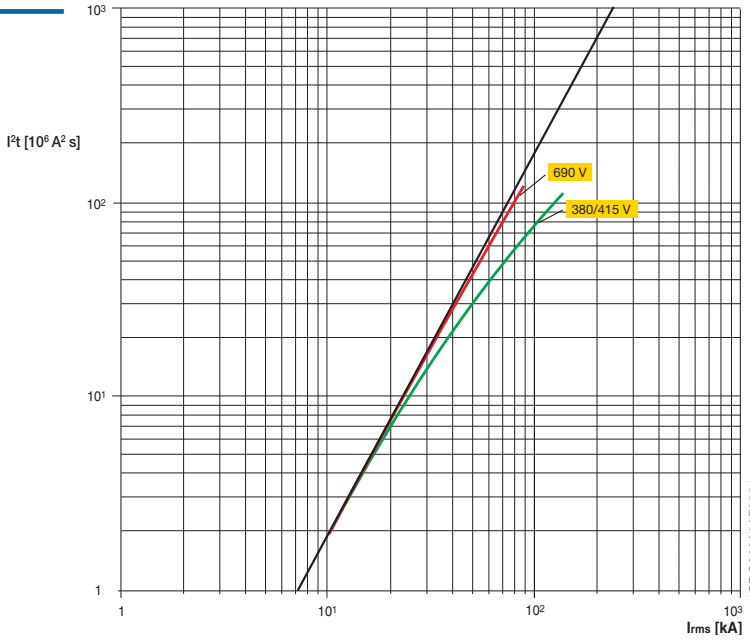
1

3 Características generales

Curvas de energía
específica pasante

E2L

690 V~
380/415 V~

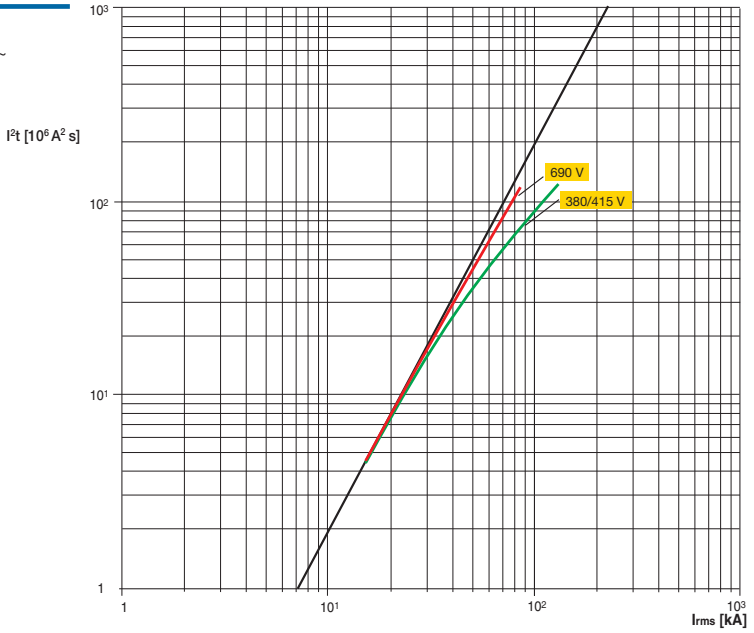


3 Características generales

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	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	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	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	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	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	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	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	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	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	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	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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

Extraible

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	I _{max} [A]	I _t	I _{max} [A]	I _t	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

Extraible

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	[A]	Terminales verticales			Terminales horizontales y anteriores				
		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)
E2S/N 10	1000	1000	1000	1000	1x(60x10)	1000	1000	1000	1x(60x10)
E2S/N 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	0.96	0.92	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		0.94						
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	0.96	0.92	0.96	0.92		
65								0.92			0.88	0.84	0.94	0.9	0.92	0.88	0.94	0.9
70								0.96			0.92	0.84	0.96	0.92	0.84	0.92	0.84	0.92
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		0.92		0.96	0.94			
50		0.92		0.96		0.88	0.9			
55		0.92	0.88	0.88		0.84	0.92	0.88	0.9	0.84
60		0.84	0.8			0.84	0.88	0.88	0.82	
65		0.84	0.76	0.8		0.76	0.84	0.78	0.82	0.76
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	0.94	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	0.86	0.83
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	0.94	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	0.86	0.84
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	0.875	0.88
X1B/N 16					0.9	0.9	0.825	0.83

	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	0.775	0.78

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							0.875	0.88
X1B/N 12								
X1L 12								
X1B/N 16					0.925	0.93	0.875	0.87

	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	0.8	0.81

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	105	
	4 polos	W [mm]	102	140	
		D [mm]	70	70	
		H [mm]	130	150	
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.

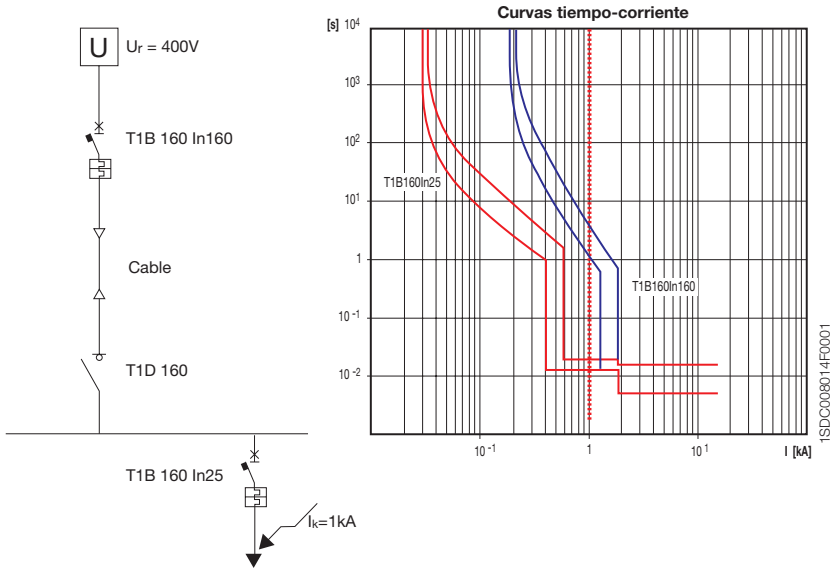
Sin embargo:

- 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-

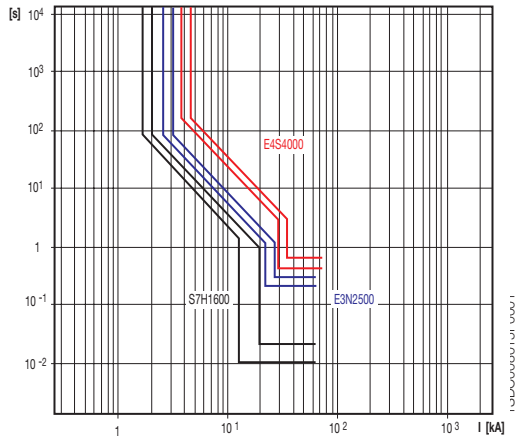
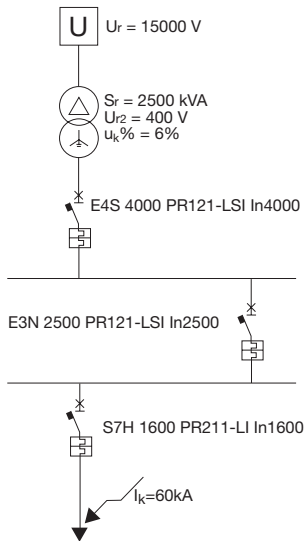
4 Coordinación de las protecciones

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.

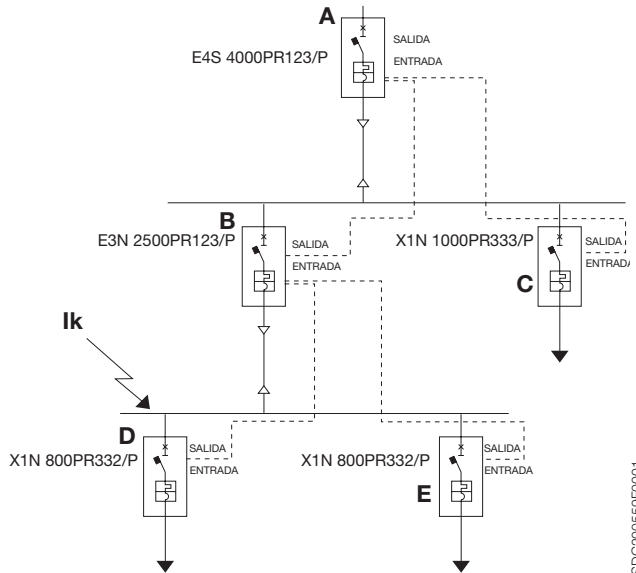
Inconvenientes:

- 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



1

1SDC200659F0001

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.

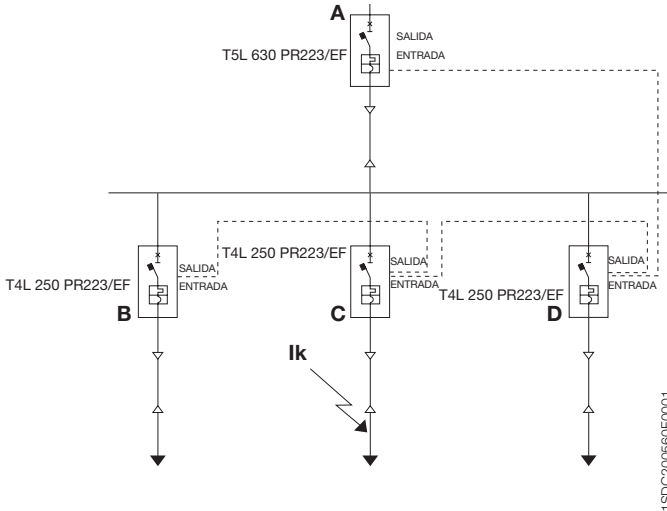
En este ejemplo, con el fallo localizado en el punto indicado, los interruptores automáticos D y E no detectan el fallo y, por tanto, no establecen comunicación con el interruptor automático en la parte de la alimentación (interruptor automático B), que debe iniciar la orden de apertura dentro del tiempo 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	$I_3 =$ 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



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 aquélla 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 selectividad 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

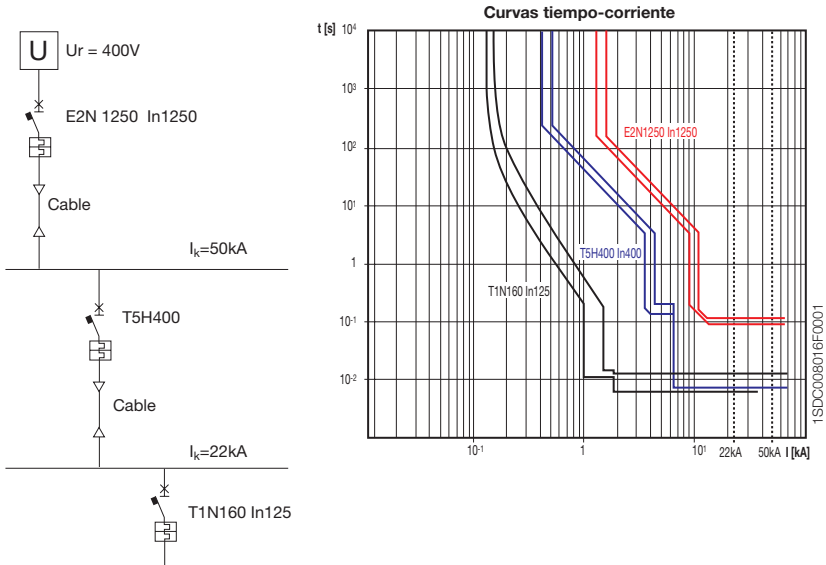
MCB (Para interruptor automático en miniatura):
 B = actuación característica (I3=3...5In)
 C = actuación característica (I3=5...10In)
 D = actuación característica (I3=10...20In)
 K = actuación característica (I3=8...14In)
 Z = actuación característica (I3=2...3In)

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						
6	10	15	25	In [A]	80	100	32	40	50	63	
-	-	-	-	≤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						
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	
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

			Versión	B, C, N, S, H, L, V												
			Relé	TM												
			Parte de alim.	S290 D	T2		T1-T2					T1-T2-T3				
Aguas abajo	Característica	Icu [kA]	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	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	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	50	T	
36	50	T	T	6	6 ⁽⁴⁾	6	6	40	T	T	T	T		50	50	50	50	50	T	
36	50	T	T		5 ⁽⁴⁾	5	5	40	T	T	T	T		50	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	T				5	12	T	T	T	T			T	T	T	T	T	
T	T	T	T				5 ⁽⁴⁾	12 ⁽⁴⁾	T	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	T	
20	T	T	T				5 ⁽⁴⁾	8 ⁽⁴⁾	T ⁽⁴⁾	T ⁽⁴⁾	T	T				T	T	T	T	
20	T	T	T					6 ⁽⁴⁾	T ⁽⁴⁾	T ⁽⁴⁾	T	T				T	T	T	T	
15	T	T	T					6 ⁽⁴⁾	8 ⁽⁴⁾	T ⁽⁴⁾	T ⁽⁴⁾	T				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	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	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									
	6	10	15	25	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	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	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	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
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
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
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	T	T	T
6	10	15	T	T	T				5	7.5	T	T	T	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	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	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	T	T	T	T
3 ⁽¹⁾	5 ⁽²⁾	7.5	10.5	T	T					5 ⁽⁴⁾	T	T	T	T	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	T	T	T	T		10.5	T	T	T
				4 ⁽³⁾	10	15								5	11	T	T	T	T	T		4	T ⁽⁵⁾	T	T
				4 ⁽³⁾	7.5 ⁽³⁾	15								5 ⁽⁴⁾	8	T	T	T	T	T		4	12 ⁽⁴⁾	T	T
				7.5 ⁽³⁾											8 ⁽⁴⁾	12	T	T	T	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	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	
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	5 ⁽⁴⁾	5	5	9	T	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	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	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	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	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	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	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	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	T	
			4 ⁽³⁾	10	15								5	11	T	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	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								
Aguas abajo	K	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	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						
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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	T	T	T	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	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									5 ⁽⁴⁾	8	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	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		
				40	3	3		3	3	3	3	4	5					10*	10	10	10	10	10	10		
				50	3	3		3	3	3	3	4	5						10*	10	10	10	10	10		
				63	3	3		3	3	4	5									10*	10	10	10			
				80				3	4	5												10	10	10		
				100					5													10*	10	10		
				125																		10*	10			
160																				10						

* 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	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	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				10	10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

1SDC008012F0201

4 Coordinación de las protecciones

Tablas de selectividad MCCB - MCCB

MCCB T2 @ 415V

		Parte de alm.	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 _n [A]		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				
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			
				3,2	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
				6,3	10	10	10	10	10	10	10	10	15	40	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
				10	10	10	10	10	10	10	10	15	40			T*	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				12,5	3	3		3	3	3	3	3	4	5				T	T	T	T	T	T	T	T
				16	3	3		3	3	3	3	3	4	5						70	70	70	70	70	70
				20	3	3		3	3	3	3	3	4	5						55*	55	55	55	55	55
				25	3	3		3	3	3	3	3	4	5											40
		32	3	3			3	3	3	3	4	5							40*	40	40	40	40	40	
		40	3	3			3	3	3	3	4	5							30*	30*	30	30	30	30	
		50	3	3			3	3	3	3	4	5							30*	30*	30	30	30	30	
		63	3	3				3	3	3	4	5							30*	30*	30*	30	30	30	
		80						3	3*	4	5									25*	25*	25*	25	25	
		100								4	5										25*	25*	25*	25	
		125																				25*	25*		
		160																					25*		
		EL	160	10							3	4					25	25	25	25	25	25	25	25	
				25								3	4					25	25	25	25	25	25	25	
63											3	4									25	25	25		
100											3	4											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	320	400	500	320	400	630	630	800	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
70	70	70	70	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
40	40	40	40	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
30	30	30	30	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
30	30	30	30	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
	25	25	25	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
			25	25	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
25	25	25	25	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
	25	25	25	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

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	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	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	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	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	T
				100		50	50	50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				125			50	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	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				200				50	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	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
				160		50	50	50	50	50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
250			50	50		50	50	50	50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T				
320	320								50	50	T	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	7	25	25	25	25	25	25	T	T	T	T	T	T	T	T
		7	7	7	7	25	25	25	25	25	25	40	T	40	T	T	T	T	T
				7	7	20	20	20	20	20	20	36	T	36	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	30	T	30	T	T	T	T	T
								20	20	20	20	30	40	30	40	40	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

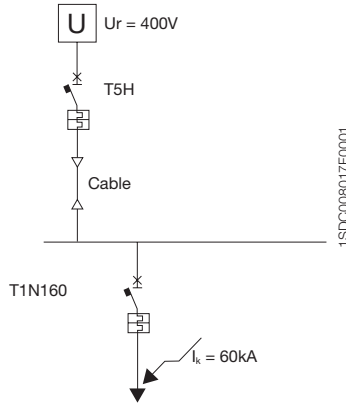
Abreviaturas

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								

1SDC008034F0201

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..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	
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

MCCB - MCCB @ 415V

Aguas abajo	Versión	Parte de alim. Versión Icu [kA]	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T2	T4	T5	T6	T7	T2	T4	T5	T6	T7	T4	T5	T6	T7	T4	T5				
			N						S						H						L		L		L		V							
			C	36						50						70						85		120		100		200						
T1	B	16	25	36	36	36	30	30	30	50	50	36	36	36	70	40	40	40	40	85	50	50	50	50	85	85	70	50	130	100				
T1	C	25		36	36	36	36	36	36	50	50	40	40	50	50	70	65	65	65	50	85	85	85	70	50	100	100	100	100	100				
T1	N	36								50	50	50	50	50	50	70	65	65	65	50	85	100	100	70	50	200	120							
T2										50	50	50	50	50	50	70	65	65	65	65	85	100	100	85	85	200	120							
T3											50	50	50	50	50	50	65	65	65	50	100	100	100	50	200	120								
T4												50	50	50	50	50	65	65	65	50	100	100	100	65	65	200	120							
T5													50	50	50	50	65	65	50	100	100	100	85	85	65	120								
T6														50	40										70	50								
T2	S	50													70	70	70	70	85	100	100	85	85	200	130									
T3																70	70	70		100	100	100		200	150									
T4																70	70	70	70	100	100	85	85	200	150									
T5																	70	70	70		100	100	85	85	150									
T6																		70				100	85	85		150								
T2																						85	120	120	85	85	200	150						
T4	H	70																			120	120	100	100	200	150								
T5																						120	100	100	100	200	150							
T6																							100	85			150							
T2																																		
T4	L	85																															200	180
T5																																	200	200
T6		120																																200

*120 kA para T7

1SDCC008036F0201

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	←					
T4S	← 36* → ←					
T4H	← 50* → ←					
T4L	← 70* → ←					
T4V	← 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

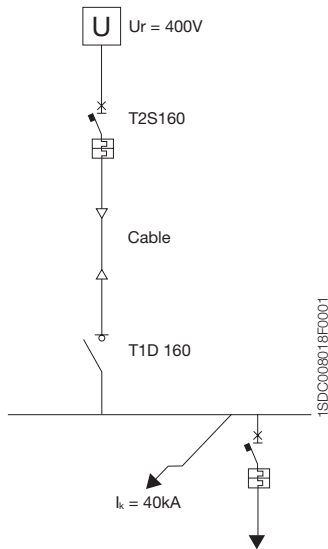
INTERRUPTOR SECCIONADOR					
630	T6D 800	T6D 1000	T7D 1000	T7D 1250	T7D 1600
	16				
	25				
	36				
	36				
	50				
	70				
	85				
	36				
	50				
		36			
		50			
		70			
		120			
		200			
			36		
			50		
			70		
			120		
			200		
				36	
				50	
				65	
				100	
				50	
				70	
				120	
				150	

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:

$$I_{ow} \geq I_k$$

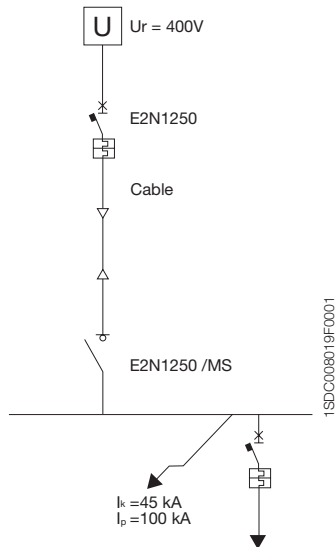
$$I_{cm} \geq I_p$$

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.

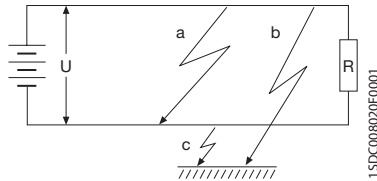
Tipos de redes de corriente continua

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.

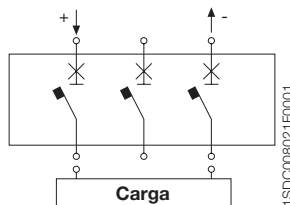
En la red aislada es necesario instalar un dispositivo que señale la presencia del primer defecto a tierra para que pueda eliminarse rápidamente. En las peores condiciones, en el caso de que se verifique un segundo defecto a tierra, el interruptor podría tener que interrumpir la corriente de cortocircuito 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

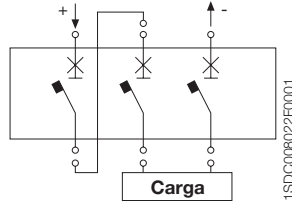
Interruptor automático tripolar con un polo por polaridad



5 Aplicaciones particulares

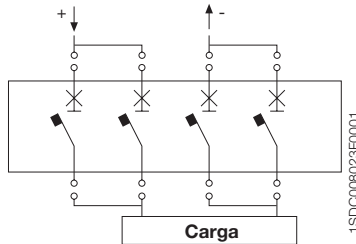
Esquema B

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



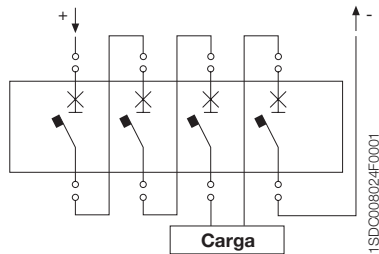
Esquema G

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)

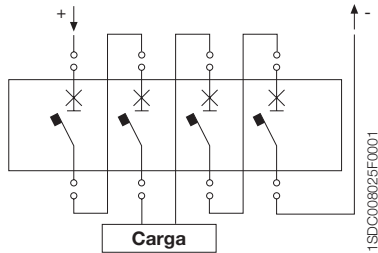


(1) No es conveniente repartir los polos del interruptor de manera desigual porque, en este tipo de red, un segundo defecto a tierra podría obligar al polo simple a trabajar en condiciones de defecto a plena tensión. En estos casos es indispensable instalar un dispositivo que señale el defecto a tierra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

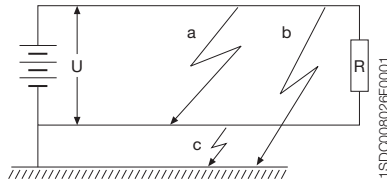
5 Aplicaciones particulares

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.

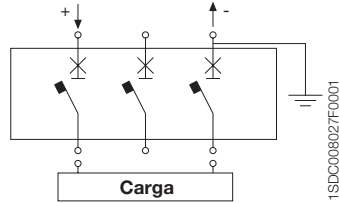
En la red con una polaridad conectada a tierra, todos los polos del interruptor automático necesarios para la protección deben conectarse en serie a la polaridad que no está a tierra. Si se desea obtener también el seccionamiento, es necesario contar con un polo de interrupción suplementario en la polaridad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

5 Aplicaciones particulares

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

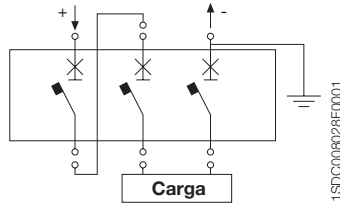
Esquema A

Interrupor automático tripolar con un polo por polaridad



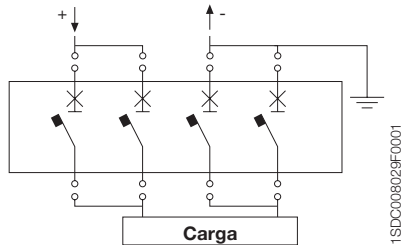
Esquema B

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



Esquema G

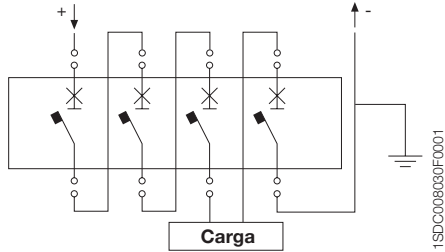
Interrupor automático tetrapolar con dos polos en paralelo por polaridad



5 Aplicaciones particulares

Esquema E

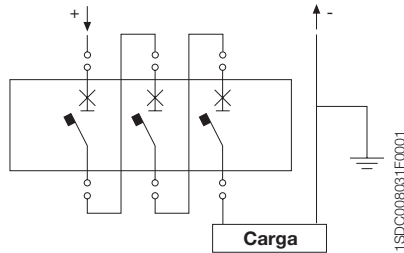
Interruptor automático tetrapolar con tres polos en serie en la polaridad no conectada a tierra y un polo en la otra



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

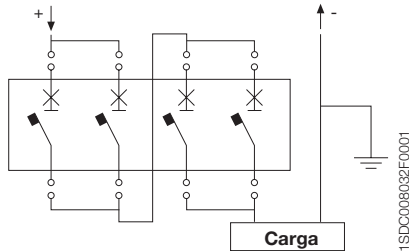
Esquema C

Interruptor automático tripolar con tres polos en serie



Esquema H

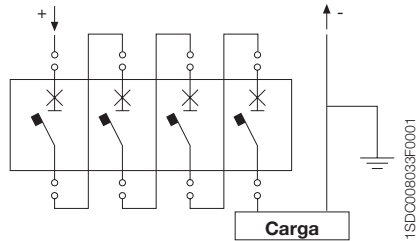
Interruptor automático tetrapolar con grupos en serie de dos polos en paralelo



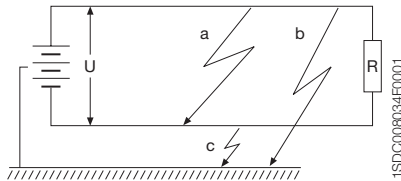
5 Aplicaciones particulares

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



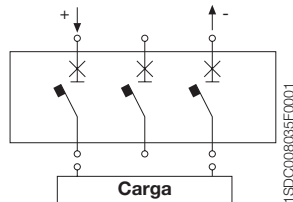
- Defecto a: el defecto franco entre las dos polaridades establece una corriente de cortocircuito a la cual contribuyen ambas polaridades a plena tensión U , y en función de la cual se ha de elegir el poder de corte del interruptor automático.
- Defecto b: el defecto franco entre la polaridad y tierra 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

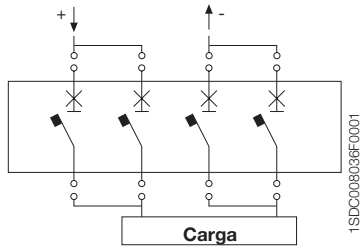
Interruptor automático tripolar con un polo por polaridad



5 Aplicaciones particulares

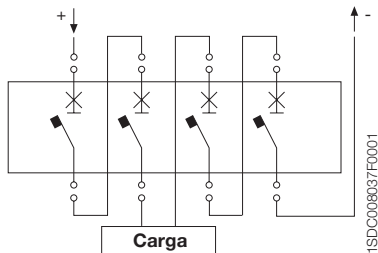
Esquema G

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	diagrama	diagrama	diagrama	diagrama	diagrama	diagrama	diagrama
	A	B	C	D	E	F	G	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

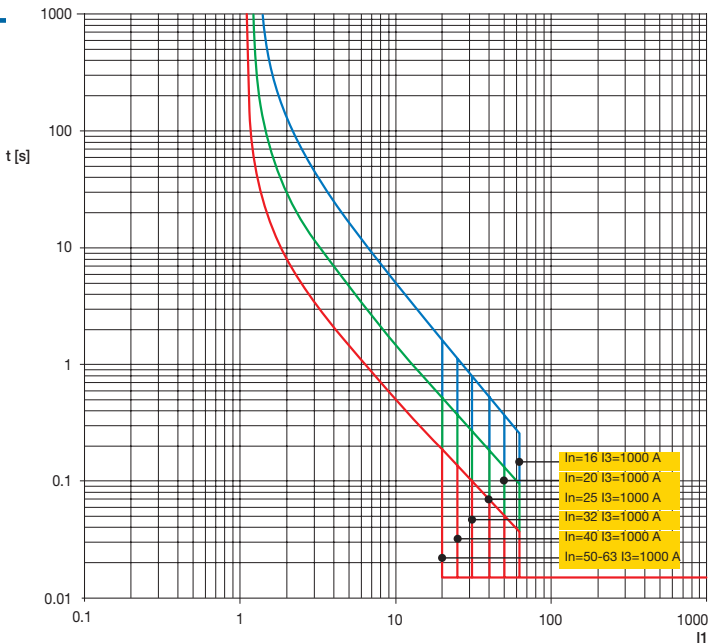
	I1 (400Hz)			I3			
	MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)	
T1B 160							
T1C 160	In16	10	12	14	500	2	1000
T1N 160	In20	12	15	18	500	2	1000
	In25	16	19	22	500	2	1000
	In32	20	24.5	29	500	2	1000
	In40	25	30.5	36	500	2	1000
	In50	31	38	45	500	2	1000
	In63	39	48	57	630	2	1260

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

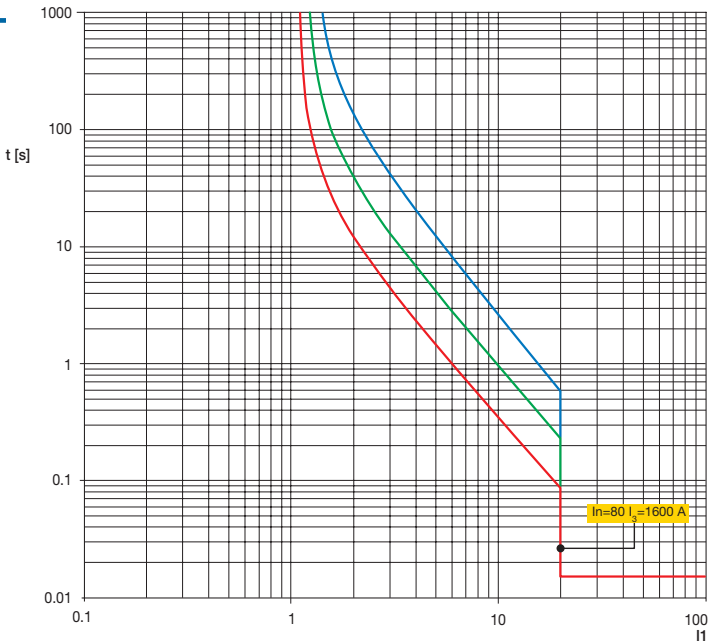
K_m = Factor multiplicador de I3 debido a los campos magnéticos inducidos

1

Curvas de actuación
del relé termomagnético

T1 B/C/N 160

In 80 A
TMD



5 Aplicaciones particulares

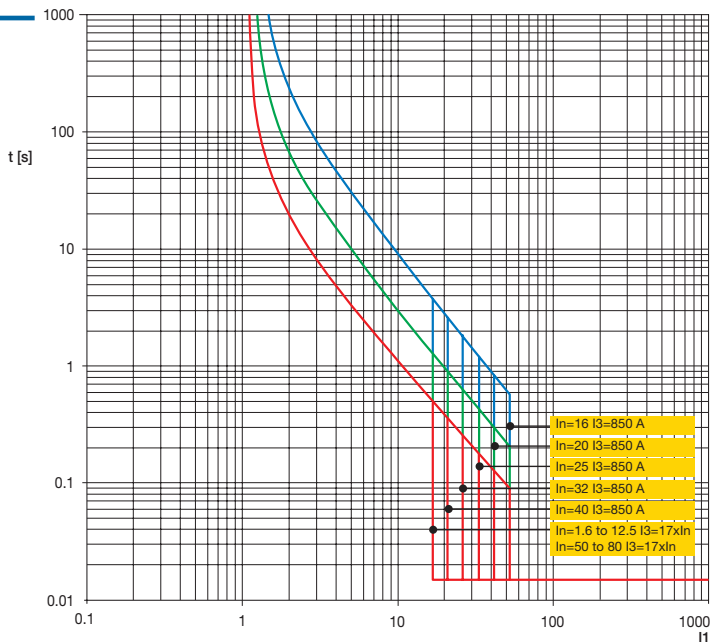
Tabla 3: Prestaciones de Tmax T2 1.6-80 A TMD

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

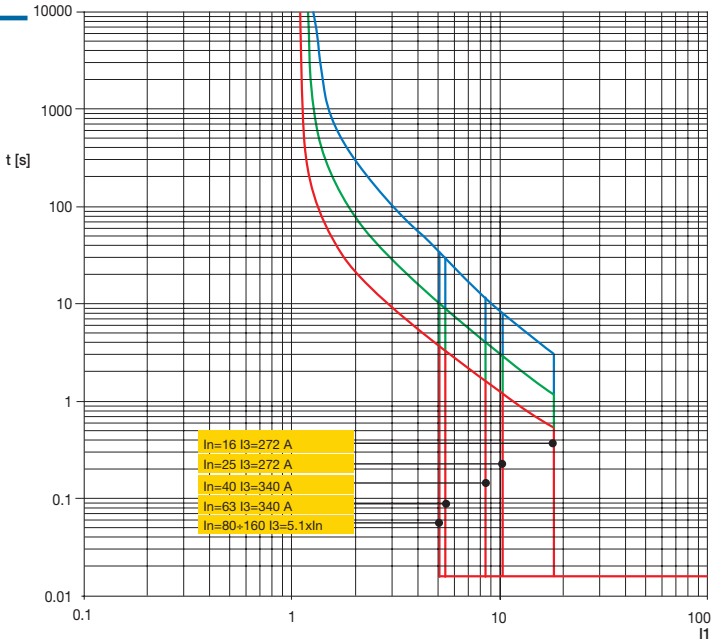
Tabla 4: Prestaciones de Tmax T2 16-160 A TMG

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

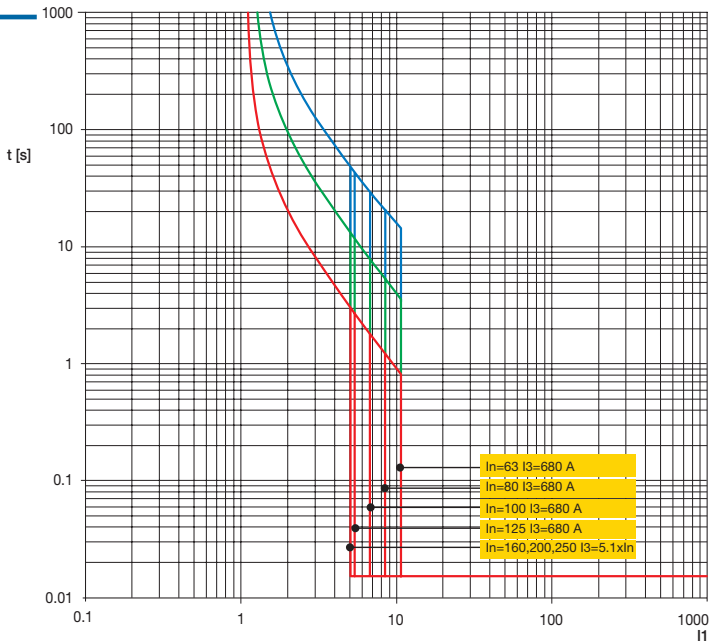
Tabla 4: Prestaciones de Tmax T3 63-250 A TMG

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

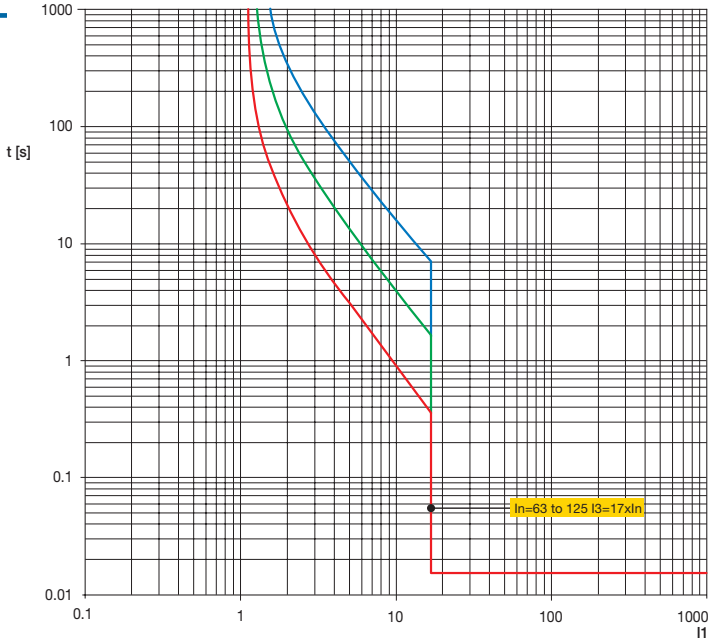
T3N 250	I1 (400Hz)			I3		
	MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
In63	39	48	57	630	1.7	1071
In80	50	61	72	800	1.7	1360
In100	63	76.5	90	1000	1.7	1700
In125	79	96	113	1250	1.7	2125

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

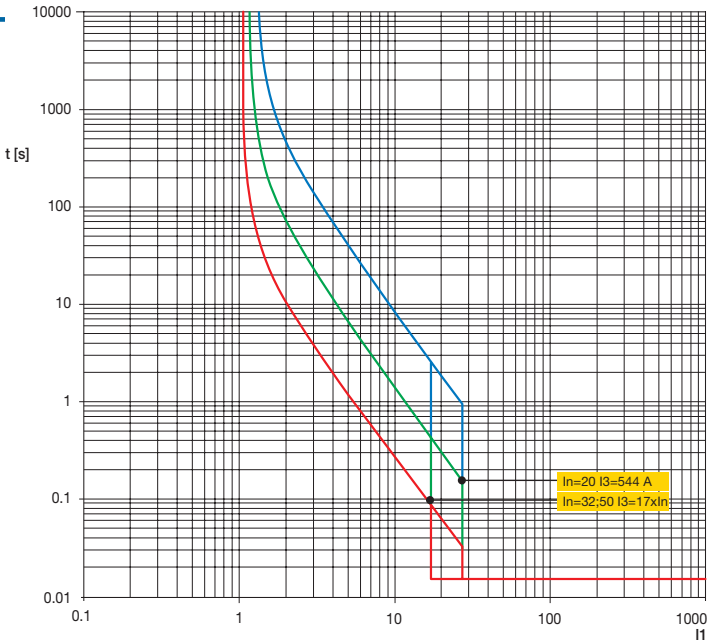
T4N 250	I1 (400Hz)			I3		
	MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K_m	I3 (400Hz)
In20	12	15	18	320	1.7	544
In32	20	24.5	29	320	1.7	544
In50	31	38	45	500	1.7	850

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

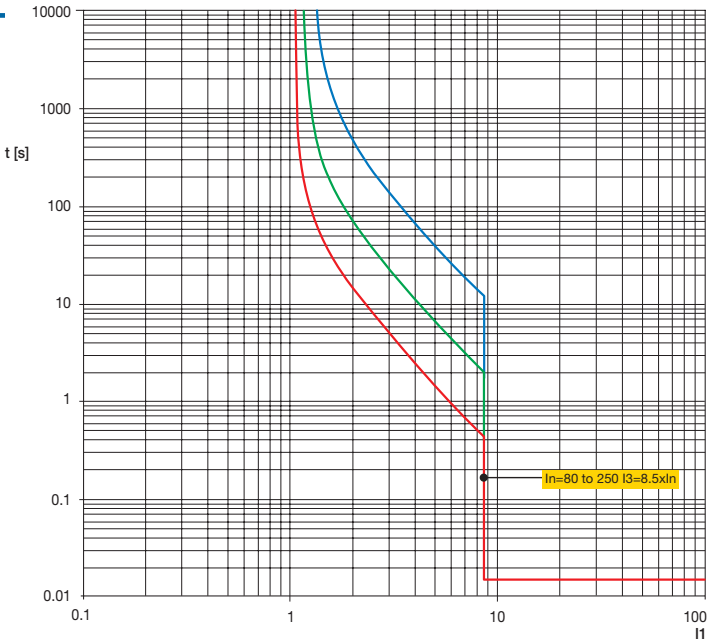
T4N 250/320	I1 (400Hz)			I3 setting (MIN=5xIn)		
	MIN	MED	MAX	I3 @ 5xIn (50Hz)	K_m	I3 @ 5xIn (400Hz)
In80	50	61	72	400	1.7	680
In100	63	76.5	90	500	1.7	850
In125	79	96	113	625	1.7	1060
In160	100	122	144	800	1.7	1360
In200	126	153	180	1000	1.7	1700
In250	157	191	225	1250	1.7	2125

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

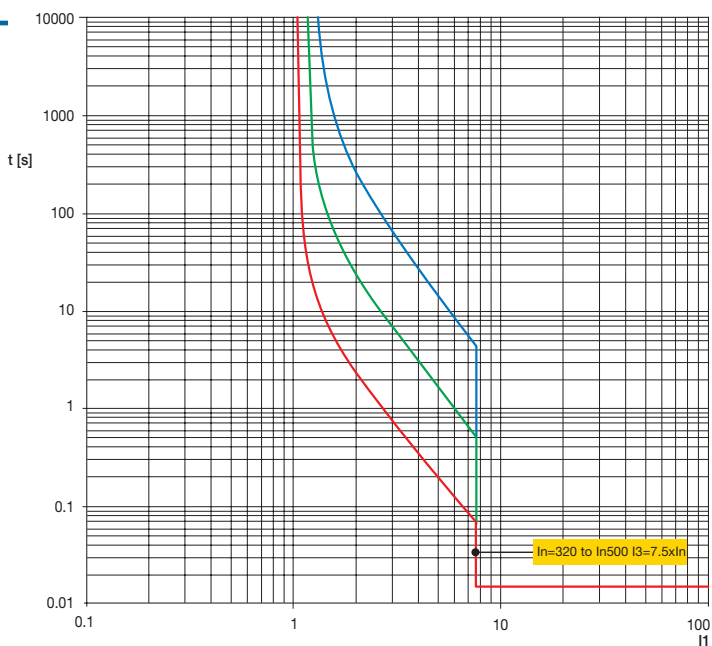
T5N400/630	I1 (400Hz)			I3 setting (MIN=5xIn)		
	MIN	MED	MAX	I3 @ 5xIn(50Hz)	K_m	I3 @ 5xIn (400)Hz
In320	201	244	288	1600	1.5	2400
In400	252	306	360	2000	1.5	3000
In500	315	382	450	2500	1.5	3750

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

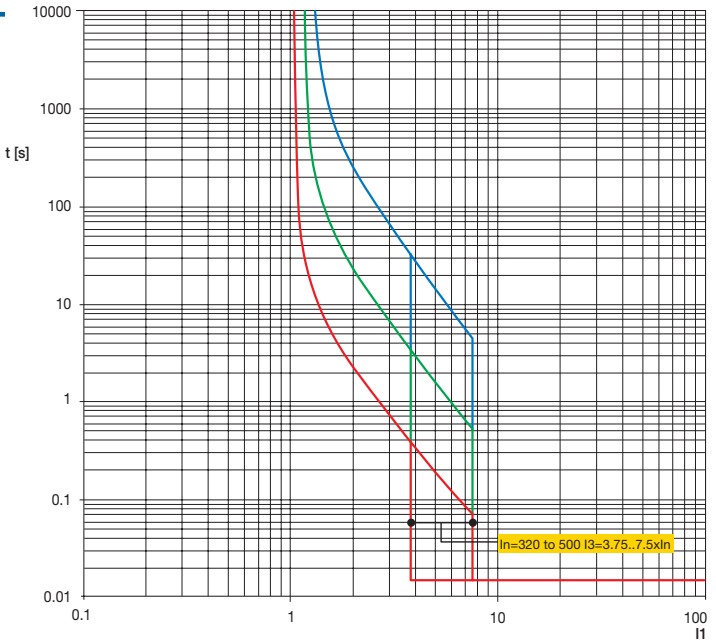
T5N400/630	I1 (400Hz)			I3 setting (2.5...5xIn)		
	MIN	MED	MAX	I3 @ 2.5..5xIn (50Hz)	K_m	I3 @ 2.5..5xIn (400Hz)
In320	201	244	288	800...1600	1.5	1200...2400
In400	252	306	360	1000...2000	1.5	1500...3000
In500	315	382	450	1250...2500	1.5	1875...3750

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

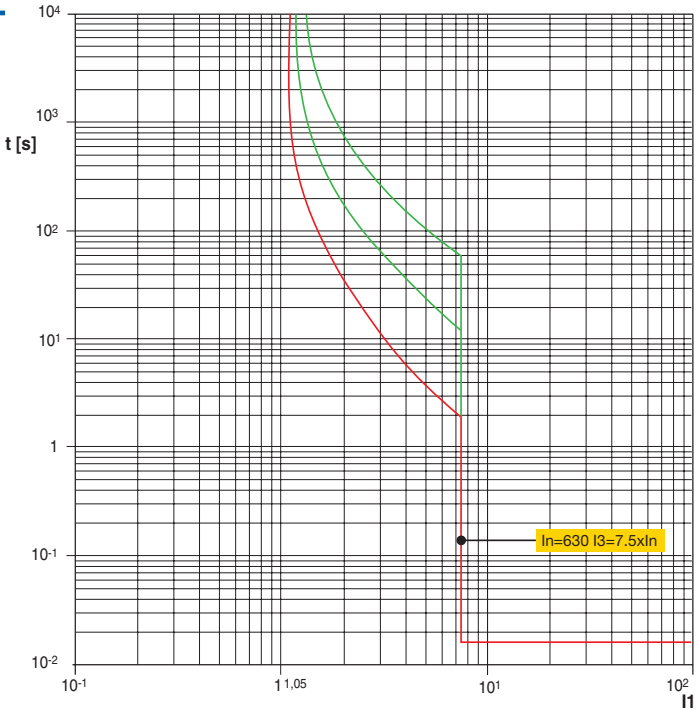
T6N630	In630	I1 (400Hz)			I3 = 5·10In (set I3=5In)		
		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K _m	I3 (400Hz)
		397	482	567	3150	1.5	4725

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

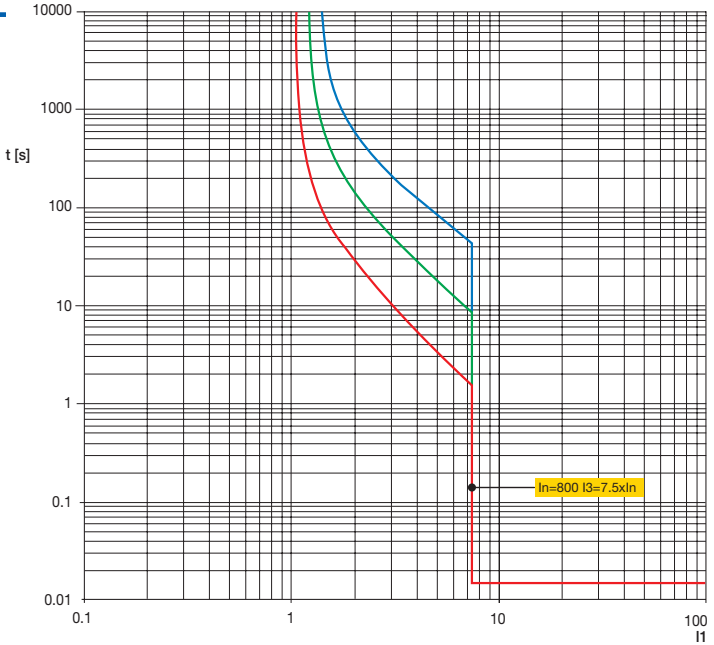
T6N 800	In800	I1 (400Hz)			I3 = 5-10In (set I3=5In)		
		MIN	MED	MAX	I3 (50Hz)	K _m	I3 (400Hz)
		504	602	720	4000	1.5	6000

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

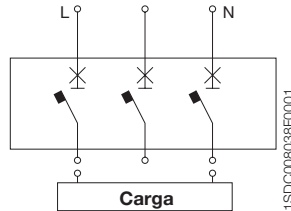
Esquemas de conexión

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

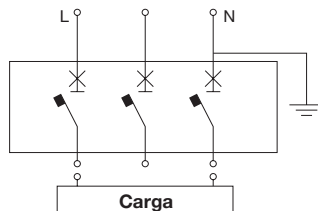
(La modalidad de instalación debe ser tal que la probabilidad de un segundo defecto a tierra sea despreciable.)



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)

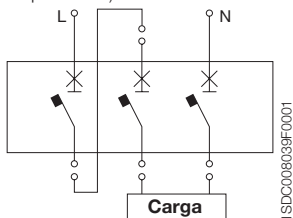


5 Aplicaciones particulares

Esquema B1

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

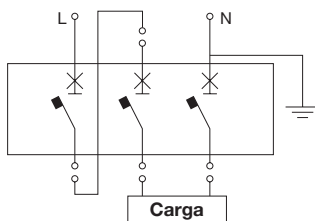
- interrupción por defecto fase-neutro: 3 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: no se considera (La modalidad de instalación debe ser tal que la probabilidad de un segundo defecto a tierra sea despreciable.)



Esquema B2

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

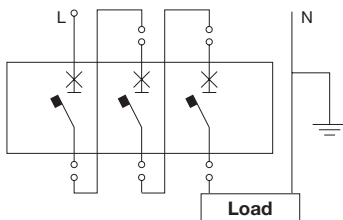
- interrupción por defecto fase-neutro: 3 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra : 2 polos en serie



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



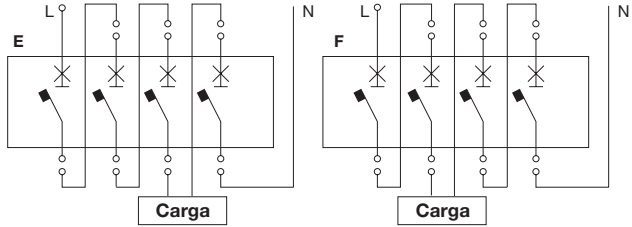
5 Aplicaciones particulares

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

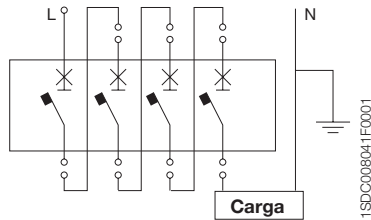
(La modalidad de instalación debe ser tal que la probabilidad de un segundo defecto a tierra sea despreciable.)



Esquema D

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

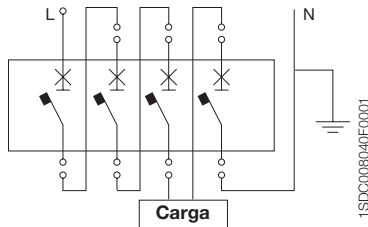
- interrupción por defecto fase-neutro: 4 polos en serie
- interrupción por defecto fase-tierra: 4 polos en serie



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
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

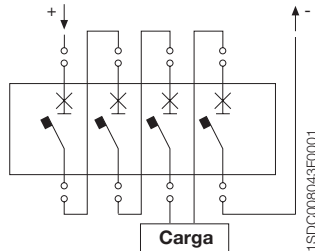
MC = Multicable

Esquemas de conexión

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

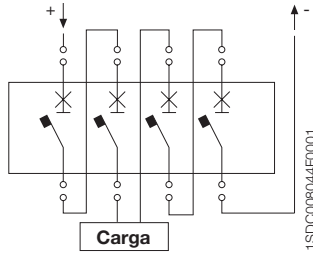
Red aislada de tierra

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



A) 3+1 polos en serie (1000 Vcc)

5 Aplicaciones particulares



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

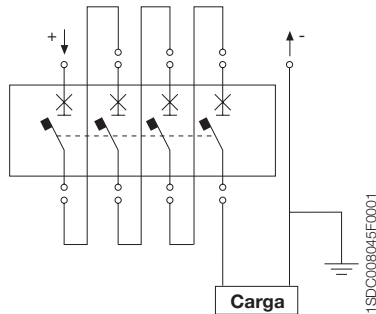
Se supone nulo el riesgo de doble defecto a tierra, en el cual el primer defecto se produce aguas abajo del interruptor en una polaridad, y el segundo aguas arriba del interruptor en la polaridad opuesta.

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.

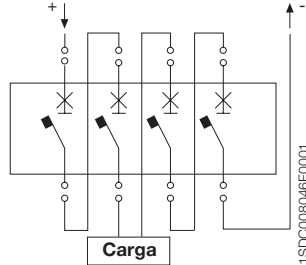


C) 4 polos en serie (1000 Vcc)

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	[A]	800		1250		1250		3200		5000		
	[A]	1250		1600		1600		4000		6300		
	[A]			2000		2000						
	[A]					2500						
	[A]							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	
Tensión de aislamiento asignada Ui	[V]	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	
Corriente asignada de corta duración admisible Icw (1s)	[kA]	20	20 ⁽¹⁾	25	25 ⁽¹⁾	40	40 ⁽¹⁾	65	65	65	65	
Poder asignado de cierre Icm	750V DC	[kA]	20	20	25	25	40	40	65	65	65	65
	1000V DC		-	20	-	25	-	40	-	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

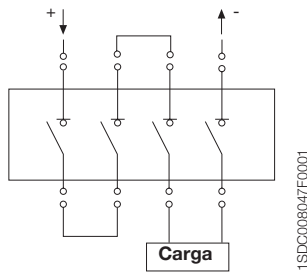
Esquemas de conexión

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

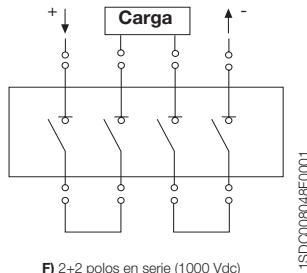
Se considera nulo el riesgo de doble defecto a tierra en distintas polaridades, en cuyo caso la corriente de defecto pasaría sólo por una parte de los polos de interrupción.

Red aislada de tierra

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

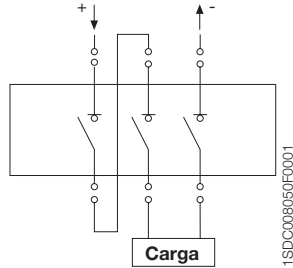


E 3+1 polos en serie (1000 Vdc)



F 2+2 polos en serie (1000 Vdc)

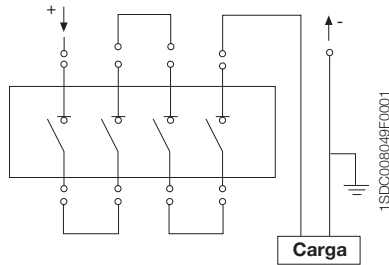
5 Aplicaciones particulares



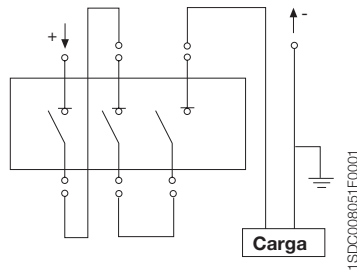
G) 2+1 polos en serie (750 Vcc)

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 _u	[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 _u	[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.

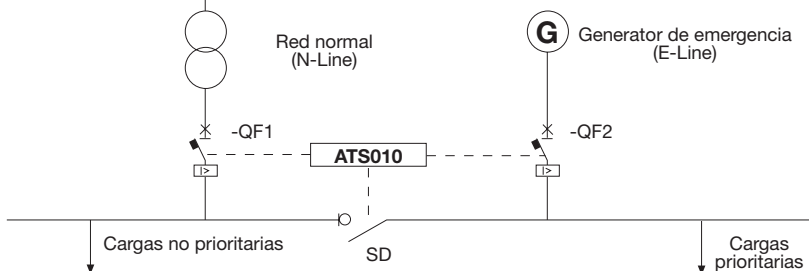
ABB ofrece la solución ATS010: un sistema con tecnología de microprocesador que conmuta automáticamente la alimentación eléctrica de la red principal a la línea de emergencia si la primera sufre alguna de las siguientes anomalías:

- 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	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**6: OFF=1~
ON=3~**

**7: OFF=50Hz
ON=60Hz**

**8: OFF=Strategy1
ON=Strategy2**

1SDC0008052F0001

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	■	

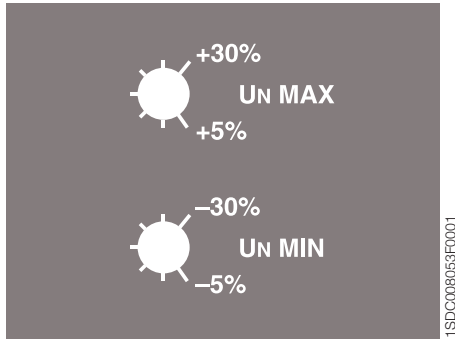
		ON	OFF
500V	4	■	
	3	■	
	2	■	
	1		■

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.

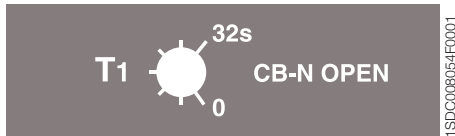


Definición del retardo de conmutación

Unos selectores permiten ajustar los retardos con que ATS010 efectuará la conmutación. A continuación se indican los tiempos de regulación y su finalidad:

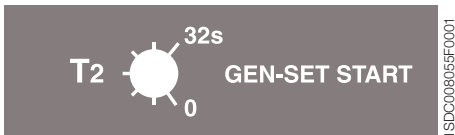
T1 = 0 ÷ 32 s CB-N open

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

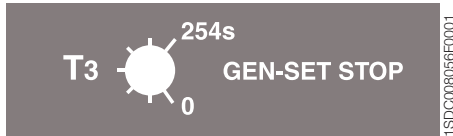
Retardo del arranque del generador tras el reconocimiento de una anomalía en la red. Evita que el generador arranque por un hueco de tensión.



5 Aplicaciones particulares

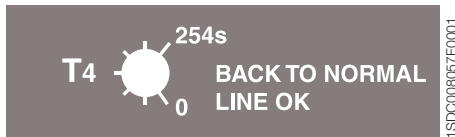
T3= 0 ÷ 254 s GEN-SET STOP

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.

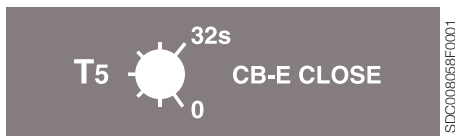


T5 = 0 ÷ 32 s CB-E CLOSE

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 ± 20% 48 Vcc ± 10% (ondulación máxima ± 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:

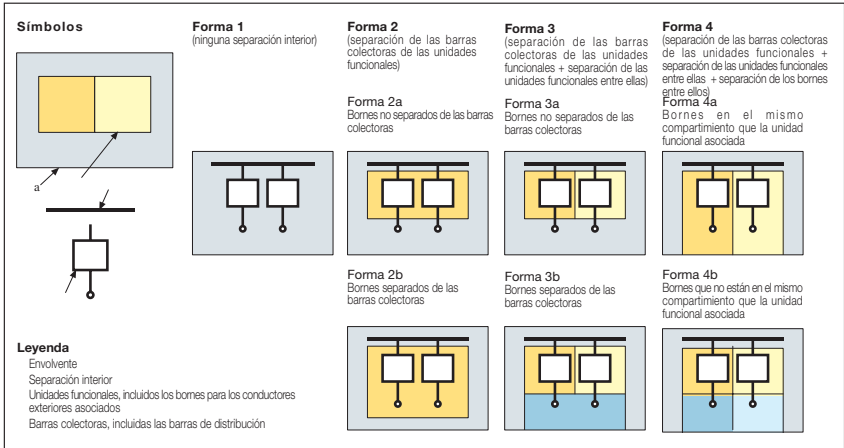
- garantizar la protección contra los contactos directos (por lo menos IPXXB), en caso de acceso a una parte del cuadro eléctrico puesta sin tensión respecto al resto del cuadro que ha quedado bajo tensión;
- reducir la probabilidad de cebado y propagación de un arco interno;
- impedir el paso de cuerpos 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



TSDCO08039F0201

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

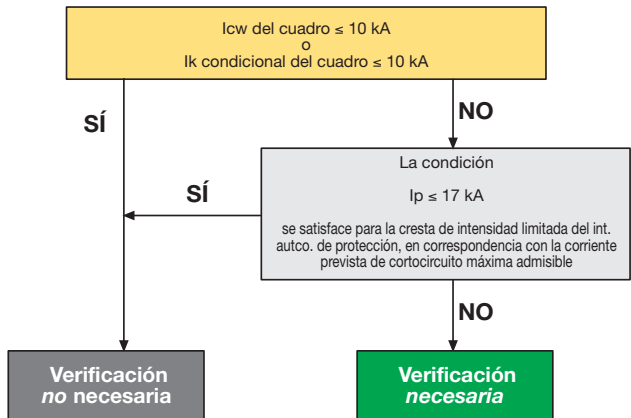
Verificación de la resistencia a los cortocircuitos

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

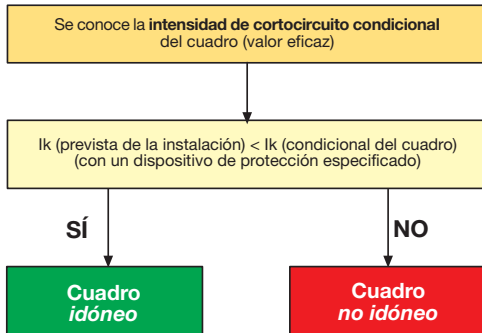
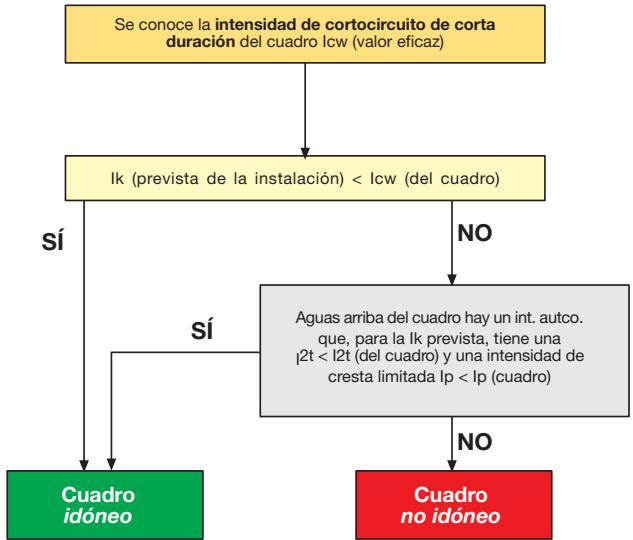
Los valores de la Tabla 4 son válidos para la mayoría de las aplicaciones. En zonas particulares, por ejemplo en proximidad de transformadores o generadores, el factor de potencia puede tener valores más bajos. Por lo tanto, en estos casos debe considerarse la cresta máxima de intensidad prevista en 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**

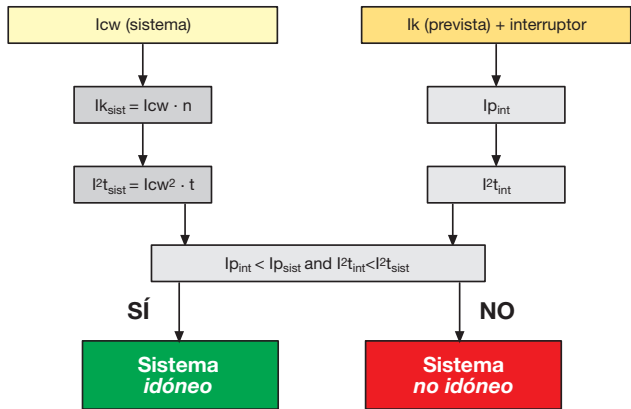
A partir de la I_{cw} del sistema de distribución se obtiene:

$I_{k_{sist}} = I_{cw} \cdot n$ 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 auto $I_{p_{int}}$
la energía específica que deja pasar el interruptor auto $I^2 t_{int}$
Si $I_{p_{int}} < I_{k_{sist}}$ 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:

$$I_{p\text{ sist}} = I_{cw} \cdot n = 35 \cdot 2.1 = 73.5 \text{ [kA]}$$

$$I^2 t_{\text{ sist}} = I_{cw}^2 \cdot t = 35^2 \cdot 1 = 1225 \text{ [(kA)^2 s]}$$

En las curvas:

- de la página 118

I_k 65kA corresponde aproximadamente a I_{pint}=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 para 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:

$$I_k = 45 \text{ kA} \quad \text{corresponde aproximadamente a } I^2 t_{\text{ int}} = 2 [(\text{kA})^2 \text{ s}]$$

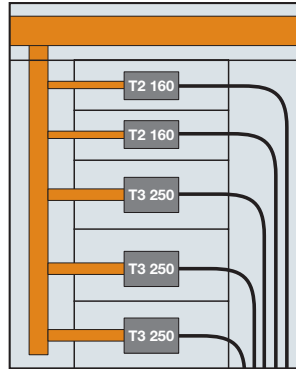
Luego, dado que

$$I_{p\text{ int}} < I_{p\text{ sist}}$$

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

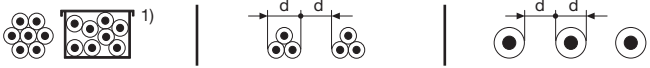
P_n es la potencia asignada disipada (a I_n)

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

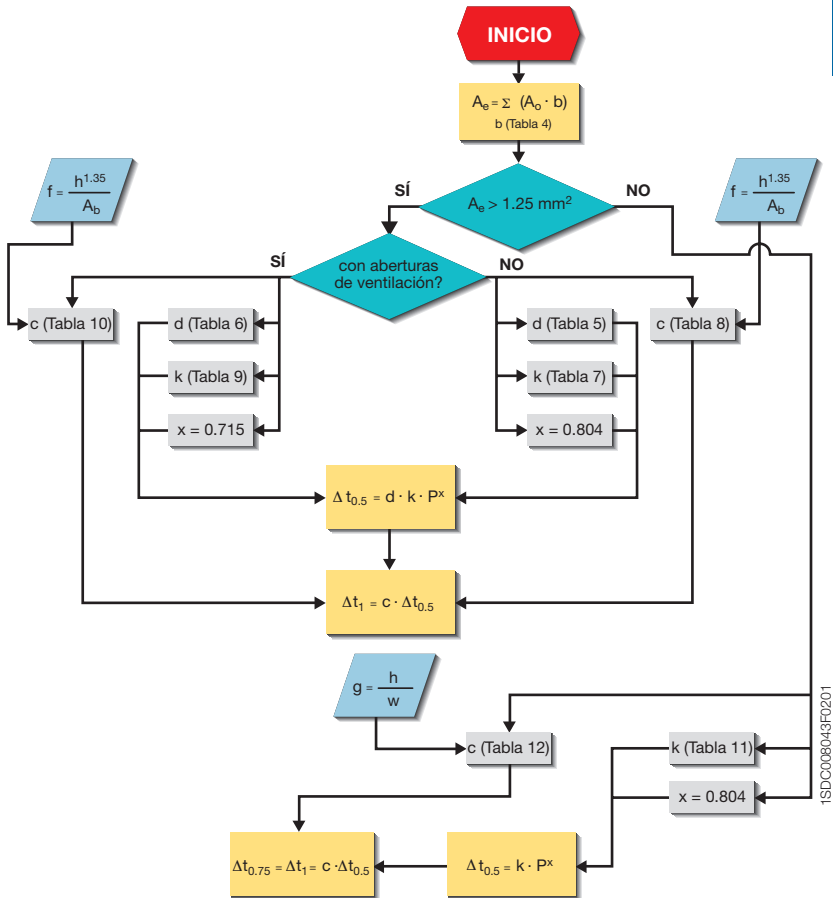
1) longitud simple

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										141	258
	1600											234.9
	2000											351.9
	2500											160
	3200											220
												260
												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

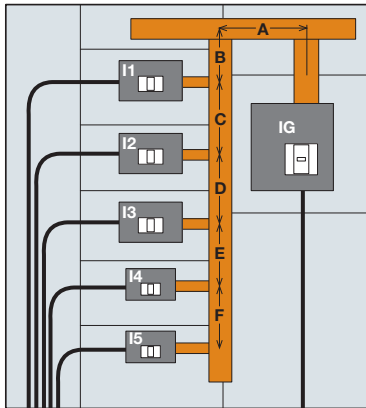
Potencia disipada total (3/4 polos) en W	Tabla 14: Emax - potencia disipada																	
	X1-BN		X1-L		E1B-N		E2B-N-S		E2L		E3N-S-H-V		E3L		E4S-H-V		E6H-V	
	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W	F	W
In=630	31	60	61	90														
In=800	51	104	99	145	65	95	29	53			22	36						
In=1000	79	162	155	227	96	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

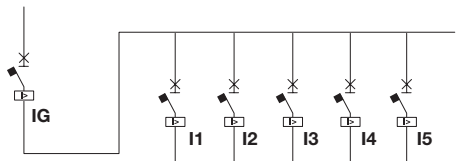
A continuación se detalla un ejemplo de cálculo de la sobretemperatura en un cuadro con las siguientes características:

- 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

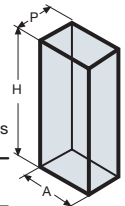


Esquema del circuito



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:

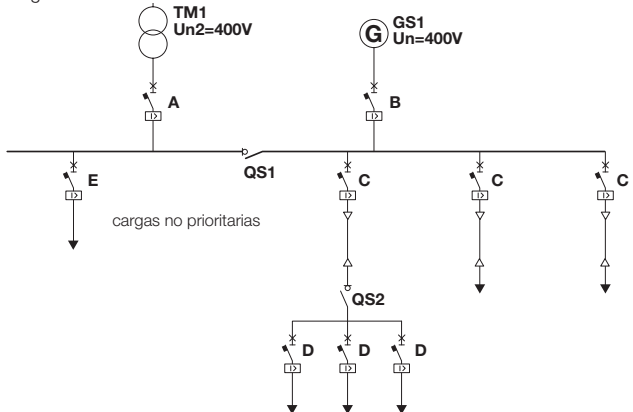
En el sistema que se describe a continuación, en caso de una pérdida del suministro normal en la parte de la red, mediante un interruptor de transferencia automático de ABB SACE ATS010 es posible cambiar el suministro de la red a la unidad de potencia de emergencia, y desconectar las cargas no primarias 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.

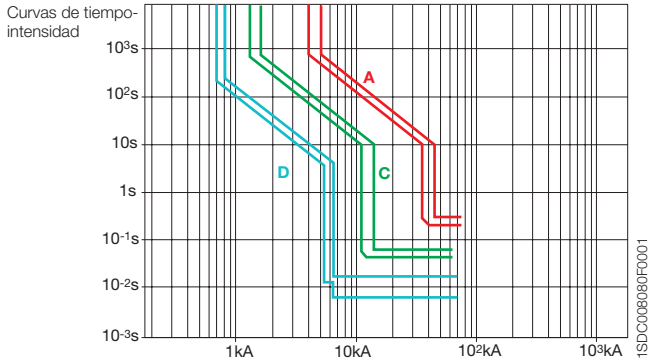


1SDC008049F0201

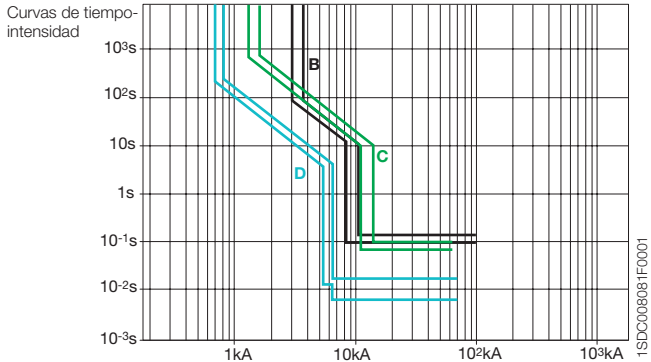
Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

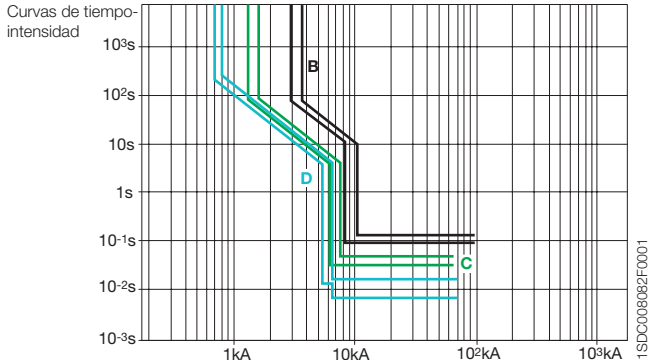
Esta figura indica las curvas de tiempo-intensidad de la instalación en condiciones normales de funcionamiento. Los valores configurados no permiten una intersección de las curvas.



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)

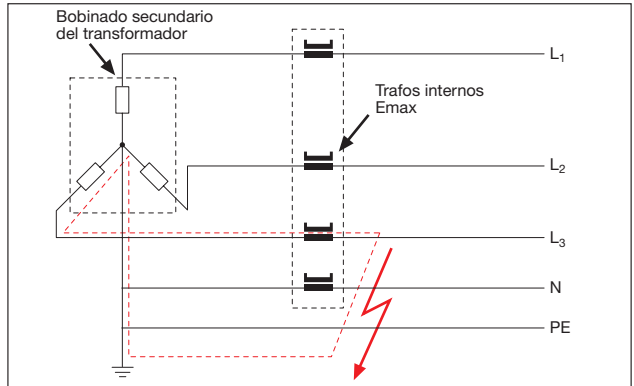
Una aplicación típica de la función doble G consiste en la protección simultánea contra fallos de puesta a tierra del secundario del transformador y de sus cables de conexión a los terminales del interruptor automático (protección de fallo a tierra limitada), así como contra fallos de puesta a tierra 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



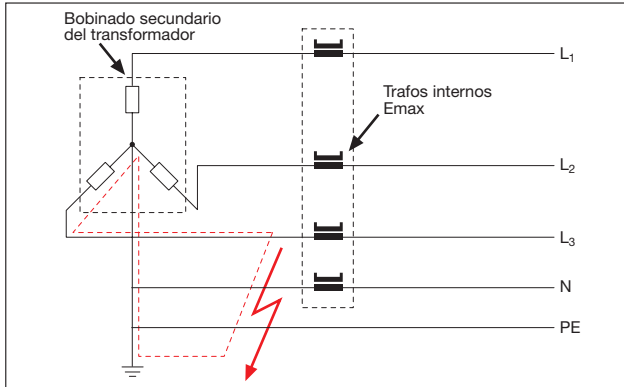
1SDCC08050F0201

Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

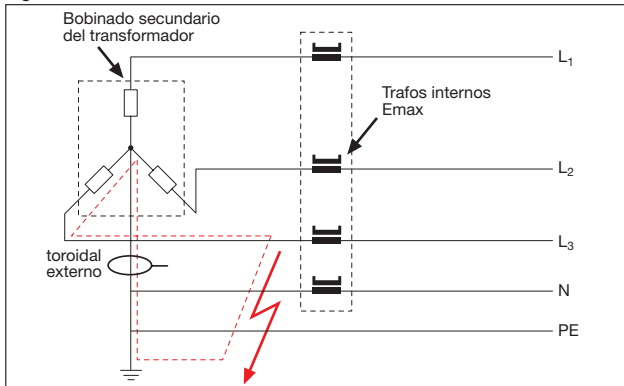
Con la misma configuración, un fallo en la parte de la alimentación del interruptor automático (figura 2) no provoca la intervención de la función G, dado que la corriente de fallo no afecta al CT de la fase ni del neutro.

Figura 2



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



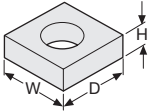
Anexo C: Ejemplos de aplicación

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

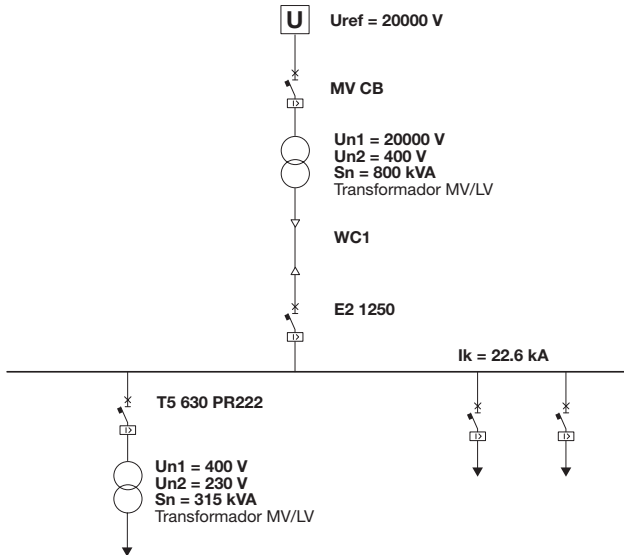
Doble S

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



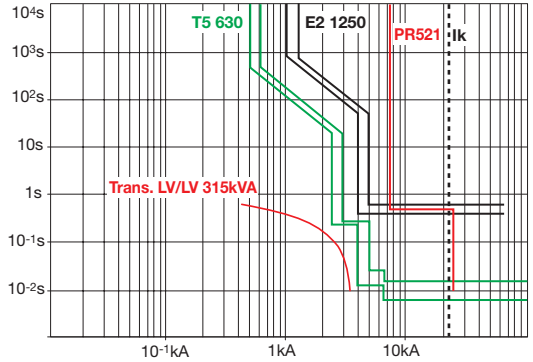
1SDC008054F0201

Anexo C: Ejemplos de aplicación

Funciones de protección avanzadas con los relés PR123/P y PR333/P

Solución con un relé sin “doble S”

Curvas de tiempo-intensidad @ 400V



MV CB (PR521)

50	(I>): 50A	t=0.5s
51	(I>>): 500A	t=0s

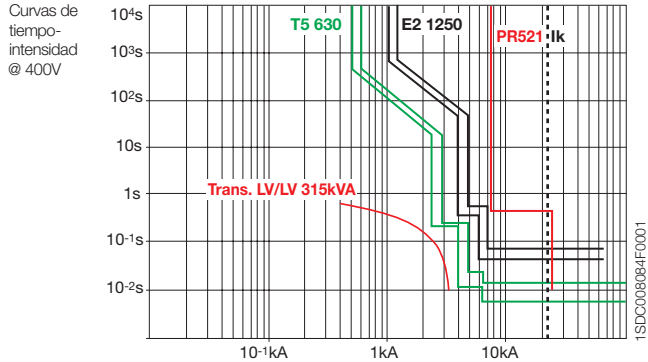
		E2N 1250 PR122	T5V 630 PR222DS/P
		LSIG R1250	LSIG R630
L	Regulación	0.8	0.74
	Curva	108s	12s
S t=constante	Regulación	3.5	4.2
	Curva	0.5s	0.25s
I	Regulación	OFF	7

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)

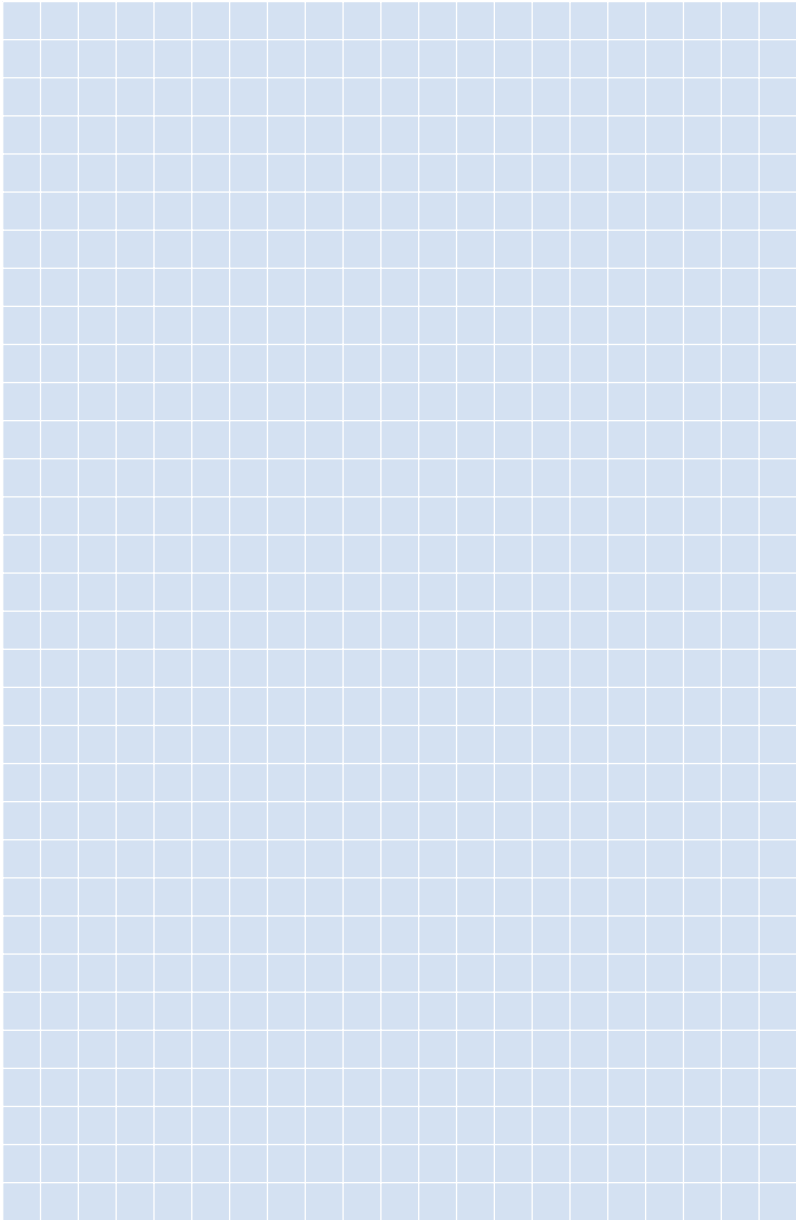
50	(I>): 50A	t=0.5s
51	(I>>): 500A	t=0s

		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

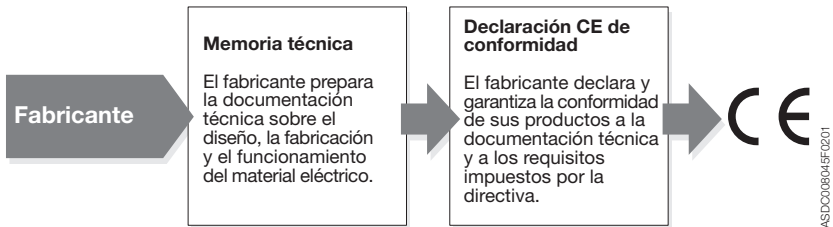
Marcado CE

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




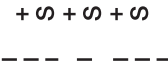




1 Normas

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	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 aco- pladores 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 sobrecorrientes para aplicaciones domésticas y análogas (RCCBs). Parte 1: normas generales
IEC 61008-2-1	1990	Interruptores automáticos por corriente residual sin protección integral contra sobrecorrientes 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 sobrecorrientes 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 sobrecorrientes para aplicaciones domésticas y análogas (RCBOs). Parte 1: normas generales
IEC 61009-2-1	1991	Interruptores automáticos por corriente residual con protección integral contra sobrecorrientes 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 sobrecorrientes 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 electri- cal installations - Part 2-3: Particular require- ments – 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.

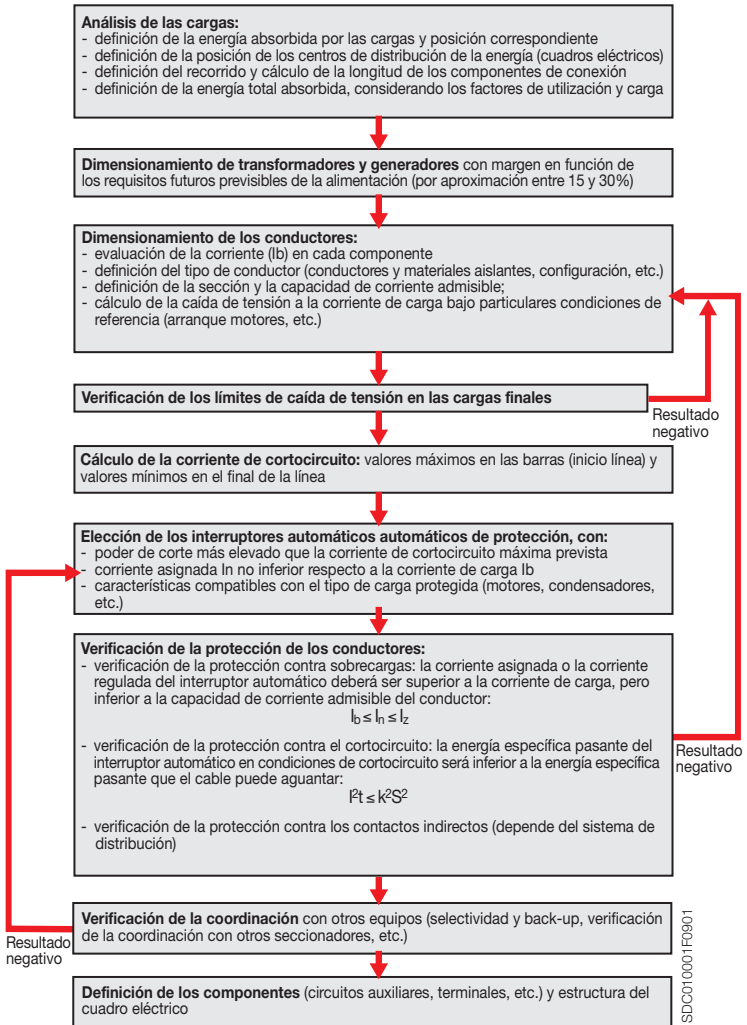
Equipo fijo Aparato utilizador fijo o aparato utilizador desprovisto de asideros para el transporte o con un peso tal como para no que no pueda ser transportado fácilmente.

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	Canales (incluidos canales de zócalo y de suelo)			Conductos de sección no circular	Bandejas de Cable		Cables fijadores
		Fijación directa	Tubos	de sección escalera		Soportes	Sobre aisladores	
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

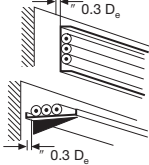
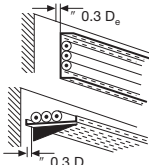
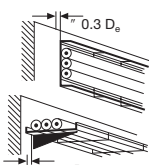
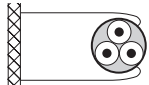
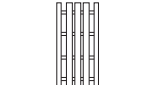
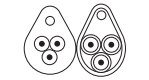

0 No aplicable o no se utiliza en la práctica

2 Protección de los circuitos de alimentación

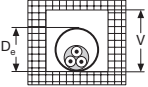
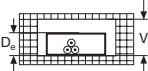
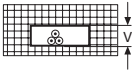
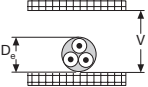


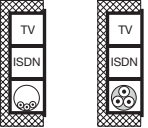
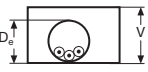
Tabla 3: Ejemplos de sistemas de instalación

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	Conductores aislados o cables unipolares en conductos de sección no circular instalados sobre pared de madera – recorrido horizontal (6) – recorrido vertical (7)	B1
	7		
	8	Conductores aislados en canales para instalaciones suspendidas (8) Cables multiconductores en canales para instalaciones suspendidas (9)	B1 (8) or B2 (9)
	9		
	12	Conductores aislados o cables unipolares en molduras	A1
	13	Conductores aislados o cables unipolares dentro de zócalos acanalados (13) Cables multiconductores dentro de zócalos acanalados (14)	B1 (13) or B2 (14)
	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	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
	21		





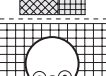
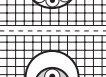
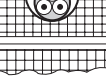
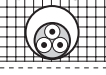
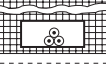
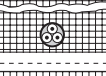
2 Protección de los circuitos de alimentación

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 trefol, 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.

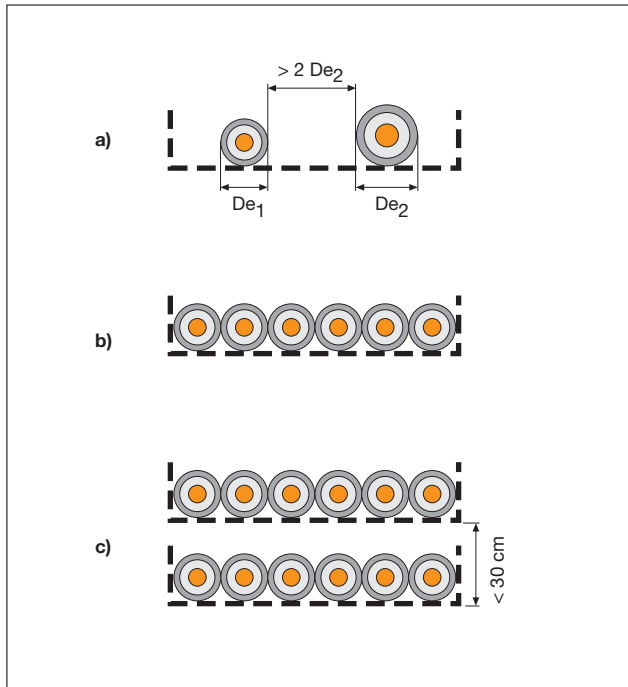
2 Protección de los circuitos de alimentación

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:

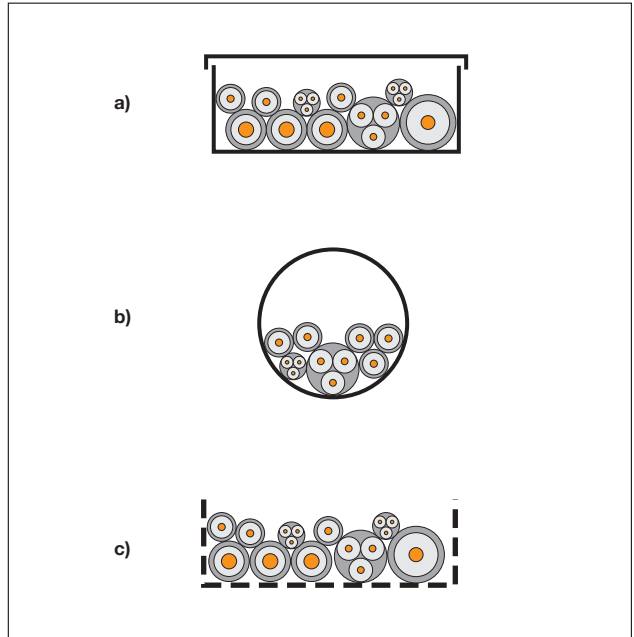
capa: conjunto de diversos circuitos realizados con cables instalados adyacentes, espaciados o no, dispuestos en horizontal o en vertical. Los cables en capa se instalan en paredes, bandejas, techos, suelos o bandejas de escalera;



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_c 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:


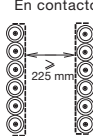
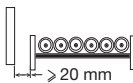
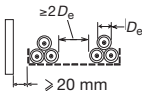
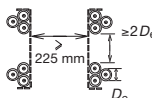
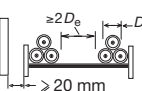
- circuitos de cables unipolares;
- cables multipolares.

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	

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.

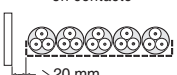
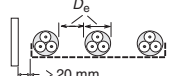
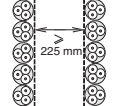
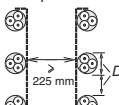
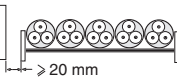
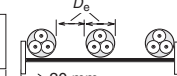
Nota 2: Los valores referentes a las distancias verticales entre las bandejas de 300 mm. Para distancias verticales inferiores, los factores deberían ser reducidos.

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.

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.

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	-
		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	0.73
3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.73	0.70			
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:

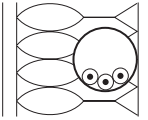
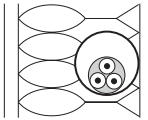
1. identificar el método de instalación en la Tabla 3;
2. determinar a través de la Tabla 4 el factor de corrección k_1 en función del aislante y de la temperatura ambiente;
3. determinar, a través de la Tabla 5 para cables instalados en capa o haz, la Tabla 6 para cables unipolares en capa sobre diversos 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 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[mm ²]	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


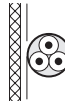
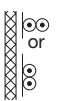
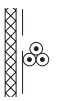
B1						B2						C									
																					
PVC		XLPE EPR		PVC		Cu		Al		Cu		Al		Cu		Al					
2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3		
17.5	15.5					22	19.5	16.5	15			24	22	19.5	17.5						
24	21	25	22	18.5	16.5	30	26	23	20	23	21	17.5	15.5	33	30	27	24	26	24	21	18.5
32	28	33	29	25	22.0	40	35	30	27	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


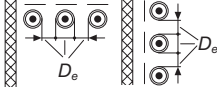
2

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	
Conductor	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	XLPE EPR	PVC	
Aislamiento	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	EPR	PVC	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

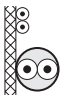
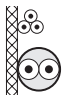
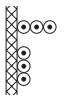
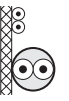
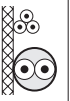
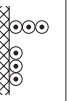


2 Protección de los circuitos de alimentación

				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

Las 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



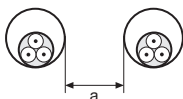
NOTA: Los valores facilitados se refieren a una profundidad de instalación de 0.7 m y a una resistividad térmica del terreno de 2.5 K-m/W

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 influencía 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:

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2 k_3} = \frac{I_b}{k_{\text{tot}}}$$

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

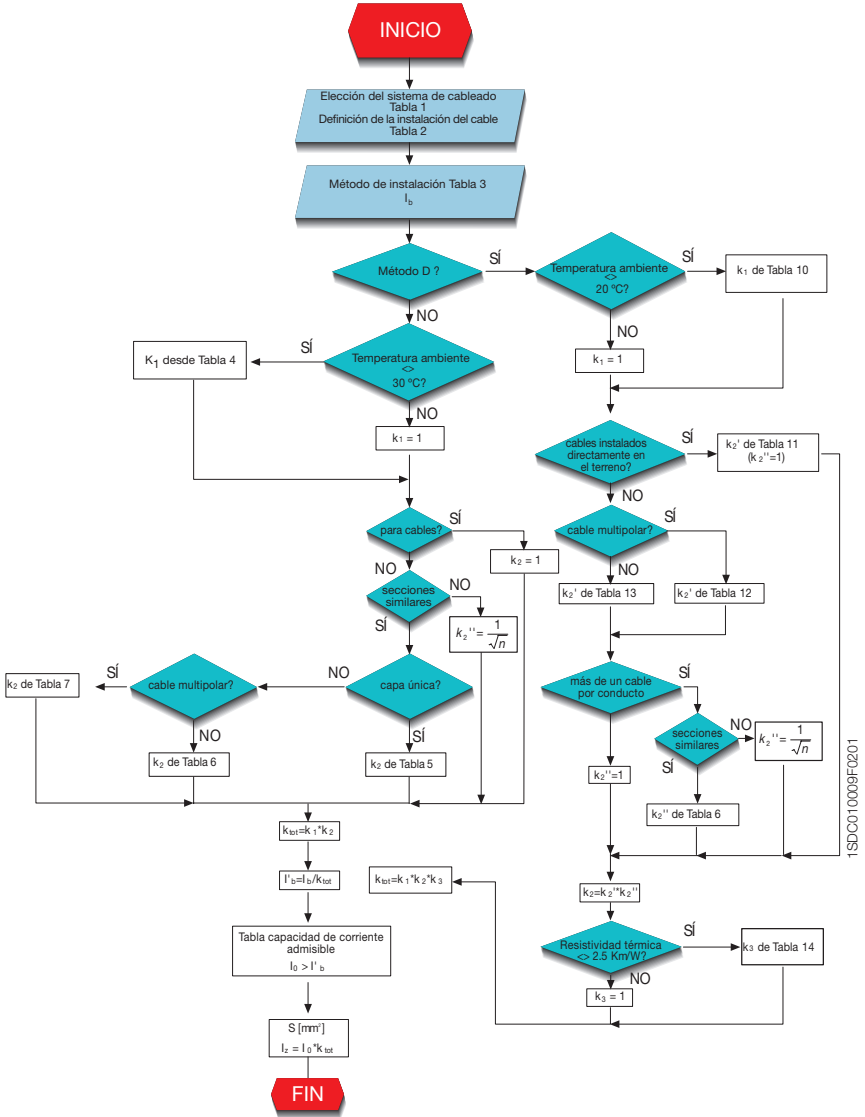
$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3$$

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.

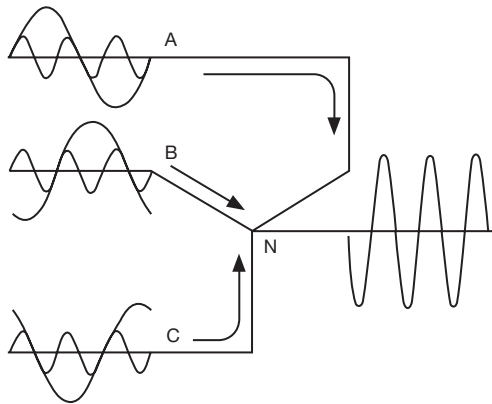
En los circuitos trifásicos equilibrados o poco desequilibrados el número de conductores cargados que debe considerarse es tres, ya que son despreciables las corrientes que circulan por el neutro.

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'_b
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	$I'_b = \frac{I_N}{0.86}$
> 45	-	-	1	$I'_b = I_N$

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

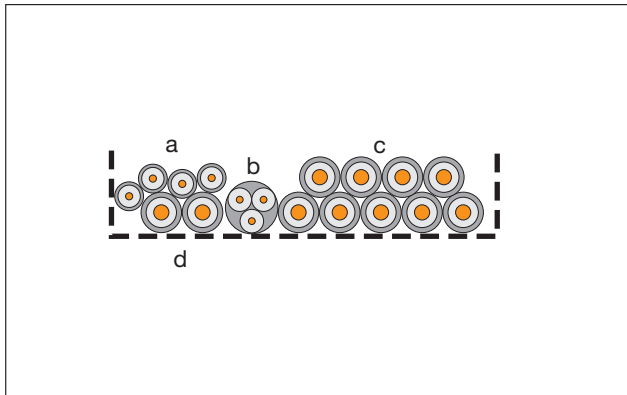
Ejemplo de dimensionamiento de un cable en un circuito trifásico equilibrado en ausencia de armónicos

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 Monofásico	C. tripolar 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 Monofásico	C. tripolar 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

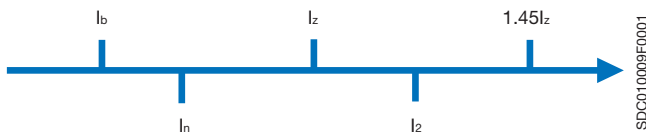
La norma IEC 60364-4-43 "Electrical installation of buildings - Protection against overcurrent" especifica que se realice la coordinación entre los conductores y los dispositivos de protección contra sobrecargas (generalmente puestos al inicio de la conducción que debe protegerse), de modo que se cumplan 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 $I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$.

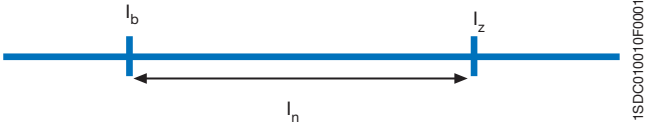
Si el dispositivo de protección es un fusible, se deberá comprobar también la ecuación (2), ya que la norma IEC 60269-2-1 "Low-voltage fuses" para los fusibles establece que una corriente de $1.6 \cdot I_n$ provocará automáticamente la fusión del fusible; en este caso, la ecuación (2) se convertirá $1.6 \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I_z$, o sea $I_n \leq 0.9 \cdot I_z$.

2 Protección de los circuitos de alimentación

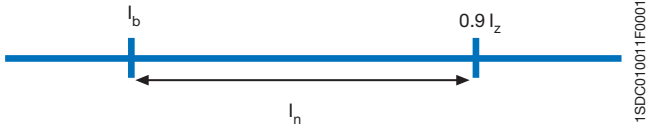
Resumiendo: realizando la protección contra las sobrecargas con un fusible, se deberá cumplir con la siguiente ecuación:

$$I_b \leq I_n \leq 0.9 \cdot I_z$$

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.

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	$1.06 \cdot 10^1$

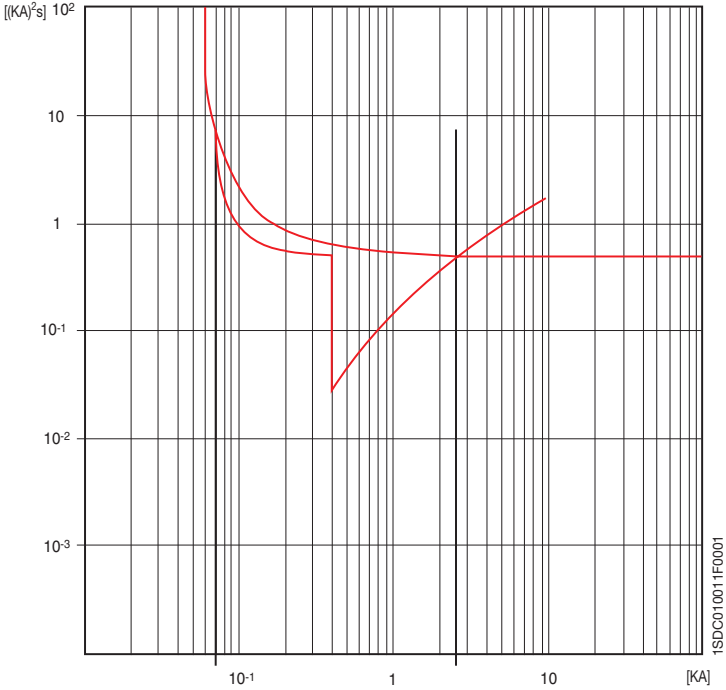
		Secciones [mm ²]								
Cable		k	50	70	95	120	150	185	240	300
PVC	Cu	115	$3.31 \cdot 10^1$	$6.48 \cdot 10^1$	$1.19 \cdot 10^2$	$1.90 \cdot 10^2$	$2.98 \cdot 10^2$	$4.53 \cdot 10^2$	$7.62 \cdot 10^2$	$1.19 \cdot 10^3$
	Al	76	$1.44 \cdot 10^1$	$2.83 \cdot 10^1$	$5.21 \cdot 10^1$	$8.32 \cdot 10^1$	$1.30 \cdot 10^2$	$1.98 \cdot 10^2$	$3.33 \cdot 10^2$	$5.20 \cdot 10^2$
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	$2.16 \cdot 10^1$	$4.24 \cdot 10^1$	$7.81 \cdot 10^1$	$1.25 \cdot 10^2$	$1.95 \cdot 10^2$	$2.96 \cdot 10^2$	$4.98 \cdot 10^2$	$7.78 \cdot 10^2$

1SD C010002F0901

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

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

$I_k = 30 \text{ kA}$

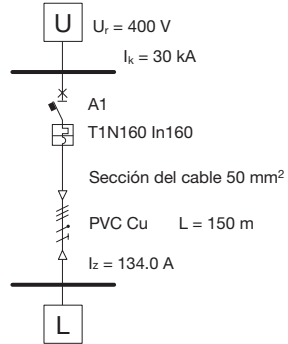
Datos del cable:

Conductor de cobre aislado en PVC

Longitud = 150 m

$S = 50 \text{ mm}^2$

$I_z = 134 \text{ A}$



1SDCO10011F0201

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: **if $S = S_N \rightarrow k_d$ is 0.58;**
if $S = 2 \cdot S_N \rightarrow k_d$ 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.

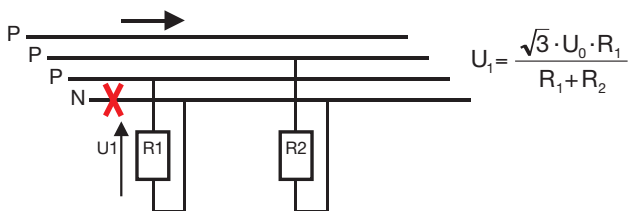


Figura 1: Interrupción del conductor de neutro

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.

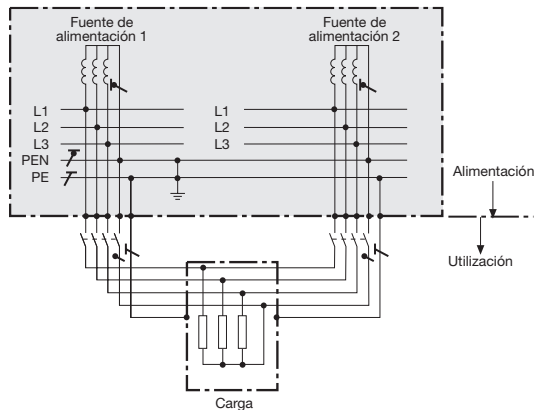
En los sistemas TN-S, es posible no desconectar el neutro si las condiciones de alimentación son tales que la conexión del conductor de neutro al potencial de tierra puede ser considerada fiable.

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.

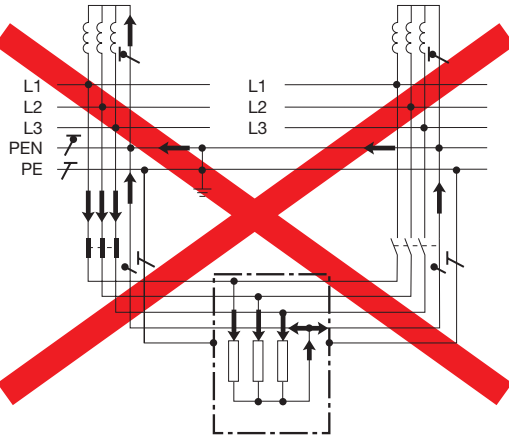


2

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).

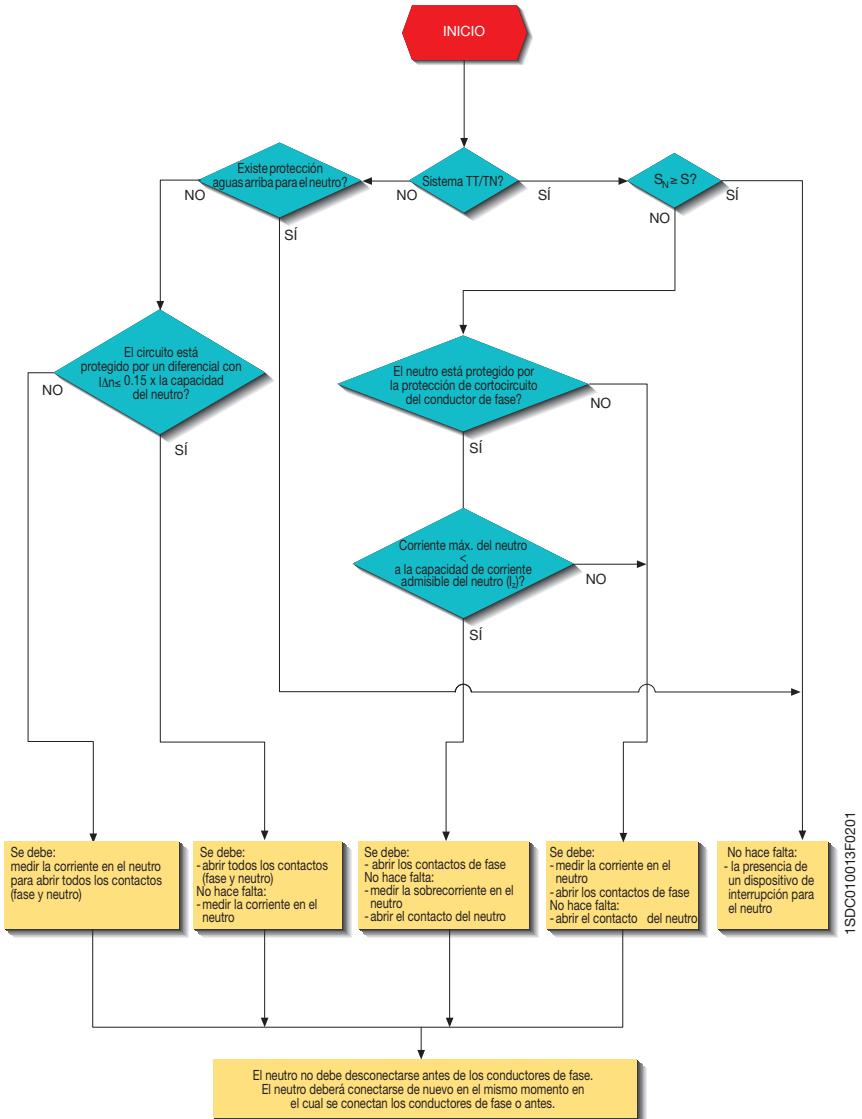
No hace falta detectar las sobrecorrientes en el conductor de neutro, si se da alguno de los siguientes casos:

- 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.

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 sobrecorrientes 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 conexionado 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:

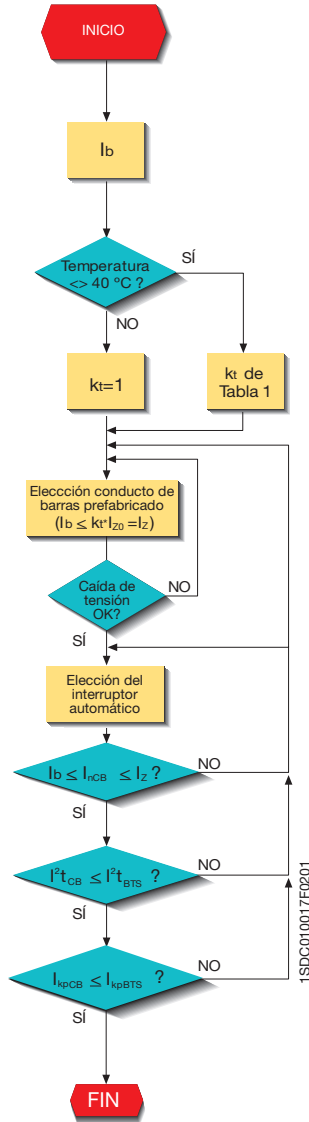
$$I_{kp\ CB} \leq I_{kp\ BTS} \quad (5)$$

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:

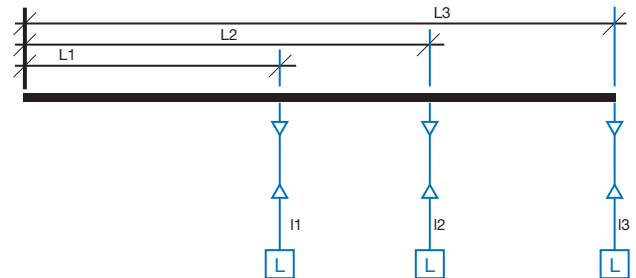
$$\Delta u\% = \frac{\Delta u}{U_r} \cdot 100 \quad (7)$$

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			$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$

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

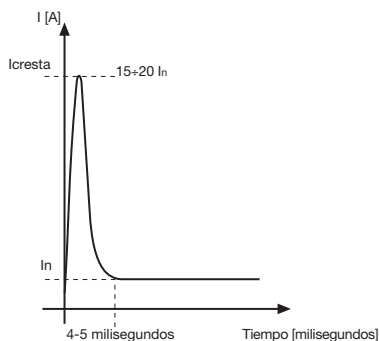
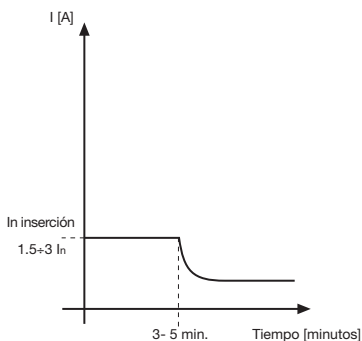


Gráfico I inserción



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.

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

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.

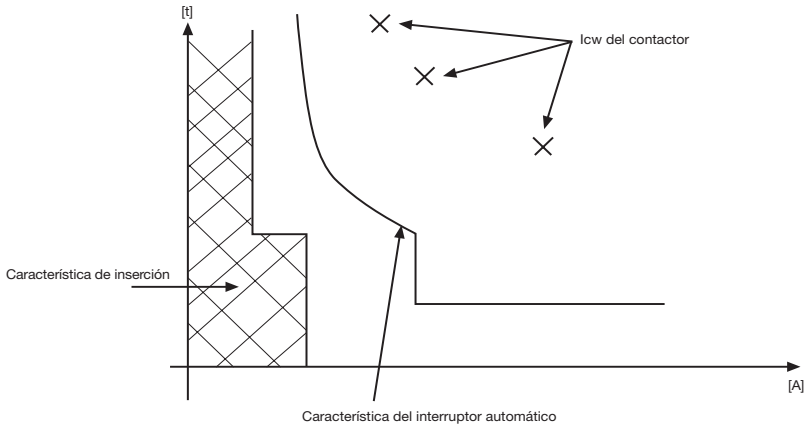
(*) Para el cálculo, véase el Anexo B "Cálculo de la corriente de empleo I_b "

Tabla 1: Lámparas de incandescencia y halógenas

U= 400 V		I _k = 15 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

1SDC010038F0201

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
Nº 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
Nº 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

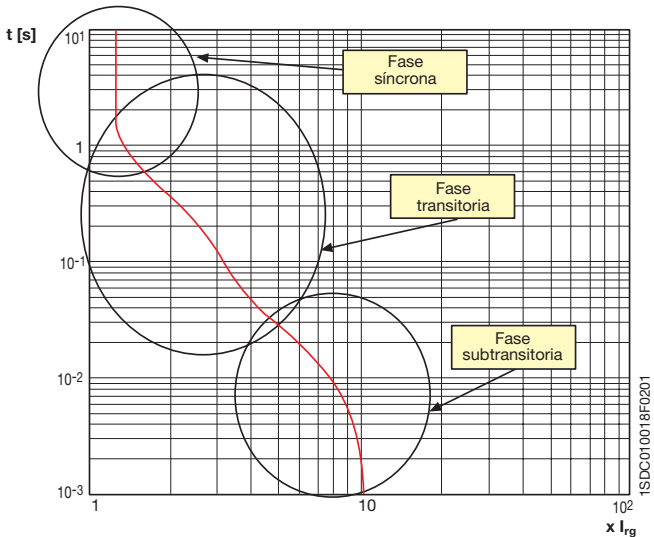
La exigencia de garantizar una continuidad de servicio cada vez mayor ha determinado un incremento en el uso de grupos de continuidad con generadores, en alternativa o en paralelo con la red pública.

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:

$$U_r = 440 \text{ V}$$

$$S_{rg} = 100 \text{ kVA}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$I_{rg} = 131.2 \text{ A}$$

$$x'_d = 6.5 \% \text{ (reactancia subtransitoria)}$$

$$x''_d = 17.6 \% \text{ (reactancia transitoria)}$$

$$x_d = 230 \% \text{ (reactancia síncrona)}$$

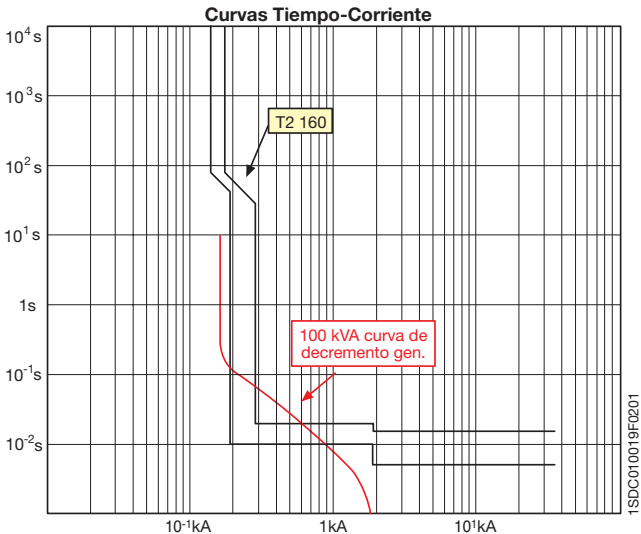
$$T'_d = 5.5 \text{ ms (constante de tiempo subtransitoria)}$$

$$T''_d = 39.3 \text{ ms (constante de tiempo transitoria)}$$

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.

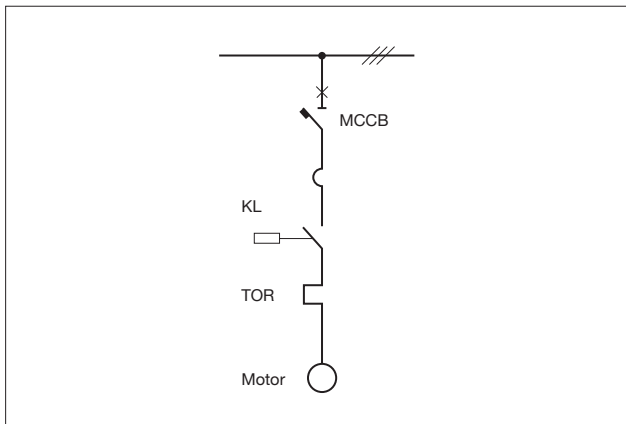
Métodos de arranque

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:

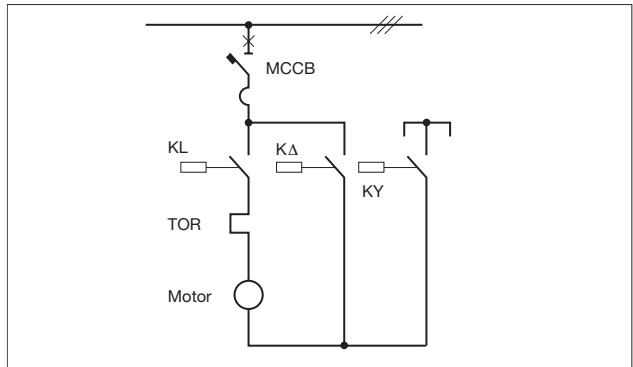
- tras el arranque, los arrollamientos del estator se conectan en estrella, obteniendo de esta forma la reducción de la corriente de arranque;
- cuando casi se alcanza la velocidad de régimen del motor, se realiza la conexión de los devanados en triángulo.

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:

$$\frac{I_r}{\sqrt{3}} \quad \text{contactor de línea KL y triángulo KΔ}$$

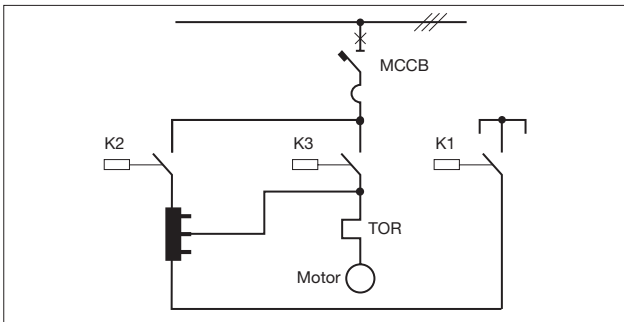
$$\frac{I_r}{3} \quad \text{contactor de estrella KY}$$

$$\frac{I_r}{\sqrt{3}} \quad \text{relé de protección contra sobrecargas}$$

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

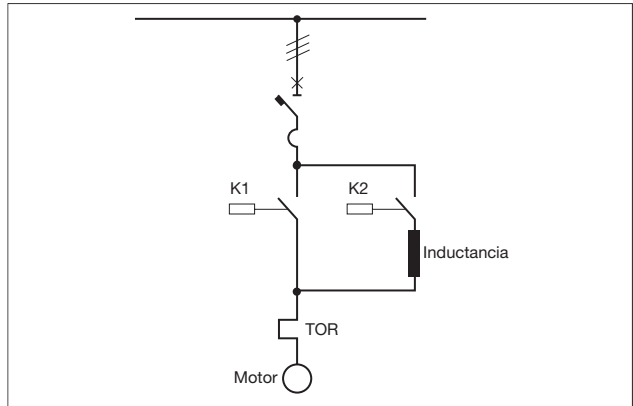
Este tipo de arranque se utiliza para rotores de jaula de ardilla sencilla o doble. La reducción de la tensión de alimentación se obtiene conectando en serie con el estator unas reactancias o resistencias. En el arranque, la corriente se limita a 2.5÷3.5 veces el valor de la corriente asignada.

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).



1SDC010021FC001

2

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**	Num. vueltas primario trafo int.	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	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

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

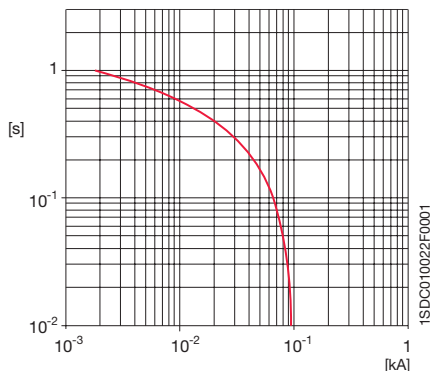
I_{1r} corriente asignada del primario

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:

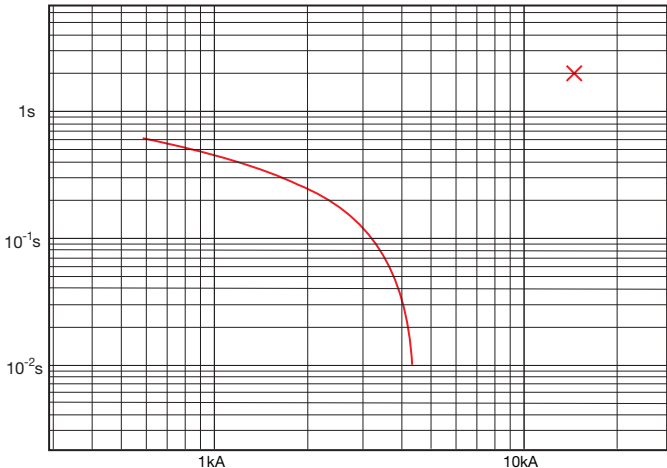
- U_r es la tensión asignada del transformador [V]
- Z_{Net} es la impedancia de cortocircuito de la red [Ω]
- Z_t es la impedancia de cortocircuito del transformador; conocidas la potencia asignada del transformador (S_r [VA]) y la tensión de cortocircuito porcentual ($u_k\%$), equivale a:

$$Z_t = \frac{u_k\% \cdot U_r^2}{100 \cdot S_r} \quad [\Omega] \quad (2)$$

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.).

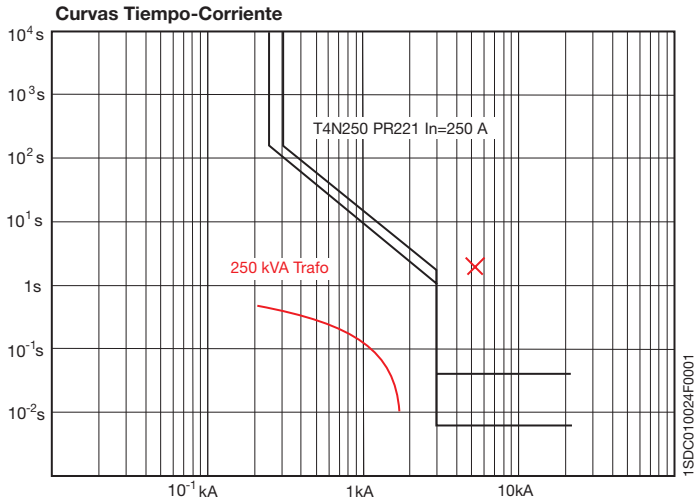


1SDC010023F0001

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 $u_k\% = 4\%$.



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.

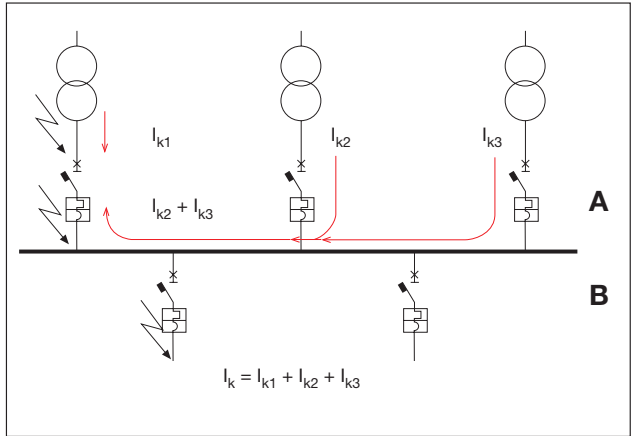
Si se tiene un defecto aguas arriba de este interruptor automático, la corriente de cortocircuito que circula a través del mismo es la suma de los otros dos transformadores conectados en paralelo.

(*) 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.



1SDC010025F001

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		1581	4744	74.4	T7S1600/E2S1600	In=1600	1	111.6	T2L160		T4L250	T5L400		
1 x 800	5	2008	2008	39.3	E3N2500	In=2500	0.81	39.3	T1C160		T3N250	T5N400		
2 x 800		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		2510	7531	93.0	E3H3200	In=3200	0.79	139.5	T4L250		T4L250	T5L400		
1 x 1250	5	3138	3138	60.7	E3N3200	In=3200	1	60.7	T2N160		T3S250	T5N400		
2 x 1250		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				Interrupción automática "A" (lado LV)				Barra I _k						
S _r [kVA]	u _k [%]	Trafo I _f	Barra I _b	Alim. trafo I _k [kA]	Interrupción automática ABB SACE	Relé		[kA]	32 A	63 A	125 A	160 A	250 A	400 A
		[A]	[A]			tamaño	ajuste mínimo							
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	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	1443	4329	53.5	T7H1600/E2N1600	In=1600	0.91	80.2	T2L160				T4L250	T5L400	
1 x 1250	5	1804	1804	34.9	E2B2000	In=2000	0.91	34.9	T1N160				T3N250	T5N400
2 x 1250		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	2309	6927	67	E3S2500	In=2500	0.93	100.6	T4L250				T4L250	T5L400	
1 x 2000	6.25	2887	2887	44.3	E3N3200	In=3200	0.91	44.3	T2S160				T3S250	T5S400
2 x 2000		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	5	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

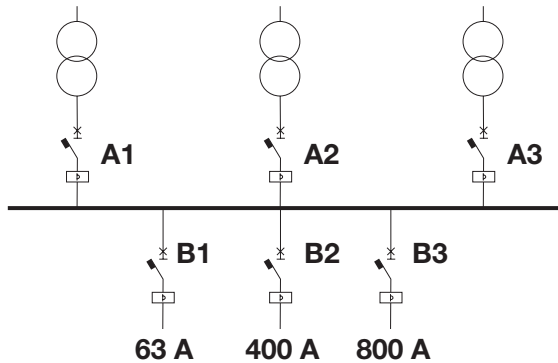
¡ATENCIÓN!

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.

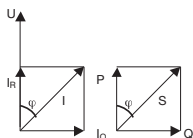
Interruptores automáticos en el nivel B (salida aparato usuario)

- 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

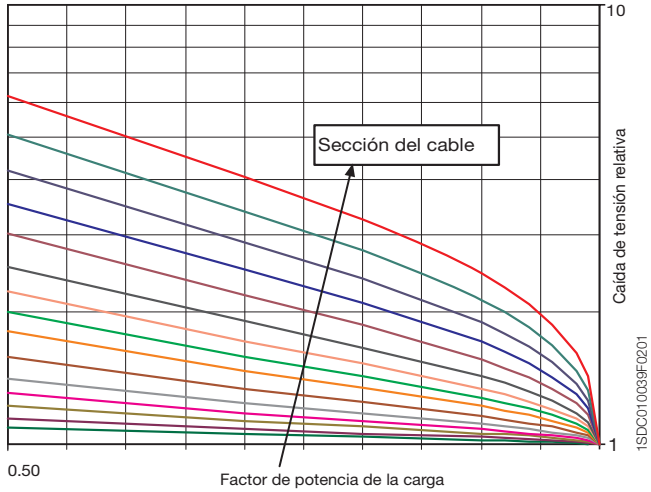
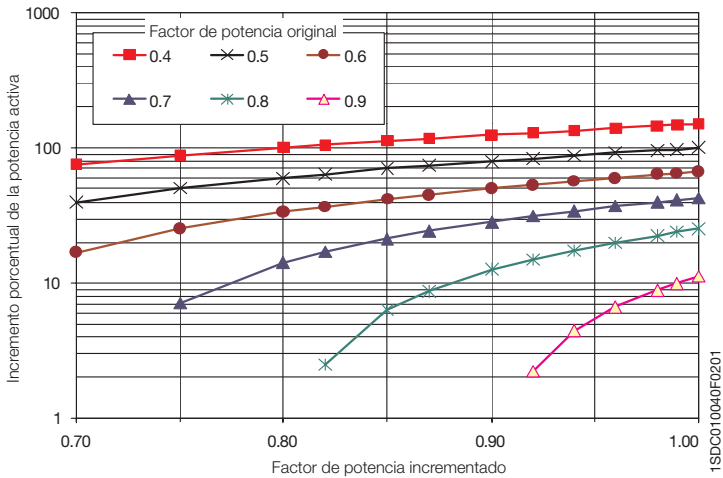


Figura 2: Potencia activa que puede transmitirse

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:

$$Q_c = Q_2 - Q_1 = P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (3)$$

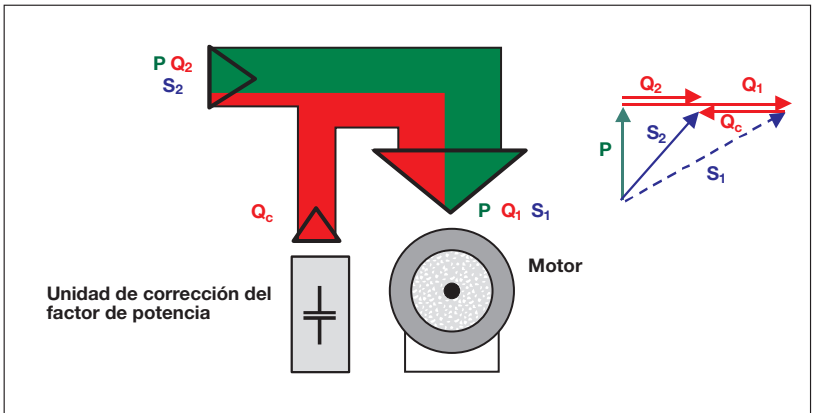
donde:

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.

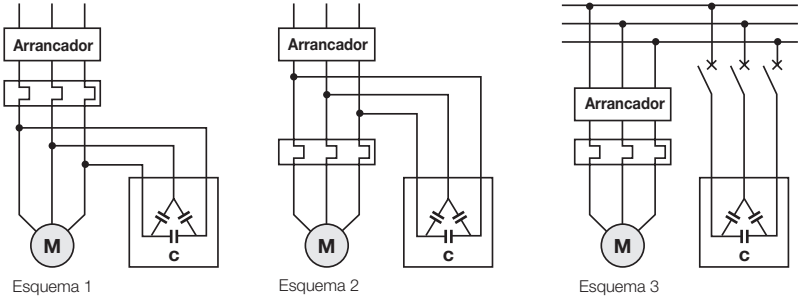
Este tipo de corrección del factor de potencia se recomienda en caso de grandes instalaciones usuarias con carga y factor de potencia constantes y tiempos de conexión largos.

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:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{1.8\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 1.2^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 8.9^2} = \sqrt{\left(\frac{1.8\%}{100} \cdot 630\right)^2 \cdot 1.2^2 + 0.6^2} + \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 8.9^2} = 19.8 \text{ kvar}$$

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

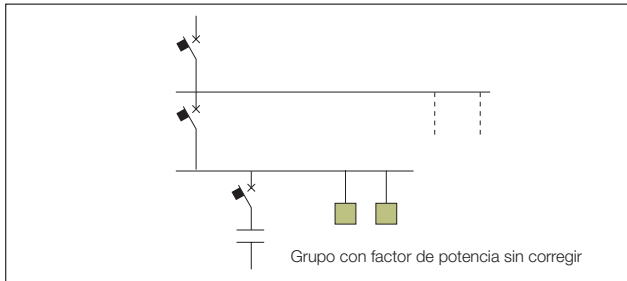
S_r [kVA]	$u_k\%$ [%]	$i_o\%$ [%]	P_{fe} [kW]	P_{cu} [kW]	Q_C [kvar]				
					0	0.25	0.5	0.75	1
Transformador en aceite MT-BT									
50	4	2.9	0.25	1.35	1.4	1.5	1.8	2.3	2.9
100	4	2.5	0.35	2.30	2.5	2.7	3.3	4.3	5.7
160	4	2.3	0.48	3.20	3.6	4	5	6.8	9.2
200	4	2.2	0.55	3.80	4.4	4.8	6.1	8.3	11
250	4	2.1	0.61	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

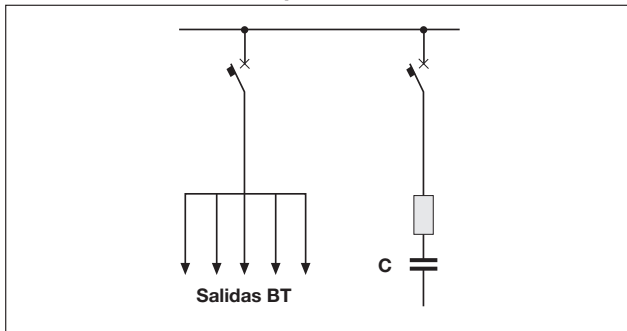


1SDC010029F0001

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

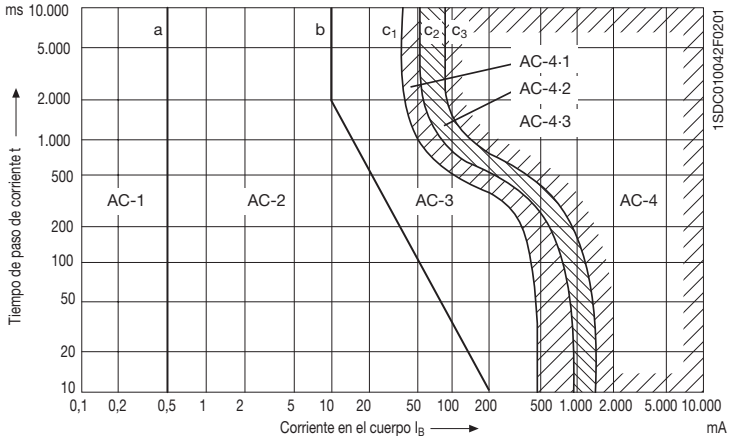
Los peligros que se derivan del contacto de una persona con una parte en tensión son causados por el paso de la corriente por el cuerpo. Los efectos del paso de corriente por el cuerpo humano son:

- **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%.

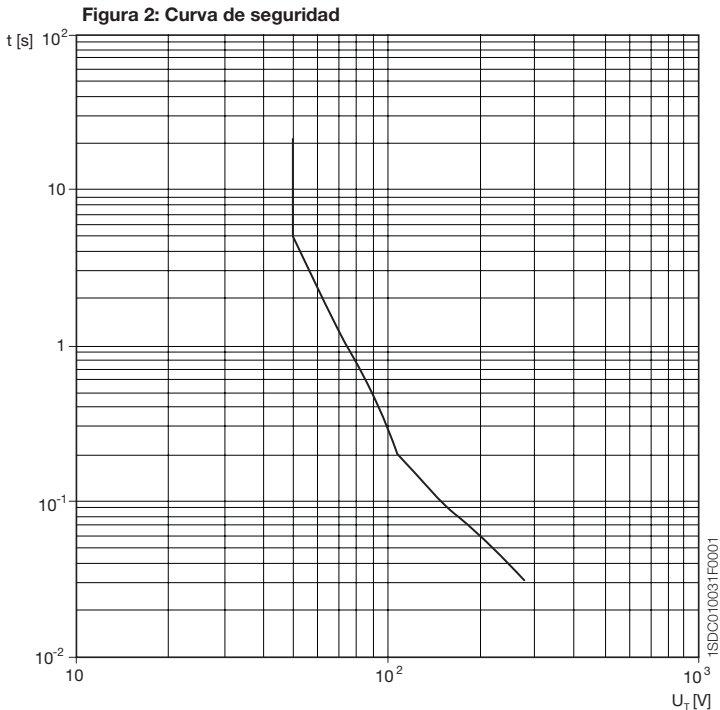
* Para duraciones de paso de corriente inferiores a 10 ms, el límite de corriente que atraviesa el cuerpo por la línea b permanece constante e igual a 200 mA.

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:

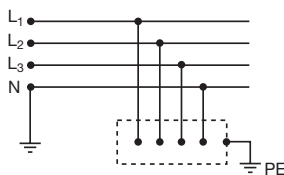
- T: masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación;
- N: masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesto a neutro.

Otras letras (eventuales): se refieren a la situación relativa del conductor neutro y del conductor de protección:

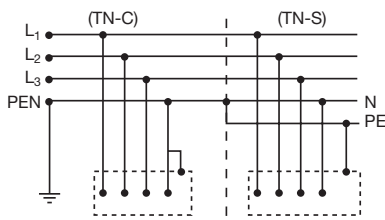
- S: las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados;
- C: las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor PEN).

Hay tres tipos de sistemas de distribución:

Sistema TT



Sistema TN



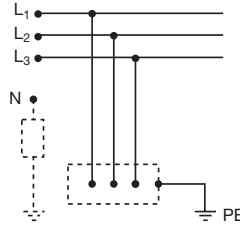
2

1SDC010032F0001

1SDC010033F0001

5 Protección de las personas

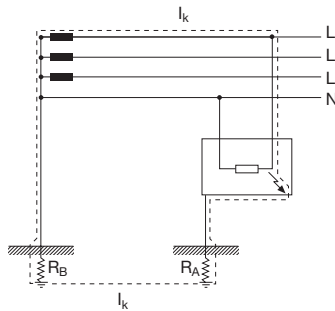
Sistema IT



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.

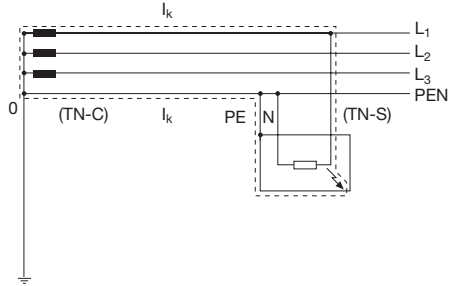
Se consideran tres tipos de sistemas TN según la disposición de los conductores de neutro y de tierra:

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).

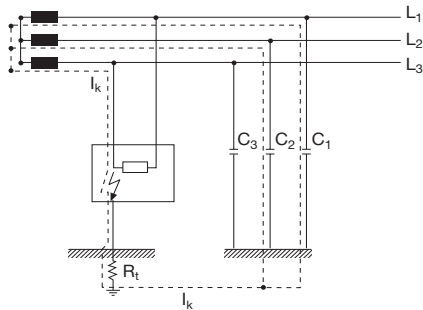
Fig. 2: Falta a tierra en un sistema TN



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

2

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.

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.

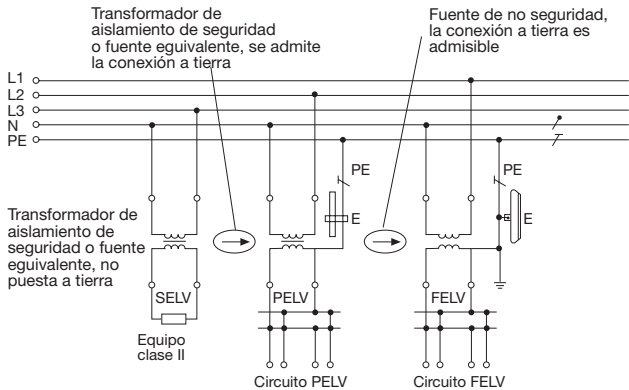
5 Protección de las personas

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 envolventes 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 electrodos de tierra

Nota 1: Los dispositivos de protección contra sobretensiones no están representados en esta figura.

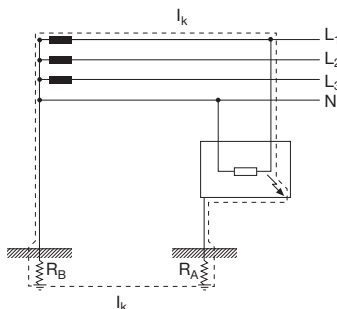
1SDC010043F0201

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:

$$R_t \leq \frac{50}{750} = 0.06 \Omega$$

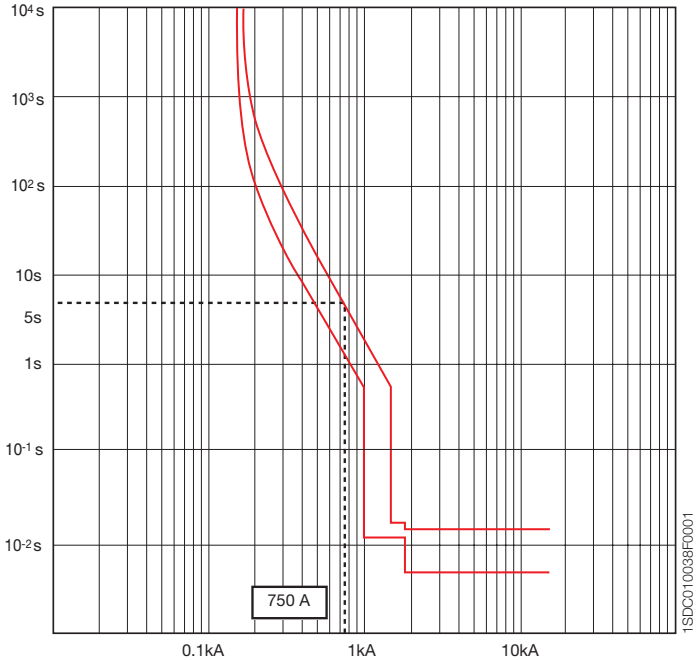
Para asegurar la protección necesaria se deberá realizar una puesta a tierra de $R_t \leq 0,06 \Omega$, valor muy difícil de obtener.

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.

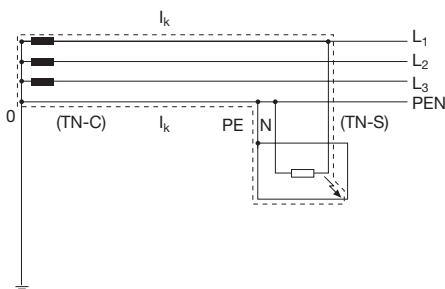
Por consiguiente es aconsejable proteger todas salidas, en una instalación TT, mediante interruptores automáticos diferenciales coordinados con la puesta a tierra, de modo que se puedan obtener las ventajas tanto de una rápida desconexión del circuito cuando ocurra una falta, como la de un sistema de 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:

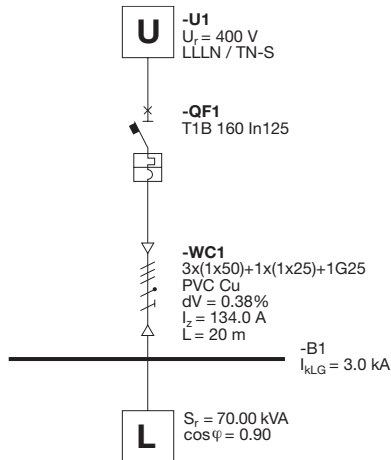
En la instalación representada en la Figura 2 la corriente de falta a tierra es:

$$I_{kLG} = 3 \text{ kA}$$

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



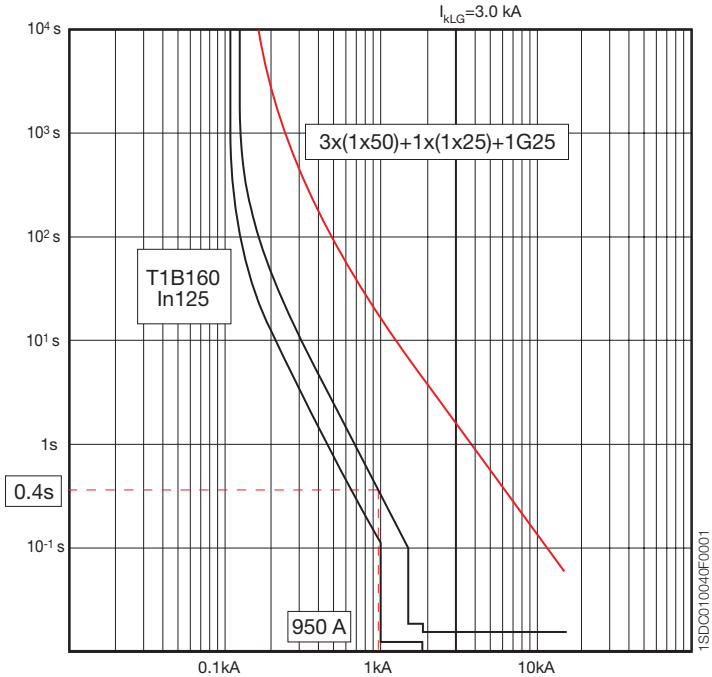
2

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

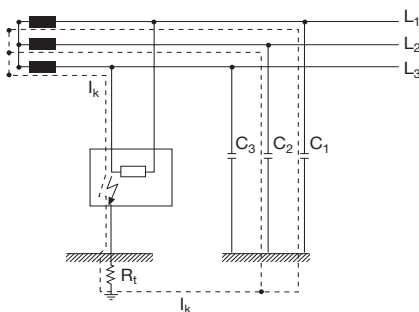


5 Protección de las personas

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 sobretensiones; 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.

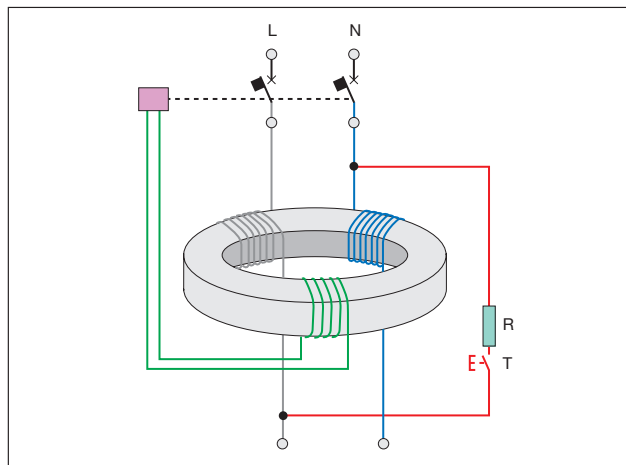
5 Protección de las personas

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.

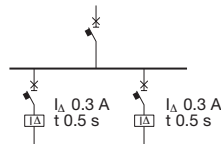
Selectividad entre dispositivos diferenciales

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:

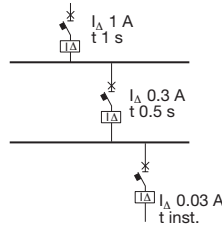
- **selectividad horizontal:** consiste en proteger cada una de las líneas con un interruptor diferencial; de este modo, en caso de falta a tierra, solamente quedará fuera de servicio la línea afectada por la falta, ya que las demás líneas no detectarán ninguna corriente de falta. De todas formas, es 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.

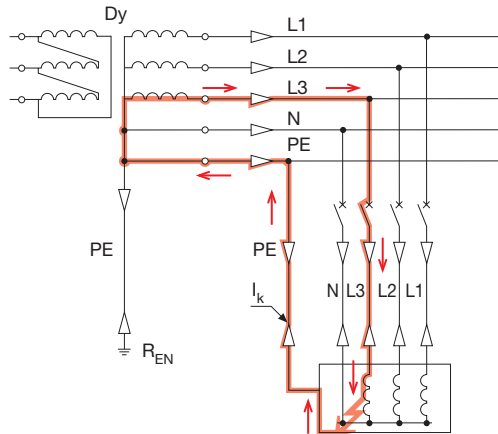
Sistema TN

La fórmula para el cálculo de la corriente de cortocircuito mínima es:

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

y por consiguiente:

$$L = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S}{1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot I_{kmin}} \cdot k_1 \cdot k_2$$



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

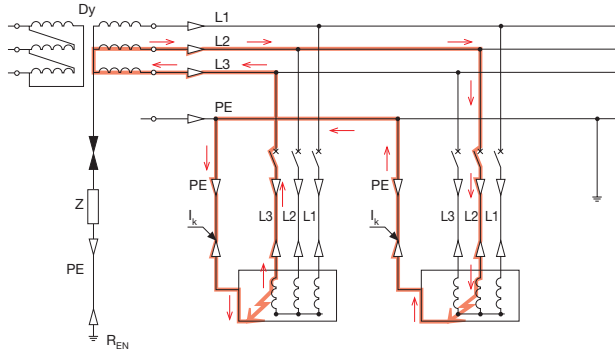
Neutro no distribuido

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

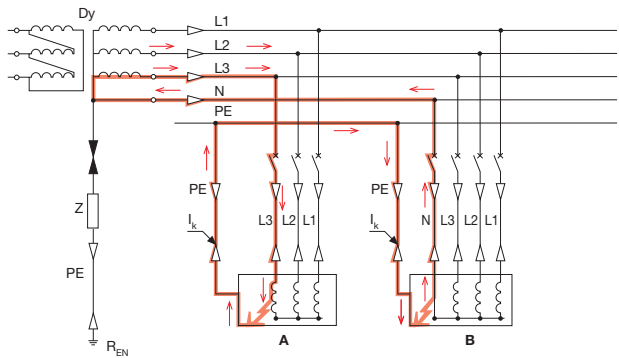
La fórmula es:

$$I_{k\min} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot S_N}{2 \cdot 1.5 \cdot 1.2 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot k_1 \cdot k_2$$

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	10 In	10 In	10 In	10 In	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	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	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	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	500 A	10 In	10 In	10 In	10 In	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	T3	T3	T3	T3	T3	T3
		63	80	100	125	160	200	250
	I ₃	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	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 ₃	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	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	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 3.4: 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	
Is	28	42	56	59	81	84	112	140	154	182	210	224	280	350	364	448	518	560	574	630	700	882	
S	S _{PE}																						
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	
Is	40	60	80	120	160	200	260	320	400	500	640	800	1000	1260	1600	2000	
S	S _{PE}																
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	10 In	10 In	10 In	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	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	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	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	500 A	10 In	10 In	10 In	10 In	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	T3	T3	T3	T3	T3	T3
In		63	80	100	125	160	200	250
I ₃		10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	10 In	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	5...10 In	5...10 In	5...10 In	5...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	5...10 In	5...10 In	5...10 In	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	5.5 In	5.5 In	5.5 In	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	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:

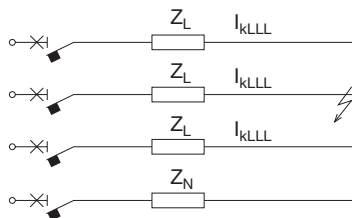
- defecto trifásico
- defecto bifásico
- defecto fase-neutro
- defecto fase-PE.

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

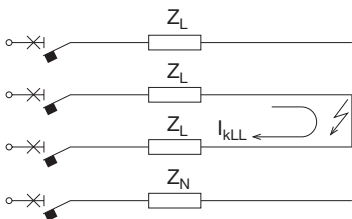


$$I_{kLLL} = \frac{U_f}{\sqrt{3} Z_L}$$

donde

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

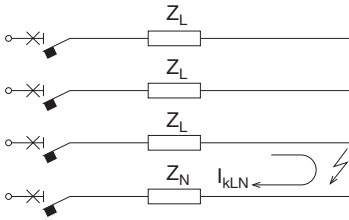
Defecto bifásico



$$I_{kLL} = \frac{U_f}{2Z_L} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{kLLL} = 0.87 I_{kLLL}$$

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):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(2Z_L)} = 0.5 I_{kLLL}$$

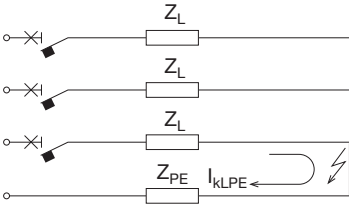
Si $Z_N = 2Z_L$ (sección del neutro mitad de la fase):

$$I_{kLN} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(Z_L + Z_N)} = \frac{U_r}{\sqrt{3}(3Z_L)} = 0.33 I_{kLLL}$$

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:

$$S_{\text{kmot}} = \sqrt{3} \cdot U_r \cdot I_k$$

Valores típicos son:

$$S_{\text{kmot}} = 5-7 S_{\text{mot}}$$

(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_{ktrafo} se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S_{\text{ktrafo}} = \frac{100}{u_k \%} \cdot S_r$$

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_{ktrafo} [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:

$$S_{\text{kcable}} = \frac{U_r^2}{Z_c}$$

donde la impedancia del cable Z_c es:

$$I_{\text{kLLL}} = \frac{U_r}{\sqrt{3} Z_L}$$

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.

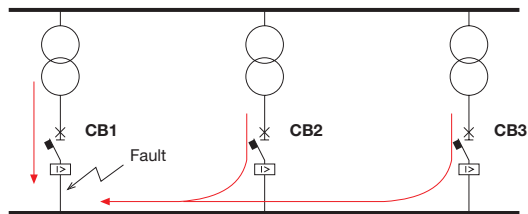
6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

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.

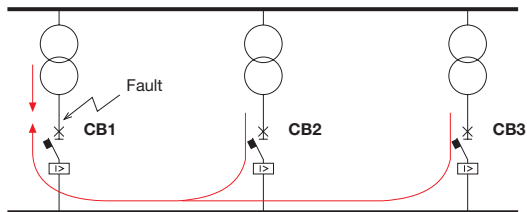
Por ejemplo, en el caso que se indica a continuación, para el interruptor automático CB1 la condición más pesada se presenta cuando el defecto se encuentra inmediatamente aguas arriba del propio interruptor automático. Para determinar el poder de corte del mismo, se deberá considerar el aporte de dos 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:

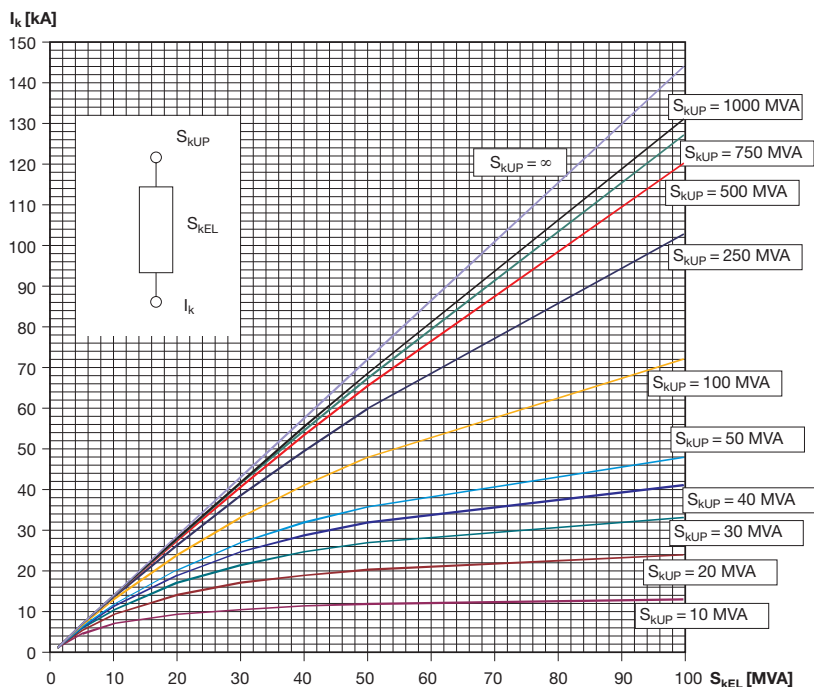
Cortocircuito trifásico
$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

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.

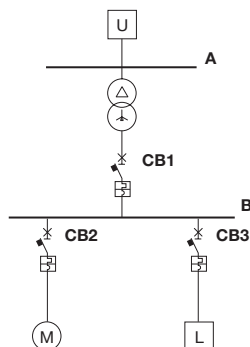
Ejemplo 1

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

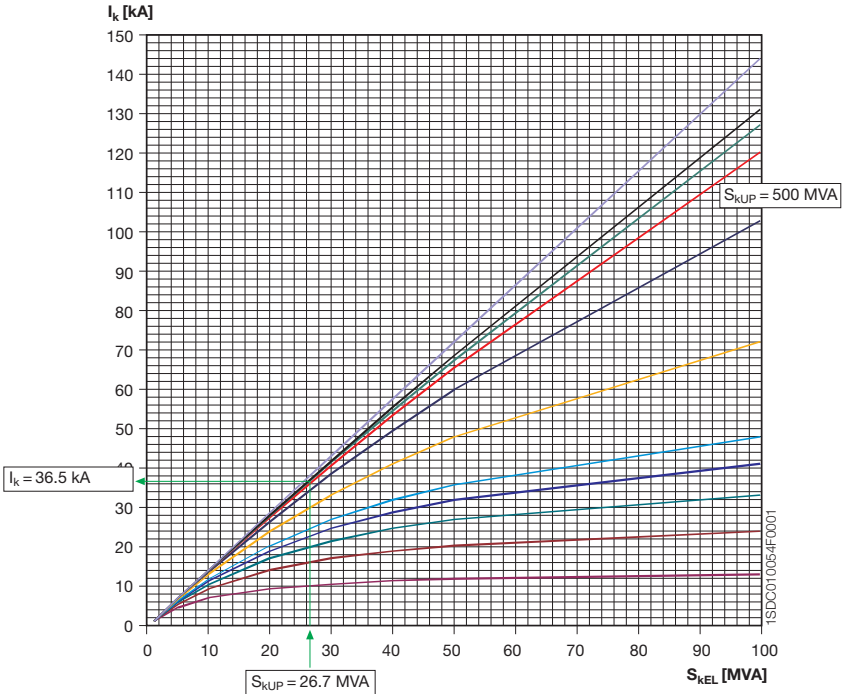
El circuito, visto desde el punto de defecto, consta de la serie de la red y el transformador. Siguiendo las reglas anteriormente enunciadas, la potencia de cortocircuito se determina a través de la siguiente ecuación:

$$S_{kCB1} = \frac{S_{knet} \cdot S_{ktrafo}}{S_{knet} + S_{ktrafo}} = 25.35 \text{ MVA}$$

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)

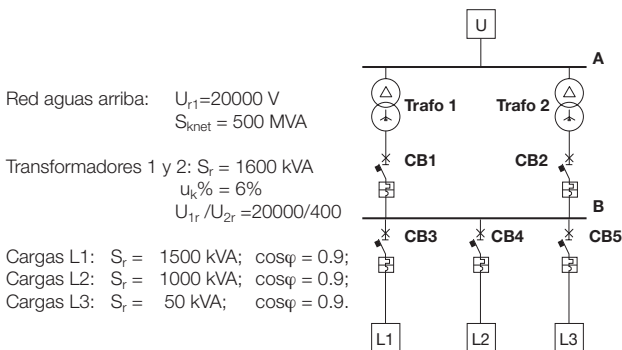
$$S_{kCB3} = S_{kmot} + \frac{1}{\frac{1}{S_{knet}} + \frac{1}{S_{ktrafo}}} = 27.11 \text{ MVA}$$

$$I_{kCB3} = \frac{S_{kCB3}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 39.13 \text{ kA}$$

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	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	2.8	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

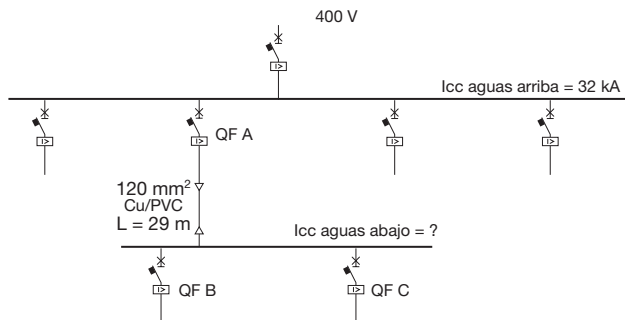
Notas para la utilización de la tabla:

- 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.

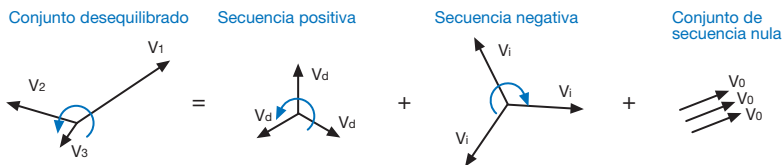
Las redes asimétricas no se pueden reducir al estudio de una red de una sola fase debido a este desequilibrio. En este caso, en el que resulta imposible realizar simplificación alguna, es necesario proceder según los métodos de análisis típicos para la solución de los sistemas eléctricos.

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).

$$\alpha^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

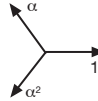
La constante compleja α^2 realiza un giro de -120° .

Algunas propiedades útiles de este conjunto de tres vectores son:

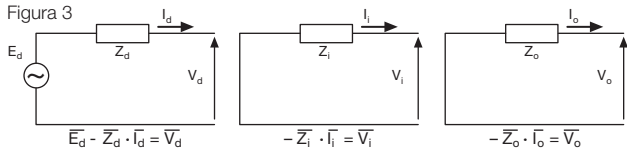
$$1 + \alpha + \alpha^2 = 0$$

$$|\alpha^2 - \alpha| = \sqrt{3}$$

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

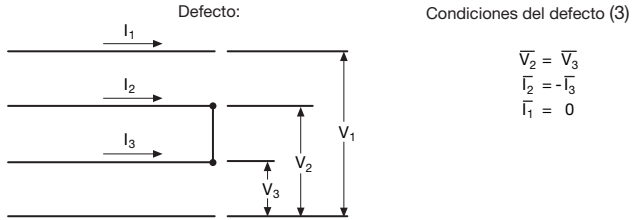
6.5.3 Cálculo de la corriente de cortocircuito con el álgebra de secuencias

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

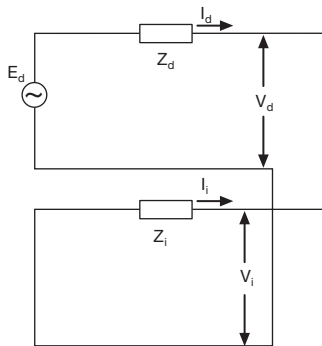


Tomando las condiciones de defecto y la fórmula 1), se obtiene que:

$$\begin{aligned} V_d &= V_i \\ I_d &= -I_i \\ I_o &= 0 \text{ por tanto } V_o = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

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:

$$\bar{V}_1 = \frac{2 \cdot \bar{Z}_1}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1} \cdot \bar{E}_d$$

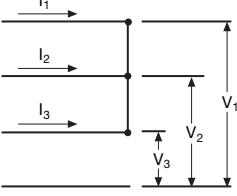
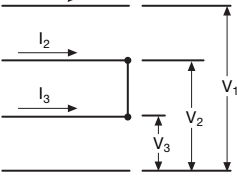
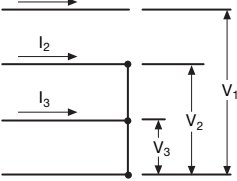
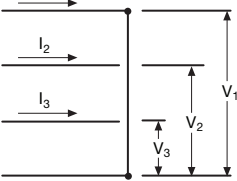
Para las fases afectadas por el defecto, siendo $\bar{V}_d = \bar{V}_i = \frac{\bar{V}_1}{2}$, se obtiene:

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_3 = -\frac{\bar{V}_1}{2} = -\frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_1}$$

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:

$$Z_d = Z_i = Z_T = \frac{uk \%}{100} \cdot \frac{U_r^2}{S_r}$$

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 $X_M = 0.922 \cdot Z_M$

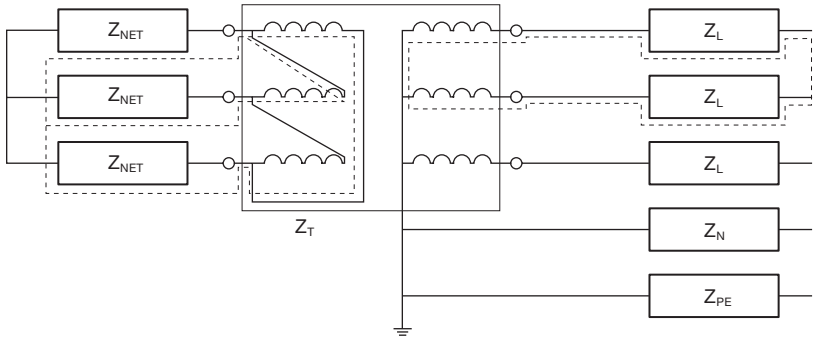
6 Cálculo de la corriente de cortocircuito

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

Fallo trifásico I_{k3}		$I_{k3} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$
Fallo entre fases I_{k2}		$I_{k2} = \frac{U_r}{2 \cdot (Z_{NET} + Z_T + Z_L)}$
Fallo en una fase I_{k1} (fase-neutro o fase a PE)		$I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_{PE} \right)}$ $I_{k1} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot Z_{NET} + Z_T + Z_L + Z_N \right)}$

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 $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE} \text{ (o } Z_N) \rightarrow 0$	Lejos del transformador	Cerca del transformador $Z_L \rightarrow 0, Z_{PE} \text{ (o } Z_N) \rightarrow 0$
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

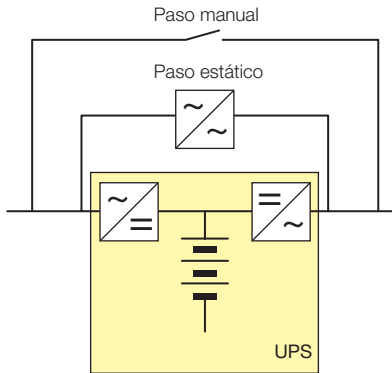
$2 \times I_n$ durante 1 segundo

Normalmente se pueden obtener datos más precisos en la información técnica facilitada por el fabricante.

b) Estado de cortocircuito:

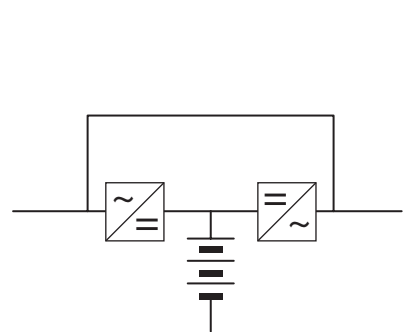
la corriente máxima para la carga está limitada sólo por el circuito del inversor (con un valor de 150 a 200% del valor nominal). El inversor alimenta el cortocircuito durante un determinado periodo de tiempo, normalmente limitado a milisegundos, después del cual la unidad UPS desconecta la carga y la 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

2

Anexo A: Instrumentos de cálculo

A.1 DOCWin

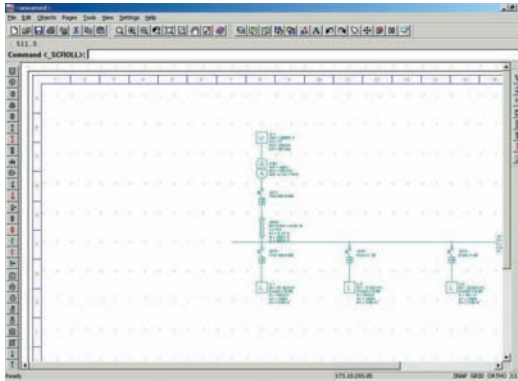
DOCWin es un programa para el dimensionamiento de redes eléctricas, alimentadas en baja tensión o en media tensión.

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

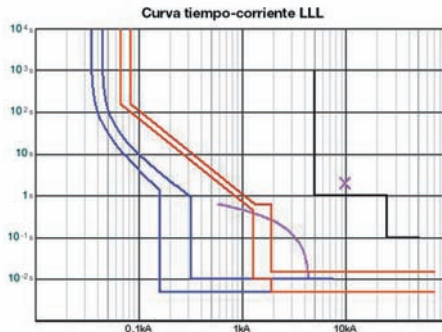
- Gestión de la corrección del factor de potencia local (en los motores) y centralizado, con grupos capacitivos.
- Gestión del factor de simultaneidad en cada nudo de la red y del factor de utilización en las cargas.
- Cálculo de las corrientes de cortocircuito con defecto trifásico, fase-fase, fase-neutro, 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.

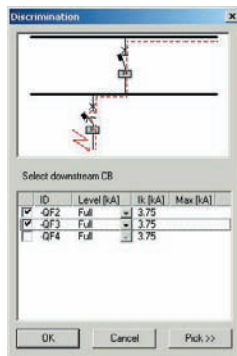


Anexo A: Instrumentos de cálculo

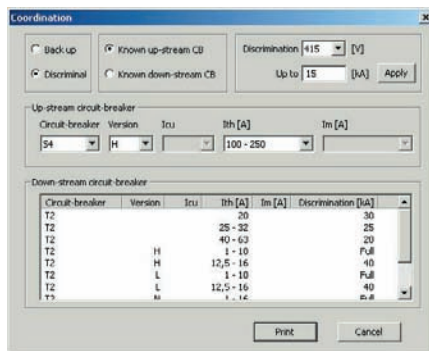
- Se representan las curvas de interruptores automáticos, fusibles, cables, transformadores, motores y generadores.
- Es posible insertar las curvas de la alimentación y de los componentes de media tensión por puntos para comprobar la selectividad de actuación de las protecciones.
- Comprobación de la 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.

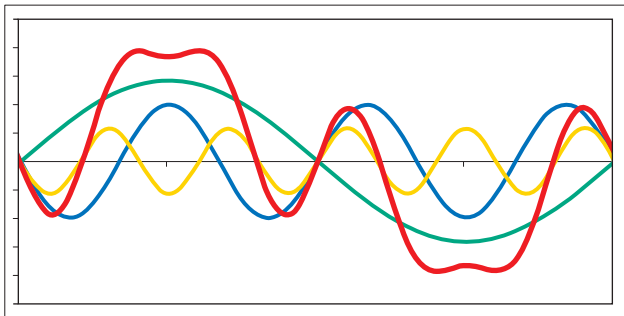
El armónico con frecuencia correspondiente al periodo de la forma de onda original recibe el nombre de fundamental, y el armónico con una frecuencia igual a "n" veces del fundamental se conoce como componente armónico de orden "n".

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:

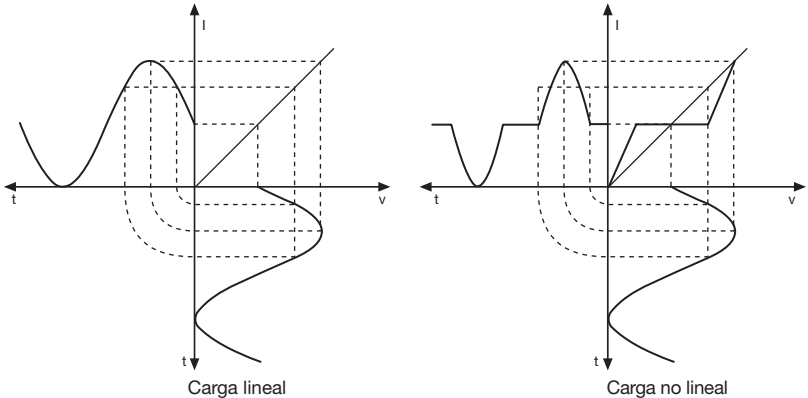
- onda no sinusoidal
- primer armónico (fundamental)
- tercer armónico
- quinto armónico

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:

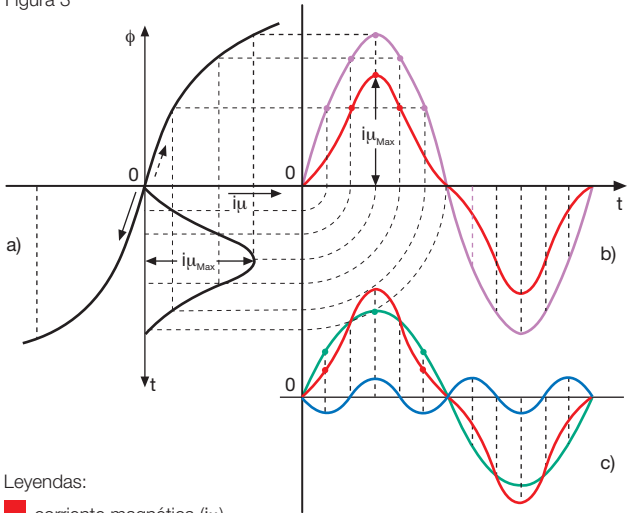
- ordenadores
- lámparas fluorescentes
- convertidores estáticos
- grupos de continuidad
- variadores de velocidad variable
- soldadores

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_m)
- 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:

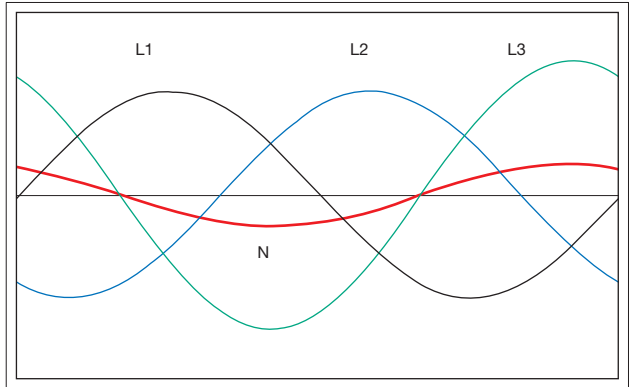
- 4) distorsión de la tensión
- 5) perturbaciones en el par de los motores de inducción

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.

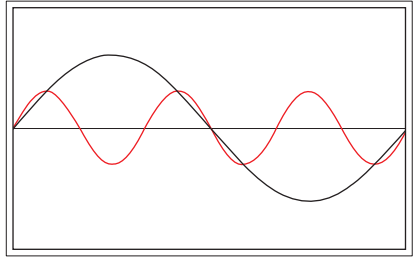
De hecho, aunque las corrientes a una frecuencia fundamental en las tres fases se anulan entre sí, los componentes del tercer armónico, con un periodo igual a una tercera parte del fundamental, esto es, igual al cambio de fase entre las fases (véase la Figura 5), son recíprocos en la fase y, en consecuencia, 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).

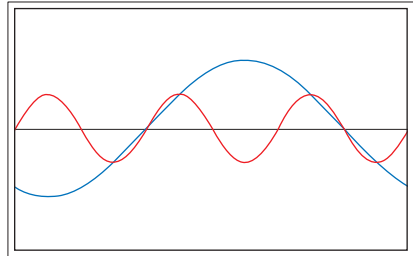
Anexo C: Armónicos

Figura 5

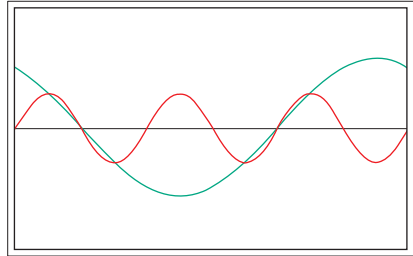
Fase 1:
armónico fundamental y 3^{er} armónico



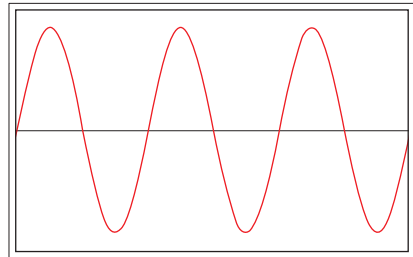
Fase 2:
armónico fundamental y 3^{er} armónico



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.

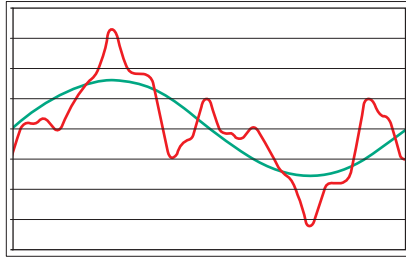
Anexo C: Armónicos

Fórmulas principales

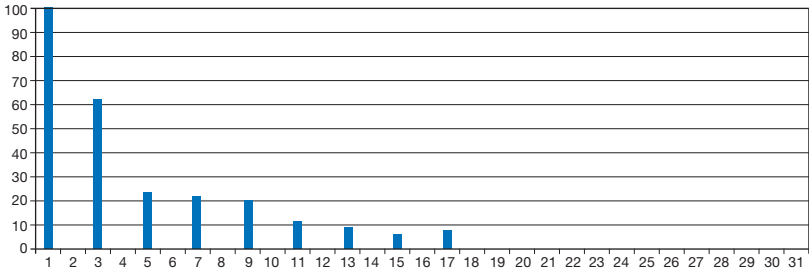
A continuación se indican las definiciones de las cantidades principales utilizadas normalmente en un análisis de armónicos.

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 desnudas 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	braza (fathom)	1 fth = 6 ft = 1.8288 m
				milla	milla	1 milla = 1609.344 m
				mn	milla náutica	1 mn = 1852 m
				yd	yarda	1 yd = 91.44 cm
A	área	m ²	metro cuadrado	a	área	1 a = 10 ² m ²
				ha	hectárea	1 ha = 10 ⁴ m ²
				l	litro	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
V	volumen	m ³	metro cúbico	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
				mill/h	milla por hora	1 mile/h = 0.4470 m/s
				modos	kn	1 kn = 0.5144 m/s
g	aceleración	m/s ²	metros por segundo elevado al cuadrado			
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			$1 H = 1 \Omega \cdot s$

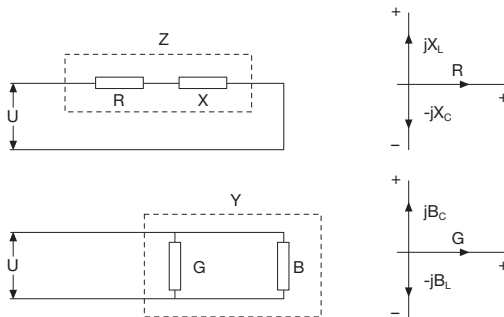
Valores de resistividad, conductividad y coeficiente de temperatura a 20 °C de los principales materiales eléctricos

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

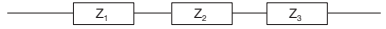
Resistencia de un conductor a la temperatura ϑ	$R_{\vartheta} = \rho_{\vartheta} \cdot \frac{\ell}{S}$
Conductancia de un conductor a la temperatura ϑ	$G_{\vartheta} = \frac{1}{R_{\vartheta}} = \chi_{\vartheta} \cdot \frac{S}{\ell}$
Resistividad de un conductor a la temperatura ϑ	$\rho_{\vartheta} = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (\vartheta - 20)]$
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

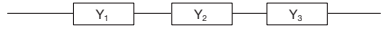
Impedancias en serie

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$



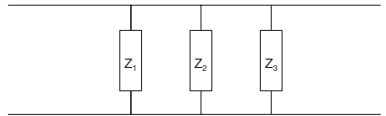
Admitancias en serie

$$Y = \frac{1}{\frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_2} + \frac{1}{Y_3} + \dots}$$



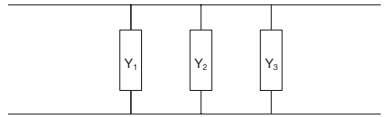
Impedancias en paralelo

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots}$$

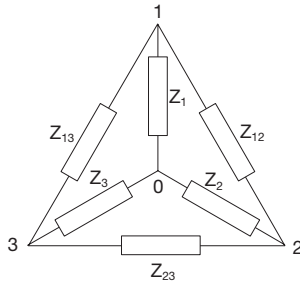


Admitancias en paralelo

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$$



Transformaciones estrella/triángulo y triángulo/estrella



$Y \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow Y$
$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_3}$	$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$
$Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_1}$	$Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$
$Z_{13} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 \cdot Z_1}{Z_2}$	$Z_3 = \frac{Z_{23} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}}$

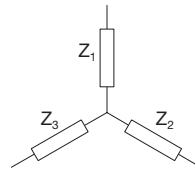
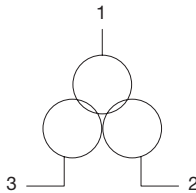
Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

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
- ρ_{θ} 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