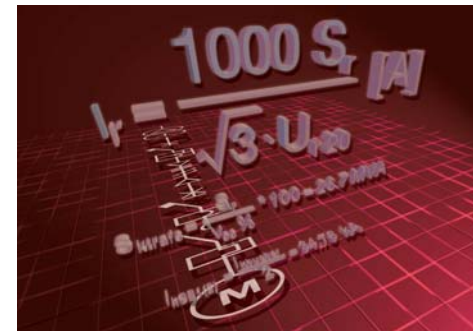


# Manual Técnico de instalaciones eléctricas

Tomo 2

## La instalación eléctrica



Primera edición  
Octubre 2004

# Indice

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

Primera edición en español Octubre 2004

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

Reservados todos los derechos

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Introduction</b>                                                             | 2   |
| <b>1 Normas</b>                                                                 |     |
| 1.1 Aspectos generales                                                          | 3   |
| 1.2 Normas IEC para instalaciones eléctricas                                    | 15  |
| <b>2 Protección de los circuitos de alimentación</b>                            |     |
| 2.1 Introducción                                                                | 22  |
| 2.2 Instalación y dimensionamiento de los cables                                | 25  |
| 2.2.1 Capacidad y modo de instalación                                           | 25  |
| Instalación de cables no enterrados                                             | 31  |
| Instalación de cables en el terreno                                             | 44  |
| 2.2.2 Caídas de tensión                                                         | 56  |
| 2.2.3 Pérdidas por efecto Joule                                                 | 66  |
| 2.3 Protección contra sobrecargas                                               | 67  |
| 2.4 Protección contra cortocircuitos                                            | 70  |
| 2.5 Conductores de neutro y de protección                                       | 78  |
| 2.6 Conductos de barras prefabricados (BTS)                                     | 86  |
| <b>3 Protección de la instalación eléctrica</b>                                 |     |
| 3.1 Protección y maniobra de circuitos de alumbrado                             | 101 |
| 3.2 Protección y maniobra de generadores                                        | 110 |
| 3.3 Protección y maniobra de motores                                            | 115 |
| 3.4 Protección y maniobra de transformadores                                    | 131 |
| <b>4 Corrección del factor de potencia</b>                                      |     |
| 4.1 Aspectos generales                                                          | 146 |
| 4.2 Tipos de corrección del factor de potencia                                  | 152 |
| 4.3 Interruptores para la protección y maniobra de<br>baterías de condensadores | 159 |
| <b>5 Protección de las personas</b>                                             |     |
| 5.1 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano                       | 162 |
| 5.2 Sistemas de distribución                                                    | 165 |
| 5.3 Protección contra contactos directos e indirectos                           | 168 |
| 5.4 Sistema de distribución TT                                                  | 171 |
| 5.5 Sistema de distribución TN                                                  | 174 |
| 5.6 Sistema de distribución IT                                                  | 177 |
| 5.7 Dispositivos diferenciales                                                  | 179 |
| 5.8 Longitud máxima protegida para la seguridad<br>de las personas              | 182 |
| <b>Anexo A: Instrumentos de cálculo</b>                                         |     |
| A.1 Reglas                                                                      | 200 |
| A.2 DOCWin                                                                      | 205 |
| <b>Anexo B: Cálculo de la corriente de empleo <math>I_b</math></b>              | 209 |
| <b>Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito</b>                        | 213 |
| <b>Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables</b>                       | 227 |
| <b>Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas<br/>electrotécnicas</b>   | 230 |

# 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

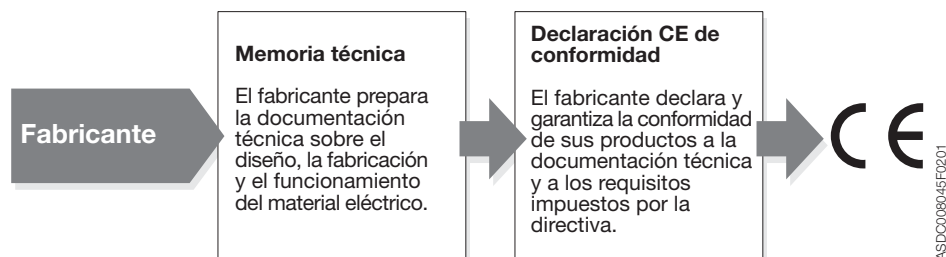
### Marcado CE

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:

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

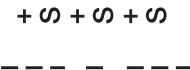
## 1 Normas

| 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 |  | Distintivo BASEC          | Cables                                                                              |

## 1 Normas

| ORIGEN      | Signo gráfico                                                                         | Nombre                                  | Aplicación                                                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REINO UNIDO |    | BEAB<br>marca de seguridad              | Conformidad a las normas británicas para aparatos electrodomésticos                                |
| REINO UNIDO |    | BSI<br>marca de seguridad               | Conformidad a las normas británicas                                                                |
| REINO UNIDO |    | BEAB<br>Kitemark                        | Conformidad a las normas británicas concernientes a seguridad o prestaciones                       |
| EE.UU       |    | Marca UL<br>(UNDERWRITERS LABORATORIES) | Productos eléctricos y no eléctricos                                                               |
| EE.UU       |    | Marca UL<br>(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 | Letter symbols to be used in electrical technology - Part 1: General                                                                                                                                                               |
| IEC 60034-1      | 1999 | Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance                                                                                                                                                                      |
| IEC 60617-DB-12M | 2001 | Graphical symbols for diagrams - 12-month subscription to online database comprising parts 2 to 11 of IEC 60617                                                                                                                    |
| IEC 61082-1      | 1991 | Preparation of documents used in electrotechnology - Part 1: General requirements                                                                                                                                                  |
| IEC 61082-2      | 1993 | Preparation of documents used in electrotechnology - Part 2: Function-oriented diagrams                                                                                                                                            |
| IEC 61082-3      | 1993 | Preparation of documents used in electrotechnology - Part 3: Connection diagrams, tables and lists                                                                                                                                 |
| IEC 61082-4      | 1996 | Preparation of documents used in electrotechnology - Part 4: Location and installation documents                                                                                                                                   |
| IEC 60038        | 1983 | IEC standard voltages                                                                                                                                                                                                              |
| IEC 60664-1      | 2000 | Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests                                                                                                                      |
| IEC 60909-0      | 2001 | Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents                                                                                                                                               |
| IEC 60865-1      | 1993 | Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1: Definitions and calculation methods                                                                                                                                      |
| IEC 60781        | 1989 | Application guide for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems                                                                                                                                          |
| IEC 60076-1      | 2000 | Power transformers - Part 1: General                                                                                                                                                                                               |
| IEC 60076-2      | 1993 | Power transformers - Part 2: Temperature rise                                                                                                                                                                                      |
| IEC 60076-3      | 2000 | Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air                                                                                                                                    |
| IEC 60076-5      | 2000 | Power transformers - Part 5: Ability to withstand short circuit                                                                                                                                                                    |
| IEC/TR 60616     | 1978 | Terminal and tapping markings for power transformers                                                                                                                                                                               |
| IEC 60726        | 1982 | Dry-type power transformers                                                                                                                                                                                                        |
| IEC 60445        | 1999 | Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of equipment terminals and of terminations of certain designated conductors, including general rules for an alphanumeric system |

## 1 Normas

| NORMA         | AÑO  | TÍTULO                                                                                                                                                                                 |
|---------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEC 60073     | 1996 | Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding for indication devices and actuators                                                        |
| IEC 60446     | 1999 | Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of conductors by colours or numerals                                                |
| IEC 60447     | 1993 | Man-machine-interface (MMI) - Actuating principles                                                                                                                                     |
| IEC 60947-1   | 2001 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 1: General rules                                                                                                                         |
| IEC 60947-2   | 2001 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers                                                                                                                      |
| IEC 60947-3   | 2001 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units                                                              |
| IEC 60947-4-1 | 2000 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-1: Contactors and motor-starters – Electromechanical contactors and motor-starters                                                     |
| IEC 60947-4-2 | 2002 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-2: Contactors and motor-starters – AC semiconductor motor controllers and starters                                                     |
| IEC 60947-4-3 | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-3: Contactors and motor-starters – AC semiconductor controllers and contactors for non-motor loads                                     |
| IEC 60947-5-1 | 2000 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-1: Control circuit devices and switching elements - Electromechanical control circuit devices                                          |
| IEC 60947-5-2 | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-2: Control circuit devices and switching elements – Proximity switches                                                                 |
| IEC 60947-5-3 | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-3: Control circuit devices and switching elements – Requirements for proximity devices with defined behaviour under fault conditions   |
| IEC 60947-5-4 | 1996 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5: Control circuit devices and switching elements – Section 4: Method of assessing the performance of low energy contacts. Special tests |
| IEC 60947-5-5 | 1997 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-5: Control circuit devices and switching elements - Electrical emergency stop device with mechanical latching function                 |

## 1 Normas

| NORMA         | AÑO  | TÍTULO                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEC 60947-5-6 | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-6: Control circuit devices and switching elements – DC interface for proximity sensors and switching amplifiers (NAMUR)                                                                              |
| IEC 60947-6-1 | 1998 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 6-1: Multiple function equipment – Automatic transfer switching equipment                                                                                                                              |
| IEC 60947-6-2 | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 6-2: Multiple function equipment - Control and protective switching devices (or equipment) (CPS)                                                                                                       |
| IEC 60947-7-1 | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 7: Ancillary equipment - Section 1: Terminal blocks                                                                                                                                                    |
| IEC 60947-7-2 | 1995 | Low-voltage switchgear and controlgear - Part 7: Ancillary equipment - Section 2: Protective conductor terminal blocks for copper conductors                                                                                                         |
| IEC 60439-1   | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 1: Type-tested and partially type-tested assemblies                                                                                                                                         |
| IEC 60439-2   | 2000 | Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 2: Particular requirements for busbar trunking systems (busways)                                                                                                                            |
| IEC 60439-3   | 2001 | Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 3: Particular requirements for low-voltage switchgear and controlgear assemblies intended to be installed in places where unskilled persons have access for their use - Distribution boards |
| IEC 60439-4   | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 4: Particular requirements for assemblies for construction sites (ACS)                                                                                                                      |
| IEC 60439-5   | 1999 | Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 5: Particular requirements for assemblies intended to be installed outdoors in public places - Cable distribution cabinets (CDCs) for power distribution in networks                        |
| IEC 61095     | 2000 | Electromechanical contactors for household and similar purposes                                                                                                                                                                                      |

## 1 Normas

| NORMA          | AÑO  | TÍTULO                                                                                                                                         |
|----------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEC 60890      | 1987 | A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear |
| IEC 61117      | 1992 | A method for assessing the short-circuit withstand strength of partially type-tested assemblies (PTTA)                                         |
| IEC 60092-303  | 1980 | Electrical installations in ships. Part 303: Equipment - Transformers for power and lighting                                                   |
| IEC 60092-301  | 1980 | Electrical installations in ships. Part 301: Equipment - Generators and motors                                                                 |
| IEC 60092-101  | 1994 | Electrical installations in ships - Part 101: Definitions and general requirements                                                             |
| IEC 60092-401  | 1980 | Electrical installations in ships. Part 401: Installation and test of completed installation                                                   |
| IEC 60092-201  | 1994 | Electrical installations in ships - Part 201: System design - General                                                                          |
| IEC 60092-202  | 1994 | Electrical installations in ships - Part 202: System design - Protection                                                                       |
| IEC 60092-302  | 1997 | Electrical installations in ships - Part 302: Low-voltage switchgear and controlgear assemblies                                                |
| IEC 60092-350  | 2001 | Electrical installations in ships - Part 350: Shipboard power cables - General construction and test requirements                              |
| IEC 60092-352  | 1997 | Electrical installations in ships - Part 352: Choice and installation of cables for low-voltage power systems                                  |
| IEC 60364-5-52 | 2001 | Electrical installations of buildings - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems                             |
| IEC 60227      |      | Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V                                                            |
|                | 1998 | Part 1: General requirements                                                                                                                   |
|                | 1997 | Part 2: Test methods                                                                                                                           |
|                | 1997 | Part 3: Non-sheathed cables for fixed wiring                                                                                                   |
|                | 1997 | Part 4: Sheathed cables for fixed wiring                                                                                                       |
|                | 1998 | Part 5: Flexible cables (cords)                                                                                                                |
|                | 2001 | Part 6: Lift cables and cables for flexible connections                                                                                        |
|                | 1995 | Part 7: Flexible cables screened and unscreened with two or more conductors                                                                    |
| IEC 60228      | 1978 | Conductors of insulated cables                                                                                                                 |
| IEC 60245      |      | Rubber insulated cables - Rated voltages up to and including 450/750 V                                                                         |
|                | 1998 | Part 1: General requirements                                                                                                                   |
|                | 1998 | Part 2: Test methods                                                                                                                           |
|                | 1994 | Part 3: Heat resistant silicone insulated cables                                                                                               |

## 1 Normas

| NORMA         | AÑO  | TÍTULO                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | 1994 | Part 5: Lift cables                                                                                                                                                                                                         |
|               | 1994 | Part 6: Arc welding electrode cables                                                                                                                                                                                        |
|               | 1994 | Part 7: Heat resistant ethylene-vinyl acetate rubber insulated cables                                                                                                                                                       |
|               | 1998 | Part 8: Cords for applications requiring high flexibility                                                                                                                                                                   |
| IEC 60309-2   | 1999 | Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes - Part 2: Dimensional interchangeability requirements for pin and contact-tube accessories                                                                       |
| IEC 61008-1   | 1996 | Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) - Part 1: General rules                                                                           |
| IEC 61008-2-1 | 1990 | Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCB's). Part 2-1: Applicability of the general rules to RCCB's functionally independent of line voltage |
| IEC 61008-2-2 | 1990 | Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCB's). Part 2-2: Applicability of the general rules to RCCB's functionally dependent on line voltage   |
| IEC 61009-1   | 1996 | Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBO's) - Part 1: General rules                                                                             |
| IEC 61009-2-1 | 1991 | Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBO's) Part 2-1: Applicability of the general rules to RCBO's functionally independent of line voltage     |
| IEC 61009-2-2 | 1991 | Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBO's) - Part 2-2: Applicability of the general rules to RCBO's functionally dependent on line voltage     |
| IEC 60670     | 1989 | General requirements for enclosures for accessories for household and similar fixed electrical installations                                                                                                                |
| IEC 60669-2-1 | 2000 | Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2-1: Particular requirements – Electronic switches                                                                                                 |
| IEC 60669-2-2 | 2000 | Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2: Particular requirements – Section 2: Remote-control switches (RCS)                                                                              |
| IEC 606692-3  | 1997 | Switches for household and similar fixed electrical installations - Part 2-3: Particular requirements – Time-delay switches (TDS)                                                                                           |

## 1 Normas

| NORMA          | AÑO         | TÍTULO                                                                                                                                                                   |
|----------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEC 60079-10   | 1995        | Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10: Classification of hazardous areas                                                                          |
| IEC 60079-14   | 1996        | Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 14: Electrical installations in hazardous areas (other than mines)                                             |
| IEC 60079-17   | 1996        | Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 17: Inspection and maintenance of electrical installations in hazardous areas (other than mines)               |
| IEC 60269-1    | 1998        | Low-voltage fuses - Part 1: General requirements                                                                                                                         |
| IEC 60269-2    | 1986        | Low-voltage fuses. Part 2: Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons (fuses mainly for industrial application)                                  |
| IEC 60269-3-1  | 2000        | Low-voltage fuses - Part 3-1: Supplementary requirements for fuses for use by unskilled persons (fuses mainly for household and similar applications) - Sections I to IV |
| IEC 60127-1/10 |             | Miniature fuses -                                                                                                                                                        |
|                | 1999        | Part 1: Definitions for miniature fuses and general requirements for miniature fuse-links                                                                                |
|                | 1989        | Part 2: Cartridge fuse-links                                                                                                                                             |
|                | 1988        | Part 3: Sub-miniature fuse-links                                                                                                                                         |
|                | 1996        | Part 4: Universal Modular Fuse-Links (UMF)                                                                                                                               |
|                | 1988        | Part 5: Guidelines for quality assessment of miniature fuse-links                                                                                                        |
|                | 1994        | Part 6: Fuse-holders for miniature cartridge fuse-links                                                                                                                  |
|                | 2001        | Part 10: User guide for miniature fuses                                                                                                                                  |
| IEC 60730-2-7  | 1990        | Automatic electrical controls for household and similar use. Part 2: Particular requirements for timers and time switches                                                |
| IEC 60364-1    | 2001        | Electrical installations of buildings - Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions                                               |
| IEC 60364-4    | 2001        | Electrical installations of buildings - Part 4: Protection for safety                                                                                                    |
| IEC 60364-5    | 2001...2002 | Electrical installations of buildings - Part 5: Selection and erection of electrical equipment                                                                           |
| IEC 60364-6    | 2001        | Electrical installations of buildings - Part 6: Verification                                                                                                             |
| IEC 60364-7    | 1983...2002 | Electrical installations of buildings. Part 7: Requirements for special installations or locations                                                                       |
| IEC 60529      | 2001        | Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)                                                                                                                   |

## 1 Normas

| NORMA         | AÑO  | TÍTULO                                                                                                                                                                                             |
|---------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEC 61032     | 1997 | Protection of persons and equipment by enclosures - Probes for verification                                                                                                                        |
| IEC 61000-1-1 | 1992 | Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms                                                             |
| IEC 61000-1-2 | 2001 | Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1-2: General - Methodology for the achievement of the functional safety of electrical and electronic equipment with regard to electromagnetic phenomena |
| IEC 61000-1-3 | 2002 | Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1-3: General - The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems                                                                   |

## 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 di-

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

positivo de protección en un tiempo especificado, denominado tiempo convencional.

**Detección de sobreintensidad.** Función que permite establecer que la intensidad de corriente en un circuito supera un valor determinado en un período de tiempo especificado.

**Corriente de fuga** Corriente eléctrica que circula por un camino conductor indeseado.

Corriente de defecto

Corriente que se establece tras un fallo del aislamiento o cuando el aislamiento está cortocircuitado.

#### Sistemas de cableado

**Sistema de cableado.** Conjunto constituido por un cable, cables o barras y las correspondientes partes de sujeción y envolventes de protección.

Circuitos eléctricos

**Circuito eléctrico** (de una instalación). Conjunto de componentes de una instalación alimentada desde un mismo punto y protegida contra las sobreintensidades por un mismo dispositivo(s) de protección.

**Circuito de distribución** (de edificios). Circuito que alimenta un cuadro de distribución.

**Circuito terminal (de edificio).** Circuito conectado directamente con los aparatos utilizadores o los tomacorrientes.

#### Otros equipos eléctricos

**Equipo eléctrico.** Cada componente que se utiliza para la producción, la transformación, la transmisión, la distribución o la utilización de energía eléctrica, tales como máquinas, transformadores, equipos, instrumentos de medida, aparatos de protección, componentes para sistemas de cableado y dispositivos.

**Aparato utilizador.** Componente que transforma la energía eléctrica en otra forma de energía, por ejemplo luminosa, térmica y mecánica.

**Aparamenta** Conjunto de componentes de la instalación destinados a ser incorporados en un circuito eléctrico para realizar una o más de las siguientes funciones: protección, control, seccionamiento y conexión.

**Equipo portátil** Aparato que el usuario puede desplazar para su utilización o que puede mover fácilmente de un lugar a otro mientras está conectado con el circuito de alimentación.

**Equipo manual** Aparato utilizador (móvil) destinado para ser agarrado por la mano durante su uso corriente, en el cual el motor, si existe, forma parte integrante del mismo aparato.

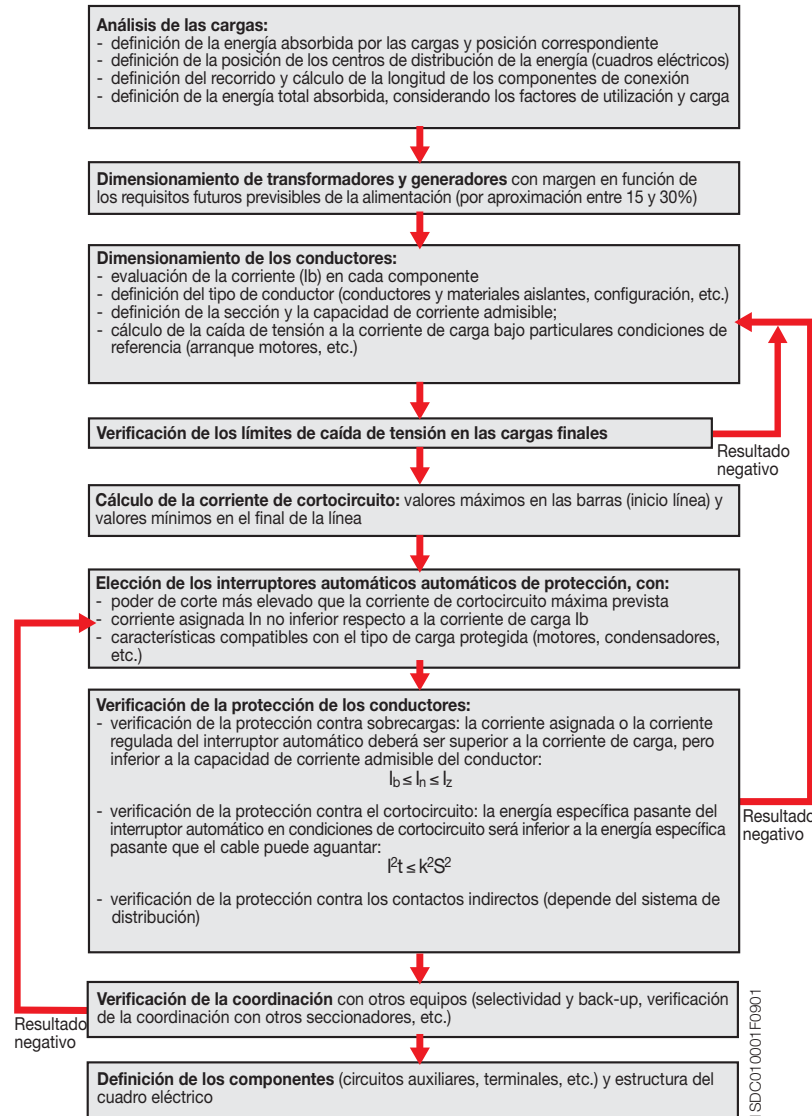
**Equipo fijo** Aparato utilizador fijo o aparato utilizador desprovisto de asideros para el transporte o con un peso tal como para no que no pueda ser transportado fácilmente.

**Equipo fijo no transportable.** Aparato utilizador sujetado con un soporte o fijado firmemente en un lugar específico.

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

### Dimensionamiento de la instalación

Para dimensionar correctamente una instalación, en general, se procede en base la secuencia que se describe en el siguiente diagrama de flujo.



## 2 Protección de los circuitos de alimentación

### 2.2 Instalación y dimensionamiento de los cables

Para un correcto dimensionado de un cable es necesario:

- escoger el tipo de cable y el tipo de instalación;
- escoger la sección de acuerdo con la corriente de carga;
- verificar la caída de tensión.

#### 2.2.1 Capacidad de corriente admisible y sistemas de instalación

##### Elección del tipo de cable

La norma internacional referente a la instalación y al cálculo de la capacidad de corriente admisible de los cables en un entorno doméstico o industrial es la IEC 60364-5-52 *Electrical installations of buildings – Part 5-52 Selection and erection of electrical equipment- Wiring systems*.

Los parámetros para elegir el tipo de cable son:

- el material conductor (cobre o aluminio). La elección está sujeta a exigencias de precio, dimensiones, peso, resistencia a los ambientes agresivos (reactivos químicos o elementos oxidantes). En general, a igualdad de sección, la capacidad de corriente admisible en un conductor de cobre es aproximadamente un 30% superior a la de un conductor de aluminio. A igual sección, un conductor de aluminio tiene una resistencia de aproximadamente un 60% superior y un peso inferior (entre la mitad y un tercio del de uno de cobre);

- el material aislante (ninguno, PVC, XLPE-EPR): el material aislante conlleva una temperatura máxima distinta tanto en condiciones normales como en cortocircuito. Y en consecuencia una elección distinta de la sección (ver capítulo "Protección contra el cortocircuito");

- el tipo de conductor (conductor desnudo, cable unipolar sin cubierta, cable unipolar con cubierta, cable multipolar) se define en función de la resistencia mecánica, del grado de aislamiento y de las dificultades de colocación en obra (curvas, acoplamientos a lo largo del recorrido, presencia de barreras, etc.) requeridas por el sistema de instalación.

La Tabla 1 indica de forma resumida los tipos de conductores permitidos en función de los sistemas de instalación:

**Tabla 1: Elección de los sistemas de cableado**

| Conductores y cables                                                     |               | Sistemas de instalación |                  |       |                                                  |                                  |                                              |                                     |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|------------------|-------|--------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                                          |               | Sin fijación            | Fijación directa | Tubos | Canales (incluidas canales de zócalo y de suelo) | Conductos de sección no circular | Bandejas de Cable escalera Bandejas Soportes | Cables Sobre a aisladores fijadores |
| Conductores desnudos                                                     |               | -                       | -                | -     | -                                                | -                                | -                                            | +                                   |
| Conductores aislados                                                     |               | -                       | -                | +     | +                                                | +                                | -                                            | +                                   |
| Cables con cubierta (incluidos cables armados y con aislamiento mineral) | Cable multip. | +                       | +                | +     | +                                                | +                                | +                                            | 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 mm<sup>2</sup>.

### 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<br>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               |

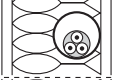
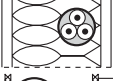
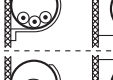
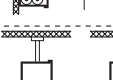
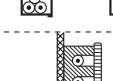
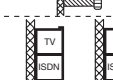
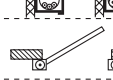
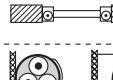
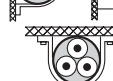
Los números que se indican en las casillas hacen alusión al n° de referencia del sistema de instalación correspondiente en la Tabla 3.

- No admitido

0 No aplicable o no se utiliza en la práctica

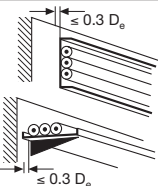
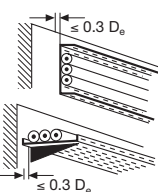
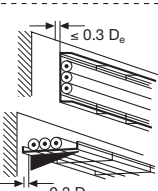
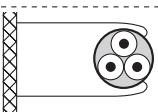
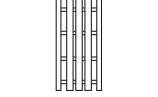
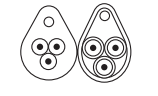
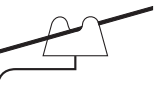
## 2 Protección de los circuitos de alimentación

**Tabla 3: Ejemplos de sistemas de instalación**

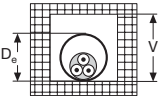
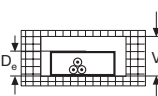
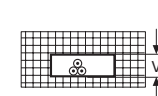
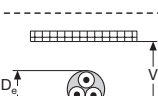
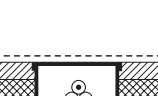
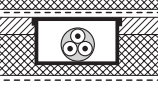
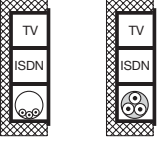
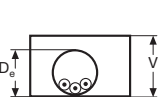
| Tipo de instalación                                                                      | Referencia | Descripción                                                                                                                                                            | Método de referencia de instalación 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 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<br>7     | Conductores aislados o cables unipolares en conductos de sección no circular instalados sobre pared de madera – recorrido horizontal (6) – recorrido vertical (7)      | B1                                                                                              |
|      | 8<br>9     | Conductores aislados en canales para instalaciones suspendidas (8)<br>Cables multiconductores en canales para instalaciones suspendidas (9)                            | B1 (8) or B2 (9)                                                                                |
|     | 12         | Conductores aislados o cables unipolares en molduras                                                                                                                   | A1                                                                                              |
|     | 13<br>14   | Conductores aislados o cables unipolares dentro de zócalos acanalados (13)<br>Cables multiconductores dentro de zócalos acanalados (14)                                | B1 (13) or B2 (14)                                                                              |
|     | 15         | Conductores aislados en conductos o cables uni o multiconductores dentro de los marcos de las puertas                                                                  | A1                                                                                              |
|     | 16         | Conductores aislados en tubos o cables uni o multiconductores, dentro de los marcos de ventanas                                                                        | A1                                                                                              |
|     | 20<br>21   | Cables uni o multipolares:<br>– fijados sobre pared de madera o espaciados 0,3 veces el diámetro del cable (20)<br>– fijados directamente bajo el techo de madera (21) | C                                                                                               |

1SDC010001F0201

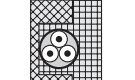
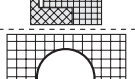
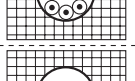
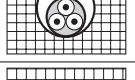
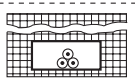
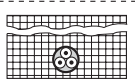
## 2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tipo de instalación                                                                 | Referencia | Descripción                                                                                         | Método de referencia de instalación a utilizar para obtener la capacidad de corriente admisible |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 30         | Sobre bandejas no perforadas <sup>1</sup>                                                           | C                                                                                               |
|    | 31         | Sobre bandejas perforadas <sup>1</sup>                                                              | E o F                                                                                           |
|    | 32         | Sobre soportes <sup>1</sup>                                                                         | 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 <sup>2</sup>                                                     | $1.5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>B1                                        |
|    | 24         | Conductores aislados en conductos de sección no circular en huecos de obra de fábrica <sup>2</sup>                                          | $1.5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>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    | $1.5 D_e \leq V < 5 D_e$<br>B2<br>$5 D_e \leq V < 50 D_e$<br>B1                                 |
|    | 46         | Cables uni o multiconductores: Single-core or multi-core cable:<br>– en falsos techos<br>– en techos suspendidos <sup>1</sup>               | $1.5 D_e \leq V < 5 D_e$<br>B2<br>$5 D_e \leq V < 50 D_e$<br>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<br>53   | Conductores aislados o cables unipolares en zócalos acanalados empotrados (52)<br>Cables multipolares en zócalos acanalados empotrados (53) | B1 (52)<br>o<br>B2 (53)                                                                         |
|  | 54         | Conductores aislados en tubos en canales de obra no ventilados, en recorrido horizontal o vertical <sup>2</sup>                             | $1.5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>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                                                                                               |

<sup>1</sup>D<sub>0</sub> es el diámetro externo del cable multiconductor:

- 2,2 x el diámetro del cable cuando los tres cables unipolares están colocados en trebol, o
- 3 x el diámetro del cable cuando los tres cables unipolares están colocados en plano.

<sup>2</sup>D<sub>0</sub> 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.

## 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:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 = I_0 k_{tot}$$

donde:

- I<sub>0</sub> es la capacidad de corriente admisible al aire a 30 °C del conductor individual
- k<sub>1</sub> es el factor de corrección que debe aplicarse si la temperatura ambiente es diferente de 30 °C
- k<sub>2</sub> 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<sub>1</sub>

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<sub>1</sub> 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) | Aislamiento             |            |                                                             |                                                              |
|--------------------------|-------------------------|------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                          | Aislamiento mineral (a) |            | Cable desnudo o recubierto de PVC expuesto a contacto 70 °C |                                                              |
|                          | PVC                     | XLPE y EPR | Cable desnudo o recubierto de PVC expuesto a contacto 70 °C | Cable desnudo o recubierto de PVC expuesto a contacto 105 °C |
| 10                       | 1.22                    | 1.15       | 1.26                                                        | 1.14                                                         |
| 15                       | 1.17                    | 1.12       | 1.20                                                        | 1.11                                                         |
| 20                       | 1.12                    | 1.08       | 1.14                                                        | 1.07                                                         |
| 25                       | 1.06                    | 1.04       | 1.07                                                        | 1.04                                                         |
| 35                       | 0.94                    | 0.96       | 0.93                                                        | 0.96                                                         |
| 40                       | 0.87                    | 0.91       | 0.85                                                        | 0.92                                                         |
| 45                       | 0.79                    | 0.87       | 0.87                                                        | 0.88                                                         |
| 50                       | 0.71                    | 0.82       | 0.67                                                        | 0.84                                                         |
| 55                       | 0.61                    | 0.76       | 0.57                                                        | 0.80                                                         |
| 60                       | 0.50                    | 0.71       | 0.45                                                        | 0.75                                                         |
| 65                       | –                       | 0.65       | –                                                           | 0.70                                                         |
| 70                       | –                       | 0.58       | –                                                           | 0.65                                                         |
| 75                       | –                       | 0.50       | –                                                           | 0.60                                                         |
| 80                       | –                       | 0.41       | –                                                           | 0.54                                                         |
| 85                       | –                       | –          | –                                                           | 0.47                                                         |
| 90                       | –                       | –          | –                                                           | 0.40                                                         |
| 95                       | –                       | –          | –                                                           | 0.32                                                         |

(a) Para temperaturas ambiente más elevadas, consultar al fabricante.

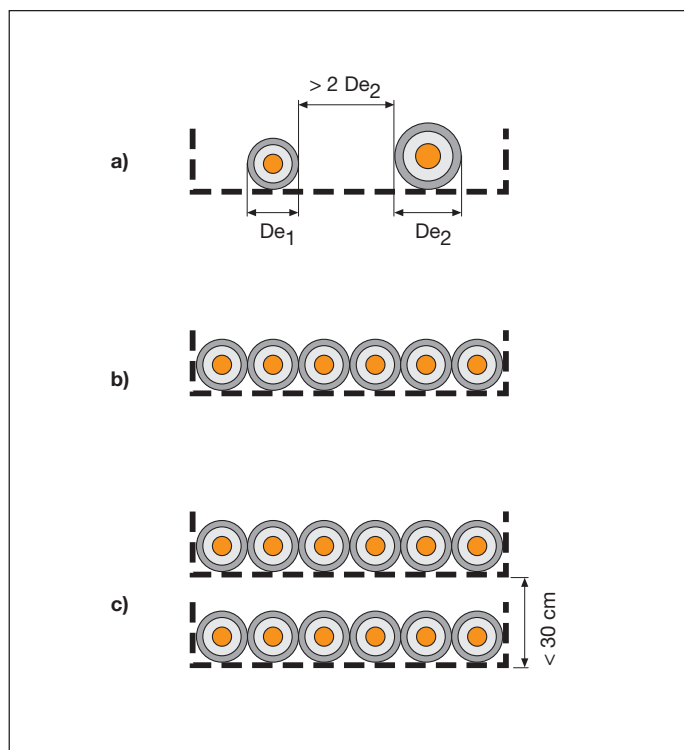
## 2 Protección de los circuitos de alimentación

### Factor de corrección $k_2$

La capacidad de corriente admisible de un cable queda influenciada por la presencia de otros cables instalados en las cercanías. Las condiciones de disipación de calor son distintas si el cable está solo o está instalado junto a otros. El factor  $k_2$  ha sido indicado en la tabla en función de la instalación para cables instalados cercanos entre ellos, en capa o en haz.

Por capa o haz se entiende:

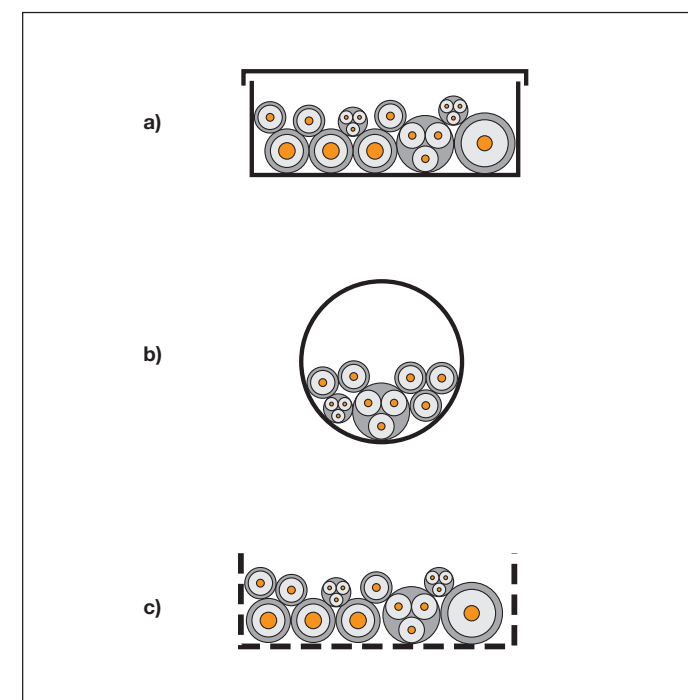
**capa:** conjunto de diversos circuitos realizados con cables instalados adyacentes, espaciados o no, dispuestos en horizontal o en vertical. Los cables en capa se instalan en paredes, bandejas, techos, suelos o bandejas de escalera;



Cables en capas: a) espaciados; b) no espaciados; c) doble capa.

**haz:** conjunto de diversos circuitos realizados con cables no espaciados y no instalados en capa; diversas capas superpuestas en un único soporte (por ej. bandejas) se consideran un haz.

## 2 Protección de los circuitos de alimentación



Cables en haz: a) en canales; b) en tubos; c) en bandejas perforadas.

El factor de corrección  $k_2$  tiene un valor unitario cuando:

- los cables están espaciados:
  - dos cables unipolares, pertenecientes a circuitos distintos, están espaciados cuando la distancia entre ellos supera dos veces el diámetro exterior del cable de mayor sección;
  - dos cables multipolares están espaciados cuando la distancia entre ellos es por lo menos igual al diámetro exterior del cable más grande;
- los cables adyacentes están cargados hasta máximo el 30% de su capacidad de corriente admisible.

Los factores de corrección para cables en haz o en capa han sido calculados suponiendo que los haces estén constituidos por cables similares y uniformemente cargados. Un grupo de cables se considera constituido por cables similares cuando el cálculo de la capacidad de corriente admisible se basa sobre la misma temperatura máxima admisible de funcionamiento y cuando la variación de la sección de los conductores está incluida entre tres secciones adyacentes unificadas (por ejemplo, entre 10 y 25 mm<sup>2</sup>).

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**

| Deben utilizarse con los métodos de referencia y la capacidad de corriente admisible |                                                              |                                           |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                       |      |      |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|------|---------------|
| Posicion                                                                             | Disposición<br>(cables en contacto)                          | Número de circuitos o cables multipolares |      |      |      |      |      |      |      |      |                                                                                       |      |      |               |
|                                                                                      |                                                              | 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 para más de nueve circuitos o cables multipolares |      |      | 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 |                                                                                       |      |      |               |
| 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 |                                                                                       |      |      | Métodos E y F |

Nota 1: Estos factores pueden aplicarse para haz o capa de cables similares, uniformemente cargados.

Nota 2: Donde las distancias horizontales entre cables adyacentes, pertenecientes a circuitos diversos, superan dos 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:

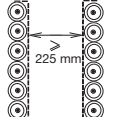
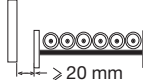
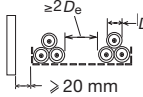
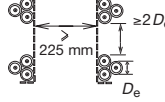
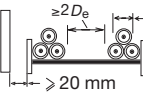
- circuitos de cables unipolares;
- cables multipolares.

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<br>bandejas | Número de circuitos trifásicos<br>(Nota 4) |      |      | Utilizado<br>para                      |
|----------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|------|------|----------------------------------------|
|                                                                |                |                                                                                       |                       | 1                                          | 2    | 3    |                                        |
| Bandejas perforadas<br>(Nota 1)                                | 31             |    | 1                     | 0.98                                       | 0.91 | 0.87 | 3 cables en<br>formación<br>horizontal |
|                                                                |                |                                                                                       | 2                     | 0.96                                       | 0.87 | 0.81 |                                        |
|                                                                |                |                                                                                       | 3                     | 0.95                                       | 0.85 | 0.78 |                                        |
| Bandejas verticales perforadas<br>(Nota 3)                     | 31             |    | 1                     | 0.96                                       | 0.86 | –    | 3 cables en<br>formación<br>vertical   |
|                                                                |                |                                                                                       | 2                     | 0.95                                       | 0.84 | –    |                                        |
| Bandejas de escalera,<br>elemento de soporte, etc.<br>(Nota 2) | 32<br>33<br>34 |    | 1                     | 1.00                                       | 0.97 | 0.96 | 3 cables en<br>formación<br>horizontal |
|                                                                |                |                                                                                       | 2                     | 0.98                                       | 0.93 | 0.89 |                                        |
|                                                                |                |                                                                                       | 3                     | 0.97                                       | 0.90 | 0.86 |                                        |
| Bandejas perforadas<br>(Nota 1)                                | 31             |    | 1                     | 1.00                                       | 0.98 | 0.96 |                                        |
|                                                                |                |                                                                                       | 2                     | 0.97                                       | 0.93 | 0.89 |                                        |
|                                                                |                |                                                                                       | 3                     | 0.96                                       | 0.92 | 0.86 |                                        |
| Bandejas verticales perforadas<br>(Nota 3)                     | 31             |   | 1                     | 1.00                                       | 0.91 | 0.89 | 3 cables en<br>formación en<br>trebol  |
|                                                                |                |                                                                                       | 2                     | 1.00                                       | 0.90 | 0.86 |                                        |
| Bandejas de escalera,<br>elemento de soporte, etc.<br>(Nota 2) | 32<br>33<br>34 |  | 1                     | 1.00                                       | 1.00 | 1.00 |                                        |
|                                                                |                |                                                                                       | 2                     | 0.97                                       | 0.95 | 0.93 |                                        |
|                                                                |                |                                                                                       | 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 | —    |      |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |             |                    |                  |      |      |      |      |      |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                   |                |             |                    |                  |      |      |      |      |      |  |
| Bandejas de escalera, elemento de soporte, etc. (Nota 2)                                                                                                                                                                                                          | 32<br>33<br>34 | 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 |      |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                   |                | 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 determinado 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.                                                                  |                |             |                    |                  |      |      |      |      |      |  |

1SD0010005F0201

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

### En resumen:

Para determinar la sección del cable se debe proceder de la siguiente manera:

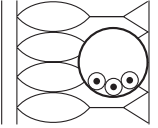
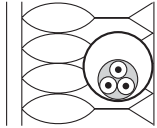
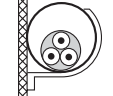
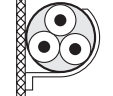
1. identificar el método de instalación en la Tabla 3;
2. determinar a través de la Tabla 4 el factor de corrección  $k_1$  en función del aislante y de la temperatura ambiente;
3. determinar, a través de la Tabla 5 para cables instalados en capa o haz, la Tabla 6 para cables unipolares en capa sobre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

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

5. a través de la Tabla 8 o la Tabla 9, en función del método de instalación, del aislante y del número de conductores activos, se determina la sección del cable con capacidad de corriente admisible  $I_0 \geq I'_b$ ;
6. se calcula la capacidad de corriente admisible efectiva del cable como  $I_Z = I_0 k_1 k_2$ .

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

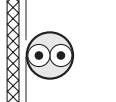
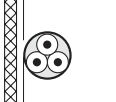
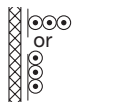
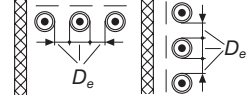
**Tabla 8: Capacidad de corriente admisible de los cables con aislamiento en PVC o EPR/XLPE (método A-B-C)**

|        |  | Método de instalación                                                             |  |          |     |      |      |          |     | A1                                                                                |      |          |      |      |      |          |     | A2                                                                                  |      |          |     |      |      |          |     | B1                                                                                  |      |          |      |      |     |          |     | B2                                                                                  |      |          |     |      |      |     |     | C   |      |  |  |  |  |  |  |
|--------|--|-----------------------------------------------------------------------------------|--|----------|-----|------|------|----------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------|----------|------|------|------|----------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|-----|------|------|----------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|------|------|-----|----------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|-----|------|------|-----|-----|-----|------|--|--|--|--|--|--|
|        |  |  |  |          |     |      |      |          |     |  |      |          |      |      |      |          |     |  |      |          |     |      |      |          |     |  |      |          |      |      |     |          |     |  |      |          |     |      |      |     |     |     |      |  |  |  |  |  |  |
|        |  | Conductor                                                                         |  |          |     | Cu   |      |          |     | Al                                                                                |      |          |      | Cu   |      |          |     | Al                                                                                  |      |          |     | Cu   |      |          |     | Al                                                                                  |      |          |      | Cu   |     |          |     | Al                                                                                  |      |          |     |      |      |     |     |     |      |  |  |  |  |  |  |
|        |  | Aislamiento                                                                       |  | XLPE EPR |     | PVC  |      | XLPE EPR |     | PVC                                                                               |      | XLPE EPR |      | PVC  |      | XLPE EPR |     | PVC                                                                                 |      | XLPE EPR |     | PVC  |      | XLPE EPR |     | PVC                                                                                 |      | XLPE EPR |      | PVC  |     | XLPE EPR |     | PVC                                                                                 |      | XLPE/EPR |     | PVC  |      |     |     |     |      |  |  |  |  |  |  |
| S[mm²] |  | Conductores cargados                                                              |  | 2        | 3   | 2    | 3    | 2        | 3   | 2                                                                                 | 3    | 2        | 3    | 2    | 3    | 2        | 3   | 2                                                                                   | 3    | 2        | 3   | 2    | 3    | 2        | 3   | 2                                                                                   | 3    | 2        | 3    | 2    | 3   | 2        | 3   | 2                                                                                   | 3    | 2        | 3   | 2    | 3    |     |     |     |      |  |  |  |  |  |  |
| 1.5    |  |                                                                                   |  | 19       | 17  | 14.5 | 13.5 |          |     |                                                                                   |      | 18.5     | 16.5 | 14   | 13   |          |     |                                                                                     |      | 23       | 20  | 17.5 | 15.5 |          |     |                                                                                     |      | 22       | 19.5 | 16.5 | 15  |          |     |                                                                                     |      | 24       | 22  | 19.5 | 17.5 |     |     |     |      |  |  |  |  |  |  |
| 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  | 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 |  |  |  |  |  |  |
| 4      |  |                                                                                   |  | 35       | 31  | 26   | 24   | 27       | 25  | 20                                                                                | 18.5 | 33       | 30   | 25   | 23   | 26       | 24  | 20                                                                                  | 17.5 | 42       | 37  | 32   | 28   | 33       | 29  | 25                                                                                  | 22.0 | 40       | 35   | 30   | 27  | 31       | 28  | 24                                                                                  | 21   | 45       | 40  | 36   | 32   | 35  | 32  | 28  | 25   |  |  |  |  |  |  |
| 6      |  |                                                                                   |  | 45       | 40  | 34   | 31   | 35       | 32  | 26                                                                                | 24   | 42       | 38   | 32   | 29   | 33       | 31  | 25                                                                                  | 23   | 54       | 48  | 41   | 36   | 43       | 38  | 32                                                                                  | 28   | 51       | 44   | 38   | 34  | 40       | 35  | 30                                                                                  | 27.0 | 58       | 52  | 46   | 41   | 45  | 41  | 36  | 32   |  |  |  |  |  |  |
| 10     |  |                                                                                   |  | 61       | 54  | 46   | 42   | 48       | 44  | 36                                                                                | 32   | 57       | 51   | 43   | 39   | 45       | 41  | 33                                                                                  | 31   | 75       | 66  | 57   | 50   | 59       | 52  | 44                                                                                  | 39   | 69       | 60   | 52   | 46  | 54       | 48  | 41                                                                                  | 36   | 80       | 71  | 63   | 57   | 62  | 57  | 49  | 44   |  |  |  |  |  |  |
| 16     |  |                                                                                   |  | 81       | 73  | 61   | 56   | 64       | 58  | 48                                                                                | 43   | 76       | 68   | 57   | 52   | 60       | 55  | 44                                                                                  | 41   | 100      | 88  | 76   | 68   | 79       | 71  | 60                                                                                  | 53   | 91       | 80   | 69   | 62  | 72       | 64  | 54                                                                                  | 48   | 107      | 96  | 85   | 76   | 84  | 76  | 66  | 59   |  |  |  |  |  |  |
| 25     |  |                                                                                   |  | 106      | 95  | 80   | 73   | 84       | 76  | 63                                                                                | 57   | 99       | 89   | 75   | 68   | 78       | 71  | 58                                                                                  | 53   | 133      | 117 | 101  | 89   | 105      | 93  | 79                                                                                  | 70   | 119      | 105  | 90   | 80  | 94       | 84  | 71                                                                                  | 62   | 138      | 119 | 112  | 96   | 101 | 90  | 83  | 73   |  |  |  |  |  |  |
| 35     |  |                                                                                   |  | 131      | 117 | 99   | 89   | 103      | 94  | 77                                                                                | 70   | 121      | 109  | 92   | 83   | 96       | 87  | 71                                                                                  | 65   | 164      | 144 | 125  | 110  | 130      | 116 | 97                                                                                  | 86   | 146      | 128  | 111  | 99  | 115      | 103 | 86                                                                                  | 77   | 171      | 147 | 138  | 119  | 126 | 112 | 103 | 90   |  |  |  |  |  |  |
| 50     |  |                                                                                   |  | 158      | 141 | 119  | 108  | 125      | 113 | 93                                                                                | 84   | 145      | 130  | 110  | 99   | 115      | 104 | 86                                                                                  | 78   | 198      | 175 | 151  | 134  | 157      | 140 | 118                                                                                 | 104  | 175      | 154  | 133  | 118 | 138      | 124 | 104                                                                                 | 92   | 209      | 179 | 168  | 144  | 154 | 136 | 125 | 110  |  |  |  |  |  |  |
| 70     |  |                                                                                   |  | 200      | 179 | 151  | 136  | 158      | 142 | 118                                                                               | 107  | 183      | 164  | 139  | 125  | 145      | 131 | 108                                                                                 | 98   | 253      | 222 | 192  | 171  | 200      | 179 | 150                                                                                 | 133  | 221      | 194  | 168  | 149 | 175      | 156 | 131                                                                                 | 116  | 269      | 229 | 213  | 184  | 198 | 174 | 160 | 140  |  |  |  |  |  |  |
| 95     |  |                                                                                   |  | 241      | 216 | 182  | 164  | 191      | 171 | 142                                                                               | 129  | 220      | 197  | 167  | 150  | 175      | 157 | 130                                                                                 | 118  | 306      | 269 | 232  | 207  | 242      | 217 | 181                                                                                 | 161  | 265      | 233  | 201  | 179 | 210      | 188 | 157                                                                                 | 139  | 328      | 278 | 258  | 223  | 241 | 211 | 195 | 170  |  |  |  |  |  |  |
| 120    |  |                                                                                   |  | 278      | 249 | 210  | 188  | 220      | 197 | 164                                                                               | 149  | 253      | 227  | 192  | 172  | 201      | 180 | 150                                                                                 | 135  | 354      | 312 | 269  | 239  | 281      | 251 | 210                                                                                 | 186  | 305      | 268  | 232  | 206 | 242      | 216 | 181                                                                                 | 160  | 382      | 322 | 299  | 259  | 280 | 245 | 226 | 197  |  |  |  |  |  |  |
| 150    |  |                                                                                   |  | 318      | 285 | 240  | 216  | 253      | 226 | 189                                                                               | 170  | 290      | 259  | 219  | 196  | 230      | 206 | 172                                                                                 | 155  |          |     |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |      |      |     |          |     |                                                                                     |      | 441      | 371 | 344  | 299  | 324 | 283 | 261 | 227  |  |  |  |  |  |  |
| 185    |  |                                                                                   |  | 362      | 324 | 273  | 245  | 288      | 256 | 215                                                                               | 194  | 329      | 295  | 248  | 223  | 262      | 233 | 195                                                                                 | 176  |          |     |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |      |      |     |          |     |                                                                                     |      | 506      | 424 | 392  | 341  | 371 | 323 | 298 | 259  |  |  |  |  |  |  |
| 240    |  |                                                                                   |  | 424      | 380 | 321  | 286  | 338      | 300 | 252                                                                               | 227  | 386      | 346  | 291  | 261  | 307      | 273 | 229                                                                                 | 207  |          |     |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |      |      |     |          |     |                                                                                     |      | 599      | 500 | 461  | 403  | 439 | 382 | 352 | 305  |  |  |  |  |  |  |
| 300    |  |                                                                                   |  | 486      | 435 | 367  | 328  | 387      | 344 | 289                                                                               | 261  | 442      | 396  | 334  | 298  | 352      | 313 | 263                                                                                 | 237  |          |     |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |      |      |     |          |     |                                                                                     |      | 693      | 576 | 530  | 464  | 508 | 440 | 406 | 351  |  |  |  |  |  |  |
| 400    |  |                                                                                   |  |          |     |      |      |          |     |                                                                                   |      |          |      |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |     |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |      |      |     |          |     |                                                                                     |      |          |     |      |      |     |     |     |      |  |  |  |  |  |  |
| 500    |  |                                                                                   |  |          |     |      |      |          |     |                                                                                   |      |          |      |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |     |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |      |      |     |          |     |                                                                                     |      |          |     |      |      |     |     |     |      |  |  |  |  |  |  |
| 630    |  |                                                                                   |  |          |     |      |      |          |     |                                                                                   |      |          |      |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |     |      |      |          |     |                                                                                     |      |          |      |      |     |          |     |                                                                                     |      |          |     |      |      |     |     |     |      |  |  |  |  |  |  |

1SD010008F0201

## 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                                                                                 |     |          |      |                                                                                     |     |          |      | G                                                                                   |     |          |      |                         |      |      |      |      |     |     |     |    |
|-----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------|----------|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|------|-------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|----|
|                       |                      |  |     |          |     |  |      |          |      |  |     |          |      |  |     |          |      |  |     |          |      |                         |      |      |      |      |     |     |     |    |
| Conductor             |                      | Cu                                                                                |     | Al       |     | Cu                                                                                |      | Al       |      | Cu                                                                                |     | Al       |      | Cu                                                                                  |     | Al       |      | Cu                                                                                  |     |          |      | Al                      |      |      |      |      |     |     |     |    |
| Aislamiento           |                      | XLPE EPR                                                                          | PVC | XLPE EPR | PVC | XLPE EPR                                                                          | PVC  | XLPE EPR | PVC  | XLPE EPR                                                                          | PVC | XLPE EPR | PVC  | XLPE EPR                                                                            | PVC | XLPE EPR | PVC  | XLPE EPR                                                                            | PVC | XLPE EPR | PVC  | XLPE EPR                | PVC  |      |      |      |     |     |     |    |
| S[mm²]                | Conductores cargados | 2                                                                                 |     |          |     | 3                                                                                 |      |          |      | 2                                                                                 |     |          |      | 3                                                                                   |     |          |      | 3                                                                                   |     |          |      | 3H 3V 3H 3V 3H 3V 3H 3V |      |      |      |      |     |     |     |    |
|                       | 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   | 5                                                                                   | 141 | 114      | 107  | 87                      | 182  | 161  | 146  | 130  | 138 | 122 | 112 | 99 |
|                       | 35                   | 185                                                                               | 148 | 135      | 111 | 158                                                                               | 126  | 120      | 96   | 200                                                                               | 162 | 150      | 122  | 169                                                                                 | 137 | 129      | 105  | 176                                                                                 | 143 | 135      | 109  | 226                     | 201  | 181  | 162  | 172  | 153 | 139 | 124 |    |
|                       | 50                   | 225                                                                               | 180 | 164      | 135 | 192                                                                               | 153  | 146      | 117  | 242                                                                               | 196 | 184      | 149  | 207                                                                                 | 167 | 159      | 128  | 216                                                                                 | 174 | 165      | 133  | 275                     | 246  | 219  | 197  | 210  | 188 | 169 | 152 |    |
|                       | 70                   | 289                                                                               | 232 | 211      | 173 | 246                                                                               | 196  | 187      | 150  | 310                                                                               | 251 | 237      | 192  | 268                                                                                 | 216 | 206      | 166  | 279                                                                                 | 225 | 215      | 173  | 353                     | 318  | 281  | 254  | 271  | 244 | 217 | 196 |    |
|                       | 95                   | 352                                                                               | 282 | 257      | 210 | 298                                                                               | 238  | 227      | 183  | 377                                                                               | 304 | 289      | 235  | 328                                                                                 | 264 | 253      | 203  | 342                                                                                 | 275 | 264      | 212  | 430                     | 389  | 341  | 311  | 332  | 300 | 265 | 241 |    |
|                       | 120                  | 410                                                                               | 328 | 300      | 244 | 346                                                                               | 276  | 263      | 212  | 437                                                                               | 352 | 337      | 273  | 383                                                                                 | 308 | 296      | 237  | 400                                                                                 | 321 | 308      | 247  | 500                     | 454  | 396  | 362  | 387  | 351 | 308 | 282 |    |
|                       | 150                  | 473                                                                               | 379 | 346      | 282 | 399                                                                               | 319  | 304      | 245  | 504                                                                               | 406 | 389      | 316  | 444                                                                                 | 356 | 343      | 274  | 464                                                                                 | 372 | 358      | 287  | 577                     | 527  | 456  | 419  | 448  | 408 | 356 | 327 |    |
|                       | 185                  | 542                                                                               | 434 | 397      | 322 | 456                                                                               | 364  | 347      | 280  | 575                                                                               | 463 | 447      | 363  | 510                                                                                 | 409 | 395      | 315  | 533                                                                                 | 427 | 413      | 330  | 661                     | 605  | 521  | 480  | 515  | 470 | 407 | 376 |    |
| 240                   | 641                  | 514                                                                               | 470 | 380      | 538 | 430                                                                               | 409  | 330      | 679  | 546                                                                               | 530 | 430      | 607  | 485                                                                                 | 471 | 375      | 634  | 507                                                                                 | 492 | 392      | 781  | 719                     | 615  | 569  | 611  | 561  | 482 | 447 |     |    |
| 300                   | 741                  | 593                                                                               | 543 | 439      | 621 | 497                                                                               | 471  | 381      | 783  | 629                                                                               | 613 | 497      | 703  | 561                                                                                 | 547 | 434      | 736  | 587                                                                                 | 571 | 455      | 902  | 833                     | 709  | 659  | 708  | 652  | 557 | 519 |     |    |
| 400                   |                      |                                                                                   |     |          |     |                                                                                   |      |          | 940  | 754                                                                               | 740 | 600      | 823  | 656                                                                                 | 663 | 526      | 868  | 689                                                                                 | 694 | 552      | 1085 | 1008                    | 852  | 795  | 856  | 792  | 671 | 629 |     |    |
| 500                   |                      |                                                                                   |     |          |     |                                                                                   |      |          | 1083 | 868                                                                               | 856 | 694      | 946  | 749                                                                                 | 770 | 610      | 998  | 789                                                                                 | 806 | 640      | 1253 | 1169                    | 982  | 920  | 991  | 921  | 775 | 730 |     |    |
| 630                   |                      |                                                                                   |     |          |     |                                                                                   |      |          | 1254 | 1005                                                                              | 996 | 808      | 1088 | 855                                                                                 | 899 | 711      | 1151 | 905                                                                                 | 942 | 746      | 1454 | 1362                    | 1138 | 1070 | 1154 | 1077 | 900 | 852 |     |    |

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

**Tabla 10: Capacidad de corriente admisible de los cables con aislamiento mineral**

|        | Método de instalación | C                                                     |     |     |                                      |     |     | E o F                                                 |     |     |                                      |     |     | G                                                     |     |                                      |     |  |
|--------|-----------------------|-------------------------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------|-----|-----|-------------------------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------|-----|-----|-------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|--|
|        |                       | Cubierta metálica temperatura 70 °C                   |     |     | Cubierta metálica temperatura 105 °C |     |     | Cubierta metálica temperatura 70 °C                   |     |     | Cubierta metálica temperatura 105 °C |     |     | Cubierta metálica temperatura 70 °C                   |     | Cubierta metálica temperatura 105 °C |     |  |
|        |                       | Cable recubierto en PVC o desnudo expuesto a contacto |     |     | Cable desnudo no expuesto a contacto |     |     | Cable recubierto en PVC o desnudo expuesto a contacto |     |     | Cable desnudo no expuesto a contacto |     |     | Cable recubierto en PVC o desnudo expuesto a contacto |     | Cable desnudo no expuesto a contacto |     |  |
|        |                       |                                                       |     |     |                                      |     |     |                                                       |     |     |                                      |     |     |                                                       |     |                                      |     |  |
| S[mm²] | 2                     | 3                                                     | 3   | 2   | 3                                    | 3   | 2   | 3                                                     | 3   | 2   | 3                                    | 3   | 3   | 3                                                     | 3   | 3                                    | 3   |  |
| 500 V  | 1.5                   | 23                                                    | 19  | 21  | 28                                   | 24  | 27  | 25                                                    | 21  | 23  | 31                                   | 26  | 29  | 26                                                    | 29  | 33                                   | 37  |  |
|        | 2.5                   | 31                                                    | 26  | 29  | 38                                   | 33  | 36  | 33                                                    | 28  | 31  | 41                                   | 35  | 39  | 34                                                    | 39  | 43                                   | 49  |  |
|        | 4                     | 40                                                    | 35  | 38  | 51                                   | 44  | 47  | 44                                                    | 37  | 41  | 54                                   | 46  | 51  | 45                                                    | 51  | 56                                   | 64  |  |
| 750 V  | 1.5                   | 25                                                    | 21  | 23  | 31                                   | 26  | 30  | 26                                                    | 22  | 26  | 33                                   | 28  | 32  | 28                                                    | 32  | 35                                   | 40  |  |
|        | 2.5                   | 34                                                    | 28  | 31  | 42                                   | 35  | 41  | 36                                                    | 30  | 34  | 45                                   | 38  | 43  | 37                                                    | 43  | 47                                   | 54  |  |
|        | 4                     | 45                                                    | 37  | 41  | 55                                   | 47  | 53  | 47                                                    | 40  | 45  | 60                                   | 50  | 56  | 49                                                    | 56  | 61                                   | 70  |  |
|        | 6                     | 57                                                    | 48  | 52  | 70                                   | 59  | 67  | 60                                                    | 51  | 57  | 76                                   | 64  | 71  | 62                                                    | 71  | 78                                   | 89  |  |
|        | 10                    | 77                                                    | 65  | 70  | 96                                   | 81  | 91  | 82                                                    | 69  | 77  | 104                                  | 87  | 96  | 84                                                    | 95  | 105                                  | 120 |  |
|        | 16                    | 102                                                   | 86  | 92  | 127                                  | 107 | 119 | 109                                                   | 92  | 102 | 137                                  | 115 | 127 | 110                                                   | 125 | 137                                  | 157 |  |
|        | 25                    | 133                                                   | 112 | 120 | 166                                  | 140 | 154 | 142                                                   | 120 | 132 | 179                                  | 150 | 164 | 142                                                   | 162 | 178                                  | 204 |  |
|        | 35                    | 163                                                   | 137 | 147 | 203                                  | 171 | 187 | 174                                                   | 147 | 161 | 220                                  | 184 | 200 | 173                                                   | 197 | 216                                  | 248 |  |
|        | 50                    | 202                                                   | 169 | 181 | 251                                  | 212 | 230 | 215                                                   | 182 | 198 | 272                                  | 228 | 247 | 213                                                   | 242 | 266                                  | 304 |  |
|        | 70                    | 247                                                   | 207 | 221 | 307                                  | 260 | 280 | 264                                                   | 223 | 241 | 333                                  | 279 | 300 | 259                                                   | 294 | 323                                  | 370 |  |
|        | 95                    | 296                                                   | 249 | 264 | 369                                  | 312 | 334 | 317                                                   | 267 | 289 | 400                                  | 335 | 359 | 309                                                   | 351 | 385                                  | 441 |  |
|        | 120                   | 340                                                   | 286 | 303 | 424                                  | 359 | 383 | 364                                                   | 308 | 331 | 460                                  | 385 | 411 | 353                                                   | 402 | 441                                  | 505 |  |
|        | 150                   | 388                                                   | 327 | 346 | 485                                  | 410 | 435 | 416                                                   | 352 | 377 | 526                                  | 441 | 469 | 400                                                   | 454 | 498                                  | 565 |  |
|        | 185                   | 440                                                   | 371 | 392 | 550                                  | 465 | 492 | 472                                                   | 399 | 426 | 596                                  | 500 | 530 | 446                                                   | 507 | 557                                  | 629 |  |
| 240    | 514                   | 434                                                   | 457 | 643 | 544                                  | 572 | 552 | 466                                                   | 496 | 697 | 584                                  | 617 | 497 | 565                                                   | 624 | 704                                  |     |  |

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

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:

$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3 = I_0 k_{\text{tot}}$$

donde:

- $I_0$  es la capacidad de corriente admisible ordinaria de cada conductor para instalación en el terreno a 20 °C
- $k_1$  es el factor de corrección que debe aplicarse si la temperatura del terreno es diferente de 20 °C;
- $k_2$  es el factor de corrección para los cables adyacentes;
- $k_3$  es factor de corrección que debe aplicarse si la resistividad térmica del terreno es diferente del valor de referencia de 2,5 Km/W.

#### Factor de corrección $k_1$

La capacidad de corriente admisible de los cables enterrados se refiere a una temperatura del terreno de 20 °C. Si la temperatura del terreno es diferente, deberá aplicarse el factor de corrección  $k_1$  que se indica en la Tabla 10 en función del material aislante.

**Tabla 11: Factor de corrección para temperatura ambiente del terreno diferente de 20°C**

| Temperatura del terreno<br>°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 | Nula (cables en contacto) | Un diámetro de cable | Distancia de cable a cable (a) |        |       |
|---------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------------|--------|-------|
|                     |                           |                      | 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



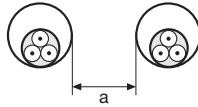
NOTA: Los valores facilitados se refieren a una profundidad de instalación de 0.7 m y a una resistividad térmica del terreno de 2.5 K·m/W

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

**Tabla 13: Factor de reducción para cables multipolares en tubos enterrados**

| Número de circuitos | Nula (cables en contacto) | Distancia de cable a cable (a) |       |       |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|-------|-------|
|                     |                           | 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 | Nula (tubos en contacto) | Distancia de tubo a tubo (a) |       |       |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------|-------|
|                                                     |                          | 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:

$$k_2'' = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

donde:

$n$  es el número de circuitos en el conducto.

### Factor de corrección $k_3$

La resistividad térmica del terreno influye en la disipación de calor del cable. Un terreno con una baja resistividad térmica facilita la disipación de calor contrariamente a lo que ocurre para un terreno con una resistividad térmica elevada. La Norma IEC 60364-5-52 indica como valor de referencia 2.5 K·m/W.

**Tabla 15: Factores de corrección para resistividad térmica del terreno diferente de 2.5 K·m/W**

| Resistividad térmica K·m/W | 1    | 1.5 | 2    | 2.5 | 3    |
|----------------------------|------|-----|------|-----|------|
| Factor de corrección       | 1.18 | 1.1 | 1.05 | 1   | 0.96 |

Nota 1: la precisión total de los factores de corrección es  $\pm 5\%$ .

Nota 2: Los factores de corrección se aplican a cables con instalación en tubos enterrados; para los cables enterrados directamente en el terreno, los factores de corrección con resistividad térmica inferior a 2.5 K·m /W serán más elevados. Si se requirieran valores más puntuales, es posible calcularlos con los métodos que se indican en la norma IEC 60287.

Nota 3: Los factores de corrección pueden aplicarse a tubos enterrados con profundidad de hasta 0.8 m.

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

### En resumen

Para determinar la sección del cable se debe proceder de la siguiente manera:

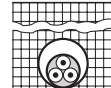
1. determinar a través de la Tabla 10 el factor de corrección  $k_1$  en función del aislante y de la temperatura ambiente;
2. determinar a través de la Tabla 11, la Tabla 12, la Tabla 13 o utilizando la fórmula indicada en el caso de grupos de cables no similares, el factor de corrección  $k_2$  en función de la distancia entre los cables o entre los conductos;
3. determinar a través de la Tabla 14 el factor  $k_3$  en correspondencia con la resistividad térmica del terreno;
4. obtener el valor de la corriente  $I'_b$  dividiendo la corriente de empleo  $I_b$  (o la corriente asignada del dispositivo de protección) por el producto de los factores de corrección que acaban de calcularse:

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

5. a través de la Tabla 15, determinar la sección del cable en correspondencia con una capacidad de corriente admisible  $I_0 \geq I'_b$  en función del método de instalación, del aislante, del número de conductores activos;
6. calcular la capacidad de corriente admisible del cable como

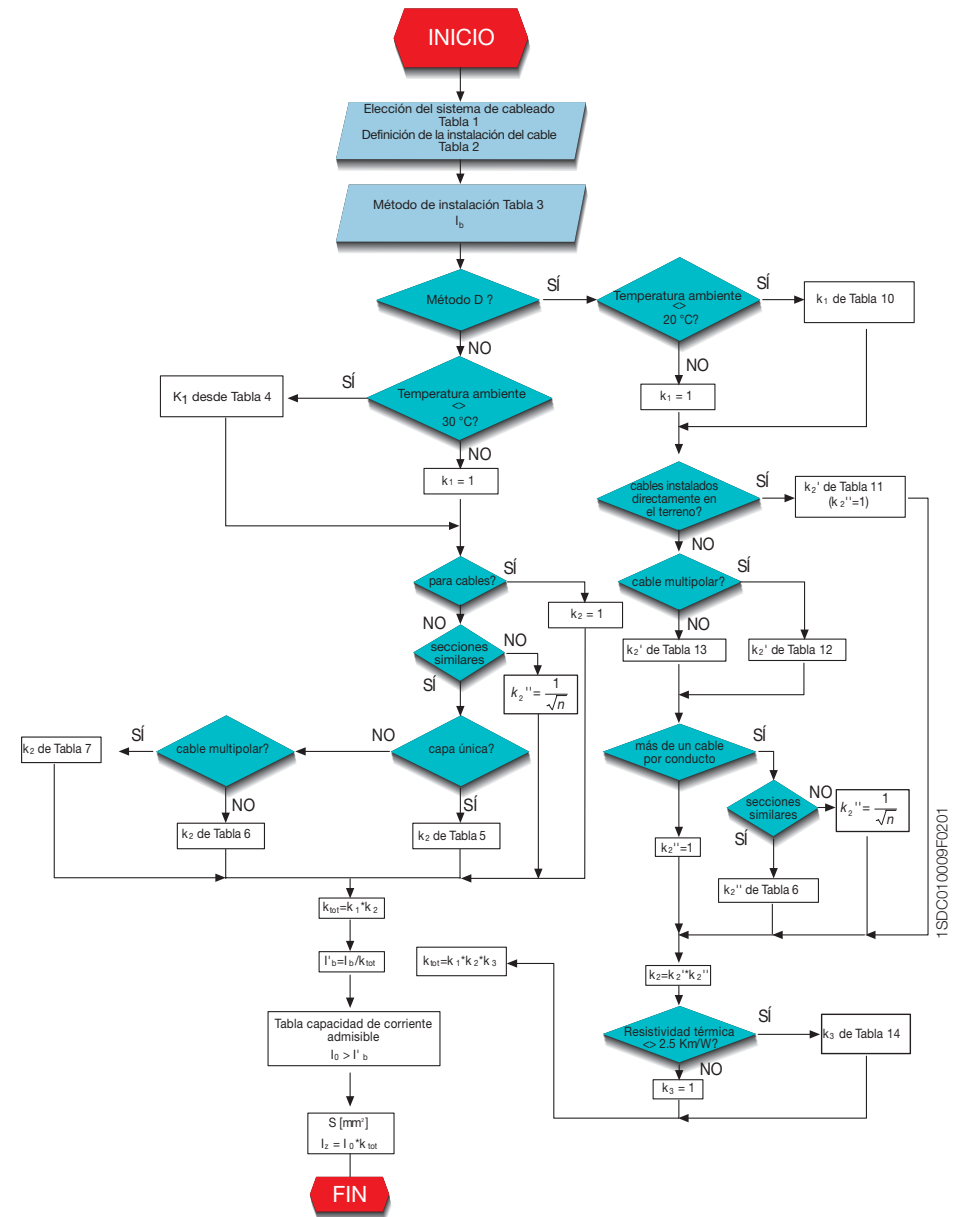
$$I_z = I_0 k_1 k_2 k_3$$

Tabla 16: Capacidad de corriente admisible de los cables enterrados

|        | Método de instalación | D                                                                                  |     |     |     |          |     |     |      |
|--------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|------|
|        |                       |  |     |     |     |          |     |     |      |
|        | Conductor             | Cu                                                                                 |     |     |     | Al       |     |     |      |
|        | Aislamiento           | XLPE EPR                                                                           |     | PVC |     | XLPE EPR |     | PVC |      |
|        |                       |                                                                                    |     |     |     |          |     |     |      |
| S[mm²] | 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  |

1SDC010008F0201

## 2 Protección de los circuitos de alimentación



1SDC010008F0201

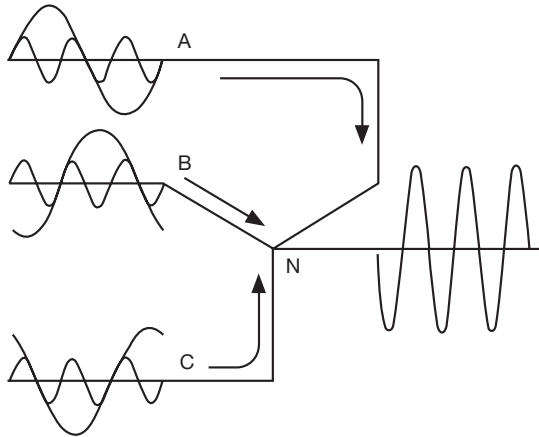
2 Protección de los circuitos de alimentación

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

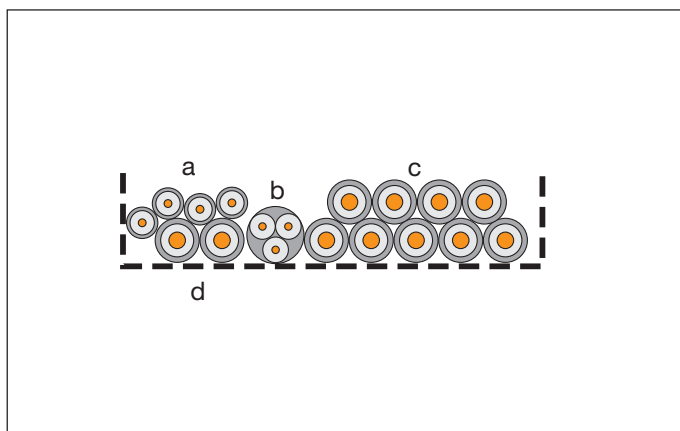
### Ejemplo de dimensionamiento de un cable en un circuito trifásico equilibrado en ausencia de armónicos

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 mm<sup>2</sup>;
  - b) circuito trifásico constituido por 1 cable multipolar 1x(3x50) mm<sup>2</sup>;
  - c) circuito trifásico constituido por 9 cables unipolares (3 por fase) 9x95 mm<sup>2</sup>;
  - d) circuito monofásico constituido por 2 cables unipolares 2x70 mm<sup>2</sup>.



1SDC010008F0001

## 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  $I'_b$ :

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = \frac{100}{0.87 \cdot 0.54} = 212.85 \text{ A}$$

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  $I_0 \geq I'_b = 212.85 \text{ A}$ . Un cable con sección de 95 mm<sup>2</sup>, 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  $I_z = 238 \cdot 0.87 \cdot 0.54 = 111.81 \text{ A}$

## 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  $I'_b$ :

$$I'_b = \frac{I_b}{k_1 k_2} = 115 \text{ A}$$

## 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  $I_0 \geq I'_b = 115 \text{ A}$ . Un cable con sección de 35 mm<sup>2</sup>, bajo las condiciones de referencia, tiene una capacidad de 126 A.

La capacidad de corriente admisible efectiva del cable es  $I_z = 126 \text{ A}$ , 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<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> 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 absoción 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:

$$\Delta U = kZ I_b = k l_b \frac{L}{n} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) [V] \quad (1)$$

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  $I_z$  de la conducción
- $L [km]$  es la longitud de la línea
- $n$  es el número de los conductores en paralelo por fase
- $r [\Omega/km]$  es la resistencia de cada cable por kilómetro
- $x [\Omega/km]$  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<br>[mm <sup>2</sup> ] | Cable unipolar       |         | Cable bipolar/tripolar |         |
|-------------------------|----------------------|---------|------------------------|---------|
|                         | r[Ω/km]<br>@ 80 [°C] | x[Ω/km] | r[Ω/km]<br>@ 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<br>[mm <sup>2</sup> ] | Cable unipolar       |         | Cable bipolar/tripolar |         |
|-------------------------|----------------------|---------|------------------------|---------|
|                         | r[Ω/km]<br>@ 80 [°C] | x[Ω/km] | r[Ω/km]<br>@ 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 <sup>2</sup> ] | Cable unipolar<br>$\cos\varphi = 1$ |           | Cable bipolar<br>Monofásico | Cable tripolar<br>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 <sup>2</sup> ] | Cable unipolar<br>$\cos\varphi = 0.9$ |           | Cable bipolar<br>Monofásico | Cable tripolar<br>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[mm²] | cosφ = 0.85    |           |               |                |
|--------|----------------|-----------|---------------|----------------|
|        | Cable unipolar |           | Cable bipolar | Cable tripolar |
|        | Monofásico     | 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[mm²] | cosφ = 0.8     |           |               |                |
|--------|----------------|-----------|---------------|----------------|
|        | Cable unipolar |           | Cable bipolar | Cable tripolar |
|        | Monofásico     | 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[mm²] | cos φ = 0.75   |           |               |                |
|--------|----------------|-----------|---------------|----------------|
|        | Cable unipolar |           | Cable bipolar | Cable tripolar |
|        | Monofásico     | 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[mm²] | cosφ = 1       |           |               |                |
|--------|----------------|-----------|---------------|----------------|
|        | Cable unipolar |           | Cable bipolar | Cable tripolar |
|        | Monofásico     | 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[mm²] | cosφ = 0.9     |           |               |                |
|--------|----------------|-----------|---------------|----------------|
|        | Cable unipolar |           | Cable bipolar | Cable tripolar |
|        | Monofásico     | 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

| cosφ = 0.85 |                |           |               |                |
|-------------|----------------|-----------|---------------|----------------|
| S[mm²]      | Cable unipolar |           | Cable bipolar | Cable tripolar |
|             | Monofásico     | 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[mm²] | Cable unipolar |           | Cable bipolar | Cable tripolar |
|--------|----------------|-----------|---------------|----------------|
|        | Monofásico     | Trifásico | Monofásico    | Trifásico      |
|        | cosφ = 0.8     |           |               |                |
| 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[mm²] | cosφ = 0.75    |           |               |                |
|--------|----------------|-----------|---------------|----------------|
|        | Cable unipolar |           | Cable bipolar | Cable tripolar |
|        | Monofásico     | Trifásico | Monofásico    | Trifásico      |
| 1.5    | 36.80          | 31.87     | 37.47         | 32.45          |
| 2.5    | 22.23          | 19.25     | 22.58         | 19.56          |
| 4      | 13.95          | 12.08     | 14.17         | 12.27          |
| 6      | 9.35           | 8.09      | 9.47          | 8.20           |
| 10     | 5.69           | 4.93      | 5.72          | 4.96           |
| 16     | 3.63           | 3.15      | 3.64          | 3.15           |
| 25     | 2.34           | 2.02      | 2.35          | 2.03           |
| 35     | 1.72           | 1.49      | 1.72          | 1.49           |
| 50     | 1.30           | 1.13      | 1.30          | 1.12           |
| 70     | 0.94           | 0.81      | 0.92          | 0.80           |
| 95     | 0.71           | 0.62      | 0.70          | 0.60           |
| 120    | 0.59           | 0.51      | 0.57          | 0.49           |
| 150    | 0.50           | 0.43      | 0.49          | 0.42           |
| 185    | 0.42           | 0.37      | 0.41          | 0.35           |
| 240    | 0.35           | 0.31      | 0.34          | 0.29           |
| 300    | 0.31           | 0.27      | 0.29          | 0.25           |

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

### Ejemplo 1

Se pretende calcular la caída de tensión en una línea trifásica que presenta los siguientes datos:

- tensión asignada: 400 V
- longitud de la línea: 25 m
- formación de la línea: cable de cobre unipolar 3x50 mm<sup>2</sup>
- 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 mm<sup>2</sup>, se lee una caída de tensión  $\Delta U_x$  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) mm<sup>2</sup>
- 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 mm<sup>2</sup>, se lee una caída de tensión  $\Delta U_x$  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  $\Delta U_x$  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<sup>2</sup>, se lee una caída de tensión por amperio y por kilómetro equivalente a 3.60 [V/(A·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:

$$\Delta U_{x\text{máx}} = \frac{\Delta u\% \cdot U_r}{100 \cdot I_b \cdot L} = \frac{2\% \cdot 400}{100 \cdot 56 \cdot 0.14} = 1.02 \text{ V/(A} \cdot \text{km)}$$

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

A través de la Tabla 4 puede escogerse una sección de 50 mm<sup>2</sup>. 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<br>[mm <sup>2</sup> ] | 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

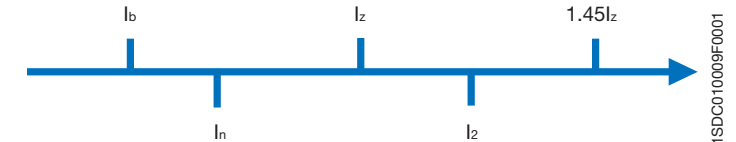
La norma IEC 60364-4-43 "Electrical installation of buildings - Protection against overcurrent" especifica que se realice la coordinación entre los conductores y los dispositivos de protección contra sobrecargas (generalmente puestos al inicio de la conducción que debe protegerse), de modo que se cumplan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

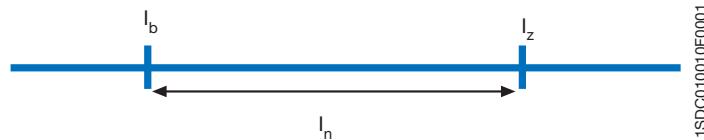
Si el dispositivo de protección es un fusible, se deberá comprobar también la ecuación (2), ya que la norma IEC 60269-2-1 "Low-voltage fuses" para los fusibles establece que una corriente de  $1.6 \cdot I_n$  provocará automáticamente la fusión del fusible; en este caso, la ecuación (2) se convertirá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

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

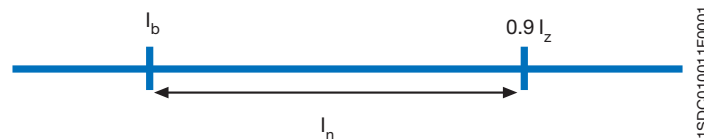
**Resumiendo:** realizando la protección contra las sobrecargas con un fusible, se deberá cumplir con la siguiente ecuación:

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

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  $I_n125$ ; 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  $I_n160$ ; 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  $I_n200$ ; 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  $I_n125$

## 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<sup>2</sup>]; 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<br>≤300 mm <sup>2</sup> | PVC<br>>300 mm <sup>2</sup> | EPR<br>XLPE | Rubber<br>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 <sup>a</sup> |
| Aluminio                                                                                                                                                                                                                                                                  | 76                          | 68                          | 94          | 93              | -       | -                    |
| Juntas soldadas con estaño en conductores de cobre                                                                                                                                                                                                                        | 115                         | -                           | -           | -               | -       | -                    |
| <sup>a</sup> Este valor debe utilizarse para cables desnudos expuestos al contacto                                                                                                                                                                                        |                             |                             |             |                 |         |                      |
| Nota 1: Se están estudiando otros valores de $k$ para:<br>- pequeños conductores (en particular, para secciones inferiores a 10 mm <sup>2</sup> )<br>- duración del cortocircuito superior a 5 seg<br>- otros tipos de unión en los conductores<br>- conductores desnudos |                             |                             |             |                 |         |                      |
| Nota 2: La corriente asignada del dispositivo de protección contra el cortocircuito puede ser superior a la capacidad del cable.                                                                                                                                          |                             |                             |             |                 |         |                      |
| Nota 3: Los valores referidos se basan en la norma IEC 60724.                                                                                                                                                                                                             |                             |                             |             |                 |         |                      |

1SDC010010F0201

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

En la Tabla 2 se indican los valores de energía específica admisible por los cables en función de la sección, del material conductor y del tipo de aislante, calculados utilizando los parámetros de la Tabla 1.

Tabla 2: Valores de energía específica admisible por los cables  
 $k^2S^2$  [(kA)<sup>2</sup> s]

|          |        | Secciones [mm <sup>2</sup> ] |                       |                       |                       |                       |      |                      |                      |
|----------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|----------------------|----------------------|
| Cable    | k      | 1.5                          | 2.5                   | 4                     | 6                     | 10                    | 16   | 25                   | 35                   |
| PVC      | Cu 115 | 2.98·10 <sup>-2</sup>        | 8.27·10 <sup>-2</sup> | 2.12·10 <sup>-1</sup> | 4.76·10 <sup>-1</sup> | 1.32                  | 3.39 | 8.27                 | 1.62·10 <sup>1</sup> |
|          | Al 76  | 1.30·10 <sup>-2</sup>        | 3.61·10 <sup>-2</sup> | 9.24·10 <sup>-2</sup> | 2.08·10 <sup>-1</sup> | 5.78·10 <sup>-1</sup> | 1.48 | 3.61                 | 7.08                 |
| EPR/XLPE | Cu 143 | 4.60·10 <sup>-2</sup>        | 1.28·10 <sup>-1</sup> | 3.27·10 <sup>-1</sup> | 7.36·10 <sup>-1</sup> | 2.04                  | 5.23 | 1.28·10 <sup>1</sup> | 2.51·10 <sup>1</sup> |
|          | Al 94  | 1.99·10 <sup>-2</sup>        | 5.52·10 <sup>-2</sup> | 1.41·10 <sup>-1</sup> | 3.18·10 <sup>-1</sup> | 8.84·10 <sup>-1</sup> | 2.26 | 5.52                 | 1.08·10 <sup>1</sup> |
| Caucho   | Cu 141 | 4.47·10 <sup>-2</sup>        | 1.24·10 <sup>-1</sup> | 3.18·10 <sup>-1</sup> | 7.16·10 <sup>-1</sup> | 1.99                  | 5.09 | 1.24·10 <sup>1</sup> | 2.44·10 <sup>1</sup> |
|          | Al 93  | 1.95·10 <sup>-2</sup>        | 5.41·10 <sup>-2</sup> | 1.38·10 <sup>-1</sup> | 3.11·10 <sup>-1</sup> | 8.65·10 <sup>-1</sup> | 2.21 | 5.41                 | 1.06·10 <sup>1</sup> |

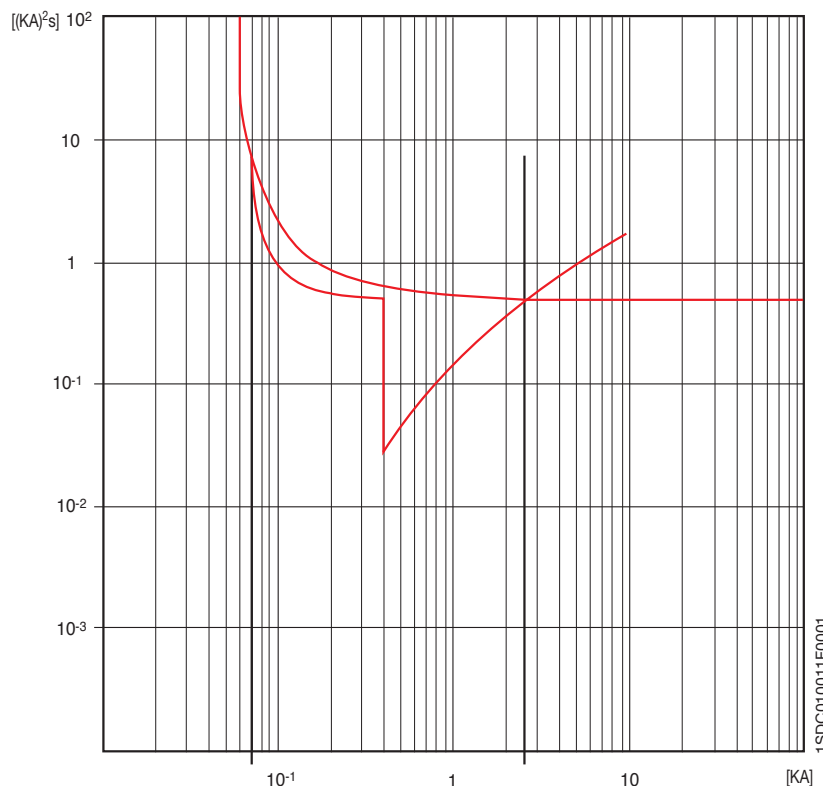
  

|          |        | Secciones [mm <sup>2</sup> ] |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|----------|--------|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Cable    | k      | 50                           | 70                   | 95                   | 120                  | 150                  | 185                  | 240                  | 300                  |
| PVC      | Cu 115 | 3.31·10 <sup>1</sup>         | 6.48·10 <sup>1</sup> | 1.19·10 <sup>2</sup> | 1.90·10 <sup>2</sup> | 2.98·10 <sup>2</sup> | 4.53·10 <sup>2</sup> | 7.62·10 <sup>2</sup> | 1.19·10 <sup>3</sup> |
|          | Al 76  | 1.44·10 <sup>1</sup>         | 2.83·10 <sup>1</sup> | 5.21·10 <sup>1</sup> | 8.32·10 <sup>1</sup> | 1.30·10 <sup>2</sup> | 1.98·10 <sup>2</sup> | 3.33·10 <sup>2</sup> | 5.20·10 <sup>2</sup> |
| EPR/XLPE | Cu 143 | 5.11·10 <sup>1</sup>         | 1.00·10 <sup>2</sup> | 1.85·10 <sup>2</sup> | 2.94·10 <sup>2</sup> | 4.60·10 <sup>2</sup> | 7.00·10 <sup>2</sup> | 1.18·10 <sup>3</sup> | 1.84·10 <sup>3</sup> |
|          | Al 94  | 2.21·10 <sup>1</sup>         | 4.33·10 <sup>1</sup> | 7.97·10 <sup>1</sup> | 1.27·10 <sup>2</sup> | 1.99·10 <sup>2</sup> | 3.02·10 <sup>2</sup> | 5.09·10 <sup>2</sup> | 7.95·10 <sup>2</sup> |
| G2       | Cu 141 | 4.97·10 <sup>1</sup>         | 9.74·10 <sup>1</sup> | 1.79·10 <sup>2</sup> | 2.86·10 <sup>2</sup> | 4.47·10 <sup>2</sup> | 6.80·10 <sup>2</sup> | 1.15·10 <sup>3</sup> | 1.79·10 <sup>3</sup> |
|          | Al 93  | 2.16·10 <sup>1</sup>         | 4.24·10 <sup>1</sup> | 7.81·10 <sup>1</sup> | 1.25·10 <sup>2</sup> | 1.95·10 <sup>2</sup> | 2.96·10 <sup>2</sup> | 4.98·10 <sup>2</sup> | 7.78·10 <sup>2</sup> |

1SDC010002F0901

La ecuación (1) debe cumplirse para toda la longitud del cable. Dada la particular forma de la curva de energía específica pasante de un interruptor automático, en general es suficiente verificar la fórmula (1) sólo para el valor máximo y el valor mínimo de corriente de cortocircuito que pueda presentarse en el conductor. El valor máximo por lo general es el valor de la corriente de cortocircuito trifásica que se tiene al inicio de la línea, mientras que el valor mínimo es el valor de la corriente de cortocircuito fase-neutro (fase-fase si el neutro no está distribuido) o fase-tierra al final de la conducción.

## 2 Protección de los circuitos de alimentación



La comprobación puede simplificarse comparando el valor de energía específica pasante que deja circular el interruptor automático, a la corriente máxima de cortocircuito, con la energía soportada por el cable y asegurando que la actuación del dispositivo sea instantánea a la corriente mínima de cortocircuito: el umbral de la protección contra el cortocircuito del relé (considerando también las tolerancias) debe ser por tanto inferior a la corriente de cortocircuito mínima al final de la línea.

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

### Cálculo de la corriente de cortocircuito al final de la línea

Es posible calcular la corriente mínima de cortocircuito con las siguientes fórmulas aproximadas:

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_r \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} \quad \text{con conductor de neutro sin distribuir} \quad (2.1)$$

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U_0 \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot \frac{L}{S}} \quad \text{con conductor de neutro distribuido} \quad (2.2)$$

donde:

- $I_{kmin}$  es el valor mínimo de la corriente de cortocircuito prevista en kA
- $U_r$  es la tensión entre fases de alimentación en V
- $U_0$  es la tensión de fase de alimentación en V
- $\rho$  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  $\text{mm}^2$
- $k_{sec}$  es el factor de corrección para considerar la reactancia de los cables con sección superior a 95 [ $\text{mm}^2$ ]:

| $S[\text{mm}^2]$ | 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 |

\* $k_{par} = 4 \cdot (n-1)/n$  donde:  $n$  = número de conductores en paralelo por fase)

- $m$  es la relación entre la resistencia del conductor de neutro y la resistencia del conductor de fase (en el caso de que estén constituidos por el mismo material,  $m$  es la relación entre la sección del conductor de fase y la del conductor de neutro).

Calculada la corriente mínima de cortocircuito, se deberá verificar que:

$$I_{kmin} > 1.2 \cdot I_3 \quad (3)$$

donde:

- $I_3$  es la corriente de actuación de la protección magnética del interruptor automático
- 1.2 es la tolerancia en el umbral de actuación.

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

### Ejemplo

Elección de IA 1

Datos de la instalación:

Tensión asignada 400 V

$I_k = 30 \text{ kA}$

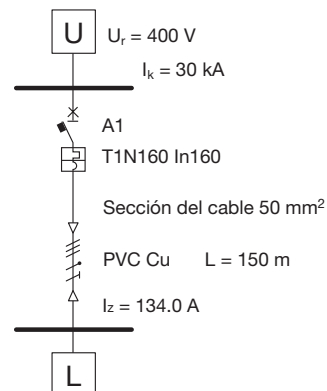
Datos del cable:

Conductor de cobre aislado en PVC

Longitud = 150 m

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

$I_z = 134 \text{ A}$



1SDC010011F0201

Protección contra el cortocircuito al inicio de la línea

T1N160 In160 (poder de corte 36kA@400V)

$I_2t (@30kA) = 7.5 \cdot 10^{-1} \text{ (kA)}^2\text{s}$  (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 ( $k_{sec}=1$  y  $k_{par}=1$ ) vale:

$$I_{kmin} = \frac{0.8 \cdot U \cdot k_{sec} \cdot k_{par}}{1.5 \cdot \rho \cdot \frac{2L}{S}} = 1.98 \text{ kA}$$

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  $0.018 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ .

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

| sección [mm²]      |     | Tabla 3. Longitud máxima protegida |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|-----|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I <sub>a</sub> [A] | 1.5 | 2.5                                | 4   | 6   | 10  | 16  | 25  | 35  | 50  | 70  | 95  | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 |     |
| 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]<br>(valor trifásico) | $k_v$ |
|--------------------------------|-------|
| 230 <sup>(1)</sup>             | 0.58  |
| 400                            | 1     |
| 440                            | 1.1   |
| 500                            | 1.25  |
| 690                            | 1.73  |

<sup>(1)</sup> 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<sup>2</sup>
- $S_N$  es la sección del neutro en mm<sup>2</sup>.

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:  $k_r$

Si el cable es de aluminio, se deberá multiplicar el valor de longitud obtenido a través de la tabla por el factor de corrección  $k_r$  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 mm<sup>2</sup>

En la tabla, en correspondencia con  $I_3 = 1000$  A, el cable de 70 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup>

Sección del neutro = 150 mm<sup>2</sup>

En correspondencia con  $I_3 = 2.000$  A y  $S = 300$  mm<sup>2</sup> se obtendría una longitud protegida igual a  $L_0 = 533$  m.

Aplicando el coeficiente de corrección  $k_d$  requerido cuando el neutro está distribuido:

$$k_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{S}{S_N}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{300}{150}} = 0.39$$

$L = L_0 \cdot 0.39 = 533 \cdot 0.39 = 207.9$  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.

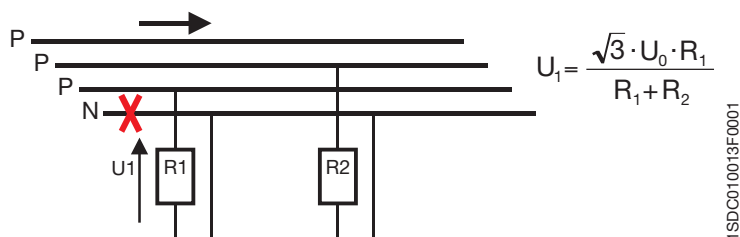


Figura 1: Interrupción del conductor de neutro

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.

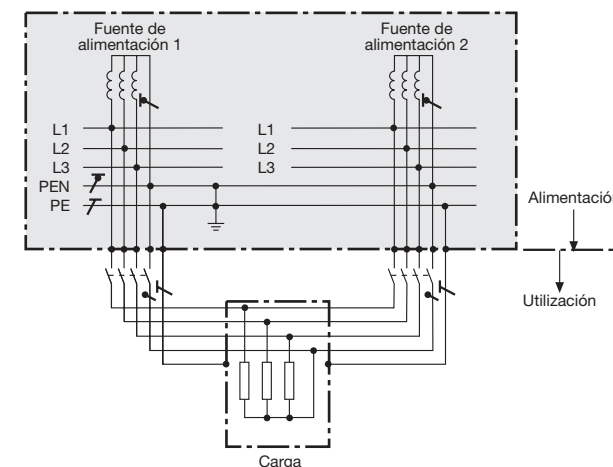
En los sistemas TN-S, es posible no desconectar el neutro si las condiciones de alimentación son tales que la conexión del conductor de neutro al potencial de tierra puede ser considerada fiable.

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)

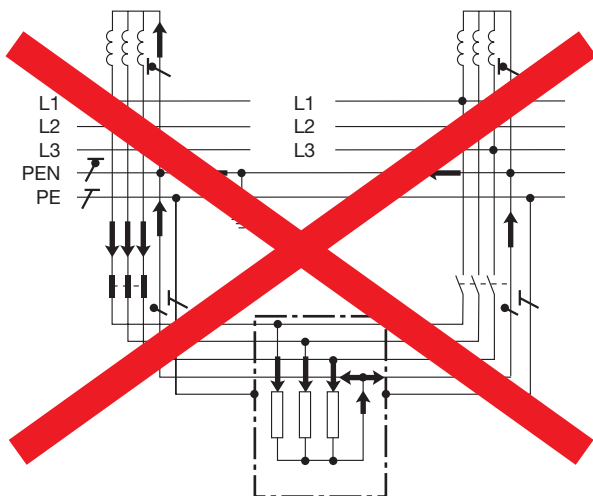
Figura 2: Alimentación alternativa trifásica con un interruptor tetrapolar

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 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.

USDC010014F0001

### Sistemas IT:

La norma aconseja no distribuir el neutro en los sistemas IT.

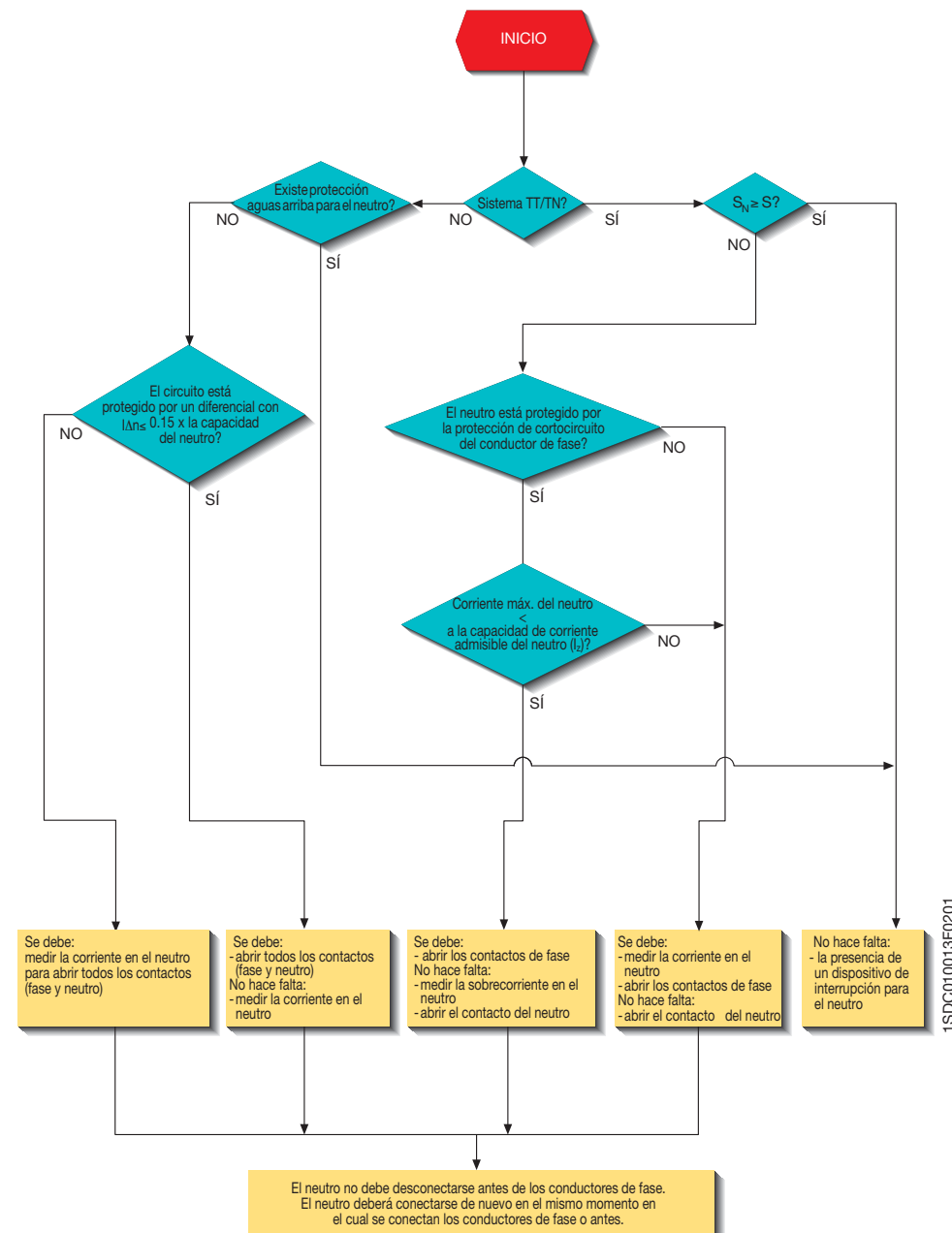
Si el conductor de neutro está distribuido, deberán detectarse las sobreintensidades en el conductor de neutro de cada circuito de manera de provocar la interrupción de todos los conductores activos del circuito correspondiente, incluido el conductor de neutro (neutro protegido y seccionado). No hace falta detectar las sobreintensidades 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



15DC010013E0201

## 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 mm<sup>2</sup> si son de cobre o 25 mm<sup>2</sup> si son de aluminio.<sup>1</sup>

Cuando los conductores de fase tengan una sección superior a 16 mm<sup>2</sup> (si son de cobre) o a 25 mm<sup>2</sup> (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:

- la sección del conductor de neutro sea por lo menos igual a 16 mm<sup>2</sup> para los conductores de cobre o a 25 mm<sup>2</sup> 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<br>S [mm <sup>2</sup> ] | Sección mínima neutro<br>S <sub>N</sub> [mm <sup>2</sup> ] |
|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Circuitos monofásico/bifásicos</b> |                                      |                                                            |
| Cu/Al                                 | Cualquiera                           | S*                                                         |
| <b>Circuitos trifásico</b>            |                                      |                                                            |
| Cu                                    | S ≤ 16                               | S*                                                         |
|                                       | S > 16                               | 16                                                         |
| <b>Circuitos trifásico</b>            |                                      |                                                            |
| Al                                    | S ≤ 25                               | S*                                                         |
|                                       | S > 25                               | 25                                                         |

\*en los sistemas de distribución TN-C las normas establecen una sección mínima de 10 mm<sup>2</sup> si es de cobre y de 16 mm<sup>2</sup> si es de aluminio

<sup>1</sup> 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 <sup>2</sup> ]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Sección mínima del conductor de protección correspondiente [mm <sup>2</sup> ]         |                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 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 ≤ 16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | S                                                                                     | $\frac{k_1}{k_2} \cdot S$                                                                |
| 16 < S ≤ 35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 16*                                                                                   | $\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$                                                               |
| S > 35                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\frac{S}{2}$ *                                                                       | $\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S}{2}$                                                      |
| Donde:<br>k <sub>1</sub> 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;<br>k <sub>2</sub> es el valor de k para el conductor de protección.<br>* 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<sub>PE</sub> puede obtenerse a través de la siguiente fórmula:

$$S_{PE} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (1)$$

donde:

- S<sub>PE</sub> es la sección del conductor de protección [mm<sup>2</sup>]
- 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 <sup>b</sup> |                      | Material conductor   |                    |                    |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|                           | inicial                     | final                | Cobre                | Aluminio           | Acero              |
|                           |                             |                      | Valores for $k$      |                    |                    |
| 70 °C PVC                 | 30                          | 160/140 <sup>a</sup> | 143/133 <sup>a</sup> | 95/88 <sup>a</sup> | 52/49 <sup>a</sup> |
| 90 °C PVC                 | 30                          | 143/133 <sup>a</sup> | 143/133 <sup>a</sup> | 95/88 <sup>a</sup> | 52/49 <sup>a</sup> |
| 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                 |

<sup>a</sup> El valor inferior se aplica a conductores aislados de PVC con sección superior a 300 mm<sup>2</sup>.  
<sup>b</sup> 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 <sup>b</sup> |                      | Material conductor   |                    |                    |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|                           | inicial                     | final                | Cobre                | Aluminio           | Acero              |
|                           |                             |                      | Valores for $k$      |                    |                    |
| 70 °C PVC                 | 70                          | 160/140 <sup>a</sup> | 115/103 <sup>a</sup> | 76/68 <sup>a</sup> | 42/37 <sup>a</sup> |
| 90 °C PVC                 | 90                          | 160/140 <sup>a</sup> | 100/86 <sup>a</sup>  | 66/57 <sup>a</sup> | 36/31 <sup>a</sup> |
| 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                 |

<sup>a</sup> El valor inferior se aplica a conductores aislados de PVC con sección superior a 300 mm<sup>2</sup>.  
<sup>b</sup> 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 mm<sup>2</sup> Cu/16 mm<sup>2</sup> Al, si está prevista una protección mecánica;
- 4 mm<sup>2</sup> Cu/16 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> si es de cobre o 16 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> si es de cobre o 16 mm<sup>2</sup> 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 o colocarse inmediatamente adyacente a éste.

## 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:

$$I_b = \frac{P_t \cdot b}{\sqrt{3} \cdot U_r \cdot \cos \varphi_m} \quad [A] \quad (1)$$

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 se refieren a productos Zucchini S.p.A.

**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] | $U_r$ [V] |
|--------|-------------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------|
| 25     | LB254 25A 4 conductores Cu    | 4                     | 25           | 6.964             | 1.144           | 400       |
| 25     | HL254 25A 4 conductores Cu    | 4                     | 25           | 6.876             | 1.400           | 400       |
| 25     | HL2544 25A 4+4 conductores Cu | 4+4                   | 25           | 6.876             | 1.400           | 400       |
| 40     | LB404 40A 4 conductores Cu    | 4                     | 40           | 3.556             | 0.792           | 400       |
| 40     | HL404 40A 4 conductores Cu    | 4                     | 40           | 3.516             | 1.580           | 400       |
| 40     | HL4044 40A 4+4 conductores Cu | 4+4                   | 40           | 3.516             | 1.580           | 400       |
| 40     | SL 40A 4 conductores Cu       | 4                     | 40           | 2.173             | 0.290           | 400       |
| 63     | SL 63A 4 conductores Cu       | 4                     | 63           | 1.648             | 0.637           | 400       |
| 100    | MS 100A 4 conductores Cu      | 4                     | 100          | 0.790             | 0.366           | 400       |
| 160    | MS 160A 4 conductores Cu      | 4                     | 160          | 0.574             | 0.247           | 400       |
| 160    | SB4 160A 4 conductores Cu     | 4                     | 160          | 0.335             | 0.314           | 500       |
| 160    | SB5 160A 5 conductores Cu     | 5                     | 160          | 0.335             | 0.314           | 500       |
| 160    | SB6 160A 5 conductores Cu     | 5                     | 160          | 0.335             | 0.314           | 500       |
| 160    | SB7 160A 4 conductores Cu     | 4                     | 160          | 0.335             | 0.314           | 500       |
| 250    | MR 250A 4 conductores Cu      | 4                     | 250          | 0.285             | 0.205           | 1000      |
| 250    | MRf 250A 5 conductores Cu     | 5                     | 250          | 0.285             | 0.205           | 1000      |
| 250    | SB4 250A 4 conductores Cu     | 4                     | 250          | 0.194             | 0.205           | 500       |
| 250    | SB5 250A 5 conductores Cu     | 5                     | 250          | 0.194             | 0.205           | 500       |
| 250    | SB6 250A 5 conductores Cu     | 5                     | 250          | 0.194             | 0.205           | 500       |
| 250    | SB7 250A 4 conductores Cu     | 4                     | 250          | 0.194             | 0.205           | 500       |
| 315    | MR 315A 4 conductores Cu      | 4                     | 315          | 0.216             | 0.188           | 1000      |
| 315    | MRf 315A 5 conductores Cu     | 5                     | 315          | 0.216             | 0.188           | 1000      |
| 350    | SB4 350A 4 conductores Cu     | 4                     | 350          | 0.142             | 0.188           | 500       |
| 350    | SB5 350A 5 conductores Cu     | 5                     | 350          | 0.142             | 0.188           | 500       |
| 350    | SB6 350A 5 conductores Cu     | 5                     | 350          | 0.142             | 0.188           | 500       |
| 350    | SB7 350A 4 conductores Cu     | 4                     | 350          | 0.142             | 0.188           | 500       |
| 400    | MR 400A 4 conductores Cu      | 4                     | 400          | 0.115             | 0.129           | 1000      |
| 400    | MRf 400A 5 conductores Cu     | 5                     | 400          | 0.115             | 0.129           | 1000      |
| 500    | SB4 500A 4 conductores Cu     | 4                     | 500          | 0.092             | 0.129           | 500       |
| 500    | SB5 500A 5 conductores Cu     | 5                     | 500          | 0.092             | 0.129           | 500       |
| 500    | SB6 500A 5 conductores Cu     | 5                     | 500          | 0.092             | 0.129           | 500       |
| 500    | SB7 500A 4 conductores Cu     | 4                     | 500          | 0.092             | 0.129           | 500       |
| 630    | MR 630A 4 conductores Cu      | 4                     | 630          | 0.073             | 0.122           | 1000      |
| 630    | MRf 630A 5 conductores Cu     | 5                     | 630          | 0.073             | 0.122           | 1000      |
| 700    | SB4 700A 4 conductores Cu     | 4                     | 700          | 0.077             | 0.122           | 500       |
| 700    | SB5 700A 5 conductores Cu     | 5                     | 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] |
|--------|-----------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------|
| 700    | SB6 700A 5 conductores Cu   | 5                     | 700          | 0.077             | 0.122           | 500       |
| 700    | SB7 700A 4 conductores Cu   | 4                     | 700          | 0.077             | 0.122           | 500       |
| 800    | MR 800A 4 conductores Cu    | 4                     | 800          | 0.047             | 0.122           | 1000      |
| 800    | MRf 800A 5 conductores Cu   | 5                     | 800          | 0.047             | 0.122           | 1000      |
| 800    | SC 800A 4 conductores Cu    | 4                     | 800          | 0.038             | 0.027           | 1000      |
| 800    | SB4 800A 4 conductores Cu   | 4                     | 800          | 0.072             | 0.122           | 500       |
| 800    | SB5 800A 5 conductores Cu   | 5                     | 800          | 0.072             | 0.122           | 500       |
| 800    | SB6 800A 5 conductores Cu   | 5                     | 800          | 0.072             | 0.122           | 500       |
| 800    | SB7 800A 4 conductores Cu   | 4                     | 800          | 0.072             | 0.122           | 500       |
| 1000   | MR 1000A 4 conductores Cu   | 4                     | 1000         | 0.038             | 0.120           | 1000      |
| 1000   | MRf 1000A 5 conductores Cu  | 5                     | 1000         | 0.038             | 0.120           | 1000      |
| 1000   | SC 1000A 4 conductores Cu   | 4                     | 1000         | 0.037             | 0.026           | 1000      |
| 1000   | HRC1 1000A 4 conductores Cu | 4                     | 1000         | 0.038             | 0.097           | 1000      |
| 1000   | SB4 1000A 4 conductores Cu  | 4                     | 1000         | 0.068             | 0.120           | 500       |
| 1000   | SB5 1000A 5 conductores Cu  | 5                     | 1000         | 0.068             | 0.120           | 500       |
| 1000   | SB6 1000A 5 conductores Cu  | 5                     | 1000         | 0.068             | 0.120           | 500       |
| 1000   | SB7 1000A 4 conductores Cu  | 4                     | 1000         | 0.068             | 0.120           | 500       |
| 1200   | SC 1200A 4 conductores Cu   | 4                     | 1200         | 0.035             | 0.021           | 1000      |
| 1250   | SC 1250A 4 conductores Cu   | 4                     | 1250         | 0.034             | 0.023           | 1000      |
| 1250   | HRC1 1250A 4 conductores Cu | 4                     | 1250         | 0.035             | 0.076           | 1000      |
| 1500   | SC 1500A 4 conductores Cu   | 4                     | 1500         | 0.030             | 0.022           | 1000      |
| 1600   | SC 1600A 4 conductores Cu   | 4                     | 1600         | 0.025             | 0.018           | 1000      |
| 1600   | HRC1 1600A 4 conductores Cu | 4                     | 1600         | 0.034             | 0.074           | 1000      |
| 2000   | SC 2000A 4 conductores Cu   | 4                     | 2000         | 0.020             | 0.015           | 1000      |
| 2000   | HRC1 2000A 4 conductores Cu | 4                     | 2000         | 0.025             | 0.074           | 1000      |
| 2400   | SC 2400A 4 conductores Cu   | 4                     | 2400         | 0.019             | 0.012           | 1000      |
| 2500   | SC 2500A 4 conductores Cu   | 4                     | 2500         | 0.016             | 0.011           | 1000      |
| 2500   | HRC1 2500A 4 conductores Cu | 4                     | 2500         | 0.019             | 0.040           | 1000      |
| 3000   | SC 3000A 4 conductores Cu   | 4                     | 3000         | 0.014             | 0.011           | 1000      |
| 3000   | HRC2 3000A 4 conductores Cu | 4                     | 3000         | 0.017             | 0.031           | 1000      |
| 3200   | SC 3200A 4 conductores Cu   | 4                     | 3200         | 0.013             | 0.009           | 1000      |
| 3200   | HRC2 3200A 4 conductores Cu | 4                     | 3200         | 0.015             | 0.031           | 1000      |
| 4000   | SC 4000A 4 conductores Cu   | 4                     | 4000         | 0.011             | 0.007           | 1000      |
| 4000   | HRC2 4000A 4 conductores Cu | 4                     | 4000         | 0.011             | 0.026           | 1000      |
| 5000   | SC 5000A 4 conductores Cu   | 4                     | 5000         | 0.008             | 0.005           | 1000      |
| 5000   | HRC2 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: Valores de corriente admisible  $I_{z0}$  de los conductos de barras prefabricados de aluminio**

| Tamaño | Tipo                      | Número de conductores | $I_{z0}$ [A] | $r_{ph}^*$ [mΩ/m] | $x_{ph}$ [mΩ/m] | $U_r$ [V] |
|--------|---------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------|
| 160    | MR 160A 4 conductores Al  | 4                     | 160          | 0.591             | 0.260           | 1000      |
| 160    | MRf 160A 5 conductores Al | 5                     | 160          | 0.591             | 0.260           | 1000      |
| 160    | SB4 160A 4 conductores Al | 4                     | 160          | 0.431             | 0.260           | 500       |
| 160    | SB5 160A 5 conductores Al | 5                     | 160          | 0.431             | 0.260           | 500       |
| 160    | SB6 160A 5 conductores Al | 5                     | 160          | 0.431             | 0.260           | 500       |
| 160    | SB7 160A 4 conductores Al | 4                     | 160          | 0.431             | 0.260           | 500       |
| 250    | MR 250A 4 conductores Al  | 4                     | 250          | 0.394             | 0.202           | 1000      |
| 250    | MRf 250A 5 conductores Al | 5                     | 250          | 0.394             | 0.202           | 1000      |
| 250    | SB4 250A 4 conductores Al | 4                     | 250          | 0.226             | 0.202           | 500       |
| 250    | SB5 250A 5 conductores Al | 5                     | 250          | 0.226             | 0.202           | 500       |
| 250    | SB6 250A 5 conductores Al | 5                     | 250          | 0.226             | 0.202           | 500       |
| 250    | SB7 250A 4 conductores Al | 4                     | 250          | 0.226             | 0.202           | 500       |
| 315    | MR 315A 4 conductores Al  | 4                     | 315          | 0.236             | 0.186           | 1000      |
| 315    | MRf 315A 5 conductores Al | 5                     | 315          | 0.236             | 0.186           | 1000      |
| 315    | SB4 315A 4 conductores Al | 4                     | 315          | 0.181             | 0.186           | 500       |
| 315    | SB5 315A 5 conductores Al | 5                     | 315          | 0.181             | 0.186           | 500       |
| 315    | SB6 315A 5 conductores Al | 5                     | 315          | 0.181             | 0.186           | 500       |
| 315    | SB7 315A 4 conductores Al | 4                     | 315          | 0.181             | 0.186           | 500       |
| 400    | MR 400A 4 conductores Al  | 4                     | 400          | 0.144             | 0.130           | 1000      |
| 400    | MRf 400A 5 conductores Al | 5                     | 400          | 0.144             | 0.130           | 1000      |
| 400    | SB4 400A 4 conductores Al | 4                     | 400          | 0.125             | 0.130           | 500       |
| 400    | SB5 400A 5 conductores Al | 5                     | 400          | 0.125             | 0.130           | 500       |
| 400    | SB6 400A 5 conductores Al | 5                     | 400          | 0.125             | 0.130           | 500       |
| 400    | SB7 400A 4 conductores Al | 4                     | 400          | 0.125             | 0.130           | 500       |
| 500    | SB4 500A 4 conductores Al | 4                     | 500          | 0.102             | 0.127           | 500       |
| 500    | SB5 500A 5 conductores Al | 5                     | 500          | 0.102             | 0.127           | 500       |
| 500    | SB6 500A 5 conductores Al | 5                     | 500          | 0.102             | 0.127           | 500       |
| 500    | SB7 500A 4 conductores Al | 4                     | 500          | 0.102             | 0.127           | 500       |
| 630    | MR 630A 4 conductores Al  | 4                     | 630          | 0.072             | 0.097           | 1000      |
| 630    | MRf 630A 5 conductores Al | 5                     | 630          | 0.072             | 0.097           | 1000      |
| 630    | SC 630A 4 conductores Al  | 4                     | 630          | 0.072             | 0.029           | 1000      |

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tamaño | Tipo                        | Número de conductores | $I_{z0}$ [A] | $r_{ph}^*$ [mΩ/m] | $x_{ph}$ [mΩ/m] | $U_r$ [V] |
|--------|-----------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------|
| 630    | SB4 630A 4 conductores Al   | 4                     | 630          | 0.073             | 0.097           | 500       |
| 630    | SB5 630A 5 conductores Al   | 5                     | 630          | 0.073             | 0.097           | 500       |
| 630    | SB6 630A 5 conductores Al   | 5                     | 630          | 0.073             | 0.097           | 500       |
| 630    | SB7 630A 4 conductores Al   | 4                     | 630          | 0.073             | 0.097           | 500       |
| 800    | MR 800A 4 conductores Al    | 4                     | 800          | 0.062             | 0.096           | 1000      |
| 800    | MRf 800A 5 conductores Al   | 5                     | 800          | 0.062             | 0.096           | 1000      |
| 800    | SC 800A 4 conductores Al    | 4                     | 800          | 0.067             | 0.027           | 1000      |
| 800    | SB4 800A 4 conductores Al   | 4                     | 800          | 0.071             | 0.096           | 500       |
| 800    | SB5 800A 5 conductores Al   | 5                     | 800          | 0.071             | 0.096           | 500       |
| 800    | SB6 800A 5 conductores Al   | 5                     | 800          | 0.071             | 0.096           | 500       |
| 800    | SB7 800A 4 conductores Al   | 4                     | 800          | 0.071             | 0.096           | 500       |
| 1000   | SC 1000A 4 conductores Al   | 4                     | 1000         | 0.062             | 0.023           | 1000      |
| 1000   | HRC1 1000A 4 conductores Al | 4                     | 1000         | 0.068             | 0.087           | 1000      |
| 1200   | SC 1200A 4 conductores Al   | 4                     | 1200         | 0.054             | 0.023           | 1000      |
| 1250   | SC 1250A 4 conductores Al   | 4                     | 1250         | 0.044             | 0.021           | 1000      |
| 1250   | HRC1 1250A 4 conductores Al | 4                     | 1250         | 0.044             | 0.066           | 1000      |
| 1500   | SC 1500A 4 conductores Al   | 4                     | 1500         | 0.041             | 0.023           | 1000      |
| 1600   | SC 1600A 4 conductores Al   | 4                     | 1600         | 0.035             | 0.017           | 1000      |
| 1600   | HRC1 1600A 4 conductores Al | 4                     | 1600         | 0.041             | 0.066           | 1000      |
| 2000   | SC 2000A 4 conductores Al   | 4                     | 2000         | 0.029             | 0.016           | 1000      |
| 2000   | HRC1 2000A 4 conductores Al | 4                     | 2000         | 0.034             | 0.053           | 1000      |
| 2250   | HRC2 2250A 4 conductores Al | 4                     | 2250         | 0.032             | 0.049           | 1000      |
| 2400   | SC 2400A 4 conductores Al   | 4                     | 2400         | 0.028             | 0.012           | 1000      |
| 2500   | SC 2500A 4 conductores Al   | 4                     | 2500         | 0.022             | 0.011           | 1000      |
| 2500   | HRC2 2500A 4 conductores Al | 4                     | 2500         | 0.022             | 0.034           | 1000      |
| 3000   | SC 3000A 4 conductores Al   | 4                     | 3000         | 0.020             | 0.011           | 1000      |
| 3200   | SC 3200A 4 conductores Al   | 4                     | 3200         | 0.017             | 0.009           | 1000      |
| 3200   | HRC2 3200A 4 conductores Al | 4                     | 3200         | 0.020             | 0.034           | 1000      |
| 4000   | SC 4000A 4 conductores Al   | 4                     | 4000         | 0.014             | 0.008           | 1000      |
| 4000   | HRC2 4000A 4 conductores Al | 4                     | 4000         | 0.017             | 0.024           | 1000      |
| 4500   | HRC2 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 cortocircuito<sup>1</sup>

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:

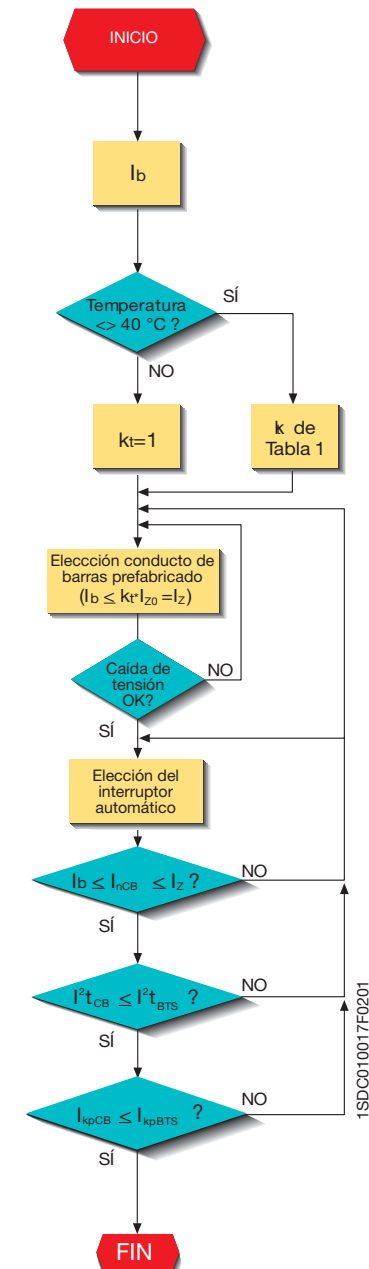
$$I_{kp\ CB} \leq I_{kp\ BTS} \quad (5)$$

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).

<sup>1</sup> 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



1SDC010017F0201

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

**Tabla 4: Valores de energía específica y corriente de cresta que pueden aguantar los conductos de barras prefabricados de cobre**

| Tamaño | Tipo                          | $I^2t_{ph}$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I^2t_N$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I^2t_{PE}$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I_{crestaph}$<br>[kA] | $I_{crestaN}$<br>[kA] |
|--------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 25     | LB254 25A 4 conductores Cu    | 0.48                                 | 0.48                              | 0.48                                 | 10                     | 10                    |
| 25     | HL254 25A 4 conductores Cu    | 0.64                                 | 0.64                              | 0.64                                 | 10                     | 10                    |
| 25     | HL2544 25A 4+4 conductores Cu | 0.64                                 | 0.64                              | 0.64                                 | 10                     | 10                    |
| 40     | LB404 40A 4 conductores Cu    | 0.73                                 | 0.73                              | 0.73                                 | 10                     | 10                    |
| 40     | HL404 40A 4 conductores Cu    | 1                                    | 1                                 | 1                                    | 10                     | 10                    |
| 40     | HL4044 40A 4+4 conductores Cu | 1                                    | 1                                 | 1                                    | 10                     | 10                    |
| 40     | SL 40A 4 conductores Cu       | 7.29                                 | 7.29                              | 7.29                                 | 10                     | 10                    |
| 63     | SL 63A 4 conductores Cu       | 7.29                                 | 7.29                              | 7.29                                 | 10                     | 10                    |
| 100    | MS 100A 4 conductores Cu      | 20.25                                | 20.25                             | 20.25                                | 10                     | 10                    |
| 160    | MS 160A 4 conductores Cu      | 30.25                                | 30.25                             | 30.25                                | 10                     | 10                    |
| 160    | SB4 160A 4 conductores Cu     | 100                                  | 60                                | 60                                   | 17                     | 10.2                  |
| 160    | SB5 160A 5 conductores Cu     | 100                                  | 100                               | 100                                  | 17                     | 10.2                  |
| 160    | SB6 160A 5 conductores Cu     | 100                                  | 100                               | 100                                  | 17                     | 10.2                  |
| 160    | SB7 160A 4 conductores Cu     | 100                                  | 100                               | 100                                  | 17                     | 10.2                  |
| 250    | MR 250A 4 conductores Cu      | 312.5                                | 187.5                             | 187.5                                | 52.5                   | 31.5                  |
| 250    | MRf 250A 5 conductores Cu     | 312.5                                | 312.5                             | 312.5                                | 52.5                   | 31.5                  |
| 250    | SB4 250A 4 conductores Cu     | 169                                  | 101.4                             | 101.4                                | 26                     | 15.6                  |
| 250    | SB5 250A 5 conductores Cu     | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 250    | SB6 250A 5 conductores Cu     | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 250    | SB7 250A 4 conductores Cu     | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 315    | MR 315A 4 conductores Cu      | 312.5                                | 187.5                             | 187.5                                | 52.5                   | 31.5                  |
| 315    | MRf 315A 5 conductores Cu     | 312.5                                | 312.5                             | 312.5                                | 52.5                   | 31.5                  |
| 350    | SB4 350A 4 conductores Cu     | 169                                  | 101.4                             | 101.4                                | 26                     | 15.6                  |
| 350    | SB5 350A 5 conductores Cu     | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 350    | SB6 350A 5 conductores Cu     | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 350    | SB7 350A 4 conductores Cu     | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 400    | MR 400A 4 conductores Cu      | 900                                  | 540                               | 540                                  | 63                     | 37.8                  |
| 400    | MRf 400A 5 conductores Cu     | 900                                  | 900                               | 900                                  | 63                     | 37.8                  |
| 500    | SB4 500A 4 conductores Cu     | 756.25                               | 453.75                            | 453.75                               | 58                     | 34.8                  |
| 500    | SB5 500A 5 conductores Cu     | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |
| 500    | SB6 500A 5 conductores Cu     | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |
| 500    | SB7 500A 4 conductores Cu     | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |
| 630    | MR 630A 4 conductores Cu      | 1296                                 | 777.6                             | 777.6                                | 75.6                   | 45.4                  |
| 630    | MRf 630A 5 conductores Cu     | 1296                                 | 1296                              | 1296                                 | 75.6                   | 45.4                  |
| 700    | SB4 700A 4 conductores Cu     | 756.25                               | 453.75                            | 453.75                               | 58                     | 34.8                  |
| 700    | SB5 700A 5 conductores Cu     | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tamaño | Tipo                        | $I^2t_{ph}$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I^2t_N$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I^2t_{PE}$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I_{crestaph}$<br>[kA] | $I_{crestaN}$<br>[kA] |
|--------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 700    | SB6 700A 5 conductores Cu   | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |
| 700    | SB7 700A 4 conductores Cu   | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |
| 800    | MR 800A 4 conductores Cu    | 1296                                 | 777.6                             | 777.6                                | 75.6                   | 45.4                  |
| 800    | MRf 800A 5 conductores Cu   | 1296                                 | 1296                              | 1296                                 | 75.6                   | 45.4                  |
| 800    | SC 800A 4 conductores Cu    | 3969                                 | 3969                              | 2381.4                               | 139                    | 83.4                  |
| 800    | SB4 800A 4 conductores Cu   | 756.25                               | 453.75                            | 453.75                               | 58                     | 34.8                  |
| 800    | SB5 800A 5 conductores Cu   | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |
| 800    | SB6 800A 5 conductores Cu   | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |
| 800    | SB7 800A 4 conductores Cu   | 756.25                               | 756.25                            | 756.25                               | 58                     | 34.8                  |
| 1000   | MR 1000A 4 conductores Cu   | 1296                                 | 777.6                             | 777.6                                | 75.6                   | 45.4                  |
| 1000   | MRf 1000A 5 conductores Cu  | 1296                                 | 1296                              | 1296                                 | 75.6                   | 45.4                  |
| 1000   | SC 1000A 4 conductores Cu   | 3969                                 | 3969                              | 2381.4                               | 139                    | 83.4                  |
| 1000   | HRC1 1000A 4 conductores Cu | 1600                                 | 1600                              | 960                                  | 84                     | 50.4                  |
| 1000   | SB4 1000A 4 conductores Cu  | 1024                                 | 614.4                             | 614.4                                | 60                     | 36                    |
| 1000   | SB5 1000A 5 conductores Cu  | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 60                     | 36                    |
| 1000   | SB6 1000A 5 conductores Cu  | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 60                     | 36                    |
| 1000   | SB7 1000A 4 conductores Cu  | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 60                     | 36                    |
| 1200   | SC 1200A 4 conductores Cu   | 7744                                 | 7744                              | 4646.4                               | 194                    | 116.4                 |
| 1250   | SC 1250A 4 cond. Cu         | 7744                                 | 7744                              | 4646.4                               | 194                    | 116.4                 |
| 1250   | HRC1 1250A 4 conductores Cu | 2500                                 | 2500                              | 1500                                 | 105                    | 63                    |
| 1500   | SC 1500A 4 conductores Cu   | 7744                                 | 7744                              | 4646.4                               | 194                    | 116.4                 |
| 1600   | SC 1600A 4 conductores Cu   | 7744                                 | 7744                              | 4646.4                               | 194                    | 116.4                 |
| 1600   | HRC1 1600A 4 conductores Cu | 2500                                 | 2500                              | 1500                                 | 105                    | 63                    |
| 2000   | SC 2000A 4 conductores Cu   | 7744                                 | 7744                              | 4646.4                               | 194                    | 116.4                 |
| 2000   | HRC1 2000A 4 conductores Cu | 3600                                 | 3600                              | 2160                                 | 132                    | 79.2                  |
| 2400   | SC 2400A 4 conductores Cu   | 7744                                 | 7744                              | 4646.4                               | 194                    | 116.4                 |
| 2500   | SC 2500A 4 conductores Cu   | 7744                                 | 7744                              | 4646.4                               | 194                    | 116.4                 |
| 2500   | HRC1 2500A 4 conductores Cu | 4900                                 | 4900                              | 2940                                 | 154                    | 92.4                  |
| 3000   | SC 3000A 4 conductores Cu   | 30976                                | 30976                             | 18585.6                              | 387                    | 232.2                 |
| 3000   | HRC2 3000A 4 conductores Cu | 8100                                 | 8100                              | 4860                                 | 198                    | 118.8                 |
| 3200   | SC 3200A 4 conductores Cu   | 30976                                | 30976                             | 18585.6                              | 387                    | 232.2                 |
| 3200   | HRC2 3200A 4 conductores Cu | 8100                                 | 8100                              | 4860                                 | 198                    | 118.8                 |
| 4000   | SC 4000A 4 conductores Cu   | 30976                                | 30976                             | 18585.6                              | 387                    | 232.2                 |
| 4000   | HRC2 4000A 4 conductores Cu | 8100                                 | 8100                              | 4860                                 | 198                    | 118.8                 |
| 5000   | SC 5000A 4 conductores Cu   | 30976                                | 30976                             | 18585.6                              | 387                    | 232.2                 |
| 5000   | HRC2 5000A 4 conductores Cu | 10000                                | 10000                             | 6000                                 | 220                    | 132                   |

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

**Tabla 5: Valores de la energía específica y corriente de cresta que pueden aguantar los conductos de barras prefabricados de aluminio**

| Tamaño | Tipo                      | $I^2t_{ph}$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I^2t_N$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I^2t_{PE}$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I_{crestaph}$<br>[kA] | $I_{crestaN}$<br>[kA] |
|--------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 160    | MR 160A 4 conductores Al  | 112.5                                | 67.5                              | 67.5                                 | 30                     | 18                    |
| 160    | MRf 160A 5 conductores Al | 112.5                                | 112.5                             | 112.5                                | 30                     | 18                    |
| 160    | SB4 160A 4 conductores Al | 100                                  | 60                                | 60                                   | 17                     | 10.2                  |
| 160    | SB5 160A 5 conductores Al | 100                                  | 100                               | 100                                  | 17                     | 10.2                  |
| 160    | SB6 160A 5 conductores Al | 100                                  | 100                               | 100                                  | 17                     | 10.2                  |
| 160    | SB7 160A 4 conductores Al | 100                                  | 100                               | 100                                  | 17                     | 10.2                  |
| 250    | MR 250A 4 conductores Al  | 312.5                                | 187.5                             | 187.5                                | 52.5                   | 31.5                  |
| 250    | MRf 250A 5 conductores Al | 312.5                                | 312.5                             | 312.5                                | 52.5                   | 31.5                  |
| 250    | SB4 250A 4 conductores Al | 169                                  | 101.4                             | 101.4                                | 26                     | 15.6                  |
| 250    | SB5 250A 5 conductores Al | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 250    | SB6 250A 5 conductores Al | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 250    | SB7 250A 4 conductores Al | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 315    | MR 315A 4 conductores Al  | 625                                  | 375                               | 375                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 315    | MRf 315A 5 conductores Al | 625                                  | 625                               | 625                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 315    | SB4 315A 4 conductores Al | 169                                  | 101.4                             | 101.4                                | 26                     | 15.6                  |
| 315    | SB5 315A 5 conductores Al | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 315    | SB6 315A 5 conductores Al | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 315    | SB7 315A 4 conductores Al | 169                                  | 169                               | 169                                  | 26                     | 15.6                  |
| 400    | MR 400A 4 conductores Al  | 900                                  | 540                               | 540                                  | 63                     | 37.8                  |
| 400    | MRf 400A 5 conductores Al | 900                                  | 900                               | 900                                  | 63                     | 37.8                  |
| 400    | SB4 400A 4 conductores Al | 625                                  | 375                               | 375                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 400    | SB5 400A 5 conductores Al | 625                                  | 625                               | 625                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 400    | SB6 400A 5 conductores Al | 625                                  | 625                               | 625                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 400    | SB7 400A 4 conductores Al | 625                                  | 625                               | 625                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 500    | SB4 500A 4 conductores Al | 625                                  | 375                               | 375                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 500    | SB5 500A 5 conductores Al | 625                                  | 625                               | 625                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 500    | SB6 500A 5 conductores Al | 625                                  | 625                               | 625                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 500    | SB7 500A 4 conductores Al | 625                                  | 625                               | 625                                  | 52.5                   | 31.5                  |
| 630    | MR 630A 4 conductores Al  | 1296                                 | 777.6                             | 777.6                                | 75.6                   | 45.4                  |
| 630    | MRf 630A 5 conductores Al | 1296                                 | 1296                              | 1296                                 | 75.6                   | 45.4                  |
| 630    | SC 630A 4 conductores Al  | 1444                                 | 1444                              | 866.4                                | 80                     | 48                    |

## 2 Protección de los circuitos de alimentación

| Tamaño | Tipo                        | $I^2t_{ph}$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I^2t_N$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I^2t_{PE}$<br>[(kA) <sup>2</sup> s] | $I_{crestaph}$<br>[kA] | $I_{crestaN}$<br>[kA] |
|--------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 630    | SB4 630A 4 conductores Al   | 1024                                 | 614.4                             | 614.4                                | 67.5                   | 40.5                  |
| 630    | SB5 630A 5 conductores Al   | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 67.5                   | 40.5                  |
| 630    | SB6 630A 5 conductores Al   | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 67.5                   | 40.5                  |
| 630    | SB7 630A 4 conductores Al   | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 67.5                   | 40.5                  |
| 800    | MR 800A 4 conductores Al    | 1296                                 | 777.6                             | 777.6                                | 75.6                   | 45.4                  |
| 800    | MRf 800A 5 conductores Al   | 1296                                 | 1296                              | 1296                                 | 75.6                   | 45.4                  |
| 800    | SC 800A 4 conductores Al    | 1764                                 | 1764                              | 1058.4                               | 88                     | 52.8                  |
| 800    | SB4 800A 4 conductores Al   | 1024                                 | 614.4                             | 614.4                                | 67.5                   | 40.5                  |
| 800    | SB5 800A 5 conductores Al   | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 67.5                   | 40.5                  |
| 800    | SB6 800A 5 conductores Al   | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 67.5                   | 40.5                  |
| 800    | SB7 800A 4 conductores Al   | 1024                                 | 1024                              | 1024                                 | 67.5                   | 40.5                  |
| 1000   | SC 1000A 4 conductores Al   | 6400                                 | 6400                              | 3840                                 | 176                    | 105.6                 |
| 1000   | HRC1 1000A 4 conductores Al | 1600                                 | 1600                              | 960                                  | 84                     | 50.4                  |
| 1200   | SC 1200A 4 conductores Al   | 6400                                 | 6400                              | 3840                                 | 176                    | 105.6                 |
| 1250   | SC 1250A 4 conductores Al   | 6400                                 | 6400                              | 3840                                 | 176                    | 105.6                 |
| 1250   | HRC1 1250A 4 conductores Al | 2500                                 | 2500                              | 1500                                 | 105                    | 63                    |
| 1500   | SC 1500A 4 conductores Al   | 6400                                 | 6400                              | 3840                                 | 176                    | 105.6                 |
| 1600   | SC 1600A 4 conductores Al   | 6400                                 | 6400                              | 3840                                 | 176                    | 105.6                 |
| 1600   | HRC1 1600A 4 conductores Al | 2500                                 | 2500                              | 1500                                 | 105                    | 63                    |
| 2000   | SC 2000A 4 conductores Al   | 6400                                 | 6400                              | 3840                                 | 176                    | 105.6                 |
| 2000   | HRC1 2000A 4 conductores Al | 3600                                 | 3600                              | 2160                                 | 132                    | 79.2                  |
| 2250   | HRC2 2250A 4 conductores Al | 4900                                 | 4900                              | 2940                                 | 154                    | 92.4                  |
| 2400   | SC 2400A 4 conductores Al   | 25600                                | 25600                             | 15360                                | 352                    | 211.2                 |
| 2500   | SC 2500A 4 conductores Al   | 25600                                | 25600                             | 15360                                | 352                    | 211.2                 |
| 2500   | HRC2 2500A 4 conductores Al | 8100                                 | 8100                              | 4860                                 | 198                    | 118.8                 |
| 3000   | SC 3000A 4 conductores Al   | 25600                                | 25600                             | 15360                                | 352                    | 211.2                 |
| 3200   | SC 3200A 4 conductores Al   | 25600                                | 25600                             | 15360                                | 352                    | 211.2                 |
| 3200   | HRC2 3200A 4 conductores Al | 8100                                 | 8100                              | 4860                                 | 198                    | 118.8                 |
| 4000   | SC 4000A 4 conductores Al   | 25600                                | 25600                             | 15360                                | 352                    | 211.2                 |
| 4000   | HRC2 4000A 4 conductores Al | 8100                                 | 8100                              | 4860                                 | 198                    | 118.8                 |
| 4500   | HRC2 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:

$$\Delta u = \frac{a \cdot \sqrt{3} \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos \varphi_m + x \cdot \sin \varphi_m)}{1000} [V] \quad (6a)$$

Para las líneas monofásicas, la fórmula se convierte:

$$\Delta u = \frac{a \cdot 2 \cdot I_b \cdot L \cdot (r_t \cdot \cos \varphi_m + x \cdot \sin \varphi_m)}{1000} [V] \quad (6b)$$

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:

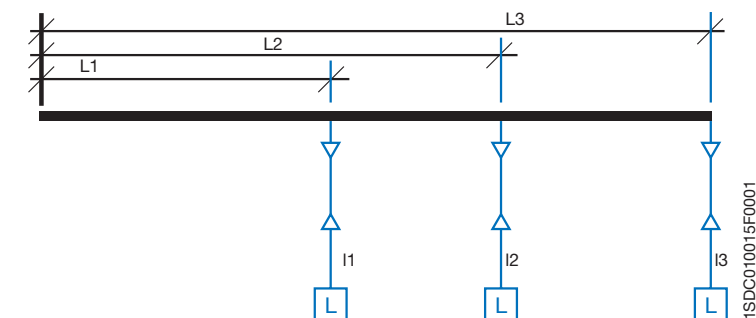
$$\Delta u \% = \frac{\Delta u}{U_r} \cdot 100 \quad (7)$$

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:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot r_t \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \cos \varphi_{mi} + x \cdot \sum I_i \cdot L_i \cdot \sin \varphi_{mi}}{1000} \text{ [V]} \quad (8)$$

donde:

- $r_t$  es la resistencia de fase por unidad de longitud del conducto medida en condiciones de régimen térmico en [mΩ/m];
- $x$  es la reactancia de fase por unidad de longitud del conducto [m\_/m];
- $\cos \varphi_{mi}$  es el factor de potencia medio de la carga i-ésima;
- $I_i$  es la corriente de la carga i-ésima [A];
- $L_i$  es la distancia de la carga i-ésima desde el origen del conducto [m].

### Pérdidas por efecto Joule

Las pérdidas por efecto Joule se deben a la resistencia eléctrica del conducto. La energía que se pierde se disipa en calor y contribuye al calentamiento del conducto y del ambiente. El cálculo de la potencia perdida es un dato útil para dimensionar correctamente la instalación de acondicionamiento de aire del edificio.

Las pérdidas en condiciones de régimen trifásico son:

$$P_j = \frac{3 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]} \quad (9a)$$

mientras que en condiciones de régimen monofásico son:

$$P_j = \frac{2 \cdot r_t \cdot I_b^2 \cdot L}{1000} \text{ [W]} \quad (9b)$$

donde:

- $I_b$  es la corriente de empleo [A];
- $r_t$  es la resistencia de fase por unidad de longitud del conducto medida en condiciones de régimen térmico [mΩ/m];
- $L$  es la longitud del conducto [m].

Para un cálculo exacto las pérdidas deben calcularse sección por sección considerando las corrientes que circulan a su través; por ejemplo, en el caso de la distribución de las cargas representada en la figura anterior se tiene:

|                                                        | Longitud    | Corriente circulante | Pérdidas                               |
|--------------------------------------------------------|-------------|----------------------|----------------------------------------|
| 1° sección                                             | $L_1$       | $I_1 + I_2 + I_3$    | $P_1 = 3r_t L_1 (I_1 + I_2 + I_3)^2$   |
| 2° sección                                             | $L_2 - L_1$ | $I_2 + I_3$          | $P_2 = 3r_t (L_2 - L_1) (I_2 + I_3)^2$ |
| 3° sección                                             | $L_3 - L_2$ | $I_3$                | $P_3 = 3r_t (L_3 - L_2) (I_3)^2$       |
| Pérdidas totales en el conducto de barras prefabricado |             |                      | $P_{\text{tot}} = P_1 + P_2 + P_3$     |

## 3 Protección de la instalación eléctrica

### 3.1 Protección y maniobra de circuitos de alumbrado

#### Introduction

A través de la red que alimenta un circuito de alumbrado circula durante un breve periodo de tiempo una corriente inicial con un valor más elevado que la corriente correspondiente a la potencia asignada de las lámparas. La posible cresta presente tiene un valor aproximado de unas 15-20 veces el valor de la corriente asignada y una duración de pocos milisegundos; puede también estar presente una corriente de inserción con un valor equivalente a 1.5-3 veces el valor de la corriente asignada y una duración de algunos minutos. Para realizar un dimensionamiento correcto de los dispositivos de protección y maniobra deberán tenerse en cuenta estos problemas.

Gráfico I cresta

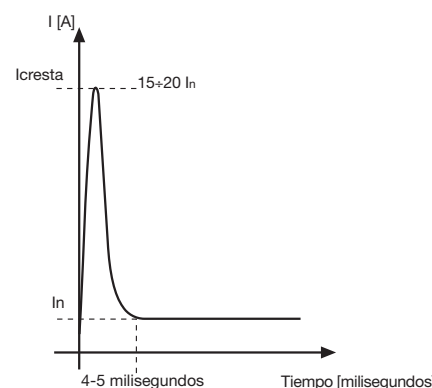
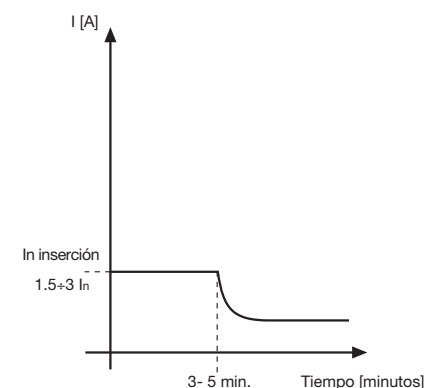


Gráfico I inserción



Las lámparas que más se utilizan son las siguientes:

- incandescencia
- halógenas
- fluorescentes
- de descarga de alta intensidad: lámpara de vapor de mercurio, lámpara de halogenuro metálico y lámpara de vapor de sodio.

#### Lámparas de incandescencia

La lámpara de incandescencia consiste en una ampolla de vidrio al vacío o con gases inertes y un filamento de tungsteno. La corriente circula a través de dicho filamento y lo calienta hasta volverlo incandescente.

El comportamiento eléctrico de estas lámparas contempla una corriente de inserción elevada, equivalente a aproximadamente unas quince veces el valor de la corriente asignada; después de pocos milisegundos, la corriente regresa al valor asignado. La cresta de inserción es causada por el filamento de la lámpara que, inicialmente estando frío, presenta una resistencia eléctrica muy baja; seguidamente, debido al calentamiento sumamente rápido, el valor de resistencia aumenta considerablemente, causando la disminución de la absorción de corriente.

### 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 envoltura 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.

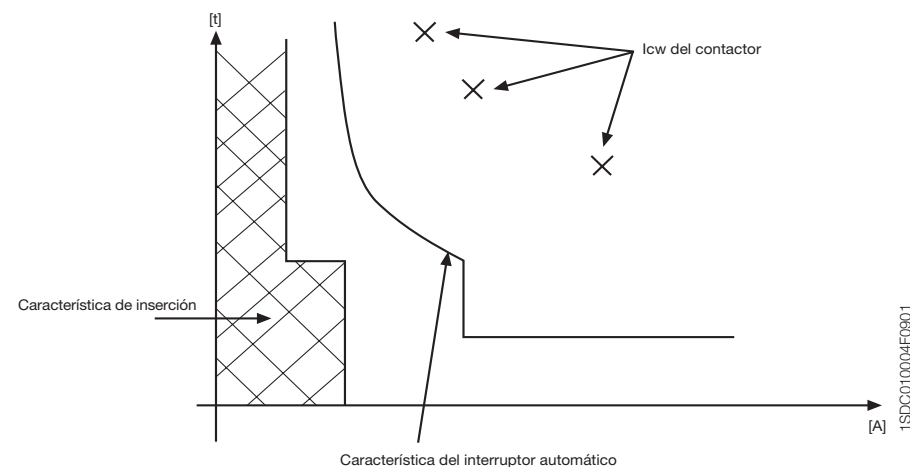
(\*) Para el cálculo, véase el Anexo B "Cálculo de la corriente de empleo  $I_b$ "

**Tabla 1: Lámparas de incandescencia y halógenas**

|                                   |                              |                        |          |          |          |          |  |                    |                     |                    |                    |                  |                    |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|--|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| U <sub>n</sub> = 400 V            |                              | I <sub>k</sub> = 15 kA |          |          |          |          |  |                    |                     |                    |                    |                  |                    |
| Incandescencia/lámparas halógenas |                              |                        |          |          |          |          |  |                    |                     |                    |                    |                  |                    |
| Tipo interruptor automático       |                              | S270 D20               | S270 D20 | S270 D25 | S270 D32 | S270 D50 |  | T2N160 In63        | T2N160 In63         | T2N160 In100       | T2N160 In100       | T2N160 In100     | T2N160 In160       |
| Ajuste PR221 DS                   |                              | ----                   | ----     | ----     | ----     | ----     |  | 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 |
| Tipo contactor                    |                              | A26                    | A26      | A26      | A26      | A30      |  | A40                | A50                 | A63                | A75                | A95              | A110               |
| Potencia [W]                      | Corriente I <sub>b</sub> [A] | N° lámparas por fase   |          |          |          |          |  |                    |                     |                    |                    |                  |                    |
| 60                                | 0.27                         | 57                     | 65       | 70       | 103      | 142      |  | 155                | 220                 | 246                | 272                | 355              | 390                |
| 100                               | 0.45                         | 34                     | 38       | 42       | 62       | 85       |  | 93                 | 132                 | 147                | 163                | 210              | 240                |
| 200                               | 0.91                         | 17                     | 19       | 20       | 30       | 42       |  | 46                 | 65                  | 73                 | 80                 | 105              | 120                |
| 300                               | 1.37                         | 11                     | 12       | 13       | 20       | 28       |  | 30                 | 43                  | 48                 | 53                 | 70               | 80                 |
| 500                               | 2.28                         | 6                      | 7        | 8        | 12       | 16       |  | 18                 | 26                  | 29                 | 32                 | 42               | 48                 |
| 1000                              | 4.55                         | 3                      | 4        | 4        | 6        | 8        |  | 9                  | 13                  | 14                 | 16                 | 21               | 24                 |

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Figura 1: Diagrama aproximado para la coordinación de las lámparas y los dispositivos de protección y maniobra**



### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 2: Lámparas fluorescentes**

|                                |                              |                        |          |          |          |          |  |          |          |                     |                     |                     |                     |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|--|----------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| U <sub>r</sub> = 400 V         |                              | I <sub>k</sub> = 15 kA |          |          |          |          |  |          |          |                     |                     |                     |                     |
| Lámparas fluorescentes non PFC |                              |                        |          |          |          |          |  |          |          |                     |                     |                     |                     |
| Tipo interruptor automático    |                              | S270 D16               | S270 D20 | S270 D20 | S270 D32 | S270 D40 |  | S270 D50 | S270 D63 | T2N160 In100        | T2N160 In100        | T2N160 In100        | T2N160 In160        |
| Ajuste PR221 DS                |                              |                        |          |          |          |          |  |          |          | 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 |
| Tipo contactor                 |                              | A26                    | A26      | A26      | A26      | A30      |  | A40      | A50      | A63                 | A75                 | A95                 | A110                |
| Potencia [W]                   | Corriente I <sub>b</sub> [A] | N° lámparas por fase   |          |          |          |          |  |          |          |                     |                     |                     |                     |
| 20                             | 0.38                         | 40                     | 44       | 50       | 73       | 100      |  | 110      | 157      | 173                 | 192                 | 250                 | 278                 |
| 40                             | 0.45                         | 33                     | 37       | 42       | 62       | 84       |  | 93       | 133      | 145                 | 162                 | 210                 | 234                 |
| 65                             | 0.7                          | 21                     | 24       | 27       | 40       | 54       |  | 60       | 85       | 94                  | 104                 | 135                 | 150                 |
| 80                             | 0.8                          | 18                     | 21       | 23       | 35       | 47       |  | 52       | 75       | 82                  | 91                  | 118                 | 132                 |
| 100                            | 1.15                         | 13                     | 14       | 16       | 24       | 33       |  | 36       | 52       | 57                  | 63                  | 82                  | 92                  |
| 110                            | 1.2                          | 12                     | 14       | 15       | 23       | 31       |  | 35       | 50       | 55                  | 60                  | 79                  | 88                  |

1SDC01033F0201

|                             |                  |                  |                      |          |          |          |          |  |                    |                  |                     |                     |                     |
|-----------------------------|------------------|------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|--|--------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ur= 400 V                   |                  | Ik= 15 kA        |                      |          |          |          |          |  |                    |                  |                     |                     |                     |
| Lámparas fluorescentes PFC  |                  |                  |                      |          |          |          |          |  |                    |                  |                     |                     |                     |
| Tipo interruptor automático |                  |                  | S270 D25             | S270 D25 | S270 D32 | S270 D40 | S270 D63 |  | T2N160 In63        | T2N160 In63      | T2N160 In100        | T2N160 In100        | T2N160 In100        |
| Ajuste PR221 DS             |                  |                  | ---                  | ---      | ---      | ---      | ---      |  | 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 |
| Tipo contactor              |                  |                  | A26                  | A26      | A26      | A26      | A30      |  | A40                | A50              | A63                 | A75                 | A95                 |
| Potencia [W]                | Corriente Ib [A] | Condensador [μF] | N° lámparas por fase |          |          |          |          |  |                    |                  |                     |                     |                     |
| 20                          | 0.18             | 5                | 83                   | 94       | 105      | 155      | 215      |  | 233                | 335              | 360                 | 400                 | 530                 |
| 40                          | 0.26             | 5                | 58                   | 65       | 75       | 107      | 150      |  | 160                | 230              | 255                 | 280                 | 365                 |
| 65                          | 0.42             | 7                | 35                   | 40       | 45       | 66       | 92       |  | 100                | 142              | 158                 | 173                 | 225                 |
| 80                          | 0.52             | 7                | 28                   | 32       | 36       | 53       | 74       |  | 80                 | 115              | 126                 | 140                 | 180                 |
| 100                         | 0.65             | 16               | 23                   | 26       | 29       | 43       | 59       |  | 64                 | 92               | 101                 | 112                 | 145                 |
| 110                         | 0.7              | 18               | 21                   | 24       | 27       | 40       | 55       |  | 59                 | 85               | 94                  | 104                 | 135                 |

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 3: Lámparas de descarga de alta intensidad**

|                                |                              |                      |          |          |          |    |          |          |          |                     |                 |                     |    |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----|----------|----------|----------|---------------------|-----------------|---------------------|----|
| U <sub>r</sub> = 400 V         | I <sub>k</sub> = 15 kA       |                      |          |          |          |    |          |          |          |                     |                 |                     |    |
| Lámparas fluorescentes non PFC |                              |                      |          |          |          |    |          |          |          |                     |                 |                     |    |
| Tipo interruptor automático    | S270 D16                     | S270 D2              | S270 D20 | S270 D32 | S270 D40 |    | S270 D40 | S270 D50 | S270 D63 | T2N160 In100        | T2N160 In100    | T2N160 In160        |    |
| Ajuste PR221 DS                |                              |                      |          |          |          |    |          |          |          | L= 0.8- B S= 6.5- B | L= 1- B S= 8- B | L= 0.8- B S= 6.5- B |    |
| Tipo contactor                 | A26                          | A26                  | A26      | A26      | A30      |    | A40      | A50      | A63      | A75                 | A95             | A110                |    |
| Potencia [W]                   | Corriente I <sub>b</sub> [A] | N° lámparas por fase |          |          |          |    |          |          |          |                     |                 |                     |    |
| 150                            | 1.8                          | 6                    | 7        | 8        | 11       | 15 |          | 17       | 23       | 26                  | 29              | 38                  | 41 |
| 250                            | 3                            | 4                    | 4        | 5        | 7        | 9  |          | 10       | 14       | 16                  | 17              | 23                  | 25 |
| 400                            | 4.4                          | 3                    | 3        | 3        | 4        | 6  |          | 7        | 9        | 10                  | 12              | 15                  | 17 |
| 600                            | 6.2                          | 1                    | 2        | 2        | 3        | 4  |          | 5        | 7        | 8                   | 8               | 11                  | 12 |
| 1000                           | 10.3                         | -                    | 1        | 1        | 2        | 3  |          | 3        | 4        | 5                   | 5               | 6                   | 7  |

|                             |                  |                  |                      |          |          |          |          |  |          |                     |                      |                   |                      |                      |
|-----------------------------|------------------|------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|--|----------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| Ur= 400 V                   |                  | Ik= 15 kA        |                      |          |          |          |          |  |          |                     |                      |                   |                      |                      |
| Lámparas fluorescentes PFC  |                  |                  |                      |          |          |          |          |  |          |                     |                      |                   |                      |                      |
| Tipo interruptor automático |                  |                  | S270 D16             | S270 D20 | S270 D20 | S270 D32 | S270 D40 |  | S270 D40 | T2N160 In100        | T2N160 In100         | T2N160 In100      | T2N160 In160         | T2N160 In160         |
| Ajuste PR221 DS             |                  |                  | ---                  | ---      | ---      | ---      | ---      |  | ---      | 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 |
| Tipo contactor              |                  |                  | A26                  | A26      | A26      | A26      | A30      |  | A40      | A50                 | A63                  | A75               | A95                  | A110                 |
| Potencia [W]                | Corriente Ib [A] | Condensador [μF] | N° lámparas por fase |          |          |          |          |  |          |                     |                      |                   |                      |                      |
| 150                         | 1                | 20               | 13                   | 14       | 15       | 23       | 28       |  | 30       | 50                  | 58                   | 63                | 81                   | 88                   |
| 250                         | 1.5              | 36               | 8                    | 9        | 10       | 15       | 18       |  | 20       | 33                  | 38                   | 42                | 54                   | 59                   |
| 400                         | 2.5              | 48               | 5                    | 5        | 6        | 9        | 11       |  | 12       | 20                  | 23                   | 25                | 32                   | 36                   |
| 600                         | 3.3              | 65               | 4                    | 4        | 5        | 7        | 8        |  | 9        | 15                  | 17                   | 19                | 24                   | 27                   |
| 1000                        | 6.2              | 100              | -                    | -        | -        | 4        | 4        |  | 5        | 8                   | 9                    | 10                | 13                   | 14                   |

1SDC010034F0201

**Ejemplo:**

Control y protección de un sistema de iluminación, alimentado por una red trifásica de 400V-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

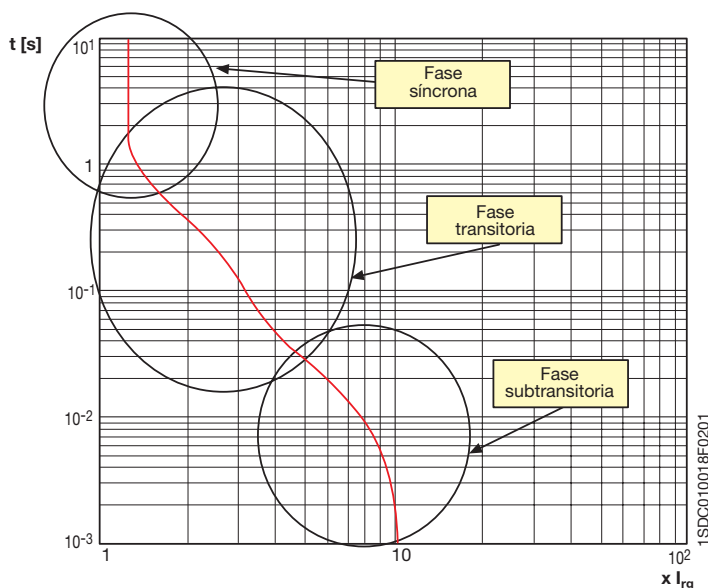
La exigencia de garantizar una continuidad de servicio cada vez mayor ha determinado un incremento en el uso de grupos de continuidad con generadores, en alternativa o en paralelo con la red pública.

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 síncrona: puede permanecer hasta la actuación de protecciones externas y se caracteriza por la reactancia síncrona  $X_d$  (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

En las siguientes tablas se indican las propuestas ABB SACE para la protección y la maniobra de los generadores; las tablas se refieren a 400 V (Tabla 1), 440 V (Tabla 2), 500 V (Tabla 3) y 690 V (Tabla 4).

**Tabla 1** 400 V

| S <sub>rg</sub> [kVA] | MCB           | MCCB              | ACB        |
|-----------------------|---------------|-------------------|------------|
| 4                     | S20L/S260 B6  | T2 160 In=10      |            |
| 6                     | S20L/S260 B10 |                   |            |
| 7                     |               |                   |            |
| 9                     | S20L/S260 B13 | T2 160 In=25      |            |
| 11                    | S20L/S260 B16 |                   |            |
| 14                    | S20L/S260 B25 |                   |            |
| 17                    |               |                   |            |
| 19                    | S20L/S260 B32 | T2 160 In=63      |            |
| 21                    |               |                   |            |
| 22                    |               |                   |            |
| 28                    | S20L/S260 B50 |                   |            |
| 31                    |               |                   |            |
| 35                    | S20L/S260 B63 |                   |            |
| 38                    |               |                   |            |
| 42                    | S280 B80      | T2 160 In=100     |            |
| 44                    |               |                   |            |
| 48                    |               |                   |            |
| 55                    | S280 B100     |                   |            |
| 69                    |               | T2 160 In=160     |            |
| 80                    |               | T2 160            |            |
| 87                    |               | T4 250            |            |
| 100                   |               | T3 250            |            |
| 111                   |               | T4 250            |            |
| 138                   |               | T4 320            |            |
| 159                   |               |                   |            |
| 173                   |               |                   |            |
| 180                   |               | T5 400            |            |
| 190                   |               | T5 630<br>S6 800  |            |
| 208                   |               |                   |            |
| 218                   |               |                   |            |
| 242                   |               | S6 800<br>S7 1250 | E1/E2 1250 |
| 277                   |               |                   |            |
| 308                   |               | S7 1250           | E2/E3 1600 |
| 311                   |               |                   | S7 1600    |
| 346                   | S8 3200       | E3 3200           |            |
| 381                   |               | E3 3200/E4 4000   |            |
| 415                   |               | E4 4000           |            |
| 436                   |               |                   |            |
| 484                   |               |                   |            |
| 554                   |               |                   |            |
| 692                   |               | E6 5000/6300      |            |
| 727                   |               |                   |            |
| 865                   |               |                   |            |
| 1107                  |               |                   |            |
| 1730                  |               |                   |            |
| 2180                  |               |                   |            |
| 2214                  |               |                   |            |
| 2250                  |               |                   |            |
| 2500                  |               |                   |            |
| 2800                  |               |                   |            |
| 3150                  |               |                   |            |
| 3500                  |               |                   |            |

**Tabla 2** 440 V

| S <sub>rg</sub> [kVA] | MCB               | MCCB             | ACB |
|-----------------------|-------------------|------------------|-----|
| 4                     | S20L/S260 B6      | T2 160 In=10     |     |
| 6                     | S20L/S260 B8      |                  |     |
| 7                     | S20L/S260 B10     |                  |     |
| 9                     | S20L/S260 B13     | T2 160 In=25     |     |
| 11                    | S20L/S260 B16     |                  |     |
| 14                    | S20L/S260 B20     |                  |     |
| 17                    | S20L/S260 B25     |                  |     |
| 19                    | S20L/S260 B32     | T2 160 In=63     |     |
| 21                    |                   |                  |     |
| 22                    |                   |                  |     |
| 28                    |                   |                  |     |
| 31                    | S20L/S260 B50     |                  |     |
| 35                    | S20L/S260 B63     |                  |     |
| 38                    |                   |                  |     |
| 42                    |                   |                  |     |
| 44                    | S280 B80          | T2 160 In=100    |     |
| 48                    |                   |                  |     |
| 55                    | S280 B100         |                  |     |
| 69                    |                   | T2 160 In=160    |     |
| 80                    |                   | T2 160 In=160    |     |
| 87                    |                   |                  |     |
| 100                   |                   | T4 250           |     |
| 111                   |                   | T3 250           |     |
| 138                   |                   | T4 250           |     |
| 159                   |                   | T4 320           |     |
| 173                   |                   |                  |     |
| 180                   |                   |                  |     |
| 190                   |                   |                  |     |
| 208                   |                   | T5 400           |     |
| 218                   |                   |                  |     |
| 242                   |                   | T5 630<br>S6 800 |     |
| 277                   |                   |                  |     |
| 308                   |                   |                  |     |
| 311                   |                   |                  |     |
| 346                   | S6 800<br>S7 1000 | E1/E2 1250       |     |
| 381                   |                   |                  |     |
| 415                   | S7 1000           |                  |     |
| 436                   | S7 1250           |                  |     |
| 484                   | S7 1600           | E2/E3 1600       |     |
| 554                   | S8 3200           | E3 2500          |     |
| 692                   |                   | E3 3200          |     |
| 727                   |                   |                  |     |
| 865                   |                   | E4 3600          |     |
| 1107                  |                   | E4 4000          |     |
| 1730                  |                   | E6 5000/6300     |     |
| 2180                  |                   |                  |     |
| 2214                  |                   |                  |     |
| 2250                  |                   |                  |     |
| 2500                  |                   |                  |     |
| 2800                  |                   |                  |     |
| 3150                  |                   |                  |     |
| 3500                  |                   |                  |     |

1SDC010016F0001

**Tabla 3** 500 V

| S <sub>г</sub> [kVA] | MCB                | MCCB                    | ACB |
|----------------------|--------------------|-------------------------|-----|
| 4                    |                    | T2 160 In=10            |     |
| 6                    |                    | T2 160 In=25            |     |
| 7                    |                    |                         |     |
| 9                    |                    |                         |     |
| 11                   |                    |                         |     |
| 14                   |                    | T2 160 In=63            |     |
| 17                   |                    |                         |     |
| 19                   |                    |                         |     |
| 21                   |                    |                         |     |
| 22                   |                    | T2 160 In=100           |     |
| 28                   |                    |                         |     |
| 31                   |                    |                         |     |
| 35                   |                    |                         |     |
| 38                   |                    | T2 160 In=160           |     |
| 42                   |                    |                         |     |
| 44                   |                    |                         |     |
| 48                   |                    |                         |     |
| 55                   |                    | T3 250<br>T4 250        |     |
| 69                   |                    |                         |     |
| 80                   |                    |                         |     |
| 87                   |                    |                         |     |
| 100                  |                    | T4 250                  |     |
| 111                  |                    |                         |     |
| 138                  |                    |                         |     |
| 159                  |                    |                         |     |
| 173                  |                    | T4 320                  |     |
| 180                  |                    |                         |     |
| 190                  |                    |                         |     |
| 208                  |                    |                         |     |
| 218                  |                    | T5 400                  |     |
| 242                  |                    |                         |     |
| 277                  |                    |                         |     |
| 308                  |                    |                         |     |
| 311                  | T5 630<br>S6 800   |                         |     |
| 346                  |                    |                         |     |
| 381                  |                    |                         |     |
| 415                  |                    |                         |     |
| 436                  | S6 800<br>S7 1000  | E1/E2 1250              |     |
| 484                  |                    |                         |     |
| 554                  |                    |                         |     |
| 692                  |                    |                         |     |
| 727                  | S7 1250            | E2/E3 1600              |     |
| 865                  |                    |                         |     |
| 1107                 |                    |                         |     |
| 1730                 |                    |                         |     |
| 2180                 | S8 2500<br>S8 3200 | E3 2500                 |     |
| 2214                 |                    |                         |     |
| 2250                 |                    |                         |     |
| 2500                 |                    |                         |     |
| 2800                 |                    | E4 4000<br>E6 5000/6300 |     |
| 3150                 |                    |                         |     |
| 3500                 |                    |                         |     |
|                      |                    |                         |     |

Nota: se recomienda comprobar que las regulaciones de los relés resulten correctas respecto a la curva de decremento efectiva de la corriente del generador que debe protegerse.

ABB - La instalación eléctrica

**Tabla 4** 690 V

|      | MCB | MCCB         | ACB |
|------|-----|--------------|-----|
| 4    |     | T2 160 In=10 |     |
| 6    |     |              |     |
| 7    |     |              |     |
| 9    |     |              |     |
| 11   |     |              |     |
| 14   |     |              |     |
| 17   |     |              |     |
| 19   |     |              |     |
| 21   |     |              |     |
| 22   |     |              |     |
| 28   |     |              |     |
| 31   |     |              |     |
| 35   |     |              |     |
| 38   |     |              |     |
| 42   |     |              |     |
| 44   |     |              |     |
| 48   |     |              |     |
| 55   |     |              |     |
| 69   |     |              |     |
| 80   |     |              |     |
| 87   |     |              |     |
| 100  |     |              |     |
| 111  |     |              |     |
| 138  |     |              |     |
| 159  |     |              |     |
| 173  |     |              |     |
| 180  |     |              |     |
| 190  |     |              |     |
| 208  |     |              |     |
| 218  |     |              |     |
| 242  |     |              |     |
| 277  |     |              |     |
| 308  |     |              |     |
| 311  |     |              |     |
| 346  |     |              |     |
| 381  |     |              |     |
| 415  |     |              |     |
| 436  |     |              |     |
| 484  |     |              |     |
| 554  |     |              |     |
| 692  |     |              |     |
| 727  |     |              |     |
| 865  |     |              |     |
| 1107 |     |              |     |
| 1730 |     |              |     |
| 2180 |     |              |     |
| 2214 |     |              |     |
| 2250 |     |              |     |
| 2500 |     |              |     |
| 2800 |     |              |     |
| 3150 |     |              |     |
| 3500 |     |              |     |

1SDC010017F0001

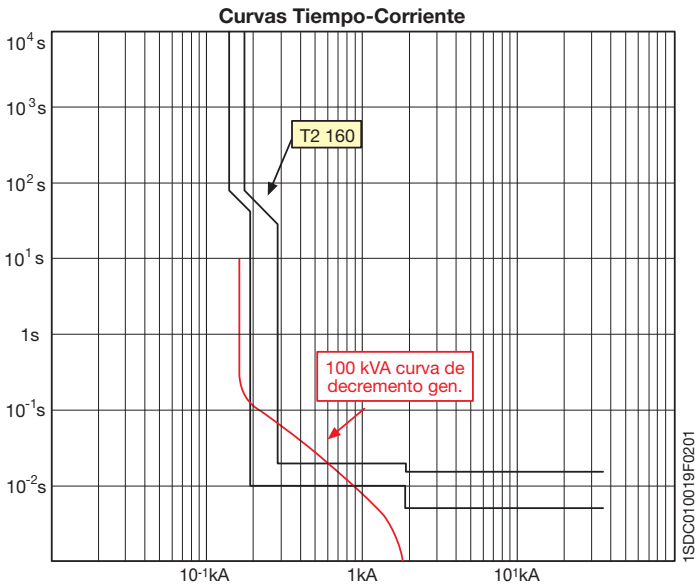
3 Protección de la instalación eléctrica

Ejemplo:

Protección de un generador de  $S_{rg} = 100 \text{ kVA}$ , colocado en una instalación con tensión asignada de 440 V.  
Los parámetros de la máquina son:  
 $U_r = 440 \text{ V}$   
 $S_{rg} = 100 \text{ kVA}$   
 $f = 50 \text{ Hz}$   
 $I_{rg} = 131.2 \text{ A}$   
 $x''_d = 6.5 \%$  (reactancia subtransitoria)  
 $x'_d = 17.6 \%$  (reactancia transitoria)  
 $x_d = 230 \%$  (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  $I_n = 160 \text{ A}$ , y relé electrónico PR221-LS. Para una protección correcta del generador, se eligen los siguientes ajustes:

Función L:  $0.84 - A$ , correspondiente a  $134.4 \text{ A}$ , 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:

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 <sup>(1)</sup> . |
|                          | AC-4                      | Motores de jaula de ardilla: arranque, inversión de marcha, marcha a impulsos    |

<sup>(1)</sup> La categoría AC-3 puede utilizarse para maniobras esporádicas de impulsos o frenados en contracorriente por periodos limitados, como los referentes al posicionamiento de la máquina; durante dichos periodos 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.

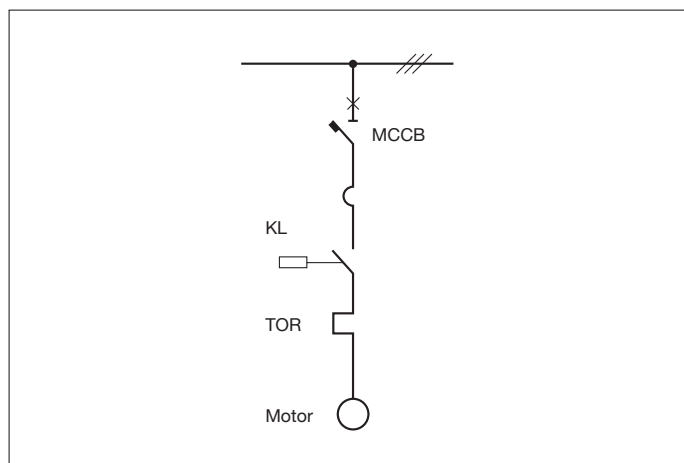
#### Métodos de arranque

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.



### 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:

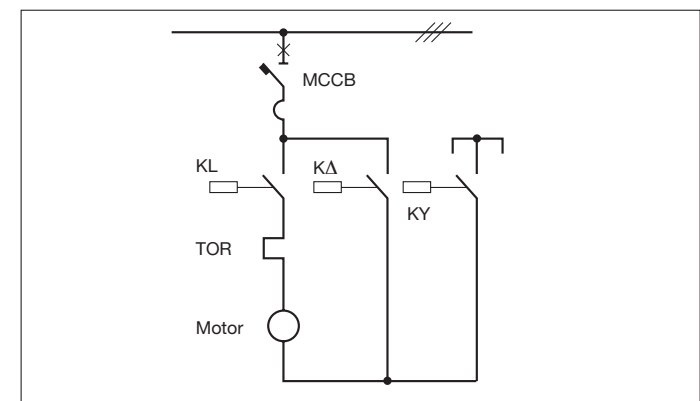
- tras el arranque, los arrollamientos del estator se conectan en estrella, obteniendo de esta forma la reducción de la corriente de arranque;
- cuando casi se alcanza la velocidad de régimen del motor, se realiza la conexión de los devanados en triángulo.

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 KΔ. Con la nueva configuración, contactores KL y KΔ 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:

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

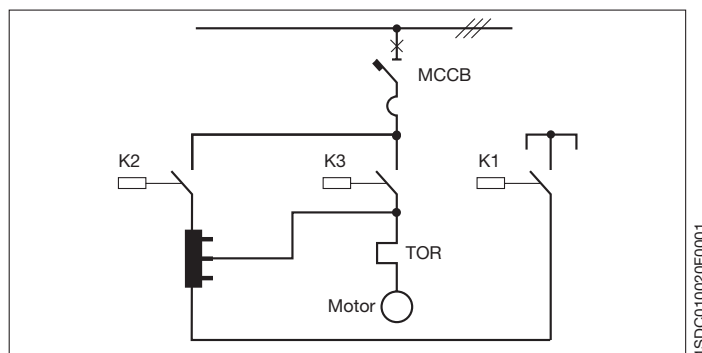
$$\frac{I_r}{3} \quad \text{contactor de estrella KY}$$

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

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  $K$  ( $K=1.25+1.8$ ) 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

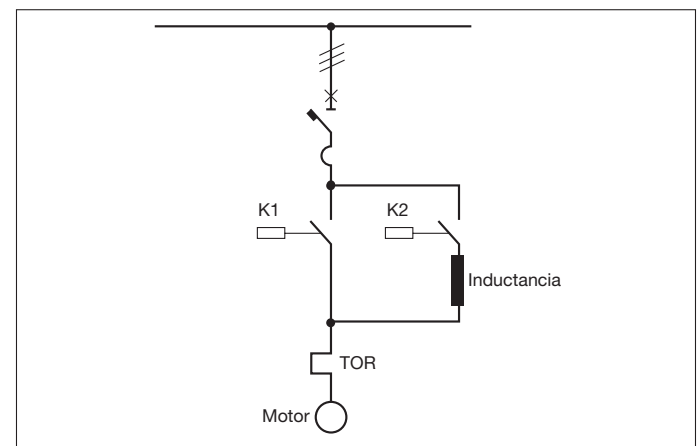
Este tipo de arranque se utiliza para rotores de jaula de ardilla sencilla o doble. La reducción de la tensión de alimentación se obtiene conectando en serie con el estator unas reactancias o resistencias. En el arranque, la corriente se limita a 2.5+3.5 veces el valor de la corriente asignada.

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).



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 sí 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 PR212/MP – contactor.

### 3 Protección de la instalación eléctrica

A continuación se indica un ejemplo de las tablas disponibles:

**Tabla 3: 400 V 35 kA DOL Arranque Normal Tipo 2 (Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)**

| Motor                  |                       | MCCB                 |                       | Contactor | Relé térmico |             |             |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------|-------------|-------------|
| P <sub>e</sub><br>[kW] | I <sub>r</sub><br>[A] | Tipo                 | I <sub>3</sub><br>[A] | Tipo      | Tipo         | Ajuste      |             |
|                        |                       |                      |                       |           |              | min.<br>[A] | max.<br>[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                   | T5S630 PR221-I In630 | 5040                  | AF400     | E500DU500    | 150         | 500         |
| 250                    | 430                   | T5S630 PR221-I In630 | 6300                  | AF460     | E500DU500    | 150         | 500         |
| 290                    | 520                   | S6S800 PR211-I In800 | 8000                  | AF580     | E800DU800    | 250         | 800         |
| 315                    | 545                   | S6S800 PR211-I In800 | 9600                  | AF580     | E800DU800    | 250         | 800         |
| 355                    | 610                   | S6S800 PR211-I In800 | 9600                  | AF750     | E800DU800    | 250         | 800         |

MA: relé sólo magnético regulable

MF: relé sólo magnético fijo

1SDC010022F0201

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 4: 400 V 50 kA DOL Arranque Pesado Tipo 2**  
(Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)

| Motor                  |                       | MCCB                 |                                  | Contactor | Relé térmico |                                |              |             |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|-----------|--------------|--------------------------------|--------------|-------------|
| P <sub>e</sub><br>[kW] | I <sub>r</sub><br>[A] | Tipo                 | Ajuste del relé magnético<br>[A] | Tipo      | Tipo**       | N° vueltas primario trafo int. | Campo ajuste |             |
|                        |                       |                      |                                  |           |              |                                | min.<br>[A]  | max.<br>[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                   | T5S630 PR221-I In630 | 6300                             | AF580     | E500DU500*** |                                | 150          | 500         |
| 290                    | 520                   | S6S800 PR211-I In800 | 8000                             | AF750     | E800DU800    |                                | 250          | 800         |
| 315                    | 545                   | S6S800 PR211-I In800 | 9600                             | AF750     | E800DU800    |                                | 250          | 800         |
| 355                    | 610                   | S6S800 PR211-I In800 | 9600                             | AF750     | E800DU800    |                                | 250          | 800         |

1SDC010020F0201

\* Suministrar un contactor de “by-pass” del mismo tamaño que el del contactor elegido durante el arranque del motor

\*\* Para relés tipo E, elegir la clase de arranque 30

\*\*\* Kit de conexión no disponible; para utilizar este kit, se deberá sustituirlo por el kit E800DU800

MA: relé sólo magnético regulable

MF: relé sólo magnético fijo

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 5: 400 V 50 kA Y/D Arranque Normal Tipo 2**  
(Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)

| MOTOR               |                    | MCCB                 |                    | Contactor |           |          | Relé térmico |           |
|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------|-----------|----------|--------------|-----------|
| P <sub>e</sub> [kW] | I <sub>r</sub> [A] | Tipo                 | I <sub>3</sub> [A] | LINEA     | TRIANGULO | ESTRELLA | Tipo         | [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 |

MA: relé sólo magnético regulable

1SDC010023F0201

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 6: 440 V 50 kA DOL Arranque Normal Tipo 2**  
(Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)

| Motor                  |                       | MCCB                 |                       | Contactor | Relé térmico |                                |     |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------|--------------------------------|-----|
| P <sub>e</sub><br>[kW] | I <sub>r</sub><br>[A] | Tipo                 | I <sub>3</sub><br>[A] | Tipo      | Tipo         | Ajuste<br>min. max.<br>[A] [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                   | T4H320 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                   | T5H630 PR221-I In630 | 5355                  | AF 460    | E500DU500    | 150                            | 500 |
| 290                    | 448                   | S6H630 PR211-I In630 | 7560                  | AF 580    | E500DU500*   | 150                            | 500 |
| 315                    | 500                   | S6H800 PR211-I In800 | 8000                  | AF 580    | E800DU800    | 250                            | 800 |
| 355                    | 549                   | S6H800 PR211-I In800 | 9600                  | AF 580    | E800DU800    | 250                            | 800 |

\* Kit de conexión no disponible

MA: relé sólo magnético regulable

MF: relé sólo magnético fijo

1SDC010024F0201

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 7: 440V 50 kA DOL Arranque Pesado Tipo 2**  
(Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)

| Motor                  |                       | MCCB                 |                                  | Contactor | Relé térmico |                                |                                      |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|-----------|--------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| P <sub>e</sub><br>[kW] | I <sub>r</sub><br>[A] | Tipo                 | Ajuste del relé magnético<br>[A] | Tipo      | Tipo**       | N° vueltas primario trafo int. | Campo ajuste<br>min. max.<br>[A] [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                   | T4H320 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                   | T5H630 PR221-I In630 | 5355                             | AF580     | E500DU500*** |                                | 150 500                              |
| 290                    | 448                   | S6H630 PR211-I In630 | 7560                             | AF750     | E500DU500*** |                                | 150 500                              |
| 315                    | 500                   | S6H800 PR211-I In800 | 8000                             | AF 750    | E800DU800    |                                | 250 800                              |
| 355                    | 549                   | S6H800 PR211-I In800 | 9600                             | AF 750    | E800DU800    |                                | 250 800                              |

\* Suministrar un contactor de “by-pass” del mismo tamaño que el del contactor elegido durante el arranque del motor

\*\* Para relés tipo E, elegir la clase de arranque 30

\*\*\* Kit de conexión no disponible; para utilizar este kit, se deberá sustituirlo por el kit E800DU800

MA: relé sólo magnético regulable

MF: relé sólo magnético fijo

1SDC010021F0201

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 8: 440V 50 kA Y/Δ Arranque Normal Tipo 2**  
(Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)

| MOTOR               |                    | MCCB                 |                    | Contactor  |                |               | Relé Térmico |         |
|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|------------|----------------|---------------|--------------|---------|
| P <sub>e</sub> [kW] | I <sub>r</sub> [A] | Tipo                 | I <sub>3</sub> [A] | LINEA Tipo | TRIANGULO Tipo | ESTRELLA Tipo | Tipo         | [A]     |
| 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 |

1SDC010025F0201

MA: relé sólo magnético regulable

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 9: 500V 50 kA DOL Arranque Normal Tipo 2**  
(Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)

| Motor               |                    | MCCB                 |                    | Contactor | Relé térmico |          |          |
|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------|--------------|----------|----------|
| P <sub>e</sub> [kW] | I <sub>r</sub> [A] | Tipo                 | I <sub>3</sub> [A] | Tipo      | Tipo         | Ajuste   |          |
|                     |                    |                      |                    |           |              | 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                | T5H630 PR221-I In630 | 5040               | AF 460    | E 500DU500   | 150      | 500      |
| 315                 | 440                | S6L630 PR211-I In630 | 7560               | AF 580    | E 500DU500*  | 150      | 500      |
| 355                 | 483                | S6L630 PR211-I In630 | 7560               | AF 580    | E 800DU800   | 250      | 800      |

1SDC010026F0201

\* Kit de conexión no disponible

MA: relé sólo magnético regulable

MF: relé sólo magnético fijo

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 10: 500V 50 kA DOL Arranque Pesado Tipo 2**  
(Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)

| Motor          |                | MCCB                 |                           | Contactor | Relé térmico |                                |                        |
|----------------|----------------|----------------------|---------------------------|-----------|--------------|--------------------------------|------------------------|
| P <sub>e</sub> | I <sub>r</sub> | Tipo                 | Ajuste del relé magnético | Tipo      | Tipo**       | N° vueltas primario trafo int. | Campo ajuste min. max. |
| [kW]           | [A]            |                      | [A]                       |           |              |                                | [A] [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       | 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            | T5H630 PR221-I In630 | 5040                      | AF580     | E500DU500*** |                                | 150 500                |
| 315            | 440            | S6L630 PR211-I In630 | 7560                      | AF750     | E500DU500*** |                                | 150 500                |
| 355            | 483            | S6L630 PR211-I In630 | 7560                      | AF750     | E500DU500    |                                | 150 500                |

1SDC010021F0201

\* Suministrar un contactor de “by-pass” del mismo tamaño que el del contactor elegido durante el arranque del motor

\*\* Para relés tipo E, elegir la clase de arranque 30

\*\*\* Kit de conexión no disponible; para utilizar este kit, se deberá sustituirlo por el kit E800DU800

MA: relé sólo magnético regulable

MF: relé sólo magnético fijo

### 3 Protección de la instalación eléctrica

**Tabla 11: 500V 50 kA Y/Δ Arranque Normal Tipo 2**  
(Tmax, Isomax – contactor – relé térmico)

| MOTOR               |                    | MCCB                 |                    | Contactor  |                |               | Relé térmico |         |
|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|------------|----------------|---------------|--------------|---------|
| P <sub>e</sub> [kW] | I <sub>r</sub> [A] | Tipo                 | I <sub>Δ</sub> [A] | LINEA Tipo | TRIANGULO Tipo | ESTRELLA Tipo | Tipo         | [A]     |
| 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           | A 30          | TA75DU52     | 36 - 52 |
| 55                  | 82                 | T2L160 MA100         | 1050               | A 75       | A 75           | A 30          | 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 |

1SDC010021F0201

MA: relé sólo magnético regulable

### 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  $\frac{I_r}{\sqrt{3}} = 202 \text{ A}$  )

### 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 ( $I_{1r}$ ): ( $K = I_0 / I_{1r}$ )

t constante de tiempo de la corriente de inserción

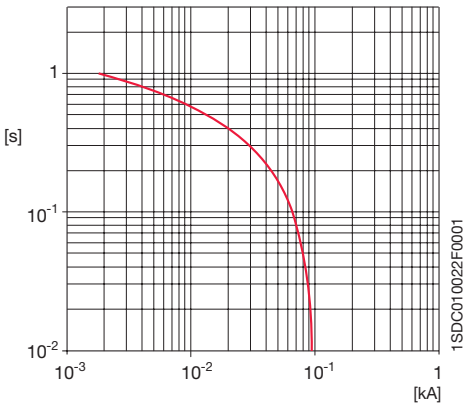
$I_{1r}$  corriente asignada del primario

τ tiempo.

La siguiente Tabla muestra los valores aproximados para los parámetros t 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    |
| $\tau$ [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:

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_{Net} + Z_t)} \quad [A] \quad (1)$$

donde:

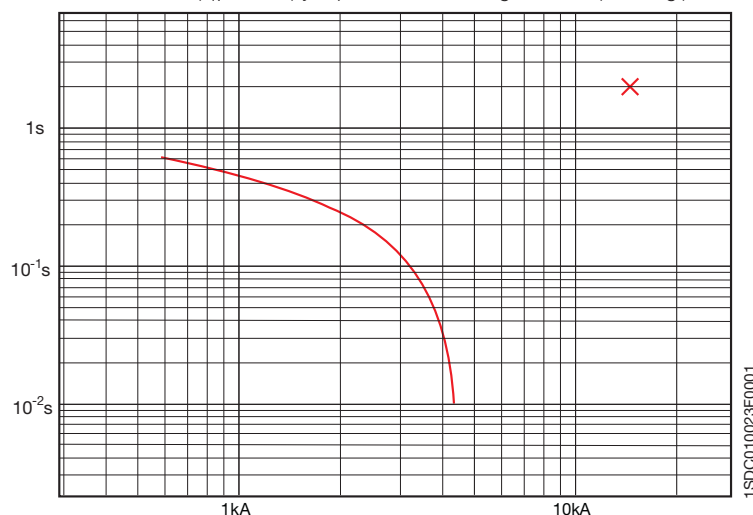
- $U_r$  es la tensión asignada del transformador [V]
- $Z_{Net}$  es la impedancia de cortocircuito de la red [ $\Omega$ ]
- $Z_t$  es la impedancia de cortocircuito del transformador; conocidas la potencia asignada del transformador ( $S_r$  [VA]) y la tensión de cortocircuito porcentual ( $u_k\%$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

$$I_k = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot (Z_t)} = \frac{U_r}{\sqrt{3} \cdot \left( \frac{u_k \% \cdot U_r^2}{100 \cdot S_r} \right)} = \frac{100 S_r}{\sqrt{3} \cdot u_k \% \cdot U_r} \quad [A] \quad (3)$$

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.).

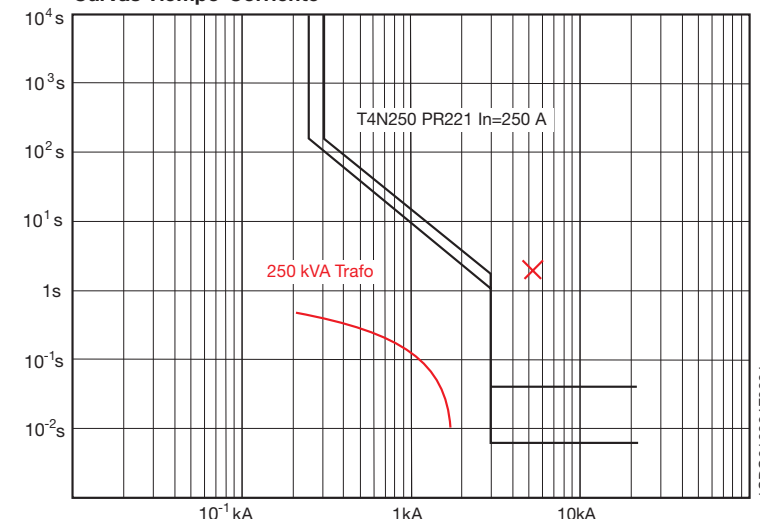


### 3 Protección de la instalación eléctrica

Resumiendo: para que un dispositivo de protección puesto aguas arriba pueda proteger el transformador correctamente y no actúe de forma imprevista, la curva de actuación del mismo deberá hallarse por encima de la curva de inserción y por debajo del punto de sobrecarga.

La siguiente figura muestra un posible posicionamiento de la curva tiempo-corriente de un dispositivo de protección puesto aguas arriba de un transformador 690/400 V de 250 kVA con  $u_k\% = 4\%$ .

Curvas Tiempo-Corriente



#### 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:

$$I_r = \frac{1000 \cdot S_r}{\sqrt{3} \cdot U_{r20}} \quad [A] \quad (4)$$

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):

$$I_k = \frac{100 \cdot I_r}{u_k \%} \quad [\text{A}] \quad (5)$$

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.

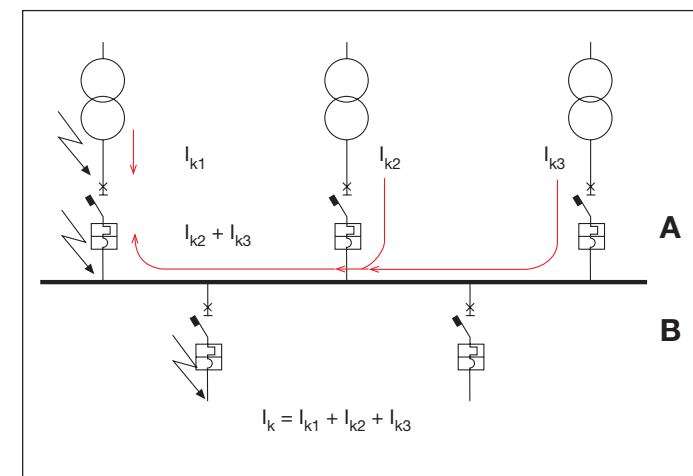
Como puede observarse en la siguiente figura, en el caso de un defecto aguas abajo de un interruptor automático de transformador (interruptor automático A), la corriente de cortocircuito que circula a través del mismo es la de un solo transformador.

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.

### 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).

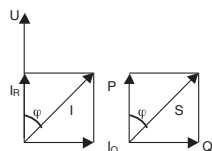
Los interruptores automáticos puestos en las salidas (interruptores automáticos B) deben tener un poder de corte superior a la suma de las corrientes de cortocircuito de los tres transformadores, suponiendo que la potencia de cortocircuito aguas arriba de la red sea infinita y que las cargas sean pasivas.



1SDC010025F0001

## 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  $I$ ;  $\varphi$  es el ángulo de fase entre la tensión  $U$  y la corriente  $I$ .

Resultado:

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{P}{S} \quad (1)$$

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                            | $\cos\varphi$      | $\tan\varphi$              |
|----------------------------------|--------------------|----------------------------|
|                                  | factor de potencia | factor 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.

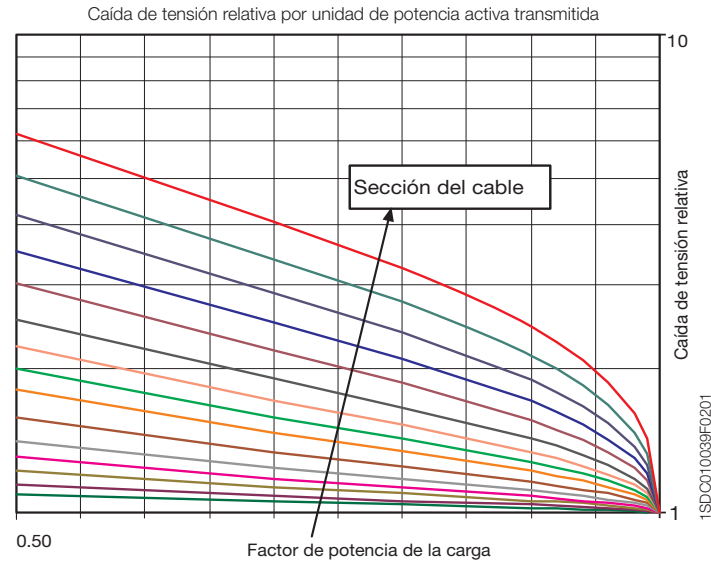
De esta forma tanto la línea como el generador de alimentación pueden ser dimensionados para una potencia aparente inferior.

En detalle, como se muestra de forma aproximada en las Figuras 1 y 2, aumentando el factor de potencia de la carga:

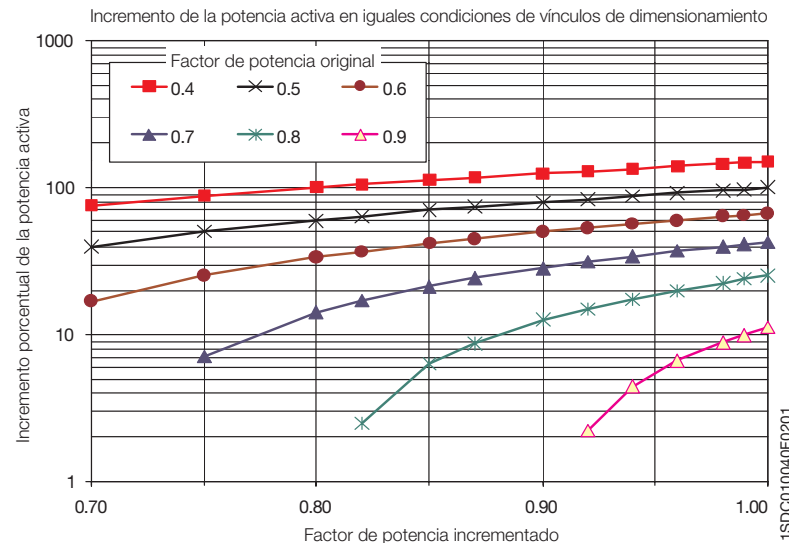
- disminuye la caída de tensión relativa  $u_{rp}$  por unidad de potencia activa transmitida
- se incrementa la potencia activa que puede transmitirse y disminuyen las pérdidas a iguales condiciones de otros parámetros de dimensionamiento.

## 4 Corrección del factor de potencia

**Figura 1: Caída de tensión relativa**



**Figura 2: Potencia activa que puede transmitirse**



## 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 aparamenta de las líneas de transmisión;
- mayores pérdidas por efecto Joule y caídas de tensión más elevadas en las líneas y aparamenta.

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:

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

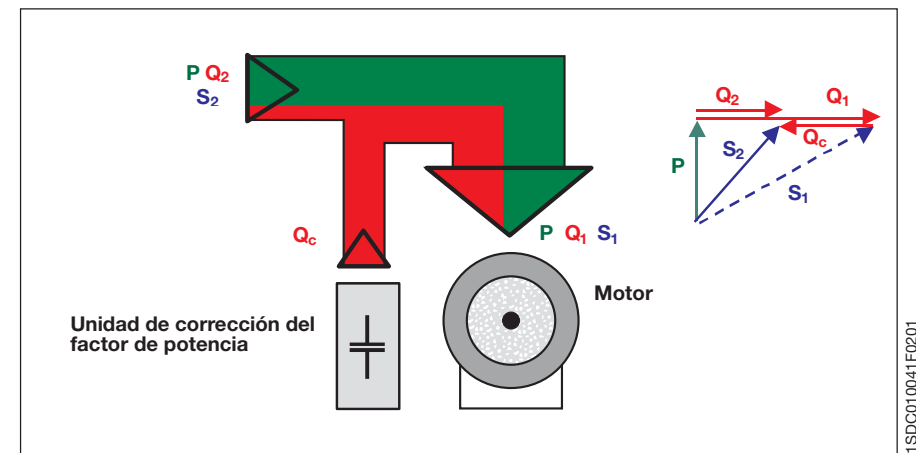
donde:

P es la potencia activa

$Q_1, \varphi_1$  son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección del factor de potencia

$Q_2, \varphi_2$  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 ( $U_r=400V$ ) 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 mas 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      | $I_c = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r$     | $I_c = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r / \sqrt{3}$ | $I_c = 2\pi f_r \cdot C \cdot U_r$             |
| Corriente de línea                       | $I_l = I_c$                            | $I_l = I_c$                                   | $I_l = I_c \cdot \sqrt{3}$                     |

1SDC010005F0901

En un sistema trifásico, para la misma potencia reactiva la conexión en estrella requiere un condensador con una capacidad 3 veces mayor que la de un condensador con conexión en triángulo.

Además el condensador conectado en estrella está sometido a una tensión  $\sqrt{3}$  veces 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 manera de reducir la tensión residual en los terminales a 75 V en 3 minutos, tal y como indican las normas 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.

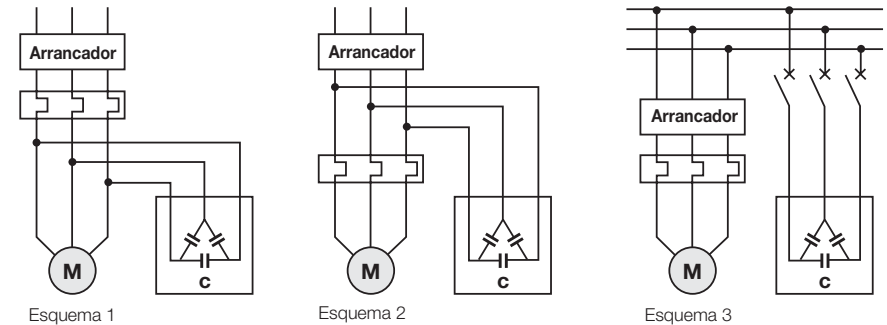
Este tipo de corrección del factor de potencia se recomienda en caso de grandes instalaciones usuarias con carga y factor de potencia constantes y tiempos de conexión largos.

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



Esquema 1

Esquema 2

Esquema 3

1SDC010028F0001

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 <sub>r</sub><br>[kW]              | Q <sub>c</sub><br>[kvar] | Antes de la corrección<br>del factor de potencia |                    | Después de la corrección<br>del factor de potencia |                    |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
|                                     |                          | cosφ <sub>r</sub>                                | I <sub>r</sub> [A] | cosφ <sub>2</sub>                                  | I <sub>2</sub> [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 <sub>r</sub><br>[kW]              | Q <sub>c</sub><br>[kvar] | Antes de la corrección<br>del factor de potencia |                    | Después de la corrección<br>del factor de potencia |                    |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
|                                     |                          | cosψ <sub>r</sub>                                | I <sub>r</sub> [A] | cosψ <sub>2</sub>                                  | I <sub>2</sub> [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  $S_r$  [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:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} \approx \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right) \text{ [kvar]} \quad (7)$$

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:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right)^2 - P_{cu}^2} = \sqrt{\left(\frac{1.8\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 1.2^2} + 0.6^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right)^2 - 8.9^2} = 19.8 \text{ kvar}$$

mientras que utilizando la fórmula simplificada resulta:

$$Q_c = \left(\frac{i_0\%}{100} \cdot S_r\right) + K_L^2 \cdot \left(\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r\right) = \left(\frac{1.8\%}{100} \cdot 630\right) + 0.6^2 \cdot \left(\frac{4\%}{100} \cdot 630\right) = 20.4 \text{ kvar}$$

## 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 <sub>r</sub><br>[kVA]       | u <sub>k</sub> %<br>[%] | i <sub>0</sub> %<br>[%] | P <sub>fe</sub><br>[kW] | Q <sub>c</sub> [kvar]   |     | Factor de carga K <sub>L</sub> |     |      |     |  |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|--------------------------------|-----|------|-----|--|
|                               |                         |                         |                         | P <sub>cu</sub><br>[kW] | 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 |  |

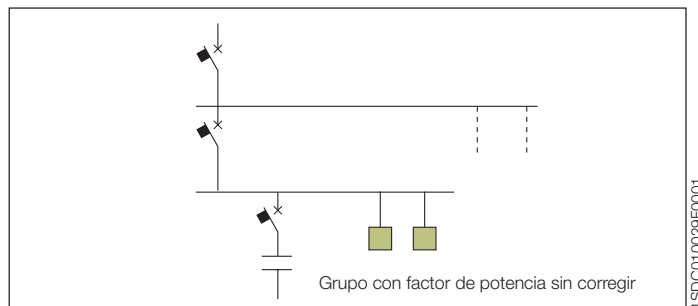
|                                      |   |     |      |       |     |     |     |     |     |  |
|--------------------------------------|---|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| <b>Transformador en resina MT-BT</b> |   |     |      |       |     |     |     |     |     |  |
| 100                                  | 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

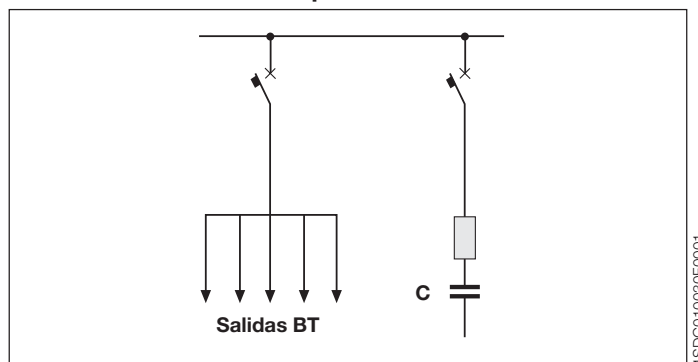
### Corrección del factor de potencia por grupos



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



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

## 4 Corrección del factor de potencia

considerablemente 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:

$$I_{cmax} = 1.3 \cdot 1.15 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_r} \approx 1.5 \cdot I_r \quad (8)$$

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 ( $1+15$  kHz), de corta duración ( $1+3$  ms) y con cresta elevada ( $25+200 I_r$ ).

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  $10 \cdot I_{cmax}$

$$I_3 \geq 10 \cdot I_{cmax} = 15 \cdot I_{rc} = 15 \cdot \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_r} \quad (9)$$

- 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 interruptores automáticos en caja moldeada Tmax**

|                  | $I_{nCB}$ | $I_{rc}$ | $Q_c$ [kvar] |       |       |       | $N_{mech}$ | $f_{mech}$ | $N_{el}$ | $f_{el}$ |
|------------------|-----------|----------|--------------|-------|-------|-------|------------|------------|----------|----------|
| Tipo CB          | [A]       | [A]      | 400 V        | 440 V | 500 V | 690 V |            | [op/h]     |          | [op/h]   |
| 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       | 167      | 115          | 127   | 144   | 199   | 25000      | 240        | 8000     | 120      |
| T4 N-S-H-L-V 250 | 250       | 167      | 115          | 127   | 144   | 199   | 20000      | 240        | 8000     | 120      |
| T4 N-S-H-L-V 320 | 320       | 213      | 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       |
| T5 N-S-H-L-V 630 | 630       | 420      | 291          | 320   | 364   | 502   | 20000      | 120        | 5000     | 60       |

\* Para la ejecución extraíble, desclasas del 10% la potencia máxima de la batería de condensadores

**Tabla 6: Tabla de elección interruptores automáticos en caja moldeada SACE Isomax S**

|                | $I_{nCB}$ | $I_{rc}$ | $Q_c$ [kvar] |      |      |      | $N_{mech}$ | $f_{mech}$ | $N_{el}$ | $f_{el}$ |
|----------------|-----------|----------|--------------|------|------|------|------------|------------|----------|----------|
| S6 N-S-H-L 800 | 800       | 533      | 369          | 406  | 462  | 637  | 20000      | 120        | 5000     | 60       |
| 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       |
| S8 H-V 2000    | 2000      | 1333     | 924          | 1016 | 1155 | 1593 | 10000      | 120        | 3000     | 20       |
| S8 H-V 2500    | 2500      | 1667     | 1155         | 1270 | 1443 | 1992 | 10000      | 120        | 2500     | 20       |
| S8 H-V 3200    | 3200      | 2133     | 1478         | 1626 | 1847 | 2550 | 10000      | 120        | 1500     | 10       |

## 4 Corrección del factor de potencia

**Tabla 7: Tabla de elección interruptores automáticos abiertos SACE Emax**

|          | $I_{nCB}$ | $I_{rc}$ | $Q_c$ [kvar] |       |       |       | $N_{mech}$ | $f_{mech}$ | $N_{el}$ | $f_{el}$ |
|----------|-----------|----------|--------------|-------|-------|-------|------------|------------|----------|----------|
| Tipo CB  | [A]       | [A]      | 400 V        | 440 V | 500 V | 690 V |            | [op/h]     |          | [op/h]   |
| E1 B-N   | 1250      | 834      | 578          | 636   | 722   | 997   | 25000      | 60         | 10000    | 30       |
| E2 B-N   | 1250      | 834      | 578          | 636   | 722   | 997   | 25000      | 60         | 15000    | 30       |
| E2 B-N   | 1600      | 1067     | 739          | 813   | 924   | 1275  | 25000      | 60         | 12000    | 30       |
| E2 B-N   | 2000      | 1334     | 924          | 1017  | 1155  | 1594  | 25000      | 60         | 10000    | 30       |
| E3 N-S-H | 1250      | 834      | 578          | 636   | 722   | 997   | 20000      | 60         | 12000    | 20       |
| E3 N-S-H | 1600      | 1067     | 739          | 813   | 924   | 1275  | 20000      | 60         | 10000    | 20       |
| E3 N-S-H | 2000      | 1334     | 924          | 1017  | 1155  | 1594  | 20000      | 60         | 9000     | 20       |
| E3 N-S-H | 2500      | 1667     | 1155         | 1270  | 1444  | 1992  | 20000      | 60         | 8000     | 20       |
| E3 N-S-H | 3200      | 2134     | 1478         | 1626  | 1848  | 2550  | 20000      | 60         | 6000     | 20       |
| E4 S-H   | 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

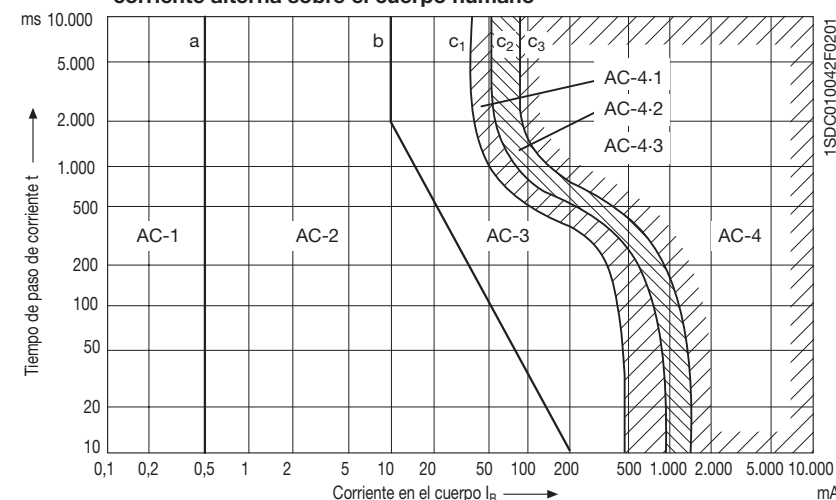
Los peligros que se derivan del contacto de una persona con una parte en tensión son causados por el paso de la corriente por el cuerpo. Los efectos del paso de corriente por el cuerpo humano son:

- **tetanicación:** 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 tetanicación 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<br>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 <sub>1</sub> | 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 <sub>1</sub>       | 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 <sub>1</sub> - c <sub>2</sub>             | Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando hasta 5%.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| AC-4.2                 | c <sub>2</sub> - c <sub>3</sub>             | Probabilidad de fibrilación ventricular aumentando hasta 50% aproximadamente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| AC-4.3                 | Por encima de la curva c <sub>3</sub>       | Probabilidad de fibrilación superior 50%.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

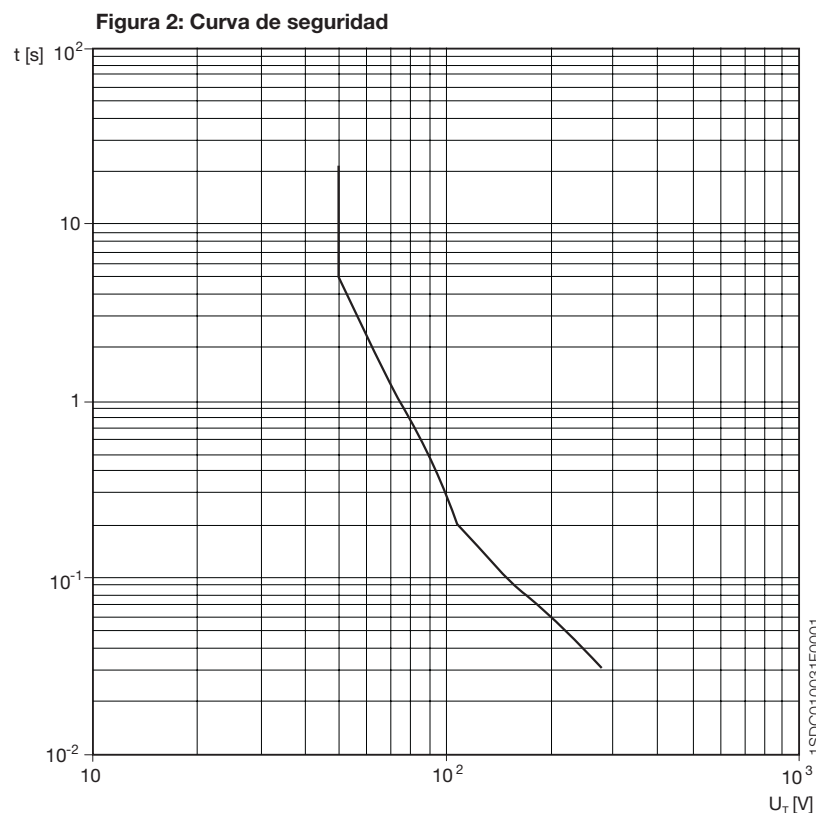
\* Para duraciones de paso de corriente inferiores a 10 ms, el límite de corriente que atraviesa el cuerpo por la línea b permanece constante e igual a 200 mA.

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:

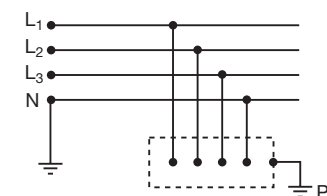
- T: masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación;
- N: masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesto a neutro.

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

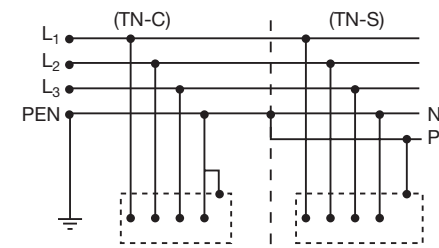
- S: las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados;
- C: las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor PEN).

Hay tres tipos de sistemas de distribución:

#### Sistema TT

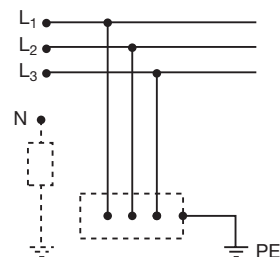


#### Sistema TN



## 5 Protección de las personas

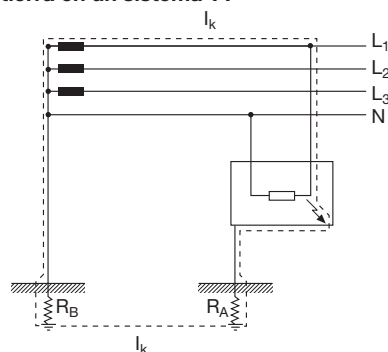
### Sistema IT



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.

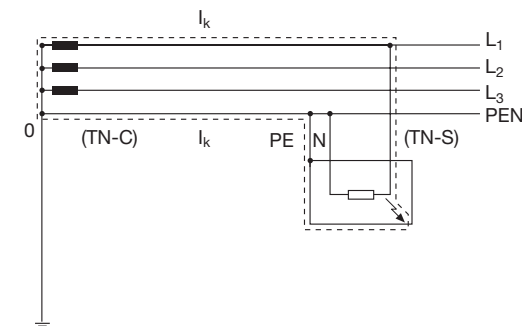
Se consideran tres tipos de sistemas TN según la disposición de los conductores de neutro y de tierra:

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).

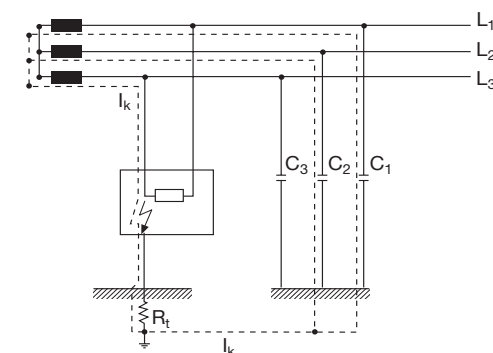
**Fig. 2: Falta a tierra en un sistema TN**



1SDC010036F0001

Los sistemas **IT** no tienen la alimentación directamente conectada a tierra, aunque puede estarlo a través de una impedancia de valor suficientemente alto. Las masas están puestas a tierra ya sea de forma individual, por grupos, o de forma colectiva, mediante un electrodo de tierra independiente. Las corrientes de tierra circulan hacia la alimentación a través del electrodo de tierra de las masas y la capacidad de los conductores (Fig. 3).

**Fig. 3: Falta a tierra en un sistema IT**



1SDC010037F0001

Este sistema de distribución se utiliza en plantas en las que la continuidad de servicio es un requisito fundamental. La primera falta a tierra no ocasiona la desconexión de la instalación por ser de un valor muy bajo. En este sistema se utiliza un monitor de aislamiento para la señalización óptica y acústica en caso de falta a tierra.

## 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 envoltentes: las partes activas deben estar dentro de envoltentes o detrás de barreras con grado de protección de como mínimo IPXXB o IP2X; para superficies horizontales el grado de protección deberá ser como mínimo IPXXD o IP4X;
- obstáculos: la interposición de un obstáculo entre las partes activas y el operario previene solamente del contacto accidental, pero no del contacto intencional debido a quitar el obstáculo sin herramientas o útiles especiales;
- distanciamiento: las partes simultáneamente accesibles a distinta tensión no deben estar al alcance de la mano.

Una medida adicional contra contactos directos es el empleo de interruptores diferenciales con corriente diferencial asignada no superior a 30 mA. Debe recordarse que la utilización del interruptor diferencial como medida de protección contra los contactos directos no excluye la necesidad de aplicar una de las medidas de protección citadas anteriormente.

Las medidas de protección contra **contactos indirectos** son:

- con corte automático de la alimentación: un dispositivo de protección debe interrumpir automáticamente la alimentación del circuito en un tiempo tal que la tensión de contacto en las masas no permanezca un tiempo superior al que puede causar un daño fisiológico en las personas;
- doble aislamiento o aislamiento reforzado, utilizando componentes de Clase II;

## 5 Protección de las personas

- locales no conductores: locales con un valor elevado de resistencia de los suelos y paredes aislantes ( $\geq 50 \text{ k}\Omega$  para  $U_r \leq 500\text{V}$ ;  $\geq 100 \text{ k}\Omega$  para  $U_r > 500\text{V}$ ) y sin conductores de protección en el interior;
- separación eléctrica, p.e. utilización de un transformador de aislamiento para alimentar el circuito;
- conexiones equipotenciales locales, las masas están conectadas entre ellas pero no puestas a tierra (earth-free local equipotential bonding)

Finalmente, también existen las siguientes medidas que garantizan la protección combinada tanto contra contactos directos como indirectos:

- sistemas a muy baja tensión de seguridad SELV (Safety Extra Low Voltage) y sistema PELV (Protective Extra Low Voltage);
- sistema FELV (Functional Extra Low Voltage).

La protección combinada contra los contactos directos e indirectos está asegurada cuando se satisface el artículo 411 de la norma UNE 20460-4-41; en particular:

- la tensión nominal no debe superar 50 V valor eficaz c.a. y 120 V c.c. no ondulada;
- la alimentación debe provenir de una fuente SELV o PELV;
- deben ser satisfechas las condiciones de instalación previstas para este tipo de circuito eléctrico.

Un circuito SELV tiene las siguientes características:

1. está alimentado por una fuente autónoma o por un transformador de seguridad. Son fuentes autónomas las pilas, acumuladores y grupos electrógenos;
2. no tiene ningún punto a tierra. Está prohibido conectar a tierra tanto las masas como las partes activas del circuito SELV;
3. debe estar separado de otros sistemas eléctricos. La separación del sistema SELV de otros circuitos debe ser garantizada para todos los componentes; por lo que los conductores del circuito SELV, o bien son puestos en canales separados o tienen que ser provistos de una cubierta aislante suplementaria.

Un circuito PELV tiene los mismos requisitos que un sistema SELV excepto la prohibición de tener puntos a tierra; en un circuito PELV al menos un punto debe estar conectado a tierra.

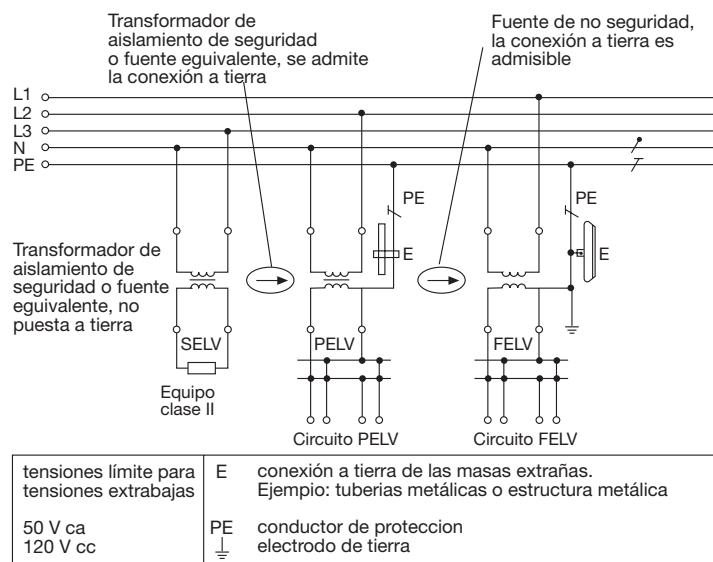
## 5 Protección de las personas

Los circuitos FELV son utilizados cuando por razones funcionales no pueden ser satisfechas las prescripciones de los circuitos SELV o PELV, requieren que sean respetadas las siguientes reglas:

- la protección contra contactos directos debe ser asegurada por:
  - barreras o envoltentes con grado de protección conforme a lo indicado anteriormente (medidas de protección contra contactos directos);
  - aislamiento correspondiente a la tensión de ensayo requerida por el circuito primario. Si tal ensayo no se supera, el aislamiento de las partes accesibles no conductoras del componente eléctrico debe ser reforzado durante la instalación de modo que pueda soportar una tensión de ensayo de 1500 V c. a. durante 60 s;
- la protección contra los contactos indirectos debe asegurarse por:
  - conexión de las masas del circuito FELV al conductor de protección del circuito primario a condición que este último responda a una de las medidas de protección contra los contactos directos;
  - conexión de una parte activa del circuito FELV al conductor de protección del circuito primario, a condición que sea aplicada una medida de protección mediante corte automático de la alimentación de dicho circuito primario;
- los conectores del sistema FELV no deben poderse insertar en otras 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**



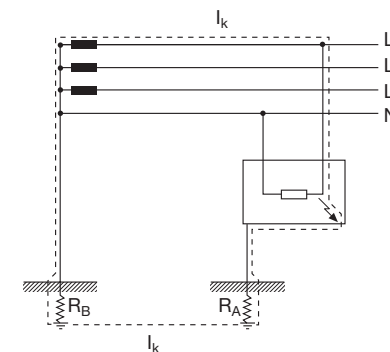
Nota 1: Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes no están representados en esta figura.

## 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**



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:

$$R_t \leq \frac{50}{I_a} \quad \text{o bien} \quad R_t \leq \frac{50}{I_{\Delta n}}$$

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 [ $\Omega$ ];

$I_a$  es la corriente de disparo en 5 s del dispositivo de protección contra sobrecorrientes, 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.

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  $1\ \Omega$ ) 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

| $I_{\Delta n}$<br>[A] | $R_t$<br>[ $\Omega$ ] |
|-----------------------|-----------------------|
| 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:

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

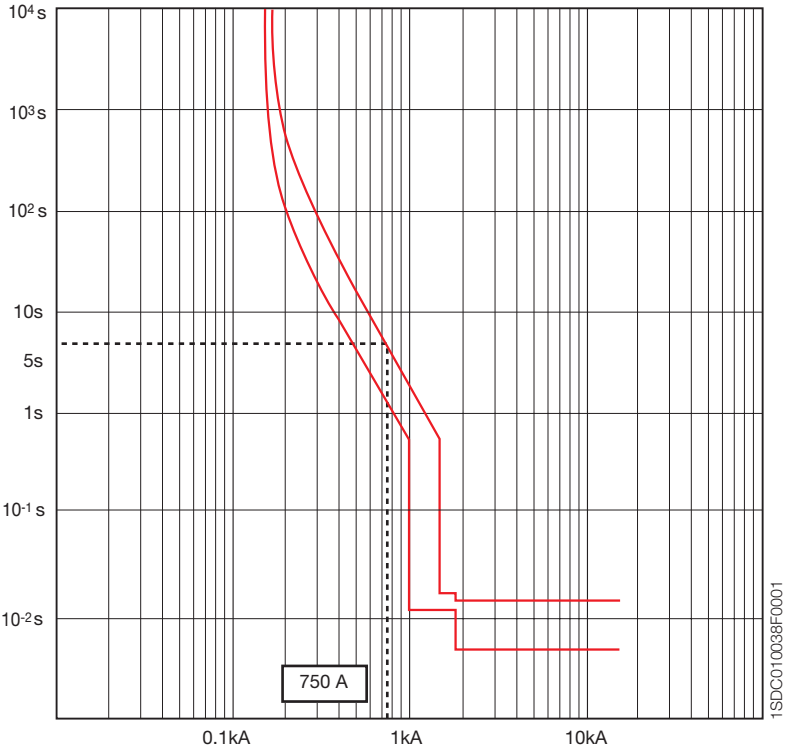
Para asegurar la protección necesaria se deberá realizar una puesta a tierra de  $R_t \leq 0,06\ \Omega$ , valor muy difícil de obtener.

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 sobreintensidad, al ser esta la corriente más elevada entre los dos tipos de dispositivos, quedan anulados todos los beneficios derivados del uso de interruptores diferenciales.

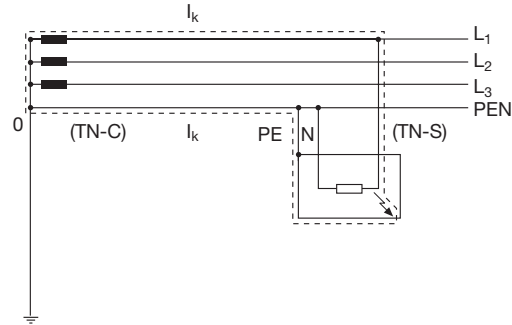
Por consiguiente es aconsejable proteger todas salidas, en una instalación TT, mediante interruptores automáticos diferenciales coordinados con la puesta a tierra, de modo que se puedan obtener las ventajas tanto de una rápida desconexión del circuito cuando ocurra una falta, como la de un sistema de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

$U_0$  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:

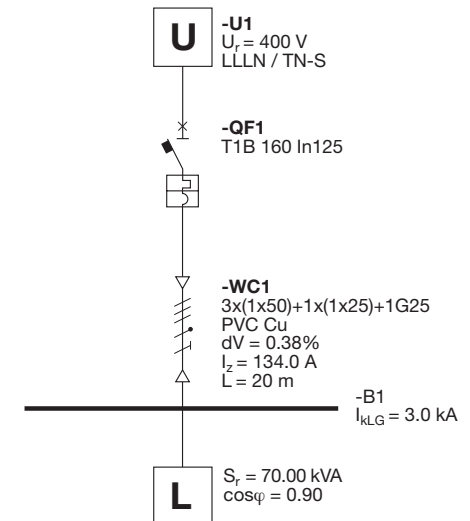
En la instalación representada en la Figura 2 la corriente de falta a tierra es:

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

La tensión nominal entre fase y tierra es 230V por lo tanto, de acuerdo con la Tabla 1, debe cumplirse que:

$$I_a (0.4s) \leq \frac{U_0}{Z_s} = I_{kLG} = 3 \text{ kA}$$

**Figura 2**

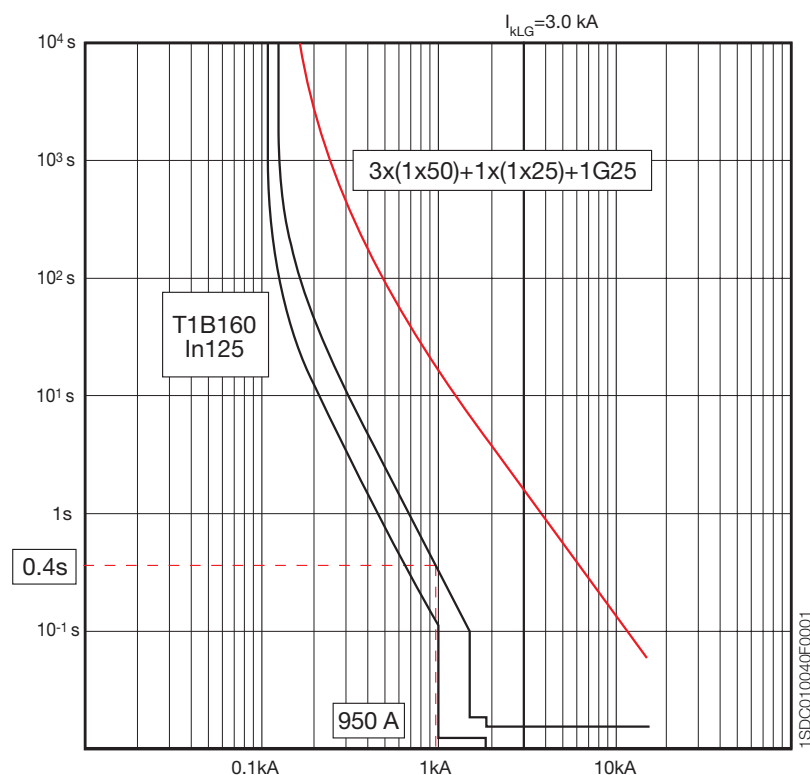


1SDC010036F0001

## 5 Protección de las personas

De la curva tiempo-corriente (Figura 3), se puede ver que el interruptor dispara en 0.4 s para una corriente del orden de 950 A. En consecuencia se cumple la protección contra contactos indirectos utilizando el mismo interruptor que protege el cable contra cortocircuitos y sobrecargas, o sea sin necesidad de utilización de interruptor diferencial.

**Figura 3: Curvas tiempo-corriente LG**

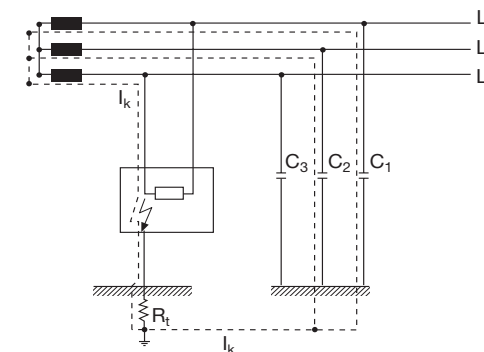


## 5 Protección de las personas

### 5.6 Sistema de distribución IT

Como puede verse en la Figura 1, la corriente de falta a tierra en un sistema IT retorna a través de las capacidades a tierra de la instalación; por consiguiente la corriente de la primera falta resulta ser de un valor extremadamente reducido, que no provoca ninguna actuación de las protecciones contra sobrecorrientes; la tensión de contacto originada será de un valor muy bajo.

**Fig.1: Falta a tierra en un sistema IT**



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 [ $\Omega$ ];
- $I_d$  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")

## 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 [ $\Omega$ ];
- $Z'_s$  impedancia del bucle de defecto constituido por el conductor neutro y por el conductor de protección del circuito [ $\Omega$ ];
- $I_a$  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<br>$U_0/U_r$ [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.

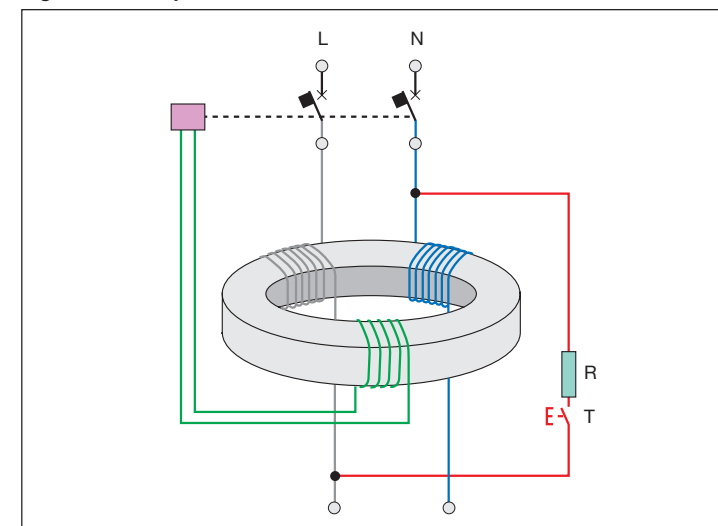
## 5 Protección de las personas

### 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  $I\Delta$  es igual a cero. En el caso de que se produzca una falta a tierra y su valor  $I\Delta$  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 solicitaciones 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.

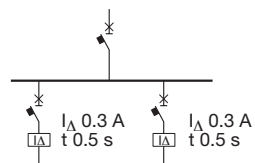
### Selectividad entre dispositivos diferenciales

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:

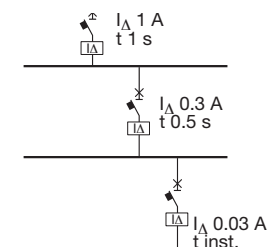
- selectividad horizontal: consiste en proteger cada una de las líneas con un interruptor diferencial; de este modo, en caso de falta a tierra, solamente quedará fuera de servicio la línea afectada por la falta, ya que las demás líneas no detectarán ninguna corriente de falta. De todas formas, es necesario 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 mm<sup>2</sup>.

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;
- $\rho$  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 mm<sup>2</sup>, que se obtiene de la siguiente tabla:

| Sección fase<br>[mm <sup>2</sup> ] | 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.

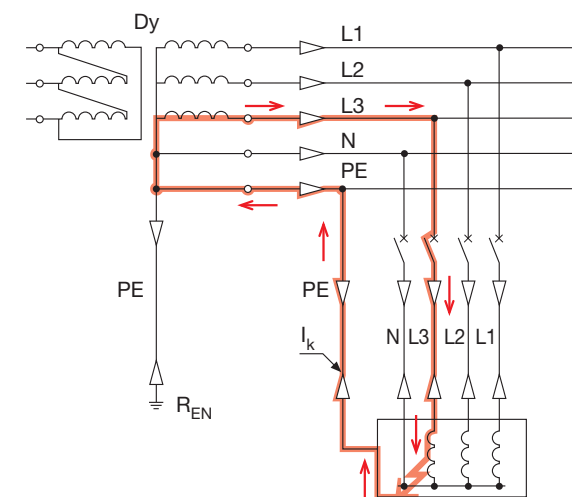
### Sistema TN

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:

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



### 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

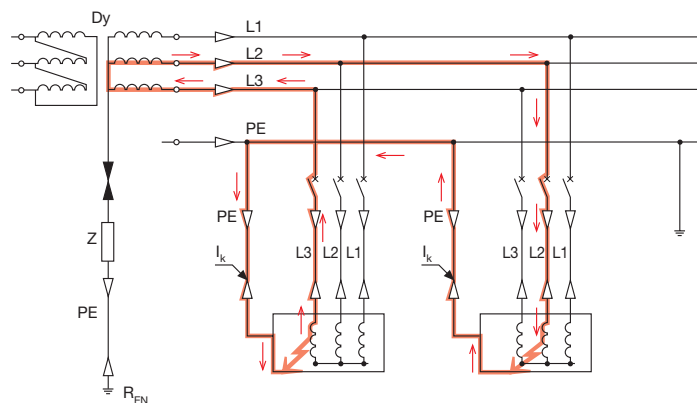
### Neutro no distribuido

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

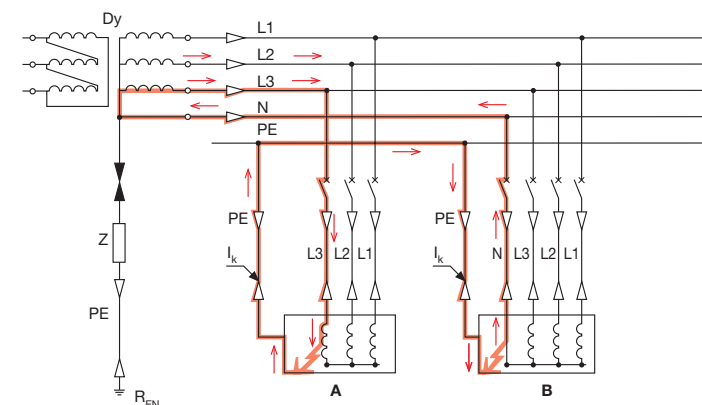
La fórmula es:

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

y por consiguiente:

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

## 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<br>[mm <sup>2</sup> ] | Sección del conductor de protección S <sub>PE</sub><br>[mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 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 <sup>2</sup>     | 0.85 | 0.91 | 0.96 | 1.02 | 1.10 | 1.19 | 1.28 | 1.42 | 1.54 | 1.71 |
| 35 mm <sup>2</sup>     | 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   | Z   |
|-------|-----------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| $I_n$ | $\leq 10$ | 13   | 16   | 20   | 25   | 32  | 40  | 50  | 63  |
| $I_s$ | 30        | 39   | 48   | 60   | 75   | 96  | 120 | 150 | 189 |
| S     | $S_{PE}$  |      |      |      |      |     |     |     |     |
| 1.5   | 1.5       | 173  | 133  | 108  | 86   | 69  | 54  | 43  |     |
| 2.5   | 2.5       | 288  | 221  | 180  | 144  | 115 | 90  | 72  | 45  |
| 4     | 4         | 461  | 354  | 288  | 231  | 185 | 144 | 115 | 92  |
| 6     | 6         | 692  | 532  | 432  | 346  | 277 | 216 | 173 | 138 |
| 10    | 10        | 1153 | 886  | 721  | 577  | 461 | 360 | 288 | 231 |
| 16    | 16        | 1845 | 1419 | 1153 | 923  | 738 | 577 | 461 | 369 |
| 25    | 16        | 2250 | 1730 | 1406 | 1125 | 900 | 703 | 563 | 450 |

Tabla 2.2: con curva B

| CURVA | B        | B    | B    | B    | B    | B   | B   | B   | B   | B   | B   | B   |
|-------|----------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $I_n$ | $\leq 6$ | 8    | 10   | 13   | 16   | 20  | 25  | 32  | 40  | 50  | 63  | 80  |
| $I_s$ | 30       | 40   | 50   | 65   | 80   | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 |
| S     | $S_{PE}$ |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |
| 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  |
| 6     | 6        | 692  | 519  | 415  | 319  | 259 | 208 | 166 | 130 | 104 | 83  | 66  |
| 10    | 10       | 1153 | 865  | 692  | 532  | 432 | 346 | 277 | 216 | 173 | 138 | 110 |
| 16    | 16       | 1845 | 1384 | 1107 | 852  | 692 | 554 | 443 | 346 | 277 | 221 | 176 |
| 25    | 16       | 2250 | 1688 | 1350 | 1039 | 844 | 675 | 540 | 422 | 338 | 270 | 214 |
| 35    | 16       |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     | 190 |

Tabla 2.3: con curva C

| CURVA | C        | C    | C    | C    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C    |
|-------|----------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $I_n$ | $\leq 3$ | 4    | 6    | 8    | 10  | 13  | 16  | 20  | 25  | 32  | 40  | 50  | 63  | 80  | 100  |
| $I_s$ | 30       | 40   | 60   | 80   | 100 | 130 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 |
| S     | $S_{PE}$ |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
| 1.5   | 1.5      | 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   |
| 6     | 6        | 692  | 519  | 346  | 259 | 208 | 160 | 130 | 104 | 83  | 65  | 52  | 42  | 33  | 26   |
| 10    | 10       | 1153 | 865  | 577  | 432 | 346 | 266 | 216 | 173 | 138 | 108 | 86  | 69  | 55  | 43   |
| 16    | 16       | 1845 | 1384 | 923  | 692 | 554 | 426 | 346 | 277 | 221 | 173 | 138 | 111 | 88  | 69   |
| 25    | 16       | 2250 | 1688 | 1125 | 844 | 675 | 519 | 422 | 338 | 270 | 211 | 169 | 135 | 107 | 84   |
| 35    | 16       |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 95  | 76   |

## 5 Protección de las personas

### Sistema TN

#### Máxima longitud protegida con MCB

Tabla 2.4: con curva K

| CURVA          | K               | K    | K    | K    | K    | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K  |
|----------------|-----------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| In             | ≤2              | ≤3   | 4    | 4.2  | 5.8  | 6   | 8   | 10  | 11  | 13  | 15  | 16  | 20  | 25  | 26  | 32  | 37  | 40  | 41  | 45  | 50  | 63  |    |
| I <sub>Δ</sub> | 28              | 42   | 56   | 59   | 81   | 84  | 112 | 140 | 154 | 182 | 210 | 224 | 280 | 350 | 364 | 448 | 518 | 560 | 574 | 630 | 700 | 882 |    |
| S              | S <sub>PE</sub> |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
| 1.5            | 1.5             | 185  | 123  | 92   | 88   | 64  | 62  | 46  | 37  | 34  | 28  | 25  | 23  | 18  | 15  | 14  | 12  | 10  | 9   |     |     |     |    |
| 2.5            | 2.5             | 308  | 205  | 154  | 146  | 106 | 103 | 77  | 62  | 56  | 47  | 41  | 38  | 31  | 25  | 24  | 19  | 17  | 15  | 15  | 14  |     |    |
| 4              | 4               | 492  | 328  | 246  | 234  | 170 | 164 | 123 | 98  | 89  | 76  | 66  | 62  | 49  | 39  | 38  | 31  | 27  | 25  | 24  | 22  | 20  | 16 |
| 6              | 6               | 738  | 492  | 369  | 350  | 255 | 246 | 185 | 148 | 134 | 114 | 98  | 92  | 74  | 59  | 57  | 46  | 40  | 37  | 36  | 33  | 30  | 23 |
| 10             | 10              | 1231 | 820  | 615  | 584  | 425 | 410 | 308 | 246 | 224 | 189 | 164 | 154 | 123 | 98  | 95  | 77  | 67  | 62  | 60  | 55  | 49  | 39 |
| 16             | 16              | 1969 | 1313 | 984  | 934  | 681 | 656 | 492 | 394 | 358 | 303 | 263 | 246 | 197 | 158 | 151 | 123 | 106 | 98  | 96  | 88  | 79  | 63 |
| 25             | 16              | 2401 | 1601 | 1201 | 1140 | 830 | 800 | 600 | 480 | 437 | 369 | 320 | 300 | 240 | 192 | 185 | 150 | 130 | 120 | 117 | 107 | 96  | 76 |

Tabla 2.5: con curva D

| CURVA | D               | D    | D    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D    | D    | D    | D    | D  |
|-------|-----------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----|
| ln    | ≤2              | 3    | 4    | 6   | 8   | 10  | 13  | 16  | 20  | 25  | 32  | 40  | 50   | 63   | 80   | 100  |    |
| I3    | 40              | 60   | 80   | 120 | 160 | 200 | 260 | 320 | 400 | 500 | 640 | 800 | 1000 | 1260 | 1600 | 2000 |    |
| S     | S <sub>PE</sub> |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |    |
| 1.5   | 1.5             | 130  | 86   | 65  | 43  | 32  | 26  | 20  | 16  | 13  | 10  | 8   | 6    |      |      |      |    |
| 2.5   | 2.5             | 216  | 144  | 108 | 72  | 54  | 43  | 33  | 27  | 22  | 17  | 14  | 11   | 9    | 7    |      |    |
| 4     | 4               | 346  | 231  | 173 | 115 | 86  | 69  | 53  | 43  | 35  | 28  | 22  | 17   | 14   | 11   | 9    | 7  |
| 6     | 6               | 519  | 346  | 259 | 173 | 130 | 104 | 80  | 65  | 52  | 42  | 32  | 26   | 21   | 16   | 13   | 10 |
| 10    | 10              | 865  | 577  | 432 | 288 | 216 | 173 | 133 | 108 | 86  | 69  | 54  | 43   | 35   | 27   | 22   | 17 |
| 16    | 16              | 1384 | 923  | 692 | 461 | 346 | 277 | 213 | 173 | 138 | 111 | 86  | 69   | 55   | 44   | 35   | 28 |
| 25    | 16              | 1688 | 1125 | 844 | 563 | 422 | 338 | 260 | 211 | 169 | 135 | 105 | 84   | 68   | 54   | 42   | 34 |
| 35    | 16              |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      | 47   | 38 |

## 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 <sub>Δ</sub> | 500 A           | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In |
| S              | S <sub>PE</sub> |       |       |       |       |       |       |
| 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   |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| I3  | 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 |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| S   | S <sub>PE</sub> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| 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              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| 120 | 70              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| 150 | 95              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
| 185 | 95              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |

## 5 Protección de las personas

### Sistema TN

#### Máxima longitud protegida con MCCB

Tabla 2.8: Tmax T3 TMD

|                |                 | T3    | T3    | T3    | T3    | T3    | T3    | T3  |
|----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| In             | 63              | 80    | 100   | 125   | 160   | 200   | 250   |     |
| I <sub>Δ</sub> | 10 In           | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In |     |
| S              | S <sub>PE</sub> |       |       |       |       |       |       |     |
| 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

|                |                 | T4    | T4    | T4        | T4         | T4        | T4        | T4        | T4        |
|----------------|-----------------|-------|-------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| In             | 20              | 32    | 50    | 80        | 100        | 125       | 160       | 200       | 250       |
| I <sub>Δ</sub> | 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              | S <sub>PE</sub> |       |       |           |            |           |           |           |           |
| 1.5            | 1.5             | 14    | 14    | 9         | 11...5     | 9...4     | 7...3     | 5...3     | 4...2     |
| 2.5            | 2.5             | 23    | 23    | 14        | 18...9     | 14...7    | 12...6    | 9...5     | 7...4     |
| 4              | 4               | 36    | 36    | 23        | 29...14    | 23...12   | 18...9    | 14...7    | 12...6    |
| 6              | 6               | 54    | 54    | 35        | 43...22    | 35...17   | 28...14   | 22...11   | 17...9    |
| 10             | 10              | 90    | 90    | 58        | 72...36    | 58...29   | 46...23   | 36...18   | 29...14   |
| 16             | 16              | 144   | 144   | 92        | 115...58   | 92...46   | 74...37   | 58...29   | 46...23   |
| 25             | 16              | 176   | 176   | 113       | 141...70   | 113...56  | 90...45   | 70...35   | 56...28   |
| 35             | 16              | 198   | 198   | 127       | 158...79   | 127...63  | 101...51  | 79...40   | 63...32   |
| 50             | 25              | 300   | 300   | 192       | 240...120  | 192...96  | 154...77  | 120...60  | 96...48   |
| 70             | 35              | 420   | 420   | 269       | 336...168  | 269...135 | 215...108 | 168...84  | 135...67  |
| 95             | 50              | 590   | 590   | 378       | 472...236  | 378...189 | 302...151 | 236...118 | 189...94  |
| 120            | 70              | 717   | 717   | 459       | 574...287  | 459...229 | 367...184 | 287...143 | 229...115 |
| 150            | 95              | 891   | 891   | 570       | 713...356  | 570...285 | 456...228 | 356...178 | 285...143 |
| 185            | 95              | 905   | 905   | 579       | 724...362  | 579...290 | 463...232 | 362...181 | 290...145 |
| 240            | 120             | 1081  | 1081  | 692       | 865...432  | 692...346 | 554...277 | 432...216 | 346...173 |
| 300            | 150             | 1297  | 1297  | 830       | 1038...519 | 830...415 | 664...332 | 519...259 | 415...208 |

## 5 Protección de las personas

### Sistema TN

#### Máxima longitud protegida con MCCB

Tabla 2.10: Tmax T5 TMA

|                |                 | T5        | T5        | T5       |
|----------------|-----------------|-----------|-----------|----------|
| In             | 320             | 400       | 500       |          |
| I <sub>Δ</sub> | 5...10 In       | 5...10 In | 5...10 In |          |
| S              | S <sub>PE</sub> |           |           |          |
| 1,5            | 1,5             | 3...1     | 2...1     | 2...1    |
| 2,5            | 2,5             | 5...2     | 4...2     | 3...1    |
| 4              | 4               | 7...4     | 6...3     | 5...2    |
| 6              | 6               | 11...5    | 9...4     | 7...3    |
| 10             | 10              | 18...9    | 14...7    | 12...6   |
| 16             | 16              | 29...14   | 23...12   | 18...9   |
| 25             | 16              | 35...18   | 28...14   | 23...11  |
| 35             | 16              | 40...20   | 32...16   | 25...13  |
| 50             | 25              | 60...30   | 48...24   | 38...19  |
| 70             | 35              | 84...42   | 67...34   | 54...27  |
| 95             | 50              | 118...59  | 94...47   | 76...38  |
| 120            | 70              | 143...72  | 115...57  | 92...46  |
| 150            | 95              | 178...89  | 143...71  | 114...57 |
| 185            | 95              | 181...90  | 145...72  | 116...58 |
| 240            | 120             | 216...108 | 173...86  | 138...69 |
| 300            | 150             | 259...130 | 208...104 | 166...83 |

Tabla 2.11: Tmax T2 con PR221 DS-LS

|                |                 | T2     | T2     | T2     | T2     | T2  |
|----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|-----|
| In             | 10              | 25     | 63     | 100    | 160    |     |
| I <sub>Δ</sub> | 5.5 In          | 5.5 In | 5.5 In | 5.5 In | 5.5 In |     |
| S              | S <sub>PE</sub> |        |        |        |        |     |
| 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) para 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 con PR221 - PR222

|     |                 | T4     | T4     | T4     | T4     | T5     | T5     | T5     |
|-----|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | In              | 100    | 160    | 250    | 320    | 320    | 400    | 630    |
|     | I <sub>3</sub>  | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In |
| S   | S <sub>PE</sub> |        |        |        |        |        |        |        |
| 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     | 50     | 40     | 26     |
| 70  | 35              | 226    | 141    | 90     | 71     | 71     | 56     | 36     |
| 95  | 50              | 317    | 198    | 127    | 99     | 99     | 79     | 50     |
| 120 | 70              | 385    | 241    | 154    | 120    | 120    | 96     | 61     |
| 150 | 95              | 478    | 299    | 191    | 150    | 150    | 120    | 76     |
| 185 | 95              | 486    | 304    | 194    | 152    | 152    | 121    | 77     |
| 240 | 120             | 581    | 363    | 232    | 181    | 181    | 145    | 92     |
| 300 | 150             | 697    | 435    | 279    | 218    | 218    | 174    | 111    |

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) para la razón entre el valor de referencia y el valor real del umbral.

Tabla 2.13: SACE Isomax S6÷S8 con PR211- PR212

|     |                 | S6   | S7   | S7   | S8   | S8   | S8   | S8   |
|-----|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|
|     | In              | 800  | 1000 | 1250 | 1600 | 1600 | 2000 | 2500 |
|     | I <sub>3</sub>  | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In |
| S   | S <sub>PE</sub> |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.5 | 2.5             |      |      |      |      |      |      |      |
| 4   | 4               |      |      |      |      |      |      |      |
| 6   | 6               |      |      |      |      |      |      |      |
| 10  | 10              |      |      |      |      |      |      |      |
| 16  | 16              |      |      |      |      |      |      |      |
| 25  | 16              |      |      |      |      |      |      |      |
| 35  | 16              |      |      |      |      |      |      |      |
| 50  | 25              | 20   |      |      |      |      |      |      |
| 70  | 35              | 28   | 22   | 18   | 14   | 14   |      |      |
| 95  | 50              | 39   | 31   | 25   | 20   | 20   | 16   | 13   |
| 120 | 70              | 48   | 38   | 31   | 24   | 24   | 19   | 15   |
| 150 | 95              | 59   | 48   | 38   | 30   | 30   | 24   | 19   |
| 185 | 95              | 60   | 48   | 39   | 30   | 30   | 24   | 19   |
| 240 | 120             | 72   | 58   | 46   | 36   | 36   | 29   | 23   |
| 300 | 150             | 86   | 69   | 55   | 43   | 43   | 35   | 28   |

Nota: si el umbral de regulación de la función S o I es diferente del valor de referencia (6), se deberá multiplicar el valor de la longitud máxima protegida (MPL) para la razón entre el valor de referencia y el valor real del umbral. Además, en el caso de uso de la función S se deberá multiplicar la longitud (MPL) por 1.1.

## 5 Protección de las personas

### Sistema IT

#### Máxima longitud protegida con MCB con curva Z

Tabla 3.1: con curva Z

| CURVA          |                 | Z    | Z    | Z    | Z    | Z   | Z   | Z   | Z   | Z   |
|----------------|-----------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| In             |                 | ≤8   | 10   | 13   | 16   | 20  | 25  | 32  | 40  | 50  |
| I <sub>3</sub> |                 | 30   | 30   | 39   | 48   | 60  | 75  | 96  | 120 | 150 |
| S              | S <sub>PE</sub> |      |      |      |      |     |     |     |     |     |
| 1.5            | 1.5             | 150  | 150  | 115  | 94   | 75  | 60  | 47  | 37  |     |
| 2.5            | 2.5             | 250  | 250  | 192  | 156  | 125 | 100 | 78  | 62  | 50  |
| 4              | 4               | 400  | 400  | 307  | 250  | 200 | 160 | 125 | 100 | 80  |
| 6              | 6               | 599  | 599  | 461  | 375  | 300 | 240 | 187 | 150 | 120 |
| 10             | 10              | 999  | 999  | 768  | 624  | 499 | 400 | 312 | 250 | 200 |
| 16             | 16              | 1598 | 1598 | 1229 | 999  | 799 | 639 | 499 | 400 | 320 |
| 25             | 16              | 1949 | 1949 | 1499 | 1218 | 974 | 780 | 609 | 487 | 390 |

Tabla 3.2: 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  |
| I <sub>3</sub> |                 | 30   | 40   | 50   | 65  | 80  | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 |
| S              | S <sub>PE</sub> |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1.5            | 1.5             | 150  | 112  | 90   | 69  | 56  | 45  | 36  | 28  | 22  |     |     |     |
| 2.5            | 2.5             | 250  | 187  | 150  | 115 | 94  | 75  | 60  | 47  | 37  | 30  | 24  |     |
| 4              | 4               | 400  | 300  | 240  | 184 | 150 | 120 | 96  | 75  | 60  | 48  | 38  | 30  |
| 6              | 6               | 599  | 449  | 360  | 277 | 225 | 180 | 144 | 112 | 90  | 72  | 57  | 45  |
| 10             | 10              | 999  | 749  | 599  | 461 | 375 | 300 | 240 | 187 | 150 | 120 | 95  | 75  |
| 16             | 16              | 1598 | 1199 | 959  | 738 | 599 | 479 | 384 | 300 | 240 | 192 | 152 | 120 |
| 25             | 16              | 1949 | 1462 | 1169 | 899 | 731 | 585 | 468 | 365 | 292 | 234 | 186 | 146 |
| 35             | 16              |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     | 165 |

Tabla 3.3: con curva C

| CURVA          |                 | C    | C    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
|----------------|-----------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| In             |                 | ≤3   | 4    | 6   | 8   | 10  | 13  | 16  | 20  | 25  | 32  | 40  | 50  | 63  | 80  |
| I <sub>3</sub> |                 | 30   | 40   | 60  | 80  | 100 | 130 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 | 800 |
| S              | S <sub>PE</sub> |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1.5            | 1.5             | 150  | 112  | 75  | 56  | 45  | 35  | 28  | 22  | 18  | 14  | 11  |     |     |     |
| 2.5            | 2.5             | 250  | 187  | 125 | 94  | 75  | 58  | 47  | 37  | 30  | 23  | 19  | 15  | 12  |     |
| 4              | 4               | 400  | 300  | 200 | 150 | 120 | 92  | 75  | 60  | 48  | 37  | 30  | 24  | 19  | 15  |
| 6              | 6               | 599  | 449  | 300 | 225 | 180 | 138 | 112 | 90  | 72  | 56  | 45  | 36  | 29  | 22  |
| 10             | 10              | 999  | 749  | 499 | 375 | 300 | 230 | 187 | 150 | 120 | 94  | 75  | 60  | 48  | 37  |
| 16             | 16              | 1598 | 1199 | 799 | 599 | 479 | 369 | 300 | 240 | 192 | 150 | 120 | 96  | 76  | 60  |
| 25             | 16              | 1949 | 1462 | 974 | 731 | 585 | 450 | 365 | 292 | 234 | 183 | 146 | 117 | 93  | 73  |
| 35             | 16              |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 82  |

## 5 Protección de las personas

### Sistema IT

#### Máxima longitud protegida con MCB con curva Z

Tabla 3.4: con curva K

| CURVA          | K               | K    | K    | K    | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   | K   |
|----------------|-----------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| In             | ≤2              | ≤3   | 4    | 4.2  | 5.8 | 6   | 8   | 10  | 11  | 13  | 15  | 16  | 20  | 25  | 26  | 32  | 37  | 40  | 41  | 45  | 50  | 63  |
| I <sub>Δ</sub> | 28              | 42   | 56   | 59   | 81  | 84  | 112 | 140 | 154 | 182 | 210 | 224 | 280 | 350 | 364 | 448 | 518 | 560 | 574 | 630 | 700 | 882 |
| S              | S <sub>PE</sub> |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 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  | 14  |
| 6              | 6               | 642  | 428  | 321  | 306 | 221 | 214 | 161 | 128 | 117 | 99  | 86  | 80  | 64  | 51  | 49  | 40  | 35  | 32  | 31  | 29  | 26  |
| 10             | 10              | 1070 | 713  | 535  | 510 | 369 | 357 | 268 | 214 | 195 | 165 | 143 | 134 | 107 | 86  | 82  | 67  | 58  | 54  | 52  | 48  | 34  |
| 16             | 16              | 1712 | 1141 | 856  | 815 | 590 | 571 | 428 | 342 | 311 | 263 | 228 | 214 | 171 | 137 | 132 | 107 | 93  | 86  | 84  | 76  | 68  |
| 25             | 16              | 2088 | 1392 | 1044 | 994 | 720 | 696 | 522 | 418 | 380 | 321 | 278 | 261 | 209 | 167 | 161 | 130 | 113 | 104 | 102 | 93  | 84  |
|                |                 |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Tabla 3.5: con curva D

| CURVA          | D               | D    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D    | D    | D    | D    |
|----------------|-----------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| In             | ≤2              | 3    | 4   | 6   | 8   | 10  | 13  | 16  | 20  | 25  | 32  | 40  | 50   | 63   | 80   | 100  |
| I <sub>Δ</sub> | 40              | 60   | 80  | 120 | 160 | 200 | 260 | 320 | 400 | 500 | 640 | 800 | 1000 | 1260 | 1600 | 2000 |
| S              | S <sub>PE</sub> |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
| 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               | 449  | 300 | 225 | 150 | 112 | 90  | 69  | 56  | 45  | 36  | 28  | 22   | 18   | 14   | 11   |
| 10             | 10              | 749  | 499 | 375 | 250 | 187 | 150 | 115 | 94  | 75  | 60  | 47  | 37   | 30   | 24   | 19   |
| 16             | 16              | 1199 | 799 | 599 | 400 | 300 | 240 | 184 | 150 | 120 | 96  | 75  | 60   | 48   | 38   | 30   |
| 25             | 16              | 1462 | 974 | 731 | 487 | 365 | 292 | 225 | 183 | 146 | 117 | 91  | 73   | 58   | 46   | 37   |
| 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   |
|     | I <sub>Δ</sub>  | 500 A | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In |
| S   | S <sub>PE</sub> |       |       |       |       |       |       |
| 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   |
|     | I <sub>Δ</sub>  | 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   | S <sub>PE</sub> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 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 <sub>Δ</sub> |                 | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In | 10 In |
| S              | S <sub>PE</sub> |       |       |       |       |       |       |       |
| 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        | T4        |
|-----|-----------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|     | In              | 20    | 32    | 50    | 80        | 100       | 125       | 160       | 200       | 250       |
|     | I <sub>3</sub>  | 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   | S <sub>PE</sub> |       |       |       |           |           |           |           |           |           |
| 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 TMA

|                |                 | T5        | T5        | T5        |
|----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| In             |                 | 320       | 400       | 500       |
| I <sub>Δ</sub> |                 | 5...10 In | 5...10 In | 5...10 In |
| S              | S <sub>PE</sub> |           |           |           |
| 1.5            | 1.5             | 2...1     | 2...1     | 1...1     |
| 2.5            | 2.5             | 4...2     | 3...2     | 2...1     |
| 4              | 4               | 6...3     | 5...2     | 4...2     |
| 6              | 6               | 9...5     | 7...4     | 6...3     |
| 10             | 10              | 16...8    | 12...6    | 10...5    |
| 16             | 16              | 25...12   | 20...10   | 16...8    |
| 25             | 16              | 30...15   | 24...12   | 19...10   |
| 35             | 16              | 34...17   | 27...14   | 22...11   |
| 50             | 25              | 52...26   | 42...21   | 33...17   |
| 70             | 35              | 73...36   | 58...29   | 47...23   |
| 95             | 50              | 102...51  | 82...41   | 65...33   |
| 120            | 70              | 124...62  | 99...50   | 79...40   |
| 150            | 95              | 154...77  | 123...62  | 99...49   |
| 185            | 95              | 157...78  | 125...63  | 100...50  |
| 240            | 120             | 187...94  | 150...75  | 120...60  |
| 300            | 150             | 225...112 | 180...90  | 144...72  |

Tabla 3.11: Tmax T2 con PR221 DS-LS

|                |                 | T2     | T2     | T2     | T2     | T2     |
|----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| In             |                 | 10     | 25     | 63     | 100    | 160    |
| I <sub>Δ</sub> |                 | 5.5 In | 5.5 In | 5.5 In | 5.5 In | 5.5 In |
| S              | S <sub>PE</sub> |        |        |        |        |        |
| 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) para 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 con PR221-PR222

|                |                 | T4     | T4     | T4     | T4     | T5     | T5     | T5     |
|----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| In             |                 | 100    | 160    | 250    | 320    | 320    | 400    | 630    |
| I <sub>Δ</sub> |                 | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In | 6.5 In |
| S              | S <sub>PE</sub> |        |        |        |        |        |        |        |
| 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     |
| 35             | 16              | 92     | 58     | 37     | 29     | 29     | 23     | 15     |
| 50             | 25              | 140    | 87     | 56     | 44     | 44     | 35     | 22     |
| 70             | 35              | 196    | 122    | 78     | 61     | 61     | 49     | 31     |
| 95             | 50              | 275    | 172    | 110    | 86     | 86     | 69     | 44     |
| 120            | 70              | 333    | 208    | 133    | 104    | 104    | 83     | 53     |
| 150            | 95              | 414    | 259    | 166    | 129    | 129    | 104    | 66     |
| 185            | 95              | 421    | 263    | 168    | 132    | 132    | 105    | 67     |
| 240            | 120             | 503    | 314    | 201    | 157    | 157    | 126    | 80     |
| 300            | 150             | 603    | 377    | 241    | 189    | 189    | 151    | 96     |

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) para 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 3.13: SACE Isomax S6-S8 con PR211-212

|                |                 | S6   | S7   | S7   | S7   | S8   | S8   | S8   | S8   |
|----------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| In             |                 | 800  | 1000 | 1250 | 1600 | 1600 | 2000 | 2500 | 3200 |
| I <sub>Δ</sub> |                 | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In | 6 In |
| S              | S <sub>PE</sub> |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.5            | 2.5             |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4              | 4               |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6              | 6               |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10             | 10              |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 16             | 16              |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25             | 16              |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 35             | 16              |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 50             | 25              | 17   |      |      |      |      |      |      |      |
| 70             | 35              | 24   | 19   | 16   | 12   | 12   |      |      |      |
| 95             | 50              | 34   | 27   | 22   | 17   | 17   | 14   | 11   | 9    |
| 120            | 70              | 41   | 33   | 26   | 21   | 21   | 17   | 13   | 10   |
| 150            | 95              | 51   | 41   | 33   | 26   | 26   | 21   | 16   | 13   |
| 185            | 95              | 52   | 42   | 33   | 26   | 26   | 21   | 17   | 13   |
| 240            | 120             | 62   | 50   | 40   | 31   | 31   | 25   | 20   | 16   |
| 300            | 150             | 75   | 60   | 48   | 37   | 37   | 30   | 24   | 19   |

Nota: si el umbral de regulación de la función S o I es diferente del valor de referencia (6), se deberá multiplicar el valor de la longitud máxima protegida (MPL) para la razón entre el valor de referencia y el valor real del umbral. Además, en el caso de uso de la función S se deberá multiplicar la longitud (MPL) por 1.1.

## Anexo A: Instrumentos de cálculo

### A.1 Reglas

Las reglas para el dimensionamiento de la instalación eléctrica representan un instrumento válido para el rápido dimensionamiento de una instalación. Todas las informaciones que se indican están sujetas a algunas condiciones generales de referencia; los métodos de cálculo y los datos que aparecen han sido tomados de las vigentes Normas IEC y de la práctica de instalación. El manual que acompaña las reglas facilita diversos ejemplos de uso y tablas en las cuales pueden leerse los coeficientes de corrección para obtener condiciones de instalación diferentes a las de referencia.

Las reglas se presentan en cuatro colores distintos para una rápida identificación y cada una de ellas tiene dos lados:

- regla amarilla: dimensionamiento de cables
- regla naranja: comprobación y protección de cables
- regla verde: coordinación de las protecciones
- regla azul: protección de motores y transformadores.

## Anexo A: Instrumentos de cálculo

### Regla amarilla: dimensionamiento de cables

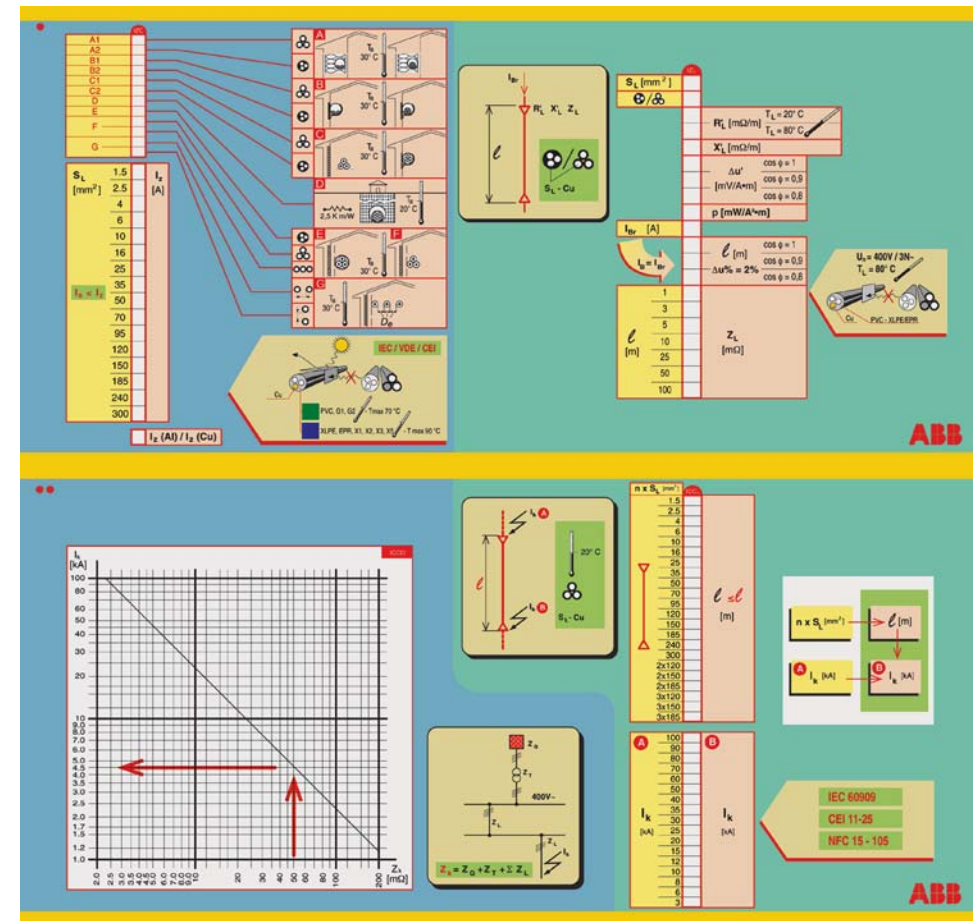
Lado ●

Cálculo de la capacidad, la impedancia y la caída de tensión de los cables.

Lado ●●

Cálculo de la corriente de cortocircuito por defecto trifásico en una línea de cables con sección y longitud conocida.

Se incluye también un diagrama a través del cual es posible calcular la corriente de cortocircuito después de elementos de impedancia conocida.



## Anexo A: Instrumentos de cálculo

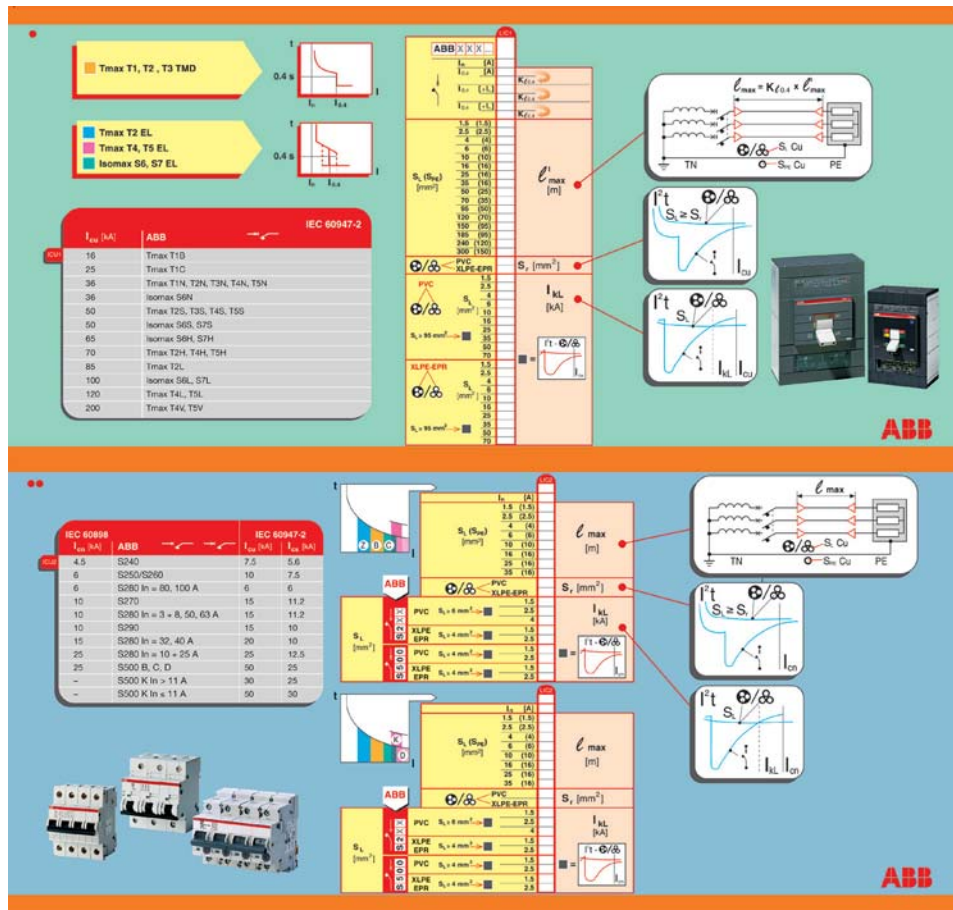
### Regla naranja: comprobación y protección de cables

Lado ●

Comprobación de la protección de los cables contra los contactos indirectos y los cortocircuitos con interruptores automáticos en caja moldeada (MCCB) de ABB SACE.

Lado ●●

Comprobación de la protección de los cables contra los contactos indirectos y los cortocircuitos con interruptores automáticos modulares (MCB) de ABB.



1SDC008060F0001

## Anexo A: Instrumentos de cálculo

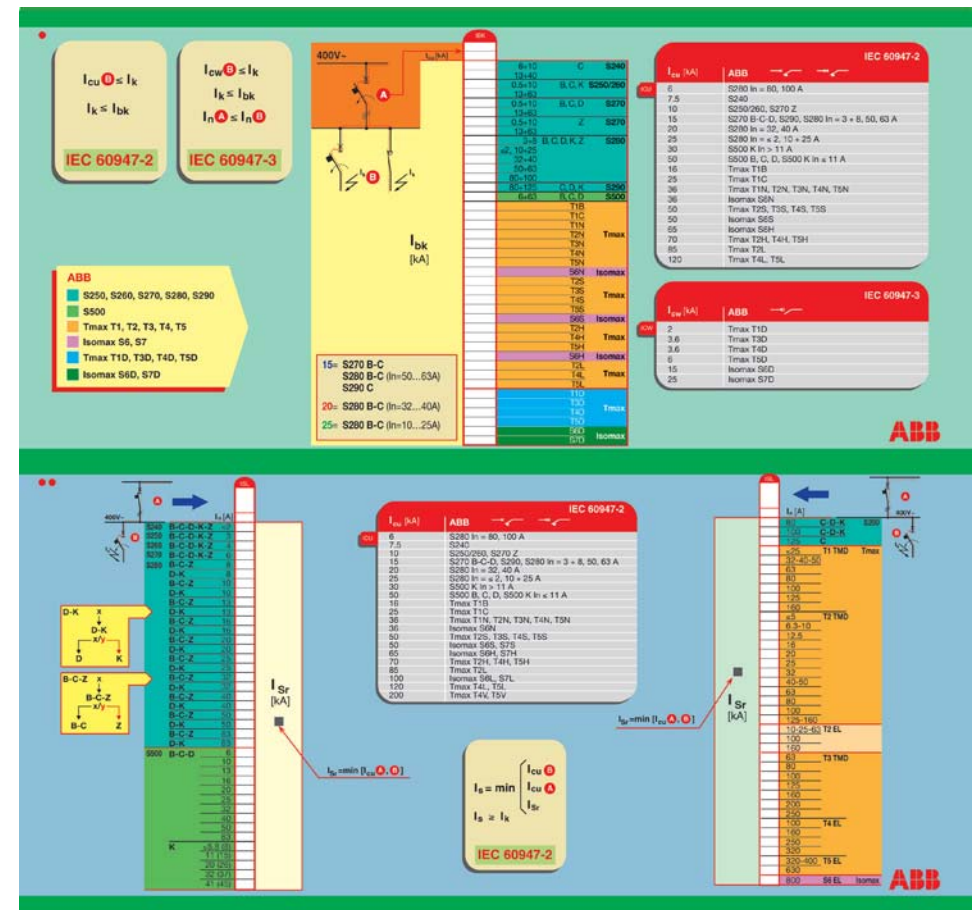
### Regla verde: coordinación de las protecciones

Lado ●

Definición de los interruptores automáticos cuando esté prevista la protección de acompañamiento (back-up).

Lado ●●

Definición de la corriente límite de selectividad de la combinación de dos interruptores automáticos puestos en serie.



1SDC008061F0001

## Anexo A: Instrumentos de cálculo

### Regla azul: protección de motores y transformadores

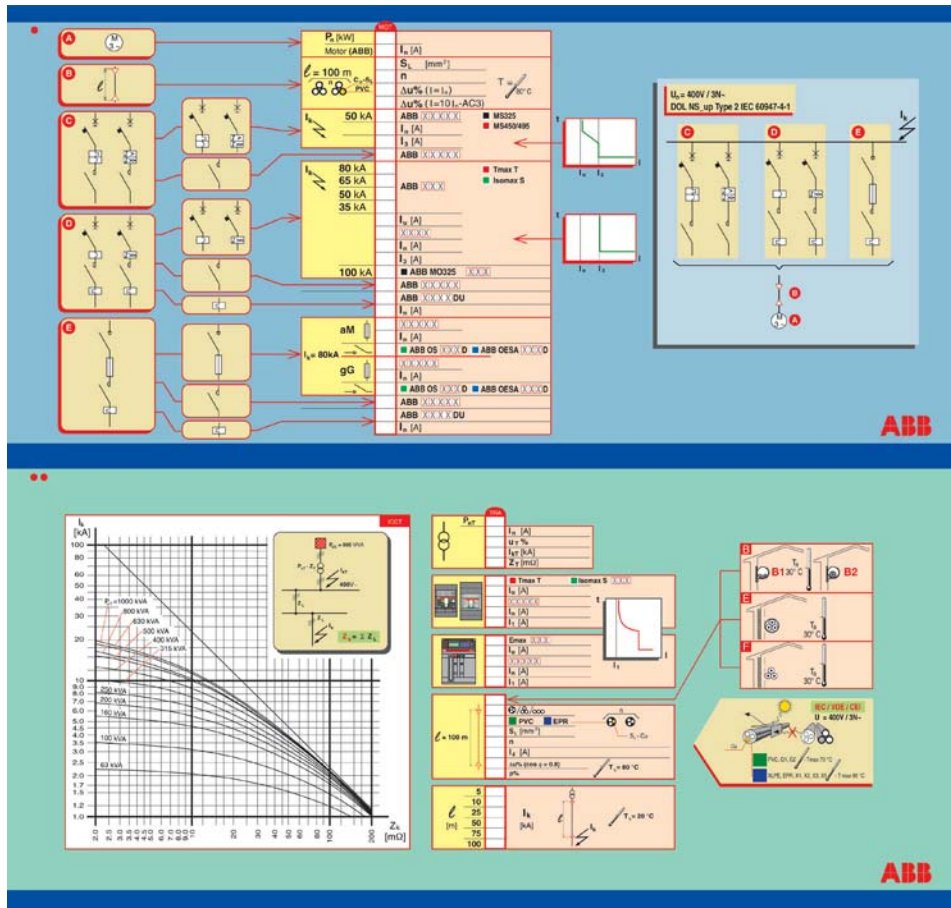
Lado ●

Elección y coordinación de las protecciones de motores para arranque directo DOL (coordinación tipo 2 según la Norma IEC 60947-4-1).

Lado ●●

Dimensionamiento de una línea “transformador”.

Se incluye también un diagrama a través del cual es posible calcular la corriente de cortocircuito aguas abajo de transformadores de potencia asignada conocida.



## Anexo A: Instrumentos de cálculo

### A.2 DOCWin

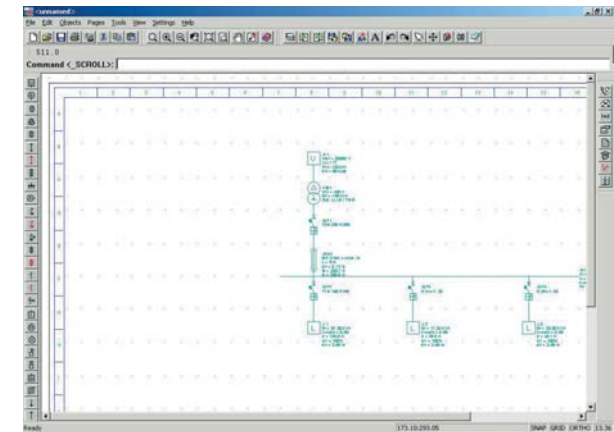
DOCWin es un programa para el dimensionamiento de redes eléctricas, alimentadas en baja tensión o en media tensión.

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

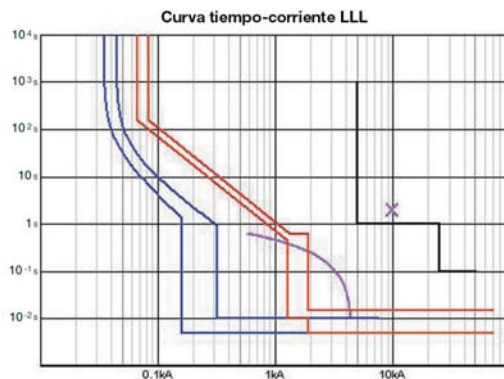
- Gestión de la corrección del factor de potencia local (en los motores) y centralizado, con grupos capacitivos.
- Gestión del factor de simultaneidad en cada nudo de la red y del factor de utilización en las cargas.
- Cálculo de las corrientes de cortocircuito con defecto trifásico, fase-fase, fase-neutro, 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 ( $I-l^2t$ )
  - corriente-corriente limitada (cresta): es posible realizar el control visual de los efectos de las regulaciones sobre las características de actuación de las protecciones.

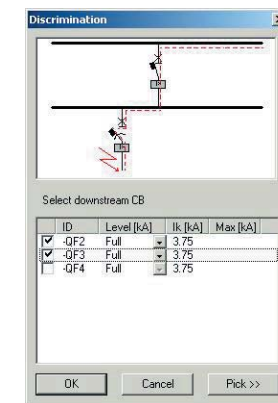


## Anexo A: Instrumentos de cálculo

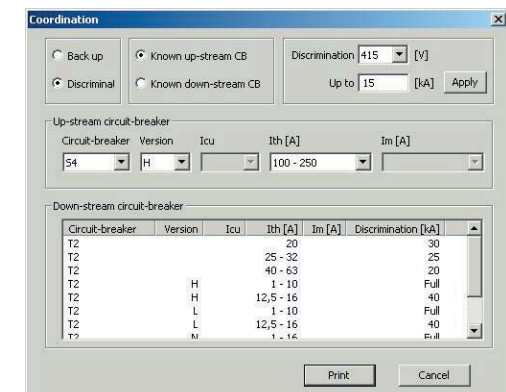
- Se representan las curvas de interruptores automáticos, fusibles, cables, transformadores, motores y generadores.
- Es posible insertar las curvas de la alimentación y de los componentes de media tensión por puntos para comprobar la selectividad de actuación de las protecciones.
- Comprobación de la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

### 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:

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  $\cos\varphi = 0.9$**

|        | $U_r$ [V]<br><b>440</b><br>$I_b$ [A] |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| P [kW] | 230                                  | 400    | 415    | 500    | 600    | 690    |        |
| 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  $I_b$ 

|        | $U_r$ [V] |         |         |         |         |         |        |
|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
|        | 230       | 400     | 415     | 440     | 500     | 600     | 690    |
| P [kW] | $I_b$ [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

|        | $U_r$ [V] |       |       |       |       |       |       |
|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 230       | 400   | 415   | 440   | 500   | 600   | 690   |
| P [kW] | $I_b$ [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  $I_b$ 

|        | $U_r$ [V] |         |         |         |         |         |         |
|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|        | 230       | 400     | 415     | 440     | 500     | 600     | 690     |
| P [kW] | $I_b$ [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

| $\cos\varphi_{act}$ | 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  $\cos\varphi_{act}$  no presentes en la tabla,  $k_{\cos\varphi} = \frac{1}{\cos\varphi_{act}}$

## Circuitos de iluminación

La corriente absorbida por el sistema de iluminación puede deducirse del catálogo de la aparatenta 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**

| Potencia del motor |         | Corriente asignada del motor a: |              |                  |              |              |              |              |                  |
|--------------------|---------|---------------------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| [kW]               | PS = hp | 220-230 V<br>[A]                | 240 V<br>[A] | 380-400 V<br>[A] | 415 V<br>[A] | 440 V<br>[A] | 500 V<br>[A] | 600 V<br>[A] | 660-690 V<br>[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: Cálculo de la corriente de cortocircuito

El cortocircuito es un defecto de impedancia despreciable entre partes activas, que en condiciones normales están a distinto potencial.

### Tipos de defectos

En una red trifásica pueden presentarse los siguientes tipos de defecto:

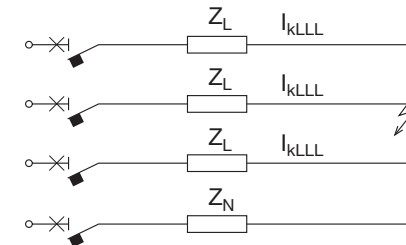
- defecto trifásico
- defecto bifásico
- defecto fase-neutro
- defecto fase-PE.

En las fórmulas se utilizan los siguientes símbolos:

- $I_k$  corriente de cortocircuito
- $U_r$  tensión asignada
- $Z_L$  impedancia de línea
- $Z_N$  impedancia del neutro
- $Z_{PE}$  impedancia del conductor de protección.

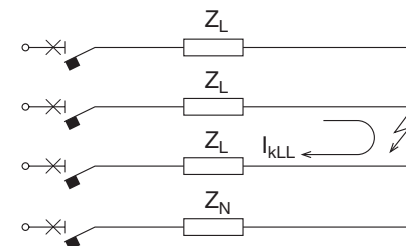
La siguiente tabla muestra de forma resumida los tipos de defectos y las relaciones entre el valor de la corriente de cortocircuito por defecto simétrico (trifásico) y la corriente de cortocircuito por defecto asimétrico (bifásico y monofásico) debidos a defectos alejados de generadores. Para un cálculo más preciso, se aconseja el uso del software DOCWin.

### Defecto trifásico



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

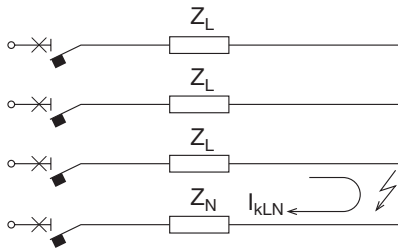
### Defecto bifásico



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

## Anexo C: 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):

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

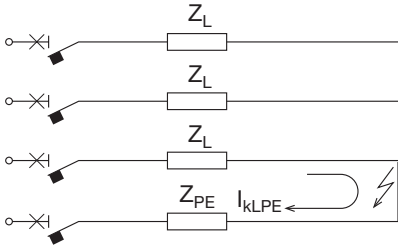
Si  $Z_N = 2Z_L$  (sección del neutro mitad de la fase):

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

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)                                                                                                |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | $I_{kLLL}$                                                                                                   | $I_{kLL}$                                                                                                           | $I_{kLN}$                                                                                                              | $I_{kLPE}$                                                                                                                         |
| $I_{kLLL}$ | -                                                                                                            | $I_{kLL} = 0.87 I_{kLLL}$                                                                                           | $I_{LN} = 0.5 I_{kLLL} (Z_L = Z_N)$<br>$I_{LN} = 0.33 I_{kLLL} (Z_L = 0.5 Z_N)$<br>$I_{LN} = I_{kLLL} (Z_N = 0)$       | $I_{LPE} = 0.5 I_{kLLL} (Z_L = Z_{PE})$<br>$I_{LPE} = 0.33 I_{kLLL} (Z_L = 0.5 Z_{PE})$<br>$I_{LPE} = I_{kLLL} (Z_{PE} = 0)$       |
| $I_{kLL}$  | $I_{kLLL} = 1.16 I_{kLL}$                                                                                    | -                                                                                                                   | $I_{kLN} = 0.58 I_{kLL} (Z_L = Z_N)$<br>$I_{kLN} = 0.38 I_{kLL} (Z_L = 0.5 Z_N)$<br>$I_{kLN} = 1.16 I_{kLL} (Z_N = 0)$ | $I_{kLPE} = 0.58 I_{kLL} (Z_L = Z_{PE})$<br>$I_{kLPE} = 0.38 I_{kLL} (Z_L = 0.5 Z_{PE})$<br>$I_{kLPE} = 1.16 I_{kLL} (Z_{PE} = 0)$ |
| $I_{kLN}$  | $I_{kLLL} = 2 I_{kLN} (Z_L = Z_N)$<br>$I_{kLLL} = 3 I_{kLN} (Z_L = 2 Z_N)$<br>$I_{kLLL} = I_{kLN} (Z_N = 0)$ | $I_{kLL} = 1.73 I_{kLN} (Z_L = Z_N)$<br>$I_{kLL} = 2.6 I_{kLN} (Z_L = 2 Z_N)$<br>$I_{kLL} = 0.87 I_{kLN} (Z_N = 0)$ | -                                                                                                                      |                                                                                                                                    |

## Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito

### Determinación de la corriente de cortocircuito

Para determinar la corriente de cortocircuito, es posible utilizar el “método de las potencias”. Este método permite determinar de forma sencilla la corriente de cortocircuito en un punto de la instalación con una aproximación que, por lo general, resulta de valor aceptable; sin embargo, este método no es conservativo y facilita unos valores tanto más correctos cuanto más similares son los factores de potencia de los componentes considerados (red, generadores, transformadores, motores y cables de gran sección, etc.). Para un cálculo más preciso, se aconseja el uso del software para el dimensionamiento de las instalaciones DOCWin. El método de las potencias calcula la corriente de cortocircuito  $I_k$  en base a la siguiente fórmula:

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

Cortocircuito bifásico 
$$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

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.

### Cálculo de la potencia 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.

## Anexo C: 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] |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Up to 20                           | 500                                                 |
| Up to 32                           | 750                                                 |
| Up 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 |

## Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito

### Motores asíncronos trifásicos

En caso de cortocircuito, los motores eléctricos proporcionan un aporte por un breve período (5-6 períodos).

La potencia puede calcularse en función de la corriente de cortocircuito del motor ( $I_k$ ) a través de la siguiente ecuación:

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

Valores típicos son:

$$S_{kmot} = 5-7 S_{rmot}$$

(típicamente  $I_k$  vale alrededor de 5-7  $I_{rmot}$ : 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:

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

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:

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

donde la impedancia del cable  $Z_c$  es:

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

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):

## Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito

| S [mm²] | 230 [V]                         | 400 [V] | 440 [V] | 500 [V] | 690 [V] | 230 [V]                         | 400 [V] | 440 [V] | 500 [V] | 690 [V] |
|---------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|         | S <sub>kable</sub> [MVA] @50 Hz |         |         |         |         | S <sub>kable</sub> [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:

$$\frac{10}{L_{act}}$$

### 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.

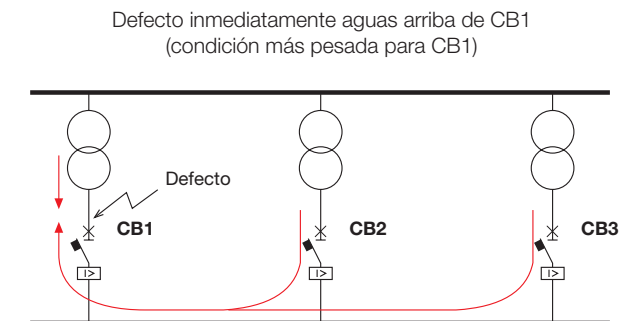
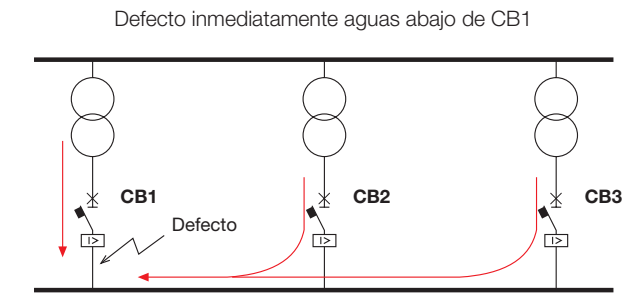
En el caso de diversas ramas en paralelo, una vez calculada la corriente de cortocircuito en el punto de defecto, se deberá determinar la repartición del mismo en las diversas ramas de forma que se efectúe una correcta elección de los aparatos de protección instalados en las distintas ramas.

## Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito

### 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.



Tras haber determinado la potencia de cortocircuito equivalente en el punto de defecto, la corriente de cortocircuito se calcula mediante la siguiente fórmula:

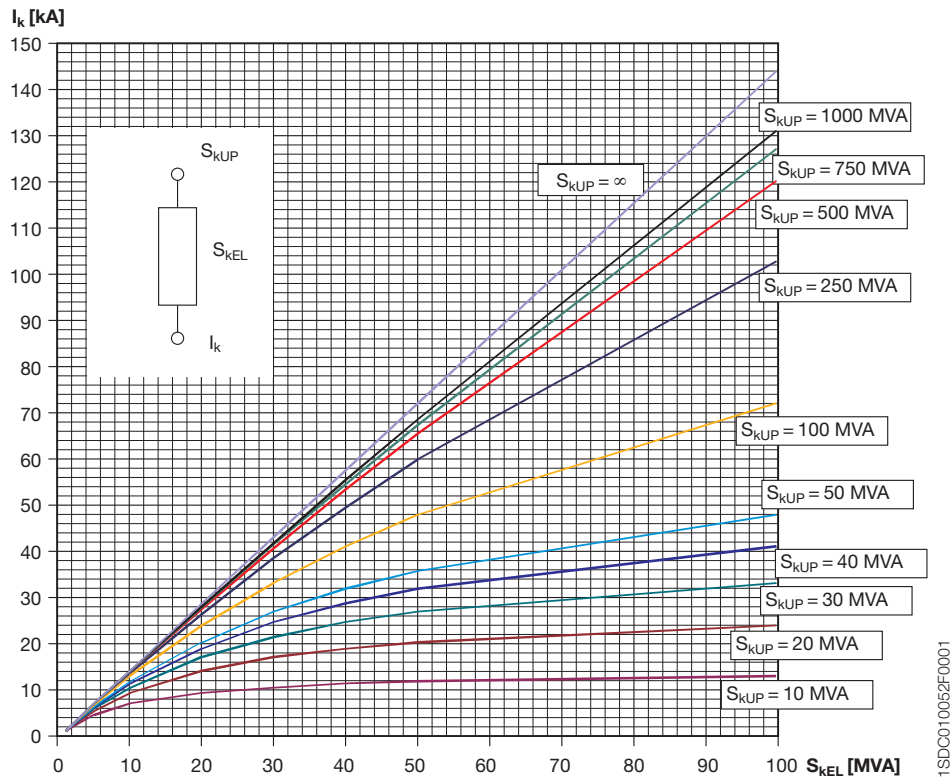
Cortocircuito trifásico 
$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_r}$$

Cortocircuito bifásico 
$$I_k = \frac{S_k}{2 \cdot U_r}$$

## Anexo C: 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**



## Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito

### Ejemplos

Los siguientes ejemplos muestran el cálculo de la corriente de cortocircuito en algunos tipos de instalación.

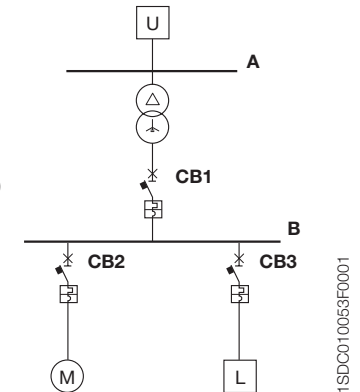
#### Ejemplo 1

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:  $I_{rL} = 1443.4 \text{ A}$   
 $\cos \varphi_r = 0.9$



#### Cálculo de las potencias de cortocircuito para los diversos componentes

Red:  $S_{knet} = 500 \text{ MVA}$

Transformador:  $S_{ktralo} = \frac{100}{u_k \%} \cdot S_r = 26.7 \text{ MVA}$

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.

## Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito

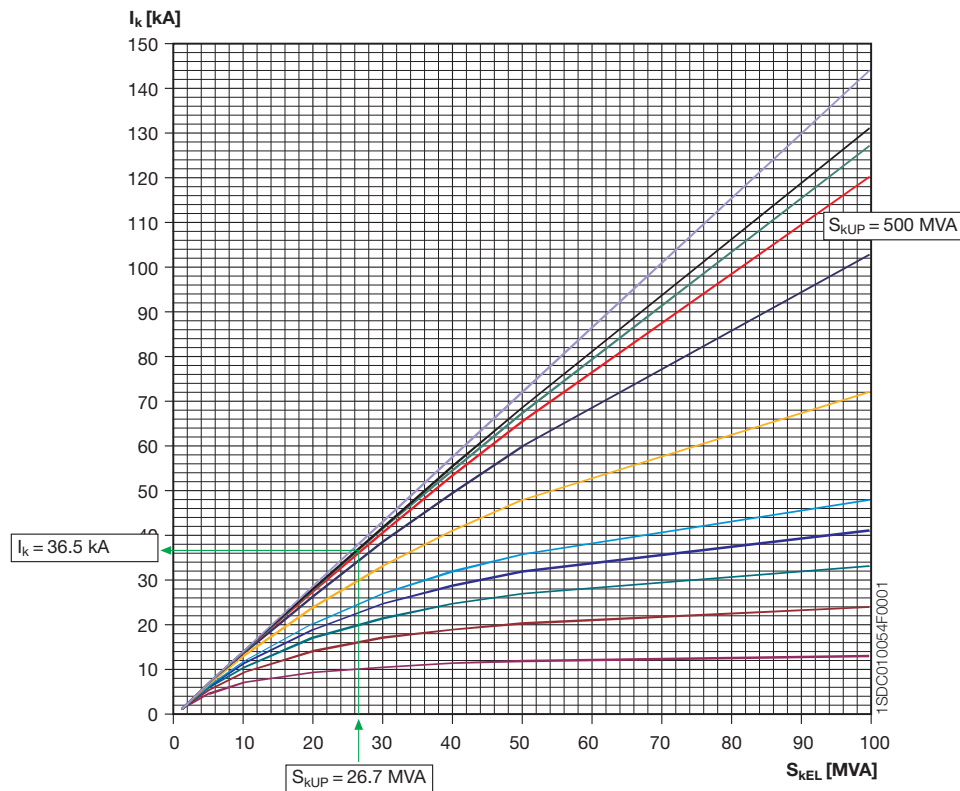
El circuito, visto desde el punto de defecto, consta de la serie de la red y el transformador. Siguiendo las reglas anteriormente enunciadas, la potencia de cortocircuito se determina a través de la siguiente ecuación:

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

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  $S_{kEL} = S_{ktrafo} = 26,7 \text{ MVA}$ :



## Anexo C: 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; 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)

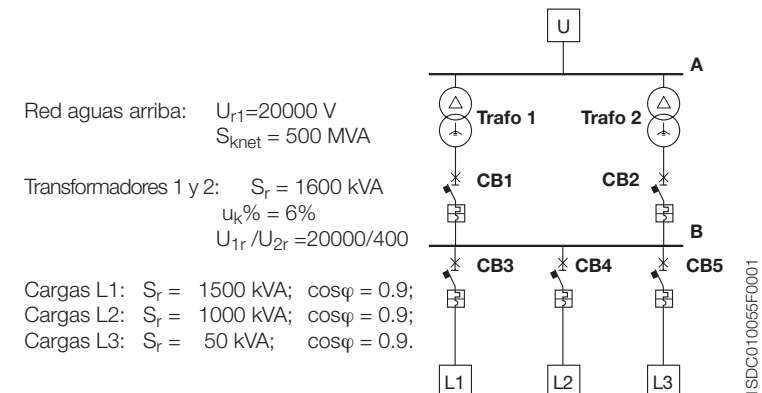
$$S_{kCB3} = S_{kmot} + \frac{1}{\frac{1}{S_{knet}} + \frac{1}{S_{ktrafo}}} = 27.11 \text{ MVA}$$

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

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.



## Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito

Cálculo de las potencias de cortocircuito de los diversos componentes:

Red  $S_{knet} = 500 \text{ MVA}$

Transformadores 1 y 2  $S_{ktrafo} = \frac{S_r}{u_k \%} \cdot 100 = 26.7 \text{ MVA}$

*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.

$$S_{kbusbar} = \frac{S_{knet} \cdot (S_{ktrafo1} + S_{ktrafo2})}{S_{knet} + (S_{ktrafo1} + S_{ktrafo2})} = 48.2 \text{ MVA}$$

$$I_{kbusbar} = \frac{S_{kbusbar}}{\sqrt{3} \cdot U_r} = 69.56 \text{ kA}$$

$$I_{kCB1(2)} = \frac{I_{kbusbar}}{2} = 34.78 \text{ kA}$$

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:

$$I_{kCB3} = I_{kbusbar} = 69.56 \text{ kA}$$

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

## Anexo C: Cálculo de la corriente de cortocircuito

**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 <sup>2</sup> ] | Longitud [m] |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.5                              |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 0.9 | 1.1 | 1.4 | 1.8 | 2.5 | 3.5 | 5.3 | 7   | 9.4 | 14  |
| 2.5                              |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 0.9 | 1   | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.3 | 2.9 | 4.1 | 5.9 | 8.8 |
| 4                                |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.9 | 2.3 | 2.8 | 3.7 | 4.7 | 6.6 |
| 6                                |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 0.8 | 1.1 | 1.4 | 1.8 | 2.1 | 2.5 | 2.8 | 3.5 | 4.2 | 5.6 |
| 10                               |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.9 | 2.3 | 2.9 | 3.5 | 4.1 | 4.7 | 5.8 |
| 16                               |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 0.9 | 1.1 | 1.5 | 1.9 | 2.2 | 3   | 3.7 | 4.7 | 5.6 | 6.5 |
| 25                               |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 0.9 | 1.2 | 1.4 | 1.7 | 2.3 | 2.9 | 3.5 | 4.6 | 5.8 | 7.2 |
| 35                               |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 1.2 | 1.6 | 2   | 2.4 | 3.2 | 4   | 4.8 | 6.4 | 8   | 10  |
| 50                               |              |     |     |     |     |     |     |     |     |    | 1.1 | 1.7 | 2.3 | 2.8 | 3.4 | 4.5 | 5.7 | 6.8 | 9   | 11  |
| 70                               | 0.8          | 1.5 | 2.3 | 3.1 | 3.8 | 4.6 | 6.2 | 7.7 | 9.2 | 12 | 15  | 19  | 23  | 27  | 31  | 38  | 46  | 62  | 77  | 108 |
| 95                               | 1            | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 8   | 10  | 12  | 16 | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  | 50  | 60  | 80  | 100 | 140 |
| 120                              | 1.2          | 2.4 | 3.6 | 4.8 | 6   | 7.2 | 10  | 12  | 14  | 19 | 24  | 30  | 36  | 42  | 48  | 60  | 72  | 96  | 120 | 168 |
| 150                              | 1.4          | 2.8 | 4.2 | 5.6 | 7   | 8.4 | 11  | 14  | 17  | 23 | 28  | 35  | 42  | 49  | 56  | 70  | 84  | 113 | 141 | 197 |
| 185                              | 1.6          | 3.2 | 4.8 | 6.4 | 8   | 10  | 13  | 16  | 19  | 26 | 32  | 40  | 48  | 56  | 64  | 80  | 96  | 128 | 160 | 224 |
| 240                              | 1.8          | 3.7 | 5.5 | 7.3 | 9.1 | 11  | 15  | 18  | 22  | 29 | 37  | 46  | 55  | 64  | 73  | 91  | 110 | 146 | 183 | 256 |
| 300                              | 2            | 4   | 6   | 8   | 10  | 12  | 16  | 20  | 24  | 32 | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 100 | 120 | 160 | 200 | 280 |
| 2x120                            | 2.4          | 4.8 | 7.2 | 10  | 12  | 14  | 19  | 24  | 29  | 38 | 48  | 60  | 72  | 84  | 96  | 120 | 144 | 192 | 240 | 336 |
| 2x150                            | 2.8          | 5.6 | 8.4 | 11  | 14  | 17  | 23  | 28  | 34  | 45 | 56  | 70  | 84  | 98  | 113 | 141 | 169 | 225 | 281 | 394 |
| 2x185                            | 3.2          | 6.4 | 10  | 13  | 16  | 19  | 26  | 32  | 38  | 51 | 64  | 80  | 96  | 112 | 128 | 160 | 192 | 256 | 320 | 448 |
| 3x120                            | 3.6          | 7.2 | 11  | 14  | 18  | 22  | 29  | 36  | 43  | 58 | 72  | 90  | 108 | 126 | 144 | 180 | 216 | 288 | 360 | 505 |
| 3x150                            | 4.2          | 8.4 | 13  | 17  | 21  | 25  | 34  | 42  | 51  | 68 | 84  | 105 | 127 | 148 | 169 | 211 | 253 | 338 | 422 |     |
| 3x185                            | 4.8          | 10  | 14  | 19  | 24  | 29  | 38  | 48  | 58  | 77 | 96  | 120 | 144 | 168 | 192 | 240 | 288 | 384 | 480 |     |

| $I_k$ 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 |
| 90                      | 86                     | 83  | 81  | 78  | 76  | 72  | 67  | 61  | 57  | 48  | 42  | 35  | 31  | 27  | 24  | 20  | 17  | 13  | 11  | 7.8 |
| 80                      | 77                     | 75  | 73  | 71  | 69  | 66  | 62  | 57  | 53  | 46  | 40  | 34  | 30  | 27  | 24  | 20  | 17  | 13  | 10  | 7.7 |
| 70                      | 68                     | 66  | 65  | 63  | 62  | 60  | 56  | 53  | 49  | 43  | 38  | 33  | 29  | 26  | 23  | 19  | 16  | 13  | 10  | 7.6 |
| 60                      | 58                     | 57  | 56  | 55  | 54  | 53  | 50  | 47  | 45  | 40  | 36  | 31  | 28  | 25  | 23  | 19  | 16  | 12  | 10  | 7.5 |
| 50                      | 49                     | 48  | 47  | 46  | 45  | 44  | 43  | 41  | 39  | 35  | 32  | 29  | 26  | 23  | 21  | 18  | 15  | 12  | 10  | 7.3 |
| 40                      | 39                     | 39  | 38  | 38  | 37  | 37  | 35  | 34  | 33  | 31  | 28  | 26  | 24  | 22  | 20  | 17  | 15  | 12  | 10  | 7.1 |
| 35                      | 34                     | 34  | 34  | 33  | 33  | 32  | 32  | 31  | 30  | 28  | 26  | 24  | 22  | 20  | 19  | 16  | 14  | 11  | 10  | 7.1 |
| 30                      | 30                     | 29  | 29  | 29  | 28  | 28  | 28  | 27  | 26  | 25  | 23  | 22  | 20  | 19  | 18  | 16  | 14  | 11  | 9.3 | 7.0 |
| 25                      | 25                     | 24  | 24  | 24  | 24  | 24  | 23  | 23  | 22  | 21  | 21  | 19  | 18  | 17  | 16  | 14  | 13  | 11  | 9.0 | 6.8 |
| 20                      | 20                     | 20  | 20  | 19  | 19  | 19  | 19  | 18  | 18  | 18  | 17  | 16  | 15  | 15  | 14  | 13  | 12  | 10  | 8.4 | 6.5 |
| 15                      | 15                     | 15  | 15  | 15  | 15  | 14  | 14  | 14  | 14  | 14  | 13  | 13  | 12  | 12  | 11  | 10  | 8.7 | 7.6 | 6.1 | 4.6 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 6.0                     | 6.0                    | 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 |
| 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 |

## Anexo C: 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.

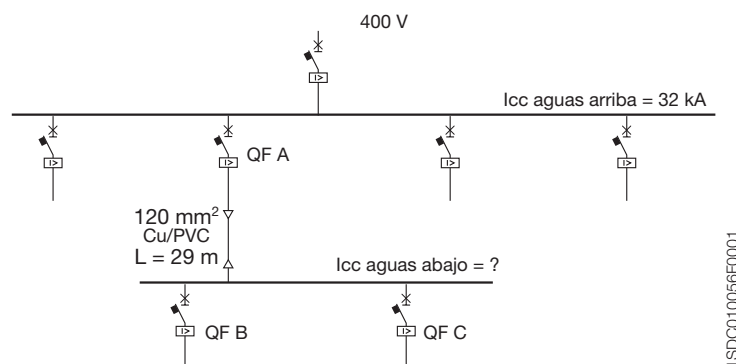
### Ejemplo

Datos

Tensión asignada = 400 V  
 Sección cable = 120 mm<sup>2</sup>  
 Conductor = cobre  
 Longitud = 29 m

Corriente de cortocircuito

aguas arriba = 32 kA



1SDC010066F0001

### Procedimiento

En la línea correspondiente a la sección del cable 120 mm<sup>2</sup> 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.

## Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables

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 [mm<sup>2</sup>]
- 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/°Cmm<sup>3</sup>] a 20 °C
- B es el inverso del coeficiente de temperatura de la resistividad a 0 °C para el conductor [°C]
- $\rho_{20}$  es la resistividad eléctrica del material conductor a 20 °C [Ωmm]
- $\theta_i$  es la temperatura inicial del conductor [°C]
- $\theta_f$  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<br>[°C] | $Q_c$<br>[J/°Cmm <sup>3</sup> ] | $\rho_{20}$<br>[Ωmm]   | $\sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\rho_{20}}}$ |
|----------|-----------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Cobre    | 234.5     | $3.45 \cdot 10^{-3}$            | $17.241 \cdot 10^{-6}$ | 226                                   |
| Aluminio | 228       | $2.5 \cdot 10^{-3}$             | $28.264 \cdot 10^{-6}$ | 148                                   |
| Plomo    | 230       | $1.45 \cdot 10^{-3}$            | $214 \cdot 10^{-6}$    | 41                                    |
| Acero    | 202       | $3.8 \cdot 10^{-3}$             | $138 \cdot 10^{-6}$    | 78                                    |

## Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables

Tabla 2: Valores de  $k$  para conductores de fase

|                                       | Aislamiento del cable        |                              |             |                 |                           |
|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|-----------------|---------------------------|
|                                       | PVC<br>≤ 300 mm <sup>2</sup> | PVC<br>≤ 300 mm <sup>2</sup> | EPR<br>XLPE | Caucho<br>60 °C | Mineral<br>PVC<br>Desnudo |
| Temperatura inicial °C                | 70                           | 70                           | 90          | 60              | 70                        |
| Temperatura final °C                  | 160                          | 140                          | 250         | 200             | 160                       |
| Material conductor:                   |                              |                              |             |                 |                           |
| cobre                                 | 115                          | 103                          | 143         | 141             | 115                       |
| aluminio                              | 76                           | 68                           | 94          | 93              | -                         |
| uniones soldadas<br>en cond. de cobre | 115                          | -                            | -           | -               | -                         |

<sup>a</sup> Este valor debe usarse para cables desnudos 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 <sup>b</sup> |                      | Material del conductor |                          |                    |
|------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
|                        | Inicial                     | Final                | Cobre                  | Aluminio<br>Valor para k | Acero              |
| 70 °C PVC              | 30                          | 160/140 <sup>a</sup> | 143/133 <sup>a</sup>   | 95/88 <sup>a</sup>       | 52/49 <sup>a</sup> |
| 90 °C PVC              | 30                          | 160/140 <sup>a</sup> | 143/133 <sup>a</sup>   | 95/88 <sup>a</sup>       | 52/49 <sup>a</sup> |
| 90 °C termoendurecible | 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                 |

<sup>a</sup> El valor menor es aplicable a conductores aislados en PVC con sección mayor de 300 mm<sup>2</sup>.

<sup>b</sup> Los límites de temperatura para las distintos tipos de aislamiento se dan en IEC 60724.

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 <sup>a</sup> |       | Material del conductor |                          |       |
|----------------|-----------------------------|-------|------------------------|--------------------------|-------|
|                | Inicial                     | Final | Cobre                  | Aluminio<br>Valor para k | Acero |
| PVC            | 30                          | 200   | 159                    | 105                      | 58    |
| Polyetileno    | 30                          | 150   | 138                    | 91                       | 50    |
| CSP            | 30                          | 220   | 166                    | 110                      | 60    |

<sup>a</sup> Los límites de temperatura para las distintos tipos de aislamiento se dan en IEC 60724.

## Anexo D: Cálculo del coeficiente K para los cables

Tabla 5: Valores de  $k$  para conductores de protección incorporados en cables o agrupados con otros cables o conductores aislados

| Cubierta cable         | Temperatura °C <sup>b</sup> |                      | Material del conductor |                          |                    |
|------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
|                        | Inicial                     | Final                | Cobre                  | Aluminio<br>Valor para k | Acero              |
| 70 °C PVC              | 70                          | 160/140 <sup>a</sup> | 115/103 <sup>a</sup>   | 76/68 <sup>a</sup>       | 42/37 <sup>a</sup> |
| 90 °C PVC              | 90                          | 160/140 <sup>a</sup> | 100/86 <sup>a</sup>    | 66/57 <sup>a</sup>       | 36/31 <sup>a</sup> |
| 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 silicona        | 180                         | 350                  | 132                    | 87                       | 47                 |

<sup>a</sup> El valor menor es aplicable a conductores aislados en PVC con sección mayor de 300 mm<sup>2</sup>.

<sup>b</sup> Los límites de temperatura para las distintos tipos de aislamiento se dan en IEC 60724.

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<br>Valor para k | Plomo | Acero |
| 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 <sup>a</sup> | 70             | 200   | 135                    | -                        | -     | -     |
| Mineral sin cubierta                 | 105            | 250   | 135                    | -                        | -     | -     |

<sup>a</sup> Este valor debe usarse para cables desnudos expuestos a ser tocados, en contacto con material combustible.

Tabla 7: Valores de  $k$  para conductores desnudos sin riesgo de dañar los materiales contiguos a las temperaturas indicadas

| Aislamiento conductor       | Temperatura<br>inicial<br>°C | Material del conductor      |         |                             |         |                             |         |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|
|                             |                              | Cobre                       |         | Aluminio                    |         | Acero                       |         |
|                             |                              | Maxima<br>temperatura<br>°C | valor k | Maxima<br>temperatura<br>°C | valor k | Maxima<br>temperatura<br>°C | valor k |
| Visible en área rentringida | 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 <sup>24</sup> | yotta   | Y       | 10 <sup>-1</sup>  | deci    | d       |
| 10 <sup>21</sup> | zetta   | Z       | 10 <sup>-2</sup>  | centi   | c       |
| 10 <sup>18</sup> | exa     | E       | 10 <sup>-3</sup>  | milli   | m       |
| 10 <sup>15</sup> | peta    | P       | 10 <sup>-6</sup>  | mikro   | μ       |
| 10 <sup>12</sup> | tera    | T       | 10 <sup>-9</sup>  | nano    | n       |
| 10 <sup>9</sup>  | giga    | G       | 10 <sup>-12</sup> | pico    | p       |
| 10 <sup>6</sup>  | mega    | M       | 10 <sup>-15</sup> | femto   | f       |
| 10 <sup>3</sup>  | kilo    | k       | 10 <sup>-18</sup> | atto    | a       |
| 10 <sup>2</sup>  | etto    | h       | 10 <sup>-21</sup> | zepto   | z       |
| 10               | deca    | da      | 10 <sup>-24</sup> | yocto   | y       |

## Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

### Principales magnitudes y unidades del SI

| Magnitud                   | Nombre              | Unidad SI | Símbolo                                | Nombre  | Otras unidades      | Símbolo                              | Nombre | Conversión |
|----------------------------|---------------------|-----------|----------------------------------------|---------|---------------------|--------------------------------------|--------|------------|
| 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                        |        |            |
| A                          | área                | m²        | metro cuadrado                         | yd      | yarda               | 1 yd = 91.44 cm                      |        |            |
|                            |                     |           |                                        | a       | área                | 1 a = 10² m²                         |        |            |
| V                          | volumen             | m³        | metro cúbico                           | ha      | hectárea            | 1 ha = 10⁴ m²                        |        |            |
|                            |                     |           |                                        | l       | litro               | 1 l = 1 dm³ = 10⁻³ m³                |        |            |
|                            |                     |           |                                        | UK pt   | pinta               | 1 UK pt = 0.5683 dm³                 |        |            |
|                            |                     |           |                                        | UK gal  | galón               | 1 UK gal = 4.5461 dm³                |        |            |
|                            |                     |           |                                        | US gal  | galón               | 1 US gal = 3.7855 dm³                |        |            |
|                            |                     |           |                                        |         |                     |                                      |        |            |
| Ángulos                    |                     |           |                                        |         |                     |                                      |        |            |
| α, β, γ                    | ángulo plano        | rad       | radián                                 | °       | degrees             | 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/m³     | kilogramo por metro cúbico             |         |                     |                                      |        |            |
| v                          | volumen específico  | m³/kg     | metro cúbico por kilogramo             |         |                     |                                      |        |            |
| M                          | momento de inercia  | kg·m²     | 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                  |        |            |
|                            |                     |           |                                        | milla/h | milla por hora      | 1 mile/h = 0.4470 m/s                |        |            |
|                            |                     |           |                                        | modos   | kn                  | 1 kn = 0.5144 m/s                    |        |            |
| g                          | aceleración         | m/s²      | metros por segundo elevado al cuadrado |         |                     |                                      |        |            |
| Fuerza, energía y potencia |                     |           |                                        |         |                     |                                      |        |            |
| F                          | fuerza              | N         | newton                                 | kgf     |                     | 1 N = 1 kg·m/s²<br>1 kgf = 9.80665 N |        |            |
| p                          | presión             | Pa        | pascal                                 | bar     | bar                 | 1 Pa = 1 N/m²<br>1 bar = 10⁵ 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/m²     | candela por metro cuadrado             |         |                     |                                      |        |            |
| Φ                          | flujo luminoso      | lm        | lumen                                  |         |                     | 1 lm = 1 cd·sr                       |        |            |
| E                          | iluminancia         | lux       |                                        |         |                     | 1 lux = 1 lm/m²                      |        |            |

## Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

### Principales magnitudes eléctricas, magnéticas y unidades del SI

| Magnitud | Nombre              | Unidad SI | Nombre                     | Otras unidades | Nombre            | Conversión                                                                           |
|----------|---------------------|-----------|----------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Símbolo  |                     | Símbolo   |                            |                |                   |                                                                                      |
| I        | corriente           | A         | amperio                    |                |                   |                                                                                      |
| V        | tensión             | V         | voltio                     |                |                   |                                                                                      |
| R        | resistencia         | $\Omega$  | ohm                        |                |                   |                                                                                      |
| G        | conductancia        | S         | siemens                    |                |                   | $G = 1/R$                                                                            |
| X        | reactancia          | $\Omega$  | ohm                        |                |                   | $X_L = \omega L$<br>$X_C = -1/\omega C$                                              |
| B        | susceptancia        | S         | siemens                    |                |                   | $B_L = -1/\omega L$<br>$B_C = \omega C$                                              |
| Z        | impedancia          | $\Omega$  | 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 | $1\text{ C} = 1\text{ A}\cdot\text{s}$<br>$1\text{ Ah} = 3600\text{ A}\cdot\text{s}$ |
| E        | campo eléctrico     | V/m       | voltio por metro           |                |                   |                                                                                      |
| C        | capacidad           | F         | faradio                    |                |                   | $1\text{ F} = 1\text{ C/V}$                                                          |
| H        | campo magnético     | A/m       | amperio por metro          |                |                   |                                                                                      |
| B        | inducción magnética | T         | tesla                      | G              | gauss             | $1\text{ T} = 1\text{ V}\cdot\text{s/m}^2$<br>$1\text{ G} = 10^{-4}\text{ T}$        |
| L        | inductancia         | H         | henrio                     |                |                   | $1\text{ H} = 1\text{ }\Omega\cdot\text{s}$                                          |

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

| Conductor         | Resistividad $\rho_{20}$<br>[mm <sup>2</sup> $\Omega$ /m] | Conductividad<br>$\chi_{20}=1/\rho_{20}$<br>[m/mm <sup>2</sup> $\Omega$ ] | Coeficiente de temperatura $\alpha_{20}$<br>[K <sup>-1</sup> ] |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Aluminio          | 0.0287                                                    | 34.84                                                                     | $3.8\cdot 10^{-3}$                                             |
| Latón, CuZn 40    | $\leq 0.067$                                              | $\geq 15$                                                                 | $2\cdot 10^{-3}$                                               |
| 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

$$\text{Resistencia de un conductor a la temperatura } \theta \quad R_{\theta} = \rho_{\theta} \cdot \frac{\ell}{S}$$

$$\text{Conductancia de un conductor a la temperatura } \theta \quad G_{\theta} = \frac{1}{R_{\theta}} = \chi_{\theta} \cdot \frac{S}{\ell}$$

$$\text{Resistividad de un conductor a la temperatura } \theta \quad \rho_{\theta} = \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)]$$

$$\text{Reactancia capacitiva} \quad X_C = \frac{-1}{\omega \cdot C} = - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$\text{Reactancia inductiva} \quad X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$\text{Impedancia} \quad Z = R + jX$$

$$\text{Impedancia módulo} \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\text{Impedancia fase} \quad \varphi = \arctan \frac{R}{X}$$

$$\text{Conductancia} \quad G = \frac{1}{R}$$

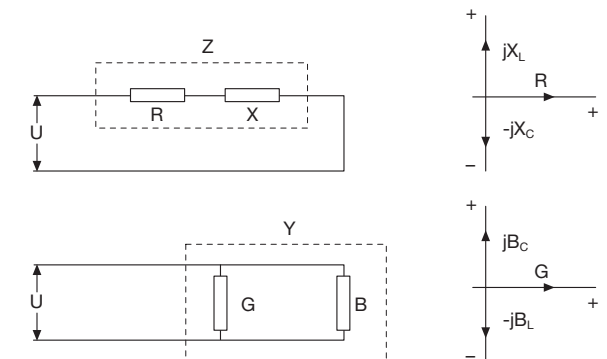
$$\text{Susceptancia capacitiva} \quad B_C = \frac{-1}{X_C} = \omega \cdot C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

$$\text{Susceptancia inductiva} \quad B_L = \frac{-1}{X_L} = - \frac{1}{\omega \cdot L} = - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}$$

$$\text{Admitancia} \quad Y = G - jB$$

$$\text{Admitancia módulo} \quad Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

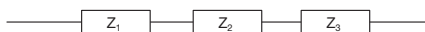
$$\text{Admitancia fase} \quad \varphi = \arctan \frac{B}{G}$$



## Anexo E: Principales magnitudes físicas y fórmulas electrotécnicas

Impedancias en serie

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



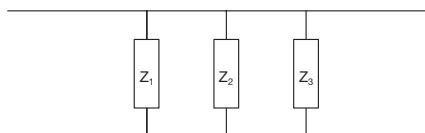
Admitancias en serie

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



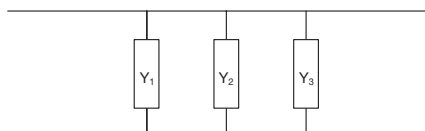
Impedancias en paralelo

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

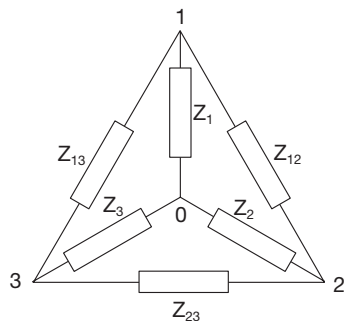


Admitancias en paralelo

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



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                                    |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Caída de tensión</b>   | $\Delta U = 2 \cdot l \cdot \ell \cdot (r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi)$ | $\Delta U = \sqrt{3} \cdot l \cdot \ell \cdot (r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi)$ | $\Delta U = 2 \cdot l \cdot \ell \cdot r$   |
| <b>Caída de tensión %</b> | $\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$                                         | $\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$                                                | $\Delta u = \frac{\Delta U}{U_r} \cdot 100$ |
| <b>Potencia activa</b>    | $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$                                                   | $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$                                           | $P = U \cdot I$                             |
| <b>Potencia reactiva</b>  | $Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$                                                   | $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi$                                           | –                                           |
| <b>Potencia aparente</b>  | $S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$                                                  | $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$                                          | –                                           |
| <b>Factor de potencia</b> | $\cos\varphi = \frac{P}{S}$                                                         | $\cos\varphi = \frac{P}{S}$                                                                | –                                           |
| <b>Pérdidas</b>           | $\Delta P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$                                         | $\Delta P = 3 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$                                                | $\Delta P = 2 \cdot \ell \cdot r \cdot I^2$ |

### Caption

$\rho_{20}$  resistividad a 20 °C  
 $\ell$  longitud del conductor  
 $S$  sección del conductor  
 $\alpha_{20}$  coeficiente de temperatura del conductor a 20 °C  
 $\theta$  temperatura del conductor  
 $\rho\theta$  resistividad a la temperatura del conductor  
 $\omega$  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

