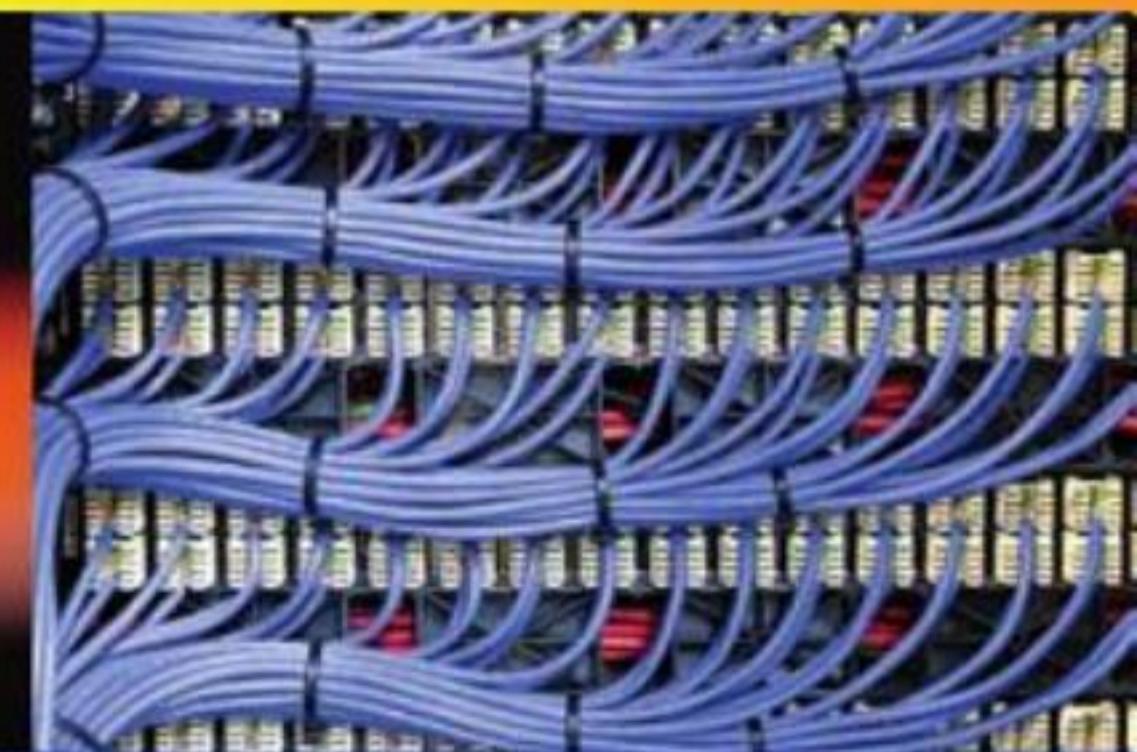


Adaptado al nuevo  
RLAT (BOE 2008)

# INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN

José García Trasancos



SEXTA EDICIÓN

Paraninfo

Copyrighted material

## Instalaciones eléctricas en media y baja tensión

© José García Trasancos

**Gerente Editorial Área Ciclos Formativos:**

María José López Raso

**Asistente Editorial:**

Alicia Cerviño González

**Editora de Adquisiciones:**

Carmen Lara Carmona

**Producción:**

Rafael García Jiménez

**Diseño de cubierta:**

Ediciones Nobel

**Preimpresión:**

José García Trasancos

Reservados los derechos para todos los países de lengua española. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 270 del Código Penal vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reprodujeren o plagiaren, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte sin la preceptiva autorización. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial.

COPYRIGHT © 2008 Ediciones Paraninfo, SA  
6<sup>a</sup> edición, 3<sup>a</sup> impresión de 2010

Av. Filipinas, 50 Bajo A / 28003 Madrid, ESPAÑA  
Teléfono: 902 995 240 / Fax: 914 456 218  
[clientes@paraninfo.es](mailto:clientes@paraninfo.es) / [www.paraninfo.es](http://www.paraninfo.es)

ISBN: 978-84-283-3190-6  
Depósito legal: M-26421-2010  
(061/93/78)

**Impreso en España / Printed in Spain**  
CLM, SL  
Polígono Codein  
Fuenlabrada (Madrid)

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO A LA PRIMERA EDICIÓN . . . . .</b>	XV
<b>NOTA A LA SEXTA EDICIÓN . . . . .</b>	XVII
<b>1. LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN . . . . .</b>	1
1.1. Clasificación de las líneas eléctricas según su tensión nominal . . . . .	1
1.2. Producción transporte y distribución de energía eléctrica . . . . .	2
1.3. Distribución de energía en corriente alterna . . . . .	4
1.4. Cálculo de circuitos de corriente alterna . . . . .	5
1.5. Sistema trifásico con cargas desequilibradas . . . . .	10
1.6. Líneas de distribución abiertas y cerradas . . . . .	17
1.7. Transmisión de información . . . . .	18
1.8. Conductores utilizados en las líneas eléctricas . . . . .	19
1.9. Designación de conductores aislados en media y baja tensión . . . . .	21
<i>Problemas de recapitulación . . . . .</i>	24
<b>2. CÁLCULO ELÉCTRICO DE LÍNEAS . . . . .</b>	27
2.1. Cálculo de la sección de los conductores en las líneas de baja tensión en corriente alterna . . . . .	27
2.2. Sección mínima de los conductores por criterio térmico . . . . .	28
2.3. Cálculo de líneas por caída de tensión . . . . .	38
2.4. Cálculo de líneas de baja tensión en corriente alterna con carga única . . . . .	38
2.5. Cálculo de líneas de distribución abiertas de sección uniforme . . . . .	42
2.6. Cálculo de líneas de distribución abiertas de sección no uniforme . . . . .	46
2.7. Cálculo de líneas de sección uniforme, alimentadas por dos extremos a la misma tensión . . . . .	51
2.8. Cálculo de líneas cerradas en anillo . . . . .	53
2.9. Cálculo de líneas de B.T. por medio de ábacos . . . . .	54
2.10. Cálculo de líneas de corriente continua . . . . .	56
2.11. Cálculo eléctrico de líneas de media tensión . . . . .	57
2.12. Caída de tensión en las líneas de media tensión . . . . .	58
2.13. Potencia máxima de transporte . . . . .	62
2.14. Pérdidas de potencia . . . . .	62
2.15. Sección mínima de los conductores para soportar un cortocircuito . . . . .	64
<i>Problemas de recapitulación . . . . .</i>	66

<b>3. LÍNEAS AÉREAS . . . . .</b>	<b>69</b>
3.1. Línea eléctrica aérea . . . . .	69
3.2. Cables de aluminio acero utilizados en las líneas aéreas de distribución en media tensión. . . . .	69
3.3. Cálculo eléctrico de los conductores en las líneas aéreas de M.T. con cables de aluminio acero . . . . .	70
3.4. Aisladores . . . . .	73
3.5. Aislamiento suspendido en líneas de media tensión . . . . .	73
3.6. Apoyos . . . . .	74
3.7. Postes de hormigón en media y baja tensión . . . . .	75
3.8. Apoyos metálicos de celosía para media tensión . . . . .	77
3.9. Crucetas . . . . .	78
3.10. Crucetas para apoyos de hormigón en media tensión . . . . .	79
3.11. Crucetas para apoyos metálicos en media tensión . . . . .	79
3.12. Herrajes . . . . .	80
3.13. Antivibratorios . . . . .	80
3.14. Empalmes y derivaciones en las líneas aéreas de media tensión . . . . .	80
3.15. Cálculo mecánico de cables . . . . .	81
3.16. Cálculo de la flecha . . . . .	82
3.17. Ecuación del cambio de condiciones . . . . .	84
3.18. Cálculos mecánicos de los conductores de la línea de M.T. . . . .	86
3.19. Cálculo de apoyos en las líneas de M.T. . . . .	93
3.20. Apoyos de alineación . . . . .	94
3.21. Apoyos en ángulo . . . . .	96
3.22. Apoyos de anclaje . . . . .	98
3.23. Apoyos de fin de línea . . . . .	99
3.24. Cargas verticales sobre los apoyos . . . . .	100
3.25. Distancias de seguridad . . . . .	100
3.26. Cables aislados de aluminio trenzados en haz utilizados en las líneas aéreas de baja tensión . . . . .	101
3.27. Sujeciones y accesorios en las líneas aéreas de baja tensión . . . . .	102
3.28. Empalmes y conexiones . . . . .	103
3.29. Empalmes y derivaciones en las líneas aéreas de baja tensión . . . . .	103
3.30. Derivaciones para acometidas . . . . .	104
3.31. Tomas de tierra en las líneas de B.T. . . . .	105
3.32. Cálculo eléctrico en las líneas de distribución en baja tensión . . . . .	105

3.33. Cálculo mecánico de cables aislados de aluminio trenzados en haz en líneas aéreas de baja tensión . . . . .	107
3.34. Cálculo de los apoyos en líneas aéreas de baja tensión . . . . .	110
3.35. Cruzamientos, proximidades y paralelismos en las líneas de B.T. . . . .	111
3.36. Cimentaciones . . . . .	112
3.37. Puesta a tierra de los apoyos . . . . .	113
3.38. Cimentación y elevación de apoyos . . . . .	114
3.39. Tendido de cables . . . . .	114
3.40. Tensado de cables . . . . .	115
3.41. Instalación de líneas aéreas de media tensión con conductores de aluminio acero . . . . .	115
3.42. Instalación de líneas aéreas de baja tensión . . . . .	115
3.43. Señalización de seguridad en las líneas aéreas . . . . .	116
3.44. Apertura de calles en zonas de arbolado para líneas de media tensión . . . . .	116
<i>Problemas de recapitulación</i> . . . . .	117
<b>4. LÍNEAS SUBTERRÁNEAS</b> . . . . .	119
4.1. Líneas subterráneas . . . . .	119
4.2. Cables subterráneos . . . . .	119
4.3. Cables aislados subterráneos para media tensión . . . . .	120
4.4. Cálculo de líneas subterráneas de media tensión . . . . .	121
4.5. Empalme, derivación y terminal . . . . .	123
4.6. Empalmes subterráneos en media tensión . . . . .	123
4.7. Terminales de cables subterráneos para media tensión . . . . .	124
4.8. Cables subterráneos para líneas de baja tensión . . . . .	125
4.9. Cálculo de líneas subterráneas de baja tensión . . . . .	126
4.10. Empalmes y derivaciones en B.T. . . . .	129
4.11. Registro o arqueta . . . . .	129
4.12. Arquetas de registro para canalizaciones subterráneas de media y baja tensión . . . . .	129
4.13. Armarios de urbanización . . . . .	130
4.14. Excavación y preparación de la zanja . . . . .	130
4.15. Señalización de líneas subterráneas . . . . .	130
4.16. Rellenado de la zanja . . . . .	130
4.17. Zanjas y canalizaciones en media tensión . . . . .	131
4.18. Zanjas y canalizaciones en baja tensión . . . . .	132

4.19. Tendido de cables . . . . .	132
<i>Problemas de recapitulación</i> . . . . .	133
<b>5. APARAMENTA Y PROTECCIÓN . . . . .</b>	<b>135</b>
5.1 Aparamenta eléctrica . . . . .	135
5.2. Parámetros característicos de los aparatos eléctricos . . . . .	135
5.3. Interruptor . . . . .	136
5.4. Interruptor automático . . . . .	137
5.5. Interruptor magnetotérmico . . . . .	138
5.6. Seccionador . . . . .	139
5.7. Fusible . . . . .	140
5.8. Fusibles de B.T. . . . .	141
5.9. Contactor . . . . .	142
5.10. Protección de las instalaciones contra sobrecargas . . . . .	145
5.11. Protección de las instalaciones contra cortocircuitos . . . . .	147
5.12. Cálculo de la intensidad de cortocircuito . . . . .	149
5.13. Elección de un interruptor automático . . . . .	150
5.14. Selectividad en las protecciones contra sobreintensidades . . . . .	150
5.15. Puesta a tierra . . . . .	154
5.16. Partes de una puesta a tierra . . . . .	154
5.17. Tipos de electrodos utilizados en las puestas a tierra . . . . .	154
5.18. Cálculo aproximado de la resistencia de puesta a tierra de los electrodos .	155
5.19. Soldadura aluminotérmica . . . . .	156
5.20. Tensión de paso y tensión de contacto . . . . .	157
5.21. Medida de una toma de tierra . . . . .	158
5.22. Medida de la resistividad del terreno . . . . .	158
5.23. Peligrosidad de la corriente eléctrica . . . . .	159
5.24. Interruptor diferencial . . . . .	160
5.25. Protección contra contactos directos . . . . .	161
5.26. Protección contra contactos indirectos . . . . .	163
5.27. Elección de un interruptor diferencial . . . . .	165
5.28. Selectividad entre interruptores diferenciales . . . . .	166
5.29. Protección de las líneas eléctricas . . . . .	167
5.30. Relés de protección . . . . .	167
5.31. Protección de las líneas contra sobrecargas . . . . .	168
5.32. Protección de las líneas de distribución contra cortocircuitos . . . . .	168

---

5.33. Sobretensiones en las líneas . . . . .	169
5.34. Protección de las líneas de distribución contra sobretensiones . . . . .	170
5.35. Medida del aislamiento de una línea . . . . .	170
5.36. Medidas de seguridad para trabajos sin tensión . . . . .	170
5.37. Trabajos en tensión . . . . .	170
5.38. Determinación de averías en las líneas . . . . .	171
5.39. Localización de averías en las líneas . . . . .	171
5.40. Verificaciones e inspecciones en las líneas de AT . . . . .	173
5.41. Mantenimiento de líneas aéreas . . . . .	173
5.42. Mantenimiento y averías en las líneas subterráneas . . . . .	174
<i>Problemas de recapitulación</i> . . . . .	175
<b>6. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN</b> . . . . .	177
6.1. Centro de transformación . . . . .	177
6.2. Régimen de neutro en el C.T. . . . .	178
6.3. Componentes del C.T. . . . .	178
6.4. Transformador . . . . .	179
6.5. Protecciones propias del transformador . . . . .	181
6.6. Protección contra defectos internos . . . . .	181
6.7. Protección contra sobrecargas y cortocircuitos . . . . .	182
6.8. Protección contra las sobretensiones . . . . .	183
6.9. Protección contra incendios . . . . .	184
6.10. Alumbrado, señalización y material de seguridad . . . . .	184
6.11. Cuadro general de baja tensión . . . . .	184
6.12. Medidas . . . . .	185
6.13. Cálculos eléctricos del centro de transformación . . . . .	185
6.14. Centros de transformación intemperie sobre poste . . . . .	191
6.15. Centros de transformación de interiores . . . . .	198
6.16. Ventilación del centro de transformación . . . . .	204
6.17. Verificaciones previas a la conexión de un centro de transformación . . . . .	206
6.18. Maniobras de conexión y desconexión en el centro de transformación . . . . .	206
6.19. Mantenimiento de los centros de transformación . . . . .	207
6.20. Cálculo de la toma de tierra . . . . .	207
<i>Problemas de recapitulación</i> . . . . .	213

<b>7. TARIFACIÓN ELÉCTRICA . . . . .</b>	215
7.1. Contador monofásico de inducción . . . . .	215
7.2. Contadores trifásicos . . . . .	215
7.3. Contadores de impulsos . . . . .	217
7.4. Contadores electrónicos . . . . .	217
7.5. Regletas de verificación . . . . .	218
7.6. Coeficiente de facturación . . . . .	218
7.7. Medida del factor de potencia con voltímetro, amperímetro y vatímetro . . .	219
7.8. Medida del factor de potencia con fasímetro . . . . .	220
7.9. Medida del factor de potencia con analizador de redes . . . . .	220
7.10. Medida del factor de potencia con contadores de energía activa y reactiva . . . . .	220
7.11. Tarifas eléctricas . . . . .	221
7.12. Tarifas eléctricas reguladas en baja tensión . . . . .	223
7.13. Potencia de facturación . . . . .	224
7.14. Discriminación horaria en tarifas eléctricas reguladas . . . . .	226
7.15. Complemento por energía reactiva en tarifas reguladas . . . . .	227
7.16. Tarifas de acceso en baja tensión . . . . .	228
7.17. Estructura de las tarifas de acceso . . . . .	228
7.18. Otros conceptos de la facturación . . . . .	230
7.19. Tarifas eléctricas de acceso en alta tensión . . . . .	233
7.20. Medida en B.T. y facturación en A.T. . . . .	236
7.21. Corrección del factor de potencia . . . . .	236
7.22. Cálculo de la potencia reactiva . . . . .	238
7.23. Instalación de la batería de condensadores . . . . .	240
<i>Problemas de recapitulación . . . . .</i>	242
 <b>8. INSTALACIONES DE ENLACE E INTERIORES . . . . .</b>	245
8.1. Instalaciones de enlace . . . . .	245
8.2. Acometida en B.T. . . . .	245
8.3. Acometida aérea . . . . .	246
8.4. Acometida subterránea . . . . .	246
8.5. Acometida mixta . . . . .	246
8.6. Caja general de protección y bases tripolares verticales . . . . .	247
8.7. Línea general de alimentación . . . . .	248
8.8. Equipo de medida . . . . .	249



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

---

A.12. Representación gráfica de magnitudes trifásicas . . . . .	340
A.13. Conexión en estrella . . . . .	340
A.14. Conexión en triángulo . . . . .	341
A.15. Potencia en corriente alterna trifásica . . . . .	342
A.16. Cálculo de un circuito trifásico equilibrado . . . . .	342
A.17. Aplicación de los números complejos al cálculo de circuitos en corriente alterna senoidal . . . . .	343
<i>Problemas resueltos</i> . . . . .	344
<i>Problemas propuestos</i> . . . . .	350
<b>B. TRANSFORMADOR</b> . . . . .	353
B.1. Transformador . . . . .	353
B.2. Constitución y principio de funcionamiento de un transformador monofásico	353
B.3. Transformador ideal . . . . .	354
B.4. Transformador real . . . . .	355
B.5. Caída de tensión en el transformador . . . . .	358
B.6. Corriente de cortocircuito . . . . .	359
B.7. Transformador trifásico . . . . .	359
B.8. Conexión en paralelo de transformadores . . . . .	361
B.9. Autotransformador . . . . .	362
B.10. Transformadores de medida . . . . .	363
<i>Problemas resueltos</i> . . . . .	367
<i>Problemas propuestos</i> . . . . .	372
<b>C. PROYECTO TÉCNICO</b> . . . . .	375
C.1. Proyecto técnico . . . . .	375
C.2. Fases de un proyecto técnico . . . . .	375
C.3. Documentos del proyecto técnico . . . . .	377
C.4. Tramitación de los proyectos técnicos . . . . .	383
C.5. Estudio previo del proyecto de una instalación eléctrica de baja tensión . . . . .	383
<b>D. SÍMBOLOS GRÁFICOS</b> . . . . .	385
<b>E. SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE RECAPITULACIÓN</b> . . . . .	391
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> . . . . .	421

## PRÓLOGO A LA PRIMERA EDICIÓN

En el estudio de la tecnología, junto con el conocimiento manipulativo de una profesión, los procesos de análisis y síntesis son fundamentales para que este conocimiento no sea un conjunto de recetas junto a una descripción de aparatos. Se pretende en este libro que los alumnos adquieran conceptos claros de las instalaciones eléctricas de media y baja tensión, que permitan su aplicación en cálculos, que deben completar usando e interpretando catálogos de casas comerciales, proyectos tipo y programas informáticos.

Por su contenido está dirigido a los alumnos de ciclos formativos de electricidad, especialmente al ciclo superior de Instalaciones Electrotécnicas. Puede, sin embargo, ser utilizado también en el ciclo medio de Equipos e Instalaciones Electrotécnicas atendiendo más a su parte descriptiva y conceptual que a los cálculos.

Es útil también para técnicos instaladores electricistas y para proyectos de estas instalaciones; así como para los alumnos que acceden a estudios técnicos sin pasar por la formación profesional.

El libro consta de nueve capítulos y cuatro apéndices.

El primer Capítulo, "Líneas de distribución," trata de la distribución de energía eléctrica en corriente alterna y del cálculo de circuitos monofásicos y trifásicos.

El segundo Capítulo, "Cálculo eléctrico de líneas," abarca el cálculo eléctrico en baja y media tensión de las líneas eléctricas, por caída de tensión, pérdida de potencia y cortocircuito.

Los Capítulos 3 y 4, "Líneas aéreas" y Líneas subterráneas," estudian la constitución de estas líneas en baja y media tensión, su cálculo con los conductores más utilizados, incluyendo el cálculo mecánico de conductores y apoyos en las líneas aéreas.

El Capítulo 5, "Aparamenta y protección," trata de los aparatos utilizados para maniobra y protección de las líneas, averías, mantenimiento de las mismas y cálculo de las protecciones.

En el Capítulo 6, "Centros de transformación," se estudia la constitución, cálculos, maniobra y mantenimiento en los centros de transformación de intemperie e interiores.

El Capítulo 7, "Tarifación," se ocupa de la medida de la energía eléctrica, tarifas en baja y media tensión, así como de la mejora del factor de potencia.

El Capítulo 8, "Instalaciones de enlace e interiores," sobre la constitución y cálculo de las instalaciones de enlace, además de las instalaciones domésticas, singulares e industriales en el interior de edificios.

El Capítulo 9, "Iluminación," trata de las fuentes de luz, constitución, mantenimiento y cálculo de alumbrados de interiores y exteriores.

Cada capítulo consta de teoría y problemas de aplicación, resueltos unos, y con los resultados indicados, otros. Al final de cada capítulo, y como síntesis de lo tratado en él, se plantean problemas de recapitulación con los resultados.

El Apéndice A, "Corriente alterna," es un resumen de las leyes y fórmulas de corriente alterna monofásica y trifásica. Completa el capítulo primero para todos los que necesiten conocer la teoría de circuitos de corriente alterna, antes de abordar los problemas de aplicación. Consiste en un resumen teórico, con problemas resueltos y otros para resolver con los resultados especificados.

El Apéndice B, "Transformador," es un resumen de la constitución y funcionamiento de esta máquina eléctrica. Completa el Capítulo 6, para todos los que necesiten conocer la teoría del transformador, antes de abordar el estudio de los centros de transformación. Consiste en un resumen teórico, con problemas resueltos y otros para resolver con indicación de los resultados.

El Apéndice C, "Proyecto técnico," consiste en unas indicaciones sobre el proyecto técnico en general, análisis de los documentos de que consta y estudio previo para la realización del proyecto de una instalación eléctrica.

El Apéndice D, "Símbolos gráficos," es un cuadro de símbolos eléctricos, que contiene todos los utilizados en el libro.

Quiero agradecer la colaboración de todas aquellas empresas que me facilitaron información sobre instalaciones eléctricas, especialmente a Unión Fenosa, por permitirme utilizar datos y gráficos de sus unidades constructivas, de líneas eléctricas y centros de transformación.

Mi agradecimiento también a todas las personas que desinteresadamente me han ayudado en la confección de este libro, especialmente a los ingenieros técnicos industriales, D. Antonio Picado Rodríguez y D. Arcadio Seco Falcón, que revisaron los capítulos de Líneas aéreas y Tarificación, y D. José Carlos Pérez Fernández, que hizo una revisión de los problemas que aparecen en el libro y una atenta corrección del texto.

EL AUTOR

## **NOTA A LA SEXTA EDICIÓN**

En la edición anterior se recogió la adaptación al nuevo Reglamento electrotécnico de baja tensión y se ampliaba con el apéndice E, "Solución a los problemas de recapitulación". También se planteaba mediante el acceso a la página Web de la editorial, una colección de pruebas objetivas sobre cada capítulo.

En esta sexta edición, se mantienen las ampliaciones de la edición anterior y se actualiza todo el libro para adaptarlo a nuevas normas que le afectan, especialmente:

En instalaciones interiores, norma UNE 20460-5-523: 2004.

En líneas de distribución, norma UNE 211435: 2007.

En alta tensión, Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias (Real Decreto 223/2008).

En tarificación eléctrica, tarifas eléctricas actuales (Orden ITC/3801/2008).

El conjunto de pruebas objetivas sobre cada capítulo se han corregido y ampliado hasta 350 test.

Se mantiene como objetivo, que simultáneamente con el estudio de los fenómenos físicos implicados, el estudiante debe obtener soltura en los métodos de cálculo necesarios para resolver los problemas que se le plantean en la práctica como técnico electricista.

**EL AUTOR**

# 1

## LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

### 1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS SEGÚN SU TENSIÓN NOMINAL

Tensión nominal de una instalación o aparato eléctrico es el valor de tensión asignado y al cual se refieren sus características.

Tensión nominal en una línea trifásica de corriente alterna es el valor convencional de la tensión eficaz entre fases de la línea. La frecuencia de la corriente alterna normalizada en Europa es de 50 Hz.

La clasificación de las líneas según su tensión es la siguiente:

1) *Líneas de baja tensión (B.T.)*: Son las que tienen una tensión nominal menor o igual a 1 000 V para corriente alterna y 1 500 V para corriente continua, según el artículo 2º del Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT).

Las tensiones nominales normalizadas son:

Tabla 1.1

	Corriente alterna (Valor eficaz)	Corriente continua (Valor medio aritmético)
Muy baja tensión..	$U_n \leq 50$ V	$U_n \leq 75$ V
Tensión usual.....	$50 < U_n \leq 500$ V	$75 < U_n \leq 750$ V
Tensión especial...	$500 < U_n \leq 1000$ V	$750 < U_n \leq 1500$ V

Las tensiones nominales usuales en distribuciones de corriente alterna serán: 230 V para redes trifásicas de tres conductores, 400 V entre fases y 230 V entre fase y neutro para redes trifásicas de cuatro conductores. La frecuencia de la red será de 50 Hz, (artículo 4º del REBT).

2) *Líneas de alta tensión (A.T.)*: Son las líneas que tienen una tensión nominal mayor de 1 000 V. Se clasifican en cuatro categorías, según el artículo 3 del Reglamento técnico de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (RLAT):

- Líneas de categoría especial. Son de tensión nominal igual o superior a 220 kV y las de tensión inferior que forman parte de la red de transporte.
- Líneas de primera categoría. Son de tensión nominal mayor de 66 kV e inferior a 220 kV.
- Líneas de segunda categoría. De tensión nominal mayor de 30 kV e igual o inferior a 66 kV.
- Líneas de tercera categoría. De tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1 kV.

La tensión nominal superior a 400 kV, debe autorizarla la Administración.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

c) La intensidad de línea:  $I_L = \frac{S}{\sqrt{3} V_L} = \frac{2 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 192,45 \text{ A}$

d) La sección mínima:  $s = \frac{I_L}{\delta} = \frac{192,45}{3} = 64,15 \text{ mm}^2$

e) La máxima intensidad de corriente:  $I_{L\max} = s \cdot \delta = 70 \cdot 4 = 280 \text{ A}$

La máxima potencia aparente:  $S_{\max} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_{L\max} = \sqrt{3} \cdot 20000 \cdot 280 = 9699485 \text{ VA}$

**1.2-2.** En una línea trifásica de distribución en M.T. se utiliza un conductor de aluminio de sección nominal  $120 \text{ mm}^2$ . Si se admite una densidad de corriente de  $3 \text{ A/mm}^2$ . Calcular:

- Máxima intensidad de corriente que puede circular por la línea.
- Máxima potencia aparente a transportar si la tensión de línea es de  $20 \text{ kV}$ .

Solución: a)  $360 \text{ A}$ ; b)  $12,47 \text{ MVA}$

### 1.3. DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA EN CORRIENTE ALTERNA

En la construcción de una red de distribución de energía eléctrica se pretende conseguir:

- Buena calidad de servicio: mantenimiento de la tensión y frecuencia, con continuidad de servicio.
- Posibilidad de soportar aumento de consumo.
- Construcción simple y económica.

La distribución de energía eléctrica se realiza de varias formas:

- Monofásica, a dos conductores (fig. 1.3). para alimentación de reducido consumo en B.T.
- Trifásica, a tres conductores (fig. 1.4). Se utiliza para distribución en A.T. y en B.T. (En este caso solamente para receptores trifásicos equilibrados, con las tres fases iguales).

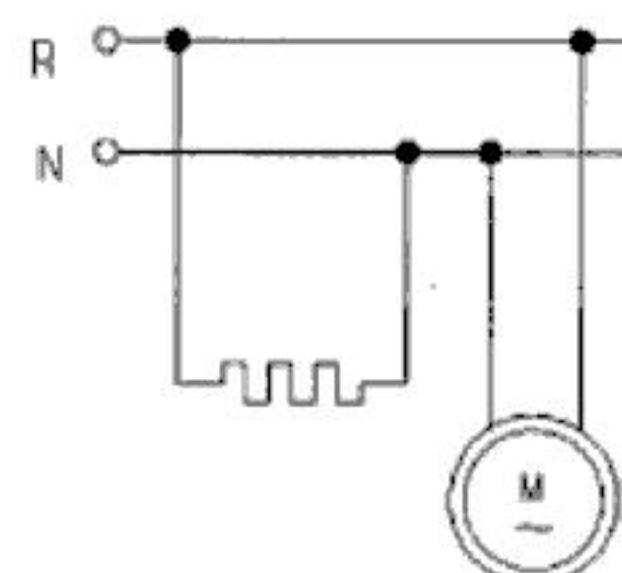


Fig. 1.3

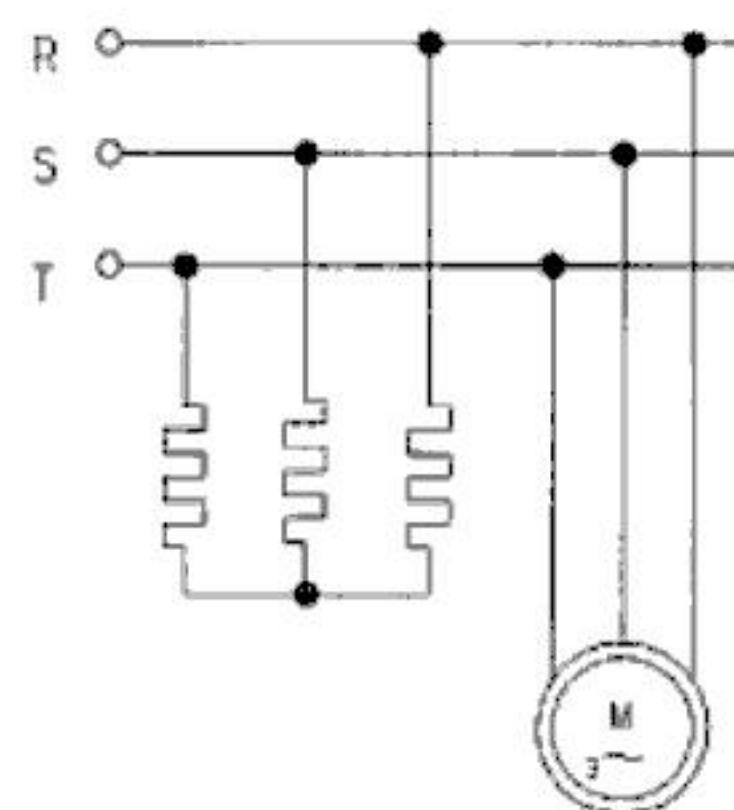


Fig. 1.4

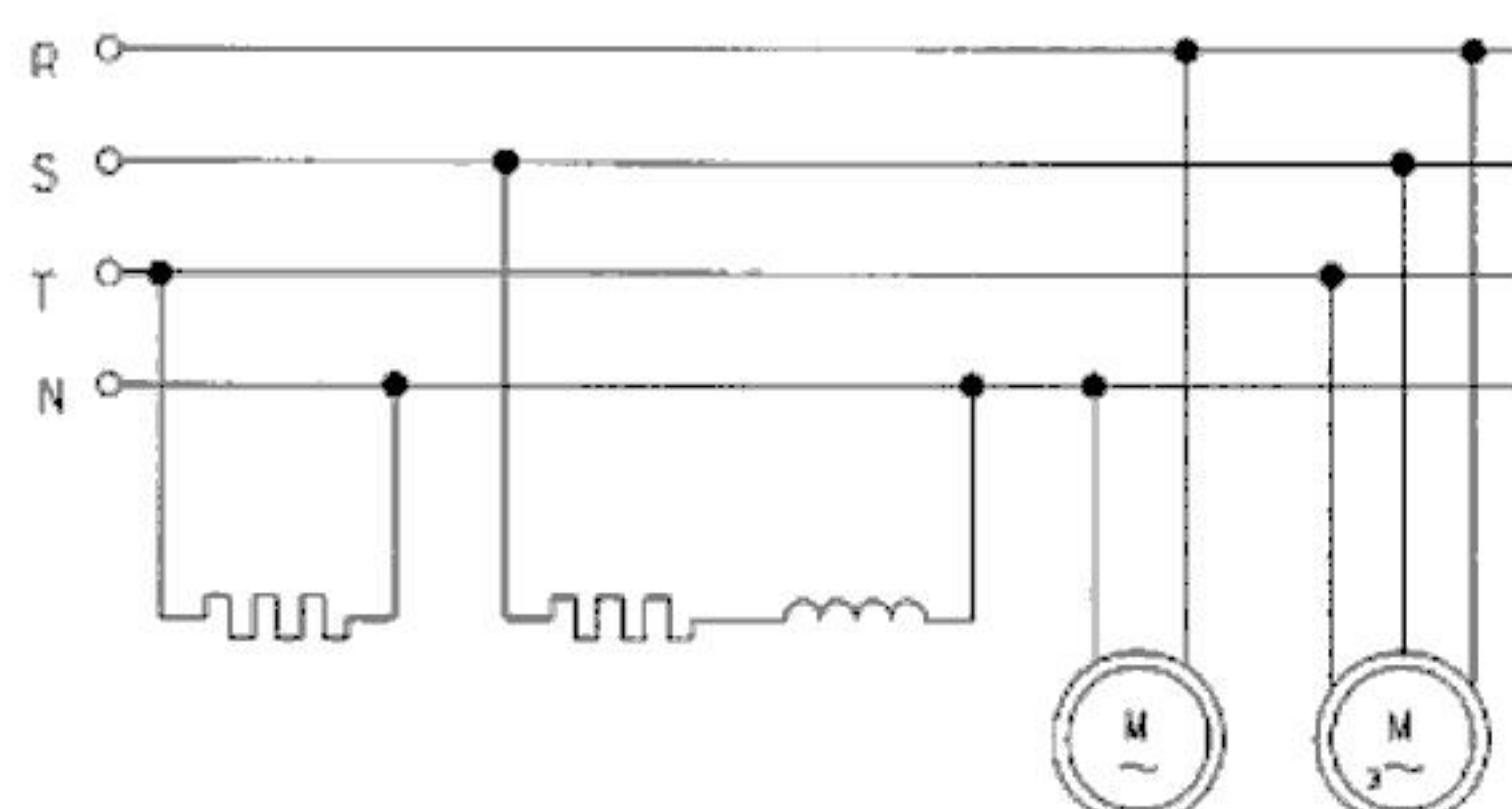


Fig. 1.5

- 3) Trifásica a cuatro conductores (fig. 1.5). Se utiliza en B.T. para receptores monofásicos y trifásicos, obteniéndose así dos tensiones: la tensión de fase  $V_f$  (entre fase y neutro) y la de línea  $V_L$  (entre dos fases).

$$V_L = \sqrt{3} V_f$$

#### 1.4. CÁLCULO DE CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

El cálculo directo de circuitos de corriente alterna puede realizarse por los siguientes métodos:

- 1) *Método gráfico o vectorial.* Utilizando los vectores representativos de las magnitudes eléctricas de tensión o intensidad, siendo necesario considerar como origen de fases el vector de tensión o intensidad de corriente común a todos los receptores.
- 2) *Método simbólico o de números complejos.* Utilizando números complejos para el análisis de la red, aplicando las leyes de Ohm y Kirchhoff.
- 3) *Método de separación de potencias o de Boucherot.* Considerando que en una red de corriente alterna de frecuencia constante se conservan por separado las potencias activas y reactivas.

En el cálculo de redes de corriente alterna trifásica se consideran dos casos:

- a) *Sistema trifásico equilibrado.* En un sistema equilibrado o simétrico las magnitudes que representan las tensiones y las intensidades tienen el mismo valor y están desfasadas entre sí un tercio de período o  $120^\circ$ . Como las tres fases son idénticas puede realizarse el cálculo por fase igual que en una distribución monofásica.
- b) *Sistema trifásico desequilibrado.* Se calcula por separado cada fase. En la práctica se consideran las tensiones de línea equilibradas y desequilibradas las cargas.

#### PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**1.4-1.** A una línea monofásica de 230 V, 50 Hz se conectan los receptores siguientes (fig. 1.6):

- Una bobina de resistencia  $10\ \Omega$  y reactancia  $4\ \Omega$ .
- Una estufa de resistencia  $110\ \Omega$ .
- Un motor monofásico de potencia 0,75 CV, factor de potencia 0,8 y rendimiento 80% a plena carga.

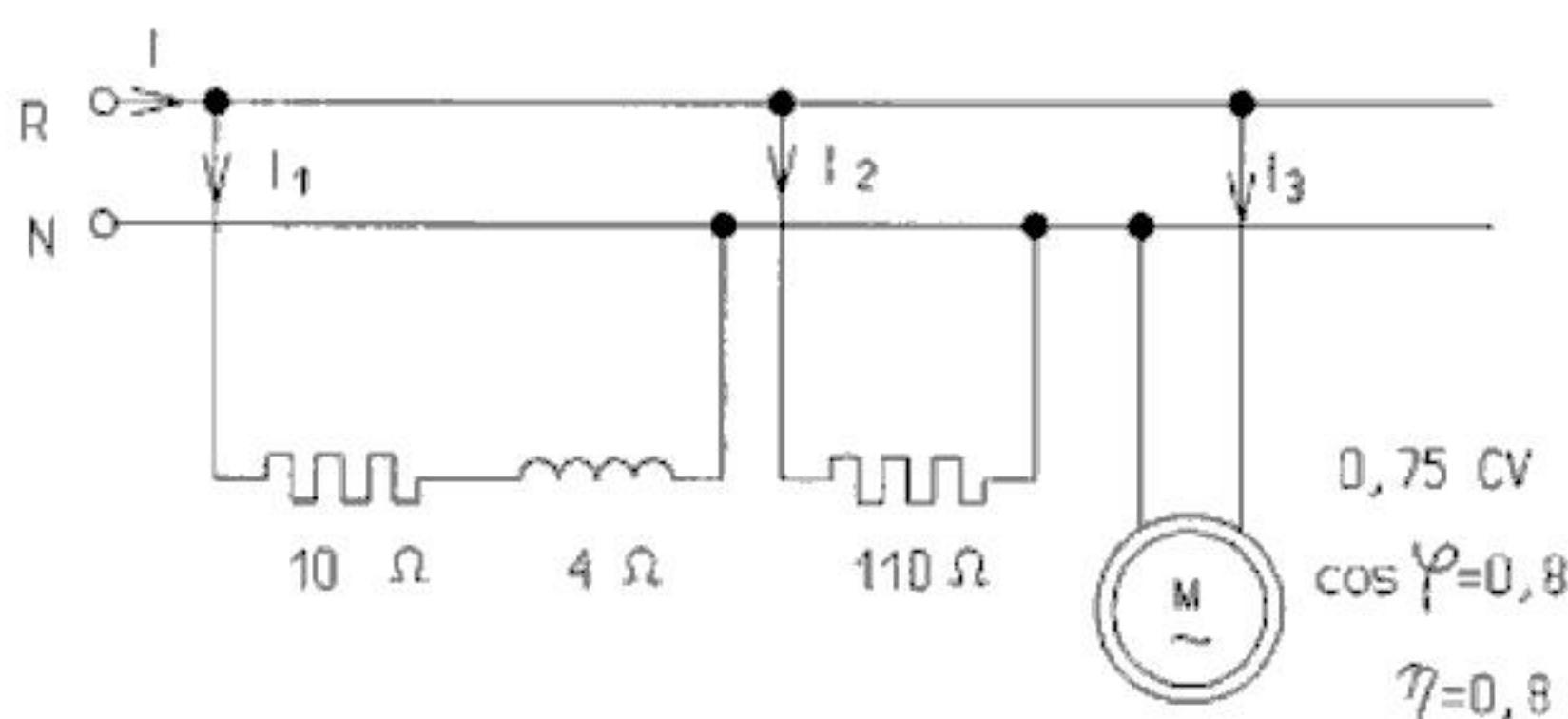


Fig. 1.6

Calcular por los métodos, gráfico, simbólico y de separación de potencias, la intensidad total y el factor de potencia total.

## 1) Método gráfico.

## a) Cálculo de las intensidades de los receptores.

En el primer receptor:  $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{10^2 + 4^2} = 10,77 \Omega$

$I_1 = \frac{230}{10,77} = 21,36 \text{ A}$ ;  $\cos\varphi_1 = \frac{10}{10,77} = 0,9285$ ;  $\varphi_1 = 21,8^\circ$ ; con retraso de la intensidad respecto a la tensión.

En el segundo receptor:  $I_2 = \frac{230}{110} = 2,09 \text{ A}$ ;  $\cos\varphi_2 = 1$ ;  $\varphi_2 = 0^\circ$

En el tercer receptor:

La potencia absorbida por el motor a plena carga:

$$P_{ab} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{0,75 \cdot 736}{0,8} = 690 \text{ W}$$

La intensidad absorbida:

$$I_3 = \frac{P_{ab}}{V \cos\varphi_3} = \frac{690}{230 \cdot 0,8} = 3,75 \text{ A}; \quad \cos\varphi_3 = 0,8; \quad \varphi_3 = 36,87^\circ; \text{ con retraso}$$

de la intensidad respecto a la tensión, porque el motor siempre es inductivo.

## b) Calculo de la intensidad total.

Considerando la tensión horizontal y dibujando los vectores de las intensidades con sus desfases correspondientes (fig. 1.7), se calcula la intensidad total  $I$  y su desfase respecto a la tensión.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

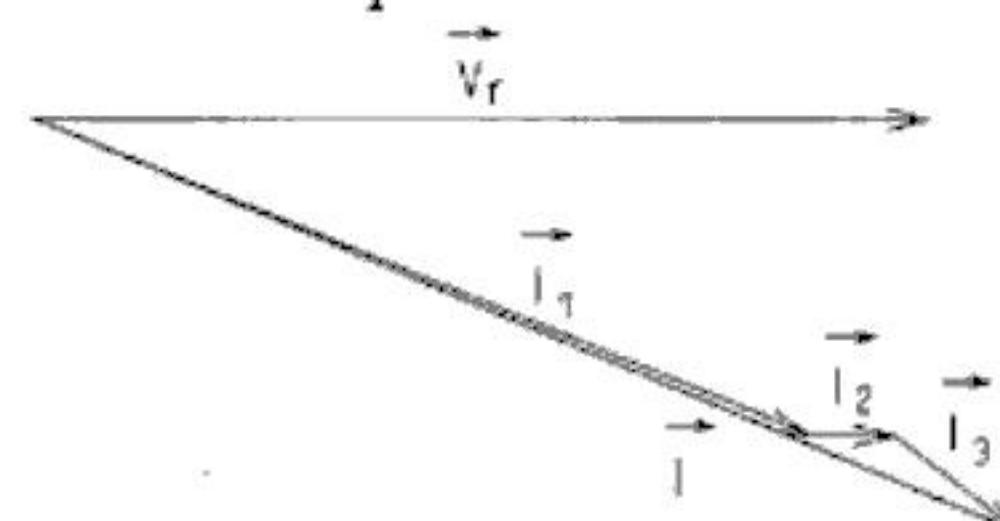


Fig. 1.7

## 2) Método simbólico.

Utilizando números complejos y considerando el vector tensión horizontal y como origen de fase.

$$I_1 = 21,36 \angle -21,8^\circ = (19,83 - 7,93j) \text{ A}$$

$$I_2 = 2,09 \angle 0^\circ = (2,09 + 0j) \text{ A}$$

$$I_3 = 3,75 \angle -36,87^\circ = (3 - 2,25j) \text{ A}$$

La intensidad total:  $I = I_1 + I_2 + I_3 = 24,92 - 10,18j = 26,92 \angle -22,22^\circ \text{ A}$

## 3) Método de separación de potencias.

En el primer receptor:

$$P_1 = VI_1 \cos\varphi_1 = 230 \cdot 21,36 \cdot 0,9285 = 4561,5 \text{ W}$$

$$Q_1 = VI_1 \sin\varphi_1 = 230 \cdot 21,36 \cdot 0,3713 = 1824,4 \text{ VAr}$$

En el segundo receptor:

$$P_2 = VI_2 \cos\varphi_2 = 230 \cdot 2,09 \cdot 1 = 480,7 \text{ W}$$

$$Q_2 = 0 \text{ VAr}$$

En el tercer receptor:

$$P_3 = 690 \text{ W}$$

$$Q_3 = VI_3 \sin\varphi_3 = 230 \cdot 3,75 \cdot 0,6 = 517,5 \text{ VAr}$$

Las potencias activas y reactivas totales:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 5\,732,2 \text{ W}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 2\,341,9 \text{ VAr}$$

La potencia aparente:  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{5\,732,2^2 + 2\,341,9^2} = 6\,192,14 \text{ VA}$

$$\text{La intensidad total: } I = \frac{S}{V} = \frac{6\,192,14}{230} = 26,92 \text{ A}$$

$$\text{El factor de potencia total: } \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{5\,732,2}{6\,192,14} = 0,9257$$

**1.4-2.** A una línea monofásica de 230 V, 50 Hz se conectan los receptores siguientes:

- Una bobina de resistencia  $10 \Omega$  y reactancia  $40 \Omega$ .
- Un receptor de resistencia  $40 \Omega$  y reactancia inductiva  $30 \Omega$ .

Calcular:

- Impedancia e intensidad de primer receptor.
- Impedancia e intensidad del segundo receptor.
- Intensidad y factor de potencia total.

Solución: a)  $41,23 \Omega$ ,  $5,58 \text{ A}$ ; b)  $50 \Omega$ ,  $4,6 \text{ A}$ ; c)  $9,62 \text{ A}$ ,  $0,524$

**1.4-3.** A una línea monofásica de 230 V, 50 Hz se conectan los receptores siguientes:

- Un receptor que consume 2 kW con factor de potencia unidad.
- Un receptor que consume 2,5 kW con factor de potencia 0,8 inductivo.
- Un receptor que consume 1,5 kW con factor de potencia 0,6 inductivo.

Calcular:

- Potencia activa y potencia reactiva total.
- Intensidad y factor de potencia total.

Solución: a)  $6 \text{ kW}$ ,  $3,875 \text{ kVAr}$ ; b)  $31,05 \text{ A}$ ,  $0,84$

**1.4-4.** A una línea monofásica de 230 V, 50 Hz se conectan los receptores siguientes:

- Una bobina de resistencia despreciable y reactancia  $10 \Omega$ .
- Un receptor de resistencia  $11 \Omega$  y reactancia despreciable.
- Un condensador de reactancia  $100 \Omega$ .

Calcular la potencia activa que consumen.

Solución:  $4,8 \text{ kW}$

**1.4-5.** A una línea monofásica de 230 V, 50 Hz se conectan los receptores siguientes:

- Un receptor de impedancia  $Z_1 = 20 \angle 30^\circ \Omega$ .
- Un receptor de impedancia  $Z_2 = 40 \angle 0^\circ \Omega$ .
- Un receptor que consume una potencia de 2 kW con factor de potencia 0,8 inductivo.

Calcular la intensidad y factor de potencia total.

Solución:  $27,32 \text{ A}$ ;  $0,893$

**1.4-6.** A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz, se conectan los receptores que indica la figura 1.8:

- Receptor en estrella de  $4 \Omega$  de resistencia cada rama.

- Motor trifásico de 4 kW, factor de potencia 0,8 y rendimiento a plena carga 88,9%.
- Receptor conectado en triángulo con una bobina de resistencia 4 Ω y reactivancia 3 Ω por rama.

Calcular por los métodos, gráfico, simbólico y de separación de potencias, la intensidad total por fase y el factor de potencia de la instalación.

1) Método gráfico.

a) Cálculo de las intensidades de fase de los receptores.

$$\text{En el primer receptor: } I_1 = I_{\text{fl}} = \frac{V_{\text{fl}}}{Z_{\text{fl}}} = \frac{400/\sqrt{3}}{4} = 57,74 \text{ A; } \cos\varphi_1 = 1; \quad \varphi_1 = 0^\circ$$

En el segundo receptor, la potencia absorbida por el motor a plena carga:

$$P_{\text{ab}} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{4000}{0,889} = 4499 \text{ W}$$

La intensidad absorbida:

$$I_2 = \frac{P_{\text{ab}}}{\sqrt{3} V_L \cos\varphi_2} = \frac{4499}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 8,12 \text{ A; } \cos\varphi_2 = 0,8; \quad \varphi_2 = 36,87^\circ$$

En el tercer receptor:

$$I_3 = \frac{V_{\text{fl}}}{Z_{\text{fl}}} = \frac{400}{\sqrt{4^2+3^2}} = 80 \text{ A}$$

$$I_3 = 80 \cdot \sqrt{3} = 138,56 \text{ A; } \cos\varphi_3 = \frac{4}{\sqrt{4^2+3^2}} = 0,8; \quad \varphi_3 = 36,87^\circ$$

b) Cálculo de la intensidad total.

Considerando la tensión horizontal y dibujando los vectores de las intensidades con sus desfases correspondientes (fig. 1.9), se calcula la intensidad total  $I$  y su desfase respecto a la tensión.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

2) Método analítico.

Utilizando números complejos y considerando el vector tensión de fase horizontal y como origen de fase en cada caso.

$$I_1 = 57,74 \angle 0^\circ = (57,74 + 0j) \text{ A}$$

$$I_2 = 8,12 \angle -36,87^\circ = (6,5 - 4,87j) \text{ A}$$

$$I_3 = 138,56 \angle -36,87^\circ = (110,85 - 83,14j) \text{ A}$$

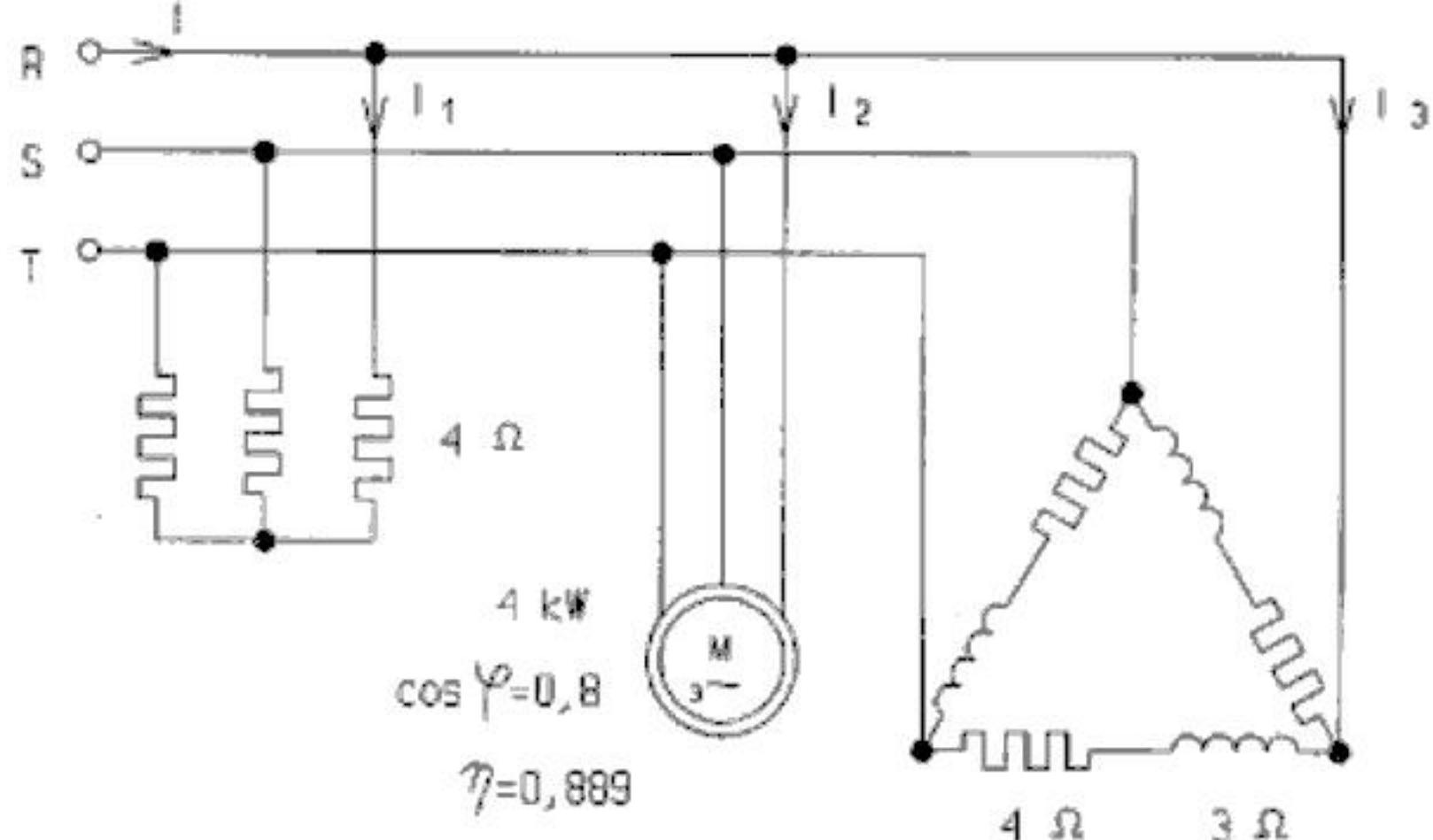


Fig. 1.8

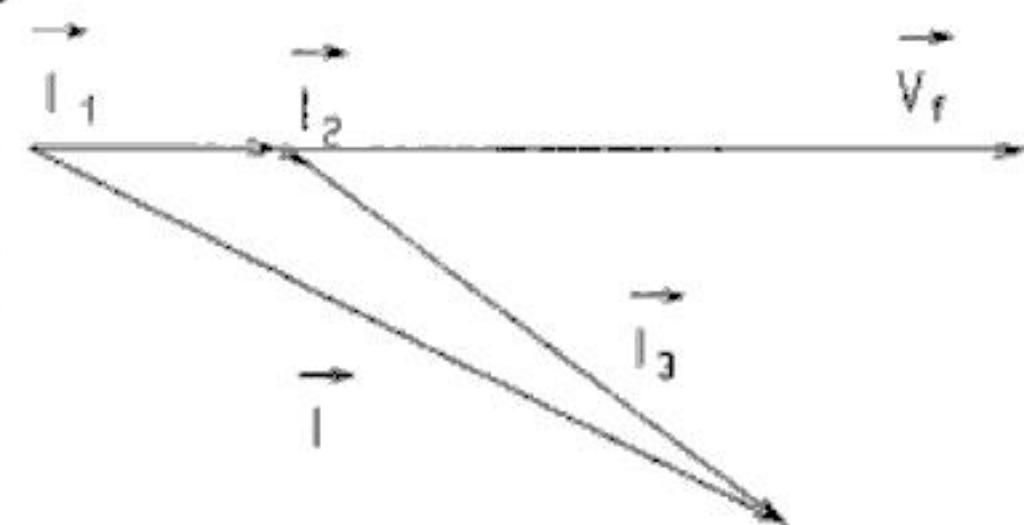


Fig. 1.9



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

impedancia que une dos puntos de conexión del triángulo tiene que ser igual a la suma de impedancias de la estrella que concurren en esos puntos, aumentada en el cociente de dividir el producto de esas impedancias por la tercera impedancia de la estrella.

$$Z_{RS} = Z_R + Z_S + \frac{Z_R \cdot Z_S}{Z_T}; \quad Z_{ST} = Z_S + Z_T + \frac{Z_S \cdot Z_T}{Z_R}; \quad Z_{TR} = Z_T + Z_R + \frac{Z_T \cdot Z_R}{Z_S}$$

- 3) *Receptor desequilibrado en conexión estrella con neutro.* Se calcula cada fase independientemente, teniendo en cuenta:

- La intensidad de corriente en un conductor fase de la línea de alimentación, es la suma vectorial de las intensidades de corriente debidas a los receptores trifásicos, y las debidas a los receptores monofásicos conectados entre ese conductor y el neutro.
- La intensidad de corriente en el neutro es igual y opuesta a la corriente resultante de la suma vectorial de las corrientes de las tres fases.

#### PROBLEMAS DE APLICACIÓN <sup>2</sup>

**1.5-1.** A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz se conecta un receptor en triángulo (fig. 1.11). La rama RS del triángulo es una bobina de resistencia despreciable y reactancia 5 Ω; la rama ST es una resistencia de 10 Ω; la rama TR es una bobina de resistencia despreciable y reactancia 10 Ω. Calcular las intensidades de línea.

Considerando la tensión  $V_{ST}$  (fig. 1.12) como origen de fase, las tensiones de línea tendrán las siguientes expresiones complejas:

$$V_{ST} = 400 \angle 0^\circ = 400 \text{ V}$$

$$V_{RS} = 400 \angle 120^\circ \text{ V}$$

$$V_{TR} = 400 \angle -120^\circ \text{ V}$$

La intensidad  $I_{RS}$  se calcula por la ley de Ohm

$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{Z_{RS}} = \frac{400 \angle 120^\circ}{5 \angle 90^\circ} = 80 \angle 30^\circ = (69,28 + 40j) \text{ A}$$

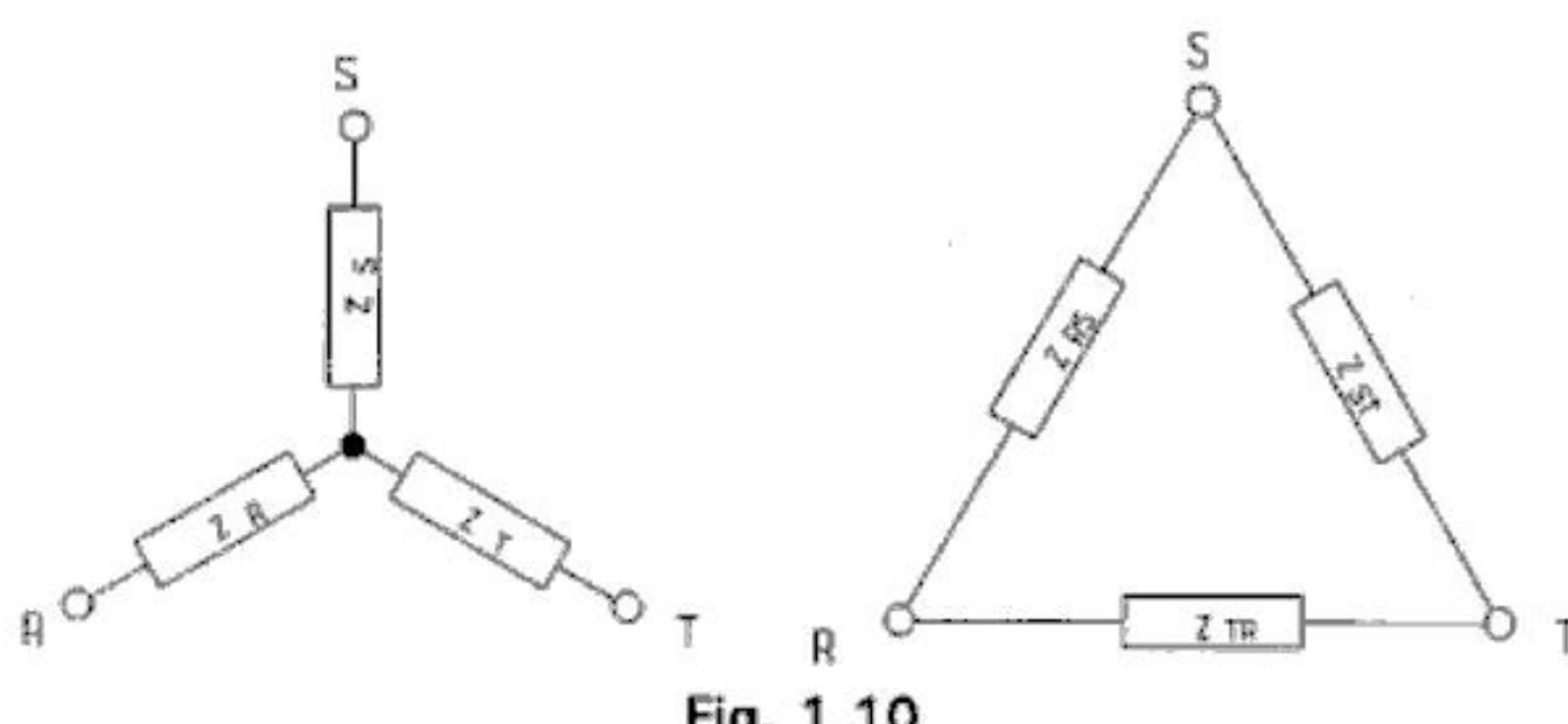


Fig. 1.10

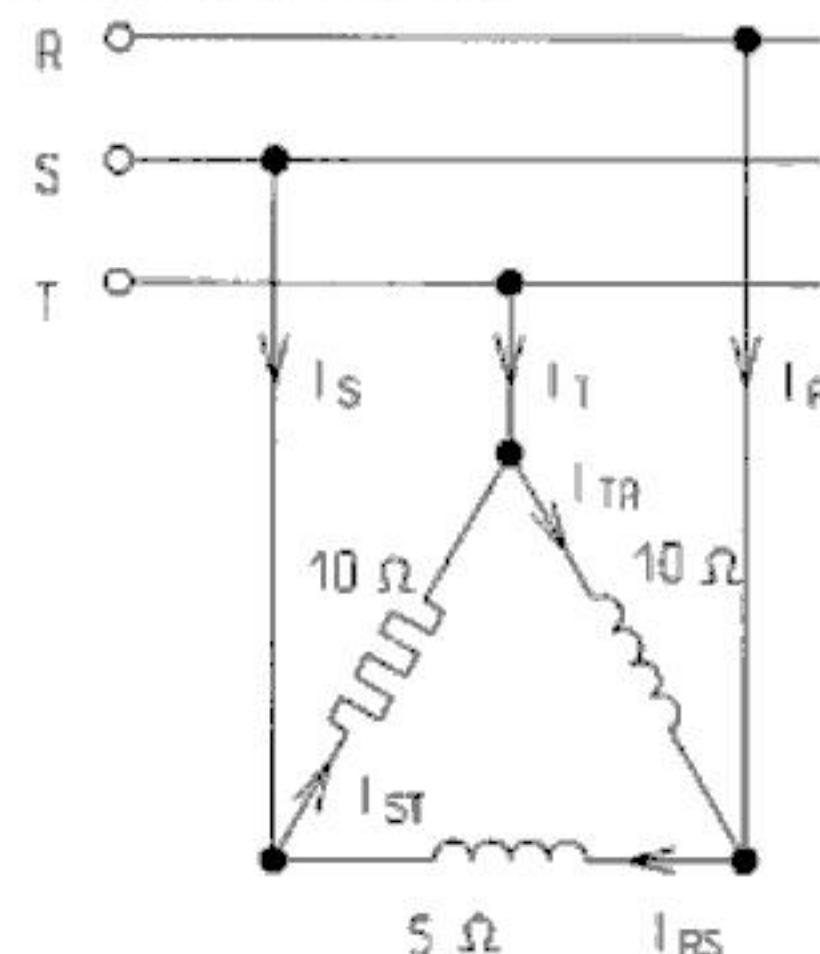


Fig. 1.11

<sup>2</sup> En los problemas se consideran las tensiones compuestas o de línea equilibradas y con secuencia R-S-T.

La intensidad  $I_{TR}$ :

$$I_{TR} = \frac{V_{TR}}{Z_{TR}} = \frac{400 \angle -120^\circ}{10 \angle 90^\circ} = 40 \angle -210^\circ = (-34,64 + 20j) \text{ A}$$

La intensidad  $I_{ST}$ :

$$I_{ST} = \frac{V_{ST}}{Z_{ST}} = \frac{400 \angle 0^\circ}{10 \angle 0^\circ} = 40 \angle 0^\circ = (40 + 0j) \text{ A}$$

La intensidad  $I_R$  se calcula aplicando la primera ley de Kirchhoff al punto de conexión de la fase R

$$I_R + I_{TR} = I_{RS}; I_R = I_{RS} - I_{TR} = 103,92 + 20j = 105,83 \angle 11^\circ \text{ A}$$

De forma análoga:

$$I_S = I_{ST} - I_{RS} = -29,28 - 40j = 49,57 \angle -126,2^\circ \text{ A}$$

$$I_T = I_{TR} - I_{ST} = -74,64 + 20j = 77,27 \angle 165^\circ \text{ A}$$

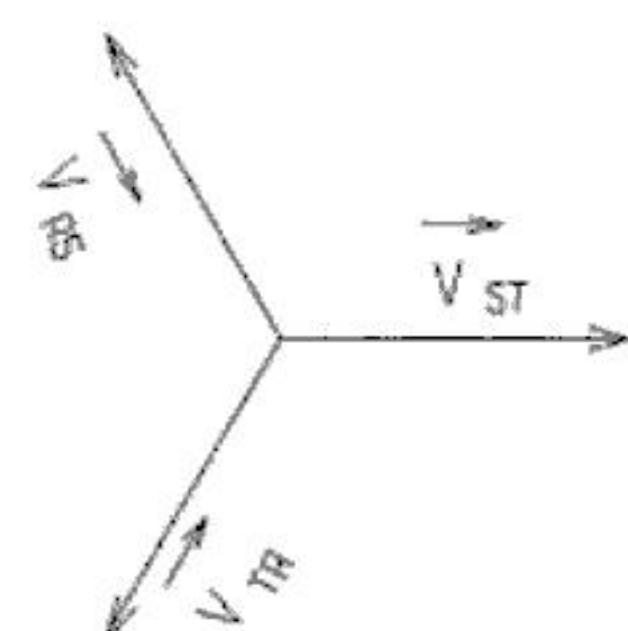


Fig. 1.12

**1.5-2.** A una línea trifásica de 300 V, 50 Hz se conecta un receptor en triángulo. La rama RS del triángulo es una resistencia de 300 Ω; las ramas ST y TR son resistencias de 100 Ω. Calcular:

- Intensidad  $I_{RS}$ .
- Intensidad  $I_{TR}$ .
- Intensidad de línea  $I_R$

Solución: a) 1 A; b) 3 A; c) 3,61 A

**1.5-3.** A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz se conecta un receptor en triángulo. Las ramas RS y ST del triángulo son resistencias de 100 Ω; la rama TR es una bobina de impedancia  $Z = 100 \angle 30^\circ \Omega$ . Calcular las intensidades de línea.

Solución:  $I_R = 5,66 \text{ A}$ ;  $I_S = 6,93 \text{ A}$ ;  $I_T = 7,73 \text{ A}$

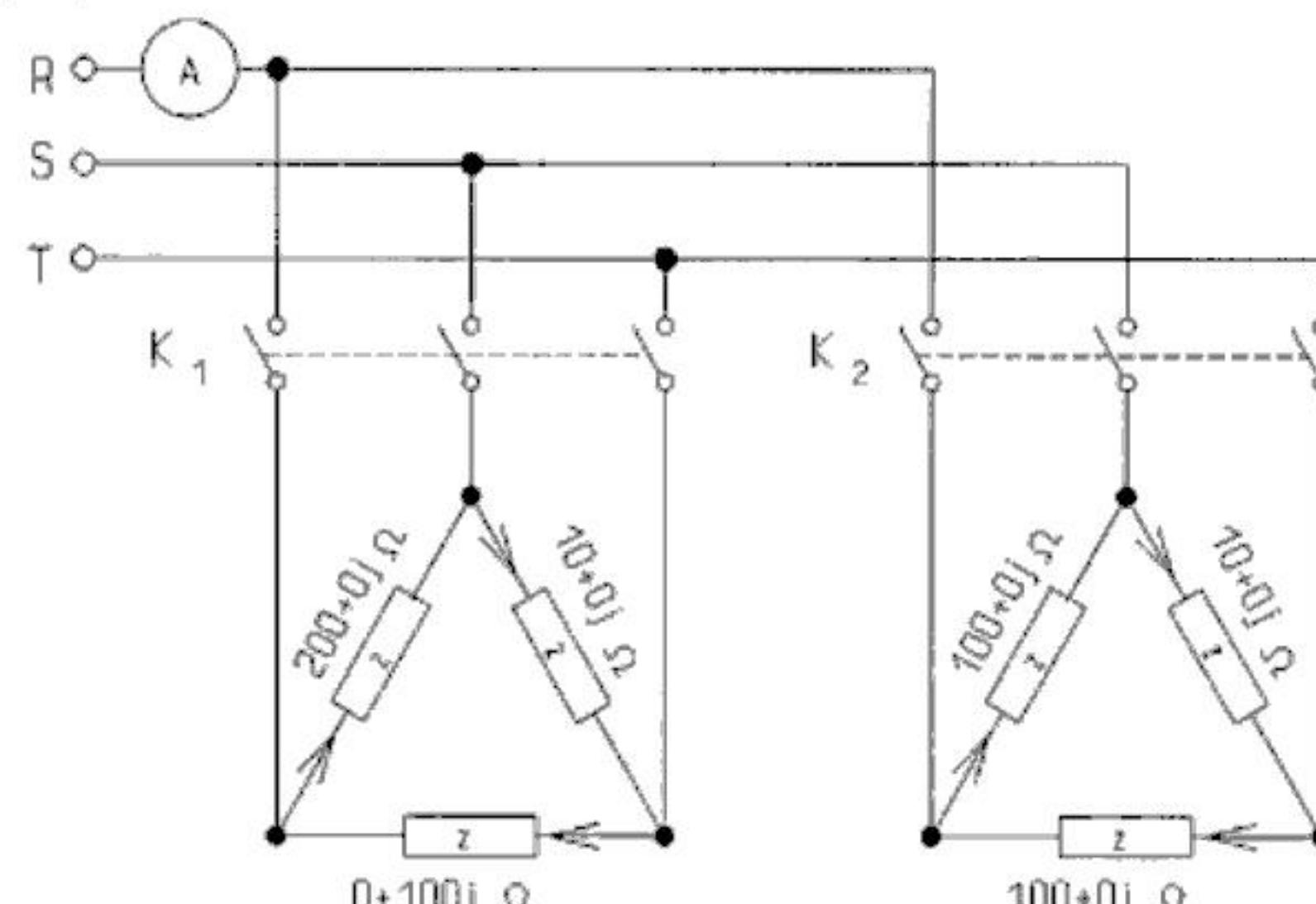


Fig. 1.13

**1.5-4.** En la línea trifásica de 400 V, 50 Hz, con los receptores que indica la figura 1.13. Calcular la indicación del amperímetro en los casos siguientes:

- El interruptor  $K_1$  abierto y  $K_2$  cerrado.
- El interruptor  $K_1$  cerrado y  $K_2$  abierto.
- Los dos interruptores cerrados.

Solución: a) 6,93 A; b) 2,48 A; c) 4,77 A.

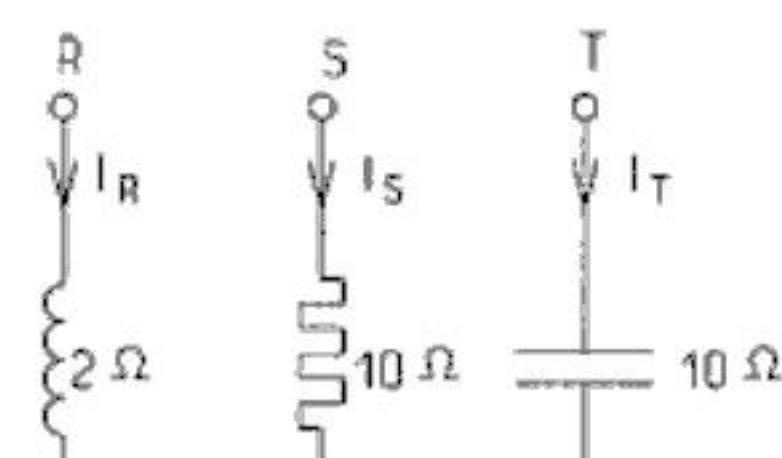


Fig. 1.14

1.5-5. A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz se conecta un receptor en estrella (fig. 1.14). La fase R del receptor está formada por una bobina de resistencia despreciable y reactancia  $2\Omega$ ; la fase S está formada por una resistencia de  $10\Omega$  y la fase T por un condensador de reactancia  $10\Omega$ . Calcular las intensidades de línea.

Para calcular las intensidades se convierte el receptor en estrella en otro receptor equivalente en triángulo.

La impedancia compleja  $Z_{RS}$  de una rama del triángulo se calcula por la fórmula:

$$Z_{RS} = Z_R + Z_S + \frac{Z_R \cdot Z_S}{Z_T} = 2j + 10 + \frac{20j}{-10j} = 8 + 2j = 8,246 \angle 14^\circ \Omega$$

De forma análoga se calculan  $Z_{ST}$  y  $Z_{TR}$ :

$$Z_{ST} = Z_S + Z_T + \frac{Z_S \cdot Z_T}{Z_R} = 10 + (-10j) + \frac{-100j}{2j} = -40 - 10j = 41,23 \angle -166^\circ \Omega$$

$$Z_{TR} = Z_T + Z_R + \frac{Z_T \cdot Z_R}{Z_S} = -8j + \frac{20}{10} = 2 - 8j = 8,246 \angle -76^\circ \Omega$$

Considerando la tensión  $V_{ST}$  como origen de fase (fig. 1.15).

$$V_{RS} = 400 \angle 120^\circ \text{ V}$$

$$V_{ST} = 400 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$V_{TR} = 400 \angle -120^\circ \text{ V}$$

Las intensidades por cada rama del triángulo (fig. 1.16).

$$I_{RS} = \frac{V_{RS}}{Z_{RS}} = \frac{400 \angle 120^\circ}{8,246 \angle 14^\circ} = 48,5 \angle 106^\circ = (-13,37 + 46,62j) \text{ A}$$

$$I_{ST} = \frac{V_{ST}}{Z_{ST}} = \frac{400 \angle 0^\circ}{41,23 \angle 166^\circ} = 9,7 \angle 166^\circ = (-9,4 + 2,35j) \text{ A}$$

$$I_{TR} = \frac{V_{TR}}{Z_{TR}} = \frac{400 \angle -120^\circ}{8,246 \angle -76^\circ} = 48,5 \angle -44^\circ = (34,89 - 33,7j) \text{ A}$$

Las intensidades por cada conductor de línea

$$I_R = I_{RS} - I_{TR} = -48,26 + 80,32j = 93,7 \angle 121^\circ \text{ A}$$

$$I_S = I_{ST} - I_{RS} = 3,97 - 44,27j = 44,45 \angle -84,9^\circ \text{ A}$$

$$I_T = I_{TR} - I_{ST} = 44,29 - 36,05j = 57,1 \angle -39,14^\circ \text{ A}$$

1.5-6. A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz, sin conductor neutro, se conecta un receptor en estrella. La fase R de la estrella es una resistencia de  $200\Omega$ , la fase S es una bobina de resistencia despreciable y reactancia  $10\Omega$ , y la fase T es una resistencia de  $100\Omega$ . Calcular:

- Impedancia  $Z_{RS}$  equivalente.
- Impedancia  $Z_{TR}$  equivalente.
- Intensidad en la fase R.

Solución: a)  $200 + 30j$ ; b)  $300 - 2000j$ ; c)  $2,15 \text{ A}$

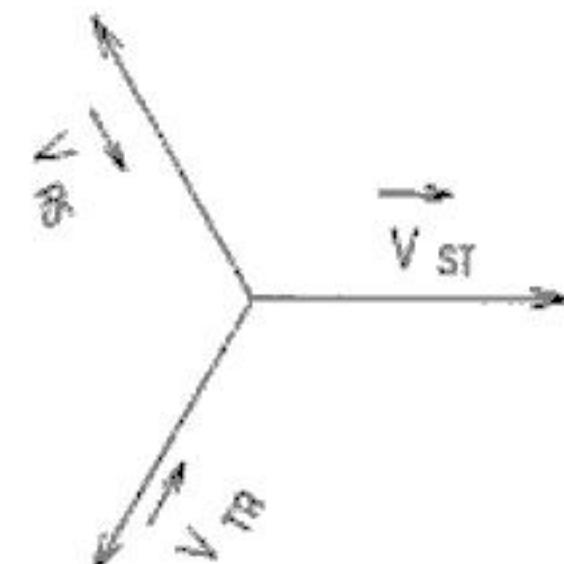


Fig. 1.15

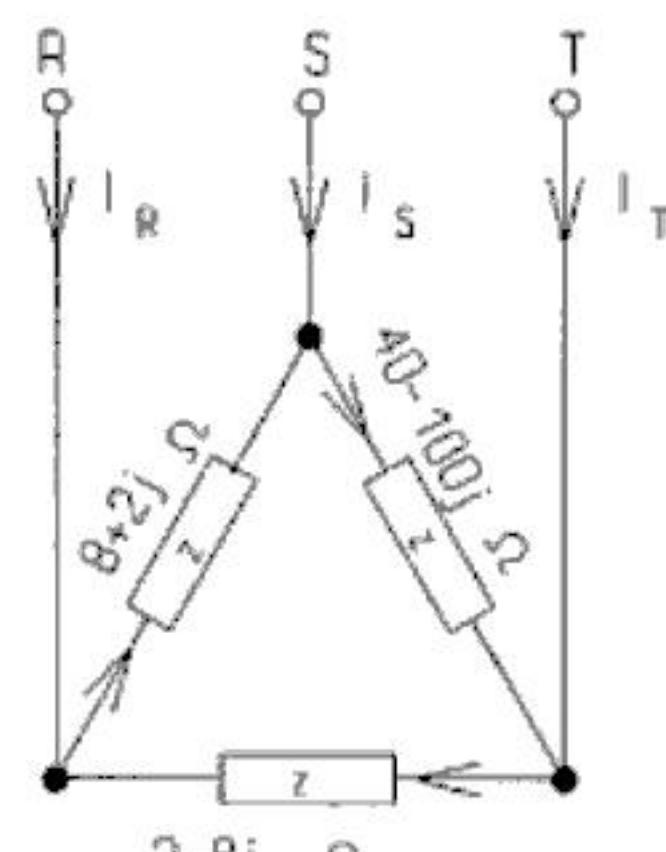


Fig. 1.16

1.5-7. A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz, sin neutro, se conecta un receptor en estrella:

La fase R de la estrella es una resistencia de  $200\ \Omega$ , la fase S es una resistencia de  $10\ \Omega$ , y la fase T es una resistencia de  $100\ \Omega$ . Calcular la intensidad que circula por cada una de las fases del receptor.

Solución:  $I_R = 1,83\text{ A}$ ;  $I_S = 4,59\text{ A}$ ;  $I_T = 3,56\text{ A}$

1.5-8. A una línea trifásica con neutro 400/230 V, 50 Hz, se conectan los receptores siguientes, según el esquema de la figura 1.17:

- Un receptor en estrella con neutro, con las impedancias por rama que indica la figura.
- Un receptor trifásico equilibrado que consume 10 kW con factor de potencia 0,8 inductivo.

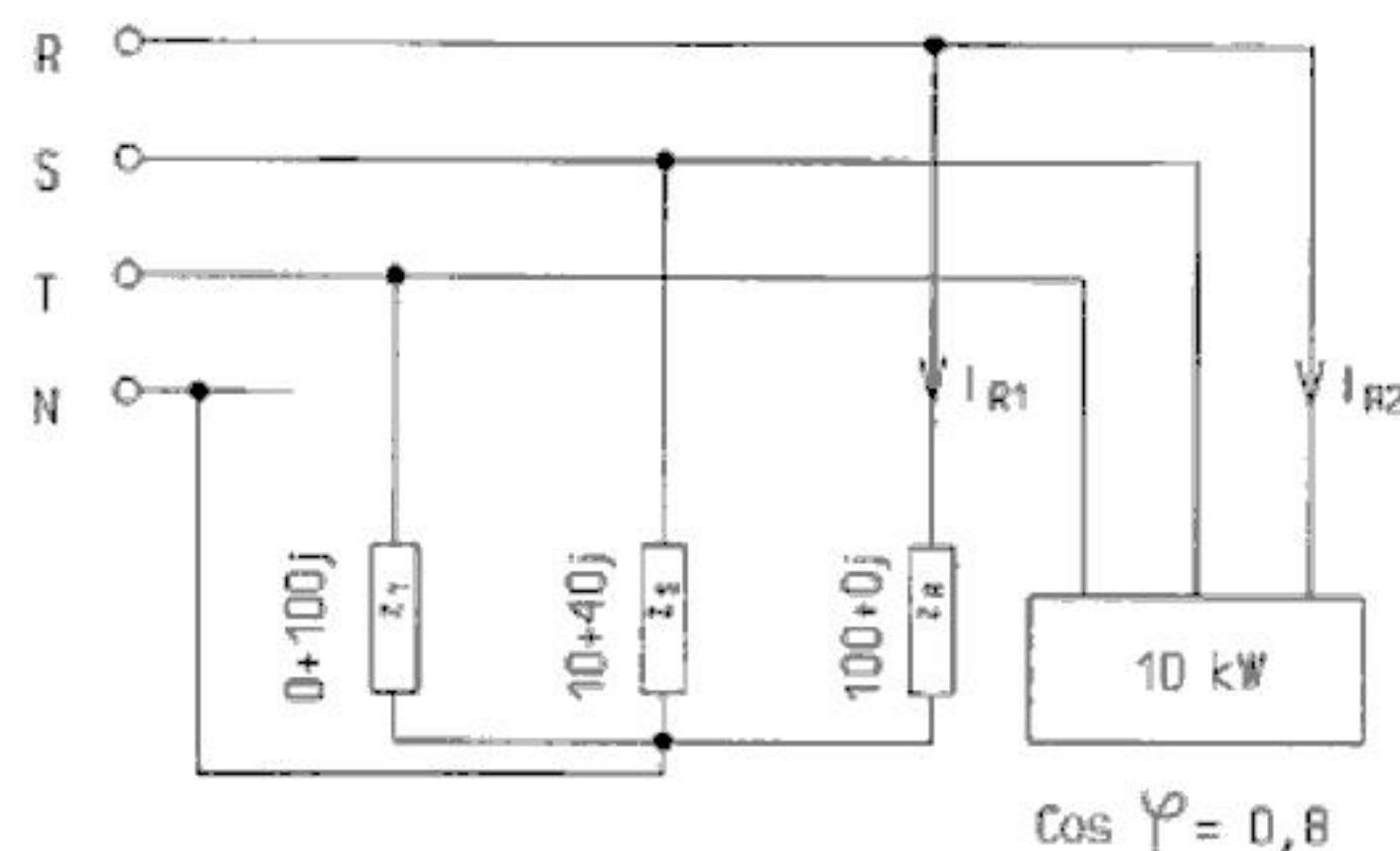


Fig. 1.17

Calcular:

- Intensidad que circula por cada fase del receptor en estrella.
- Intensidad de línea del segundo receptor.
- Intensidad total en la fase R.
- Considerando la tensión  $V_R$  como origen de fases (fig. 1.18)  $V_R = 230 \angle 0^\circ$ ,  $V_S = 230 \angle -120^\circ$  y  $V_T = 230 \angle 120^\circ$   
La intensidad en la fase R del primer receptor:

$$I_{R1} = \frac{V_R}{Z_R} = \frac{230 \angle 0^\circ}{100 \angle 0^\circ} = 2,3 \angle 0^\circ = 2,3 + 0j\text{ A}$$

La impedancia de la fase S:  $Z_S = 10 + 40j = 41,23 \angle 76^\circ\ \Omega$

La intensidad en la fase S:

$$I_{S1} = \frac{V_S}{Z_S} = \frac{230 \angle -120^\circ}{41,23 \angle 76^\circ} = 5,58 \angle -196^\circ\text{ A}$$

La intensidad en la fase T:  $I_{T1} = \frac{V_T}{Z_T} = \frac{230 \angle 120^\circ}{100 \angle 90^\circ} = 2,3 \angle 30^\circ\text{ A}$

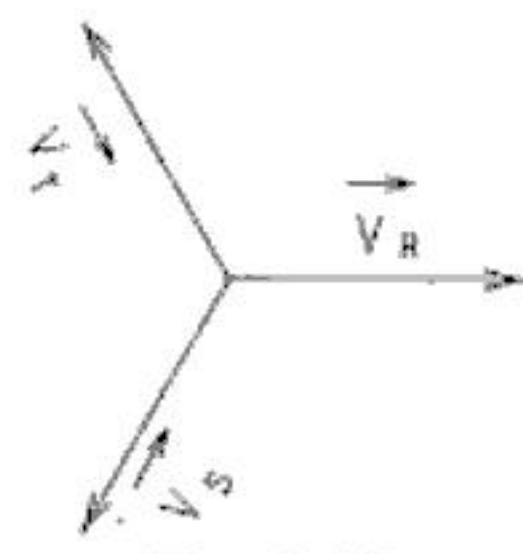


Fig. 1.18

- La intensidad de línea en el segundo receptor:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \varphi} = \frac{10\ 000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 18,04\text{ A}$$

$\cos \varphi = 0,8$ ;  $\varphi = 36,87^\circ$  de retraso respecto a la tensión de fase

$$I_{R2} = 18,04 \angle -36,87^\circ = (14,04 - 10,8j)\text{ A}$$

- La intensidad total en la fase R:

$$I_R = I_{R1} + I_{R2} = (2,3 + 0j) + (14,04 - 10,8j) = 16,7 - 10,8j = 19,89 \angle -32,89^\circ\text{ A}$$

**1.5-9.** A una línea trifásica con neutro, de tensión compuesta o de línea 400 V, 50 Hz, se conectan los receptores que indica la figura 1.19.

- Un motor monofásico entre la fase R y el neutro de potencia nominal 0,75 CV, factor de potencia 0,8 y rendimiento a plena carga 80%.
  - Un motor trifásico de 5,5 CV, factor de potencia 0,8 y rendimiento a plena carga 90%.
  - Receptor en triángulo con una bobina de resistencia 40 Ω y reactancia 30 Ω por rama. Calcular la intensidad de línea en la fase R.
- Solución:  $I_R = 25,73 \text{ A}$

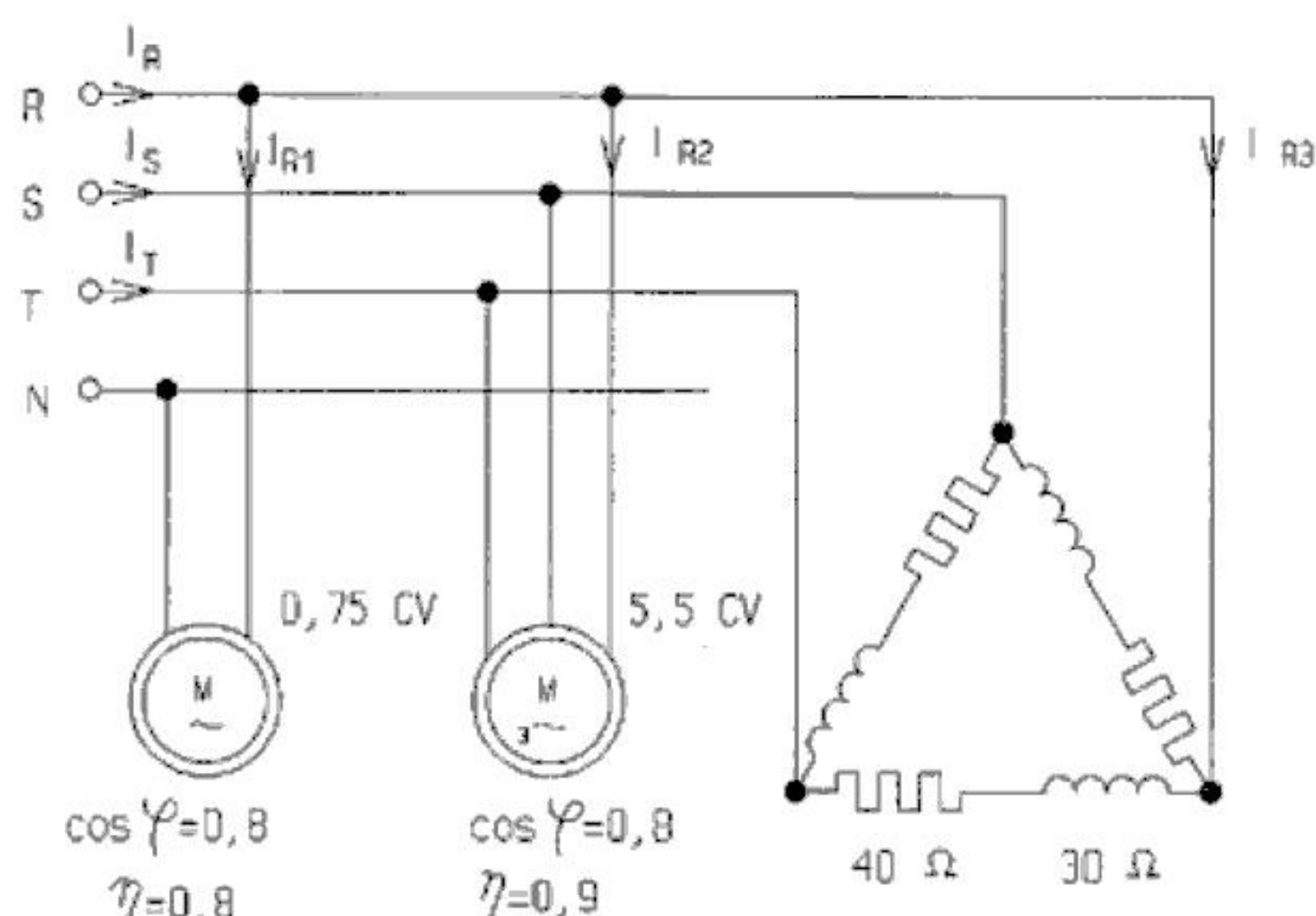


Fig. 1.19

**1.5-10.** A una línea trifásica de 380 V, 50 Hz, se conectan los receptores que indica la figura 1.20:

- Un receptor de impedancia  $Z_1 = 10 \angle 30^\circ$  conectado entre las fases R y S.
- Un receptor trifásico en estrella de impedancia de fase  $Z_2 = 20 \angle -30^\circ$

Calcular la indicación del amperímetro.

La tensión entre fase y neutro o tensión de fase:

$$V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$

Considerando la tensión  $V_R$  como origen de fases (fig. 1.21)  $V_R = 220 \angle 0^\circ$ ,  $V_S = 220 \angle -120^\circ$ ,  $V_{RS} = 380 \angle 30^\circ$  y  $V_{SR}$  es opuesta a  $V_{RS}$ ;  $V_{SR} = 380 \angle -150^\circ$

La intensidad en la fase S del primer receptor:

$$I_{S1} = \frac{V_{SR}}{Z_1} = \frac{380 \angle -150^\circ}{10 \angle 30^\circ} = 38 \angle -180^\circ = (-38 + 0j) \text{ A}$$

La intensidad en la fase S del segundo receptor:

$$I_{S2} = \frac{V_S}{Z_2} = \frac{220 \angle -120^\circ}{20 \angle -30^\circ} = 11 \angle -90^\circ = (0 - 11j) \text{ A}$$

La intensidad total en la fase S:

$$I_s = I_{S1} + I_{S2} = -38 - 11j = 39,56 \angle -163,86^\circ \text{ A}$$

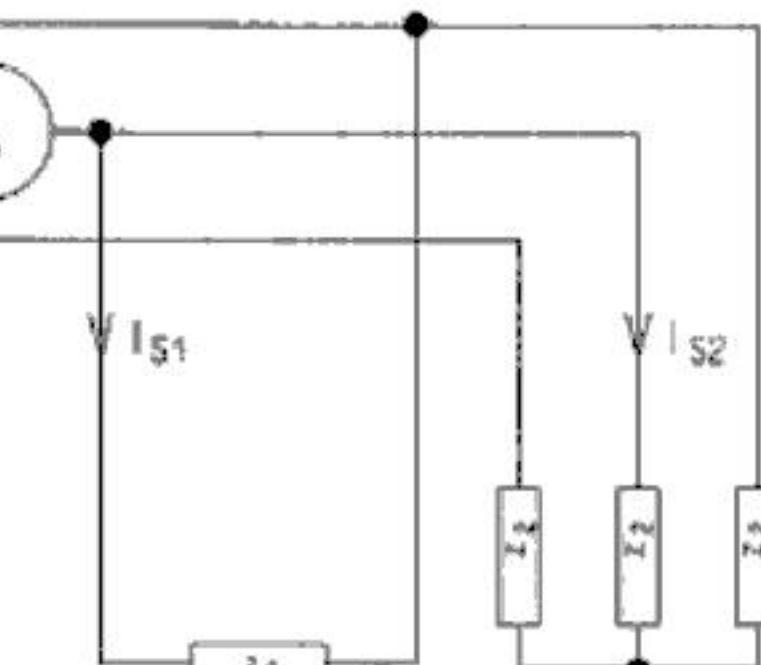


Fig. 1.20

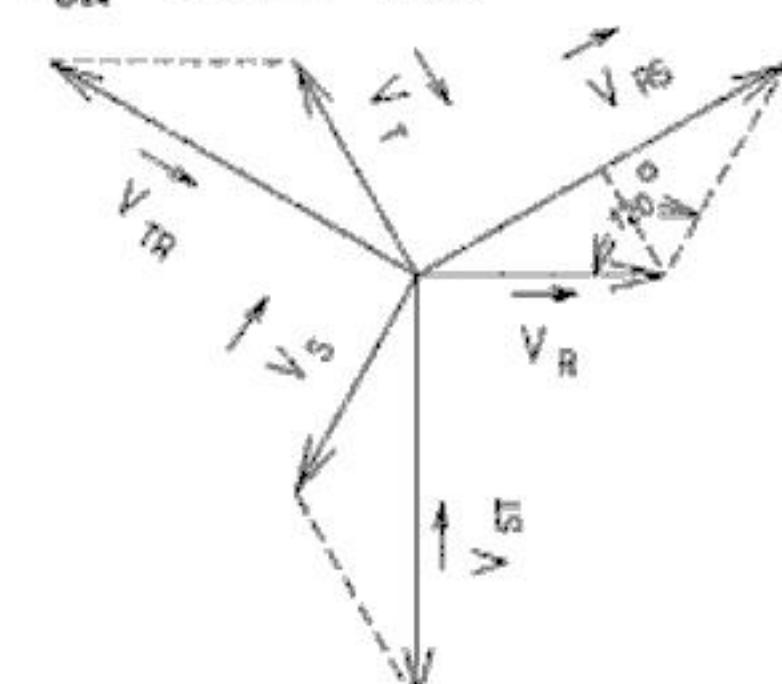


Fig. 1.21



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

anillo en distribución local, que presenta una pequeña caída de tensión y seguridad en el suministro. La red radial de B.T. puede conectarse en anillo por medio de una aparato de maniobra que normalmente está abierto.

Las redes de distribución urbanas en M.T. suelen ser construidas en anillo, alimentando a centros de transformación con entrada y salida de la línea, llamados centros de transformación "de paso" (fig. 1.28). Los aparatos de maniobra permiten que cada centro de transformación pueda alimentarse de uno u otro lado del anillo, dejando en caso de avería desconectada la parte averiada.

Las principales ventajas de la construcción en anillo es que logra poca caída de tensión con variaciones bruscas de carga y más seguridad en el suministro que en la red radial.

- *Red en malla.* Una red en malla está constituida por redes cerradas unidas eléctricamente (fig. 1.29). Puede ser construida como tal o ser el resultado de unir eléctricamente entre sí redes radiales. La alimentación puede ser por uno o varios puntos.

Las principales ventajas de la red en malla son: pequeña caída de tensión sin grandes variaciones con el cambio de consumo, y poder hacer frente a aumento de demanda de potencia sin grandes cambios en la red.

Se utiliza para el suministro de energía a zonas de gran densidad de carga, obteniéndose buena estabilidad de tensión y gran seguridad en el suministro.

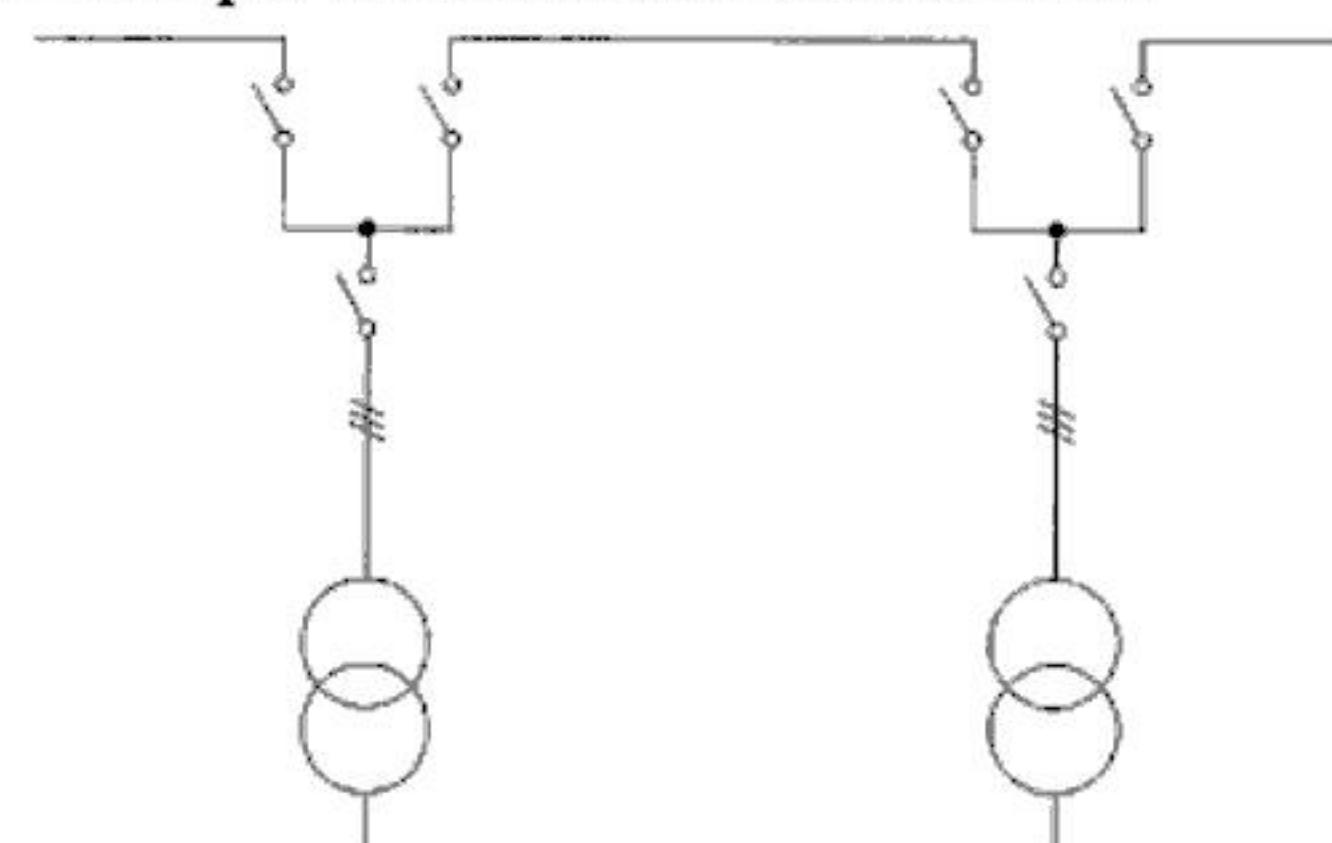


Fig. 1.28

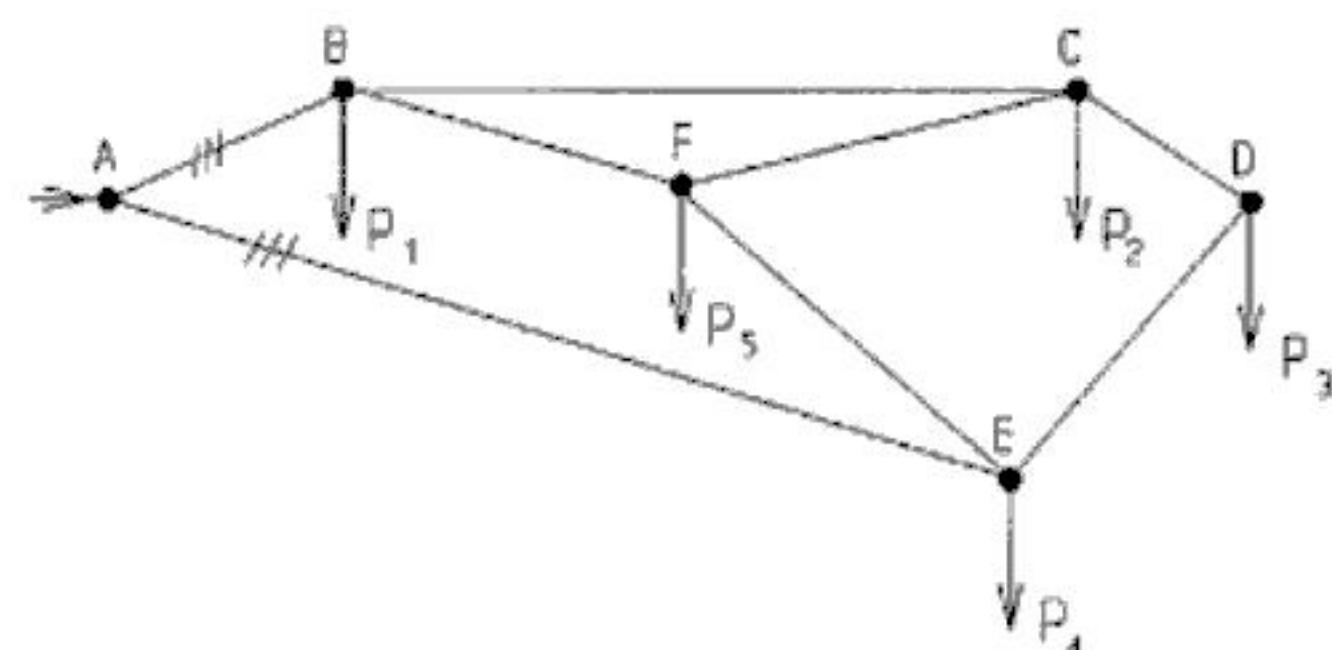


Fig. 1.29

## 1.7. TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN

La transmisión de informaciones técnicas (medidas, señalizaciones y órdenes de maniobras) entre subestaciones y centros de transformación con un puesto de mando y control se llama telemedida, telemando y telecontrol.

Este sistema de telecomunicaciones consiste en lo siguiente: en el lado emisor se codifican las informaciones para su emisión por el canal de comunicación, y en el lado receptor se decodifican las informaciones transformándolas en señal indicativa, valor de medición u orden de maniobra.

El soporte de la comunicación puede ser:

- Línea telefónica. Tiene el inconveniente que es necesario una instalación telefónica entre los puntos a comunicar.
- Ondas de radio de muy alta frecuencia (VHF) con radioenlace. Tiene el inconveniente de necesitar en muchos casos estaciones repetidoras.
- Onda portadora por alta tensión. Utiliza la línea de distribución en alta tensión. El emisor acopla la señal de poca intensidad y alta frecuencia (HF) a la línea, de forma que se superpone a la frecuencia de 50 Hz. El receptor detecta la señal del emisor separándola de la del sistema de potencia.
- Línea de fibra óptica. La transmisión de datos por cable de fibra óptica requiere una instalación de este tipo entre los puntos a comunicar. En líneas aéreas de alta tensión, que disponen de cable de tierra para protección de la línea contra descargas atmosféricas se instala el cable de fibra óptica adosado al de tierra o un cable especial que cumple la función de cable de tierra y de comunicación. En líneas aéreas en las que no se utiliza el cable de tierra (líneas de media tensión) se instala un cable de fibra óptica autosostenido, con resistencia a la tracción.

El puesto de mando y control tradicional con cuadros sinópticos de la red, de tipo mosaico se sustituye por ordenadores y pantallas, que permiten el análisis de datos para medida de magnitudes, visualización de fallos y representación actualizada de los valores necesarios para las maniobras a efectuar.

## 1.8. CONDUCTORES UTILIZADOS EN LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS

Los conductores más utilizadas en M.T y en B.T. son:

- 1) *Conductores sin aislamiento*, formados por los materiales siguientes:
  - a) Cobre duro, los cuales pueden ser de:
    - Alambre.
    - Cable de cobre, formado por alambres cableados en capas concéntricas.
    - Cable de cobre con alma de acero, unidos por soldadura.
  - b) Aluminio, se utiliza en forma de cable (art. 8 del RLAT).
    - Cable de aleación de aluminio con silicio y magnesio (Almelec).
    - Cable de aluminio-acero. Formado por varios alambres de aluminio, cableados sobre alambres de acero galvanizado (fig. 1.30).
    - Cable de aluminio-acero, de tipo comprimido. Formado por hilos sectoriales de aluminio comprimidos sobre un alambre de acero.
  - c) Acero galvanizado, utilizado formando parte de cables y en los conductores de tierra, que en líneas aéreas de A.T. van tendidos sobre la línea para protección contra descargas atmosféricas.



Fig. 1.30

Actualmente los conductores sin aislamiento (conductores desnudos), se usan casi exclusivamente en líneas de A.T. En B.T. se usan como pletinas en canalizaciones prefabricadas bajo envolvente metálica o aislante.

2) *Conductores con aislamiento.* Los cables eléctricos aislados están formados básicamente por conductor rodeado de aislante, pero tienen otros elementos (fig. 1.31) para dar al cable resistencia mecánica, resistencia a los agentes atmosféricos, etc.

*Conductores.* Los conductores más utilizados en los cables aislados son:

- Cobre. Se utiliza cobre recocido de resistividad a 20 °C,  $\rho = 0,018 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  y carga de rotura 20 kp/mm<sup>2</sup>.
- Aluminio. A igualdad de resistencia eléctrica el peso de aluminio es la mitad que el del cobre. Su resistividad a 20 °C  $\rho = 0,028 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  y la carga de rotura 15 kp/mm<sup>2</sup>.
- Almelec. Aleación de aluminio con pequeñas proporciones de silicio y magnesio. Su resistividad a 20 °C  $\rho = 0,032 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  y la carga de rotura es el doble que el aluminio.
- Otros materiales, como el plomo (pantallas protectoras) y el acero (armaduras), pueden funcionar ocasionalmente como conductores.

*Aislantes.* Los materiales aislantes más empleados en M.T. y en B.T. son a base de material plástico:

- Termoplásticos. Se reblandecen con el calor, como el policloruro de vinilo PVC (utilizado en B.T.) y el polietileno PE (utilizado en M.T.).
- Termoestables. No funden al aumentar la temperatura. Se emplean el etileno-propileno EPR o HEPR, polietileno reticulado XLPE, utilizados en M.T. y B.T.; goma natural y goma butílica (que está siendo sustituida por EPR).
- Otros aislantes utilizados son a base de siliconas y plásticos, con baja emisión de gases tóxicos y humos, resistentes a altas temperaturas, a la llama o a determinados ambientes.

El cable aislado con papel impregnado en aceite y con cubierta de plomo se está usando cada vez menos actualmente.

*Pantallas.* Se utilizan para mejorar la distribución del campo eléctrico del cable. Se utilizan como pantallas hilos o mallas de cobre, hojas de aluminio, fundas de plomo, etc.

*Armaduras.* Se colocan sobre el aislante para aumentar la resistencia mecánica del cable. Se utilizan flejes de acero o hilos de acero arrollados sobre el cable.

*Cubiertas.* Protegen al aislante de efectos atmosféricos y daños mecánicos. Se utilizan diversos tipos de plásticos.



Fig. 1.31 Conductor aislado

Los tipos de cables aislados más utilizados son:

- En líneas aéreas. Se utilizan en B.T. y en M.T. conductores de aluminio formados por cables unipolares aislados con polietileno reticulado o etileno propileno, trenzados en haz sobre un fiador de Almelec o de acero.
- En líneas subterráneas. Se utilizan en B.T y en M.T. cables de aluminio o de cobre con aislamiento seco (plástico) o con papel impregnado.
- En instalaciones interiores. Se utilizan conductores de cobre con aislamiento de plástico.

## 1.9. DESIGNACIÓN DE CONDUCTORES AISLADOS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN

**Tabla 1.2** Cables con tensión nominal hasta 750 V, más utilizados en instalaciones interiores (UNE 20434)

PARTES DE LA DESIGNACIÓN	ELEMENTOS A CONSIDERAR	SÍMBOLO
1	Estado de armonización.	H Cable de tipo armonizado. ES ó ES-N Cable de tipo nacional. A Cable de tipo nacional autorizado por CENELEC.
	Tensión nominal $U_0/U$ .	03 Tensión nominal 300/300 V. 05 Tensión nominal 300/500 V. 07 Tensión nominal 450/750 V.
2	Naturaleza del aislamiento o de la cubierta.	V Aislamiento en PVC normal. R Aislamiento en goma normal. N Cubierta de policloropreno. Z Compuesto reticulado a base de poliolefina, con baja emisión de gases corrosivos y de humos. Z1 Compuesto termoplástico a base de poliolefina, con baja emisión de gases corrosivos, de humos y no propagador de incendio (AS).
	Particularidades constructivas.	Ningún símbolo (cable circular). H Cable plano de conductores separables. H2 Cable plano no separable.
	Material conductor	Ningún símbolo (cobre). -A Aluminio.
	Formación del conductor.	-F Conductor flexible para cable flexible. -H Conductor muy flexible para un cable flexible. -K Conductor flexible para un cable de instalación fija. -R Conductor rígido redondo cableado. -U Conductor rígido redondo formado por un sólo alambre.
3	Número de conductores y sección nominal.	Número × sección en $\text{mm}^2$ (Si hay conductor de protección se utiliza G en lugar de ×).

### EJEMPLOS:

ES07Z1-K (AS) 1x6: Cable de tipo nacional, de tensión nominal 450/750 V, aislamiento termoplástico de poliolefina, no propagador de incendio, conductor flexible para cable de cobre de instalación fija, unipolar de sección 6  $\text{mm}^2$ .

H07V-U 1x2,5: Cable de normas armonizadas, de tensión nominal 450/750 V, aislamiento PVC, conductor rígido redondo, unipolar de sección 2,5  $\text{mm}^2$ .

Tabla 1.3

Cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos para tensiones nominales de 1 kV a 30 kV.

PARTES DE LA DESIGNACIÓN	ELEMENTOS A CONSIDERAR	SÍMBOLO
1	Particularidades constructivas.	<p><i>Naturaleza del aislamiento:</i>            V Polícloruro de vinilo (PVC).            R o X Polietileno reticulado (XLPE).            D Etileno-propileno (EPR).            HEPR Etileno propileno de alto módulo.</p> <p><i>Cables de campo radial:</i>            H Pantalla semiconductora sobre el conductor, sobre el aislamiento y sobre pantalla metálica individual.            HO Como en el caso anterior pero, además, con pantalla metálica sobre el conjunto de los conductores aislados cableados.</p> <p><i>Cubierta de separación:</i>            E Polietileno termoplástico.            V Polícloruro de vinilo.            N Polícloropreno (neopreno).            I Polietileno clorosulfonado.</p> <p><i>Protecciones metálicas:</i>            O Pantalla conjunta.            F Flejes de hierro.            M Alambres de hierro.            FA Flejes de aluminio.            MA Alambres de aluminio.            Q Pletinas de hierro.            QA Pletinas de aluminio.            P Tubo de plomo.            A Tubo liso de aluminio.            AW Tubo corrugado de aluminio.</p> <p><i>Cubiertas:</i>            E Polietileno termoplástico.            V Polícloruro de vinilo.            N Polícloropreno (neopreno).            I Polietileno clorosulfonado.</p> <p>Z1: Compuesto termoplástico a base de poliolefina            Cuando la cubierta termoplástica sea de naturaleza especial, se indica a continuación:            RH Cubierta resistente a hidrocarburos.            FLAM Cubierta no propagadora de incendio.</p> <p><i>Propiedades especiales:</i>            Protección contra la penetración de agua-OL.            No propagador de llama (S) o de incendio (AS).            Resistente al fuego (AS+).</p>
2	Tensión nominal $U_0/U$	Expresada en kV y designando los valores $U_0/U$ .
3	Conductores y sección	Número de conductores $\times$ sección nominal en $\text{mm}^2$ .
4	Forma del conductor.	Sin indicación con cuerda convencional redonda. K Cuerdas compactas. S Cuerdas sectoriales.
5	Naturaleza del conductor.	Al Si el conductor es de aluminio.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

**P.1-5** En la línea trifásica de 400 V, 50 Hz, con los receptores que indica la figura 1.32. Calcular la indicación del amperímetro.

Solución: 41,2 A.

**P.1-6** A una línea trifásica con neutro de 400/230 V, 50 Hz, se conectan los receptores que indica la figura 1.33. Calcular:

- Intensidad de línea del receptor en triángulo.
- Intensidad en la fase R de la conexión en estrella.
- Intensidad total en la fase R.

Solución: a) 30,98 A;

b) 4,6 A; c) 35,5 A.

**P.1-7** A una línea trifásica de 400 V, 50 Hz, se conectan los receptores siguientes:

- Un receptor de impedancia  $Z_1 = 100 \angle 0^\circ$  conectado entre las fases R y T.
- Un motor trifásico de 7,5 CV, factor de potencia 0,866 y rendimiento a plena carga 88%.

Calcular la intensidad en la fase R.

Solución: 14,45 A.

**P.1-8** En la instalación de la figura 1.34, con línea trifásica de tensión compuesta o de línea 400 V, 50 Hz. Calcular la indicación del amperímetro.

Solución: 14,6 A.

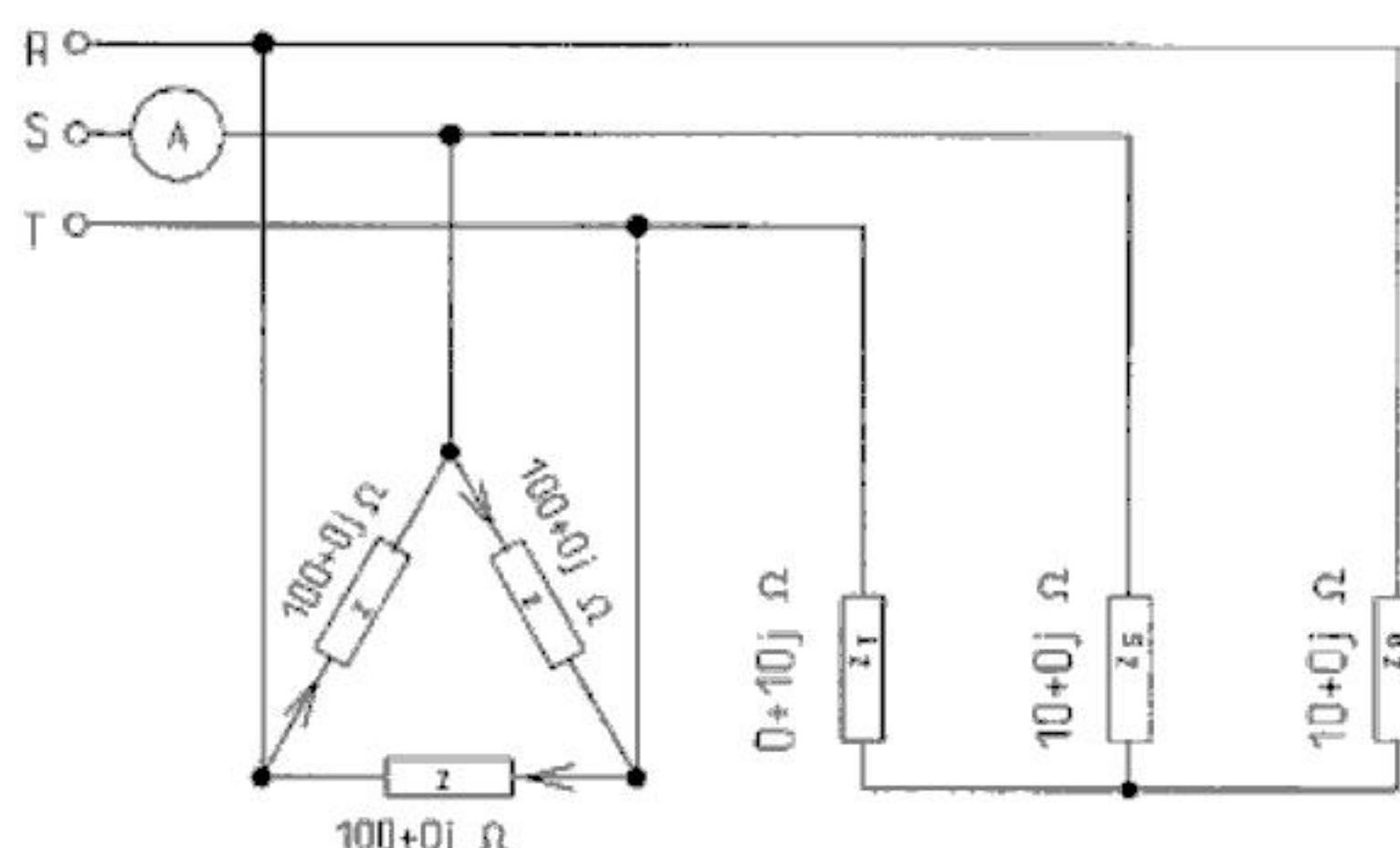


Fig. 1.32

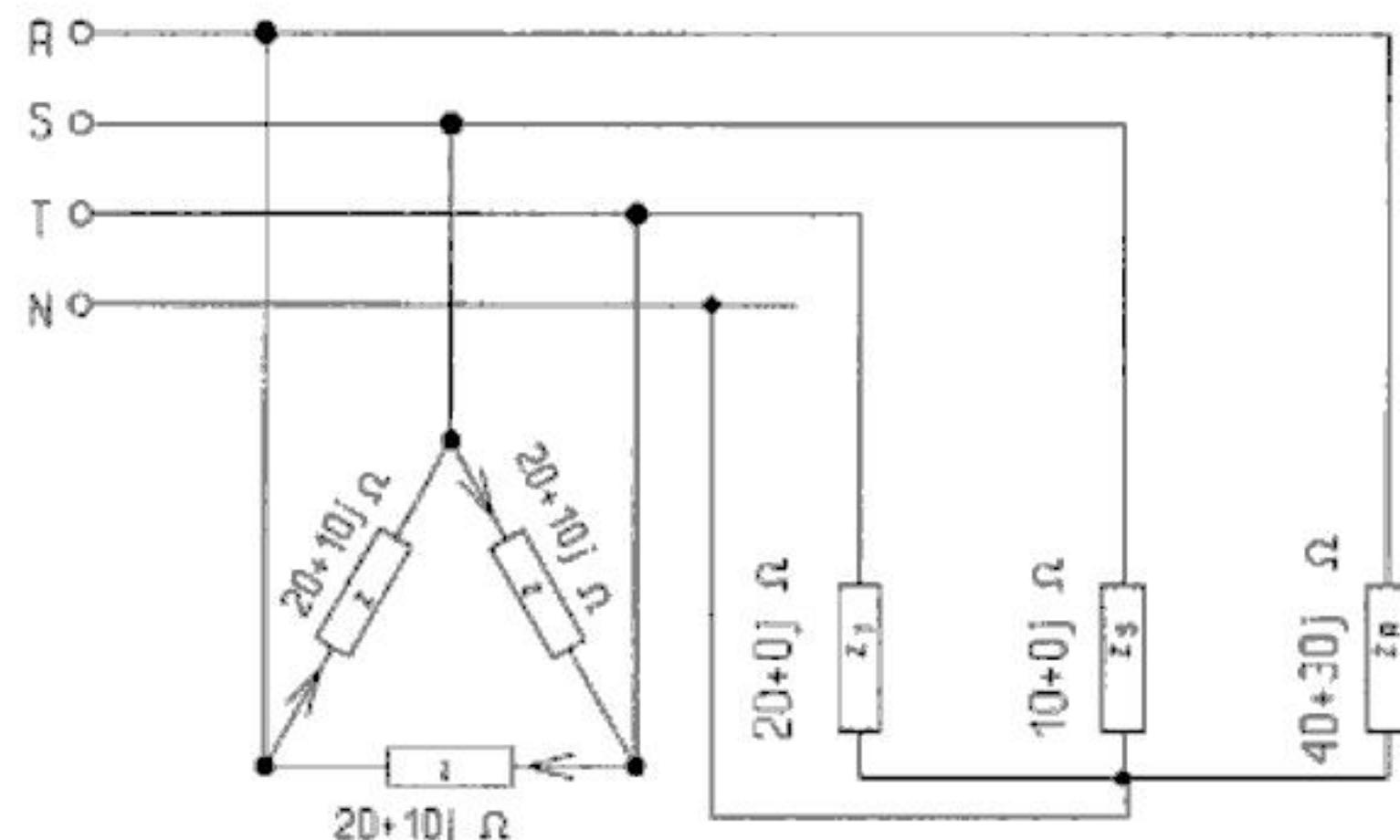


Fig. 1.33

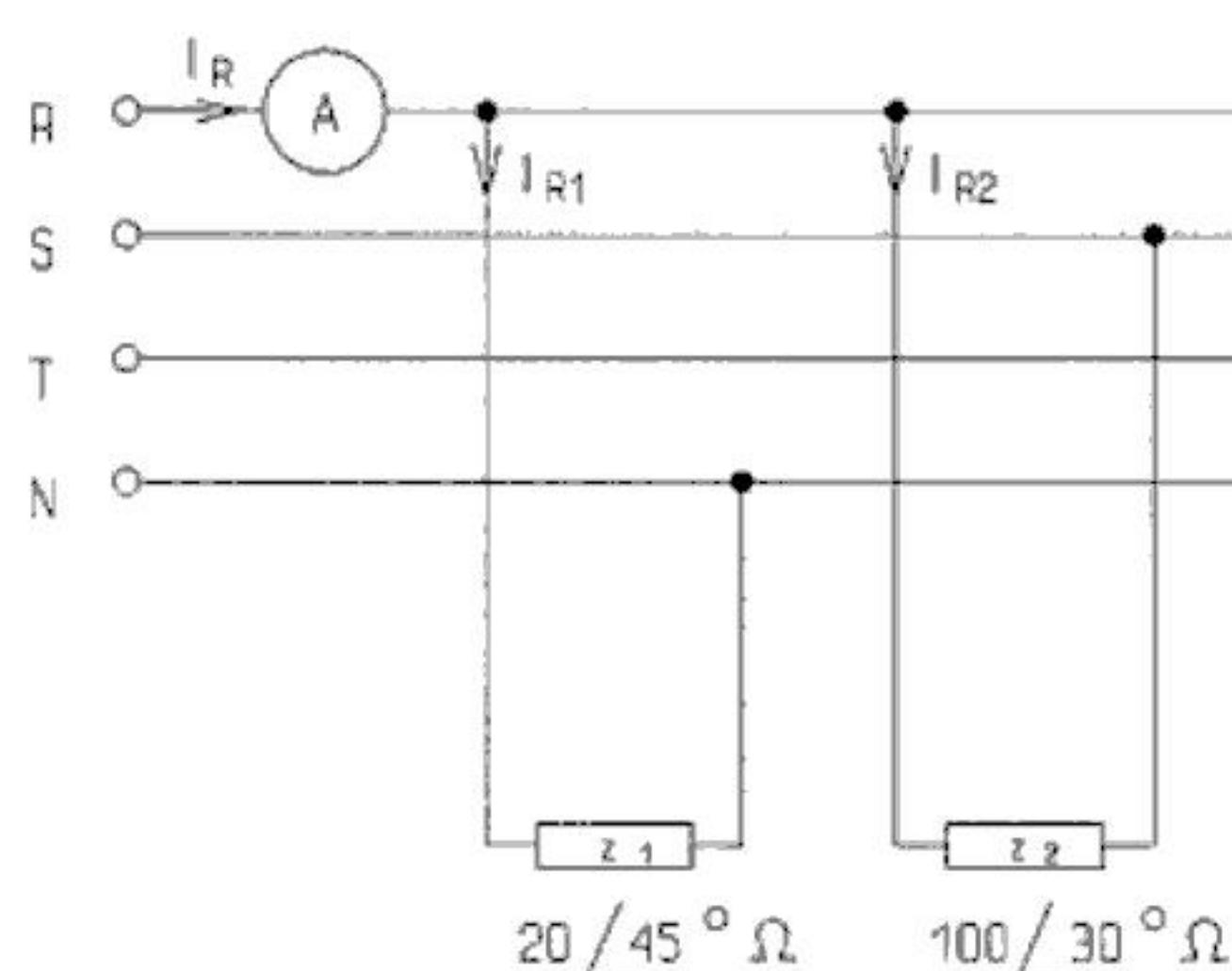


Fig. 1.34



# 2

## CÁLCULO ELÉCTRICO DE LÍNEAS

### 2.1. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES EN LAS LÍNEAS DE BAJA TENSIÓN EN CORRIENTE ALTERNA

El cálculo eléctrico de una línea consiste en calcular la sección del conductor de forma que satisfaga unas condiciones (cálculo preliminar) o escogida una sección verificar que esas condiciones se cumplen (cálculo de comprobación).

En el cálculo de la sección de los conductores se consideran tres criterios:

- 1) *Calentamiento del conductor.* La densidad de corriente en el conductor debe ser limitada para disminuir el calentamiento producido al circular la corriente eléctrica. Este criterio fija la máxima intensidad de corriente por el conductor.
- 2) *Caída de tensión en el conductor.* La caída de tensión (diferencia entre la tensión al principio y al final de la línea), se limita para evitar el efecto que la disminución de la tensión de utilización tiene sobre el funcionamiento de los receptores, los cuales deben estar conectados a la tensión nominal para su correcto funcionamiento.

En el cálculo de la caída de tensión en las líneas de B.T. se tiene en cuenta la *resistencia eléctrica de los conductores* que las forman:

- *Resistencia óhmica.* Es directamente proporcional a la longitud del conductor, inversamente proporcional a su sección y depende del tipo de material y de la temperatura.

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

*R:* Resistencia del conductor ( $\Omega$ ).

*l:* Longitud del conductor (m).

*s:* Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ ).

*$\rho$ :* Coeficiente de resistividad, según el material y la temperatura ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ).

A la inversa de la resistividad se le denomina conductividad *c*.

La resistencia de los conductores metálicos aumenta al aumentar la temperatura.

- *Efecto pelicular o efecto Kelvin.* En corriente alterna, debido a que el flujo magnético producido por la corriente es alterno, se inducen fuerzas electromotrices en el interior del conductor que originan un desplazamiento de las cargas eléctricas a la periferia del mismo, produciendo un aumento de resistencia cuando la sección es grande. (El aumento de resistencia es menor del 2% para secciones de  $300 \text{ mm}^2$  a la frecuencia de 50 Hz).

- *Efecto de proximidad.* Cuando dos o más conductores están paralelos y próximos entre sí, el campo magnético producido por la corriente eléctrica que recorre un conductor actúa sobre las corrientes en los otros, produciendo una modificación de la distribución de densidad de corriente, lo que hace aumentar la resistencia del conductor.

En el cálculo eléctrico de líneas de B.T. suele considerarse solamente la resistencia óhmica de los conductores. Para cálculos más exactos en las líneas largas y secciones elevadas (superiores a 120 mm<sup>2</sup>) se debe tener en cuenta también la reactancia inductiva.

- 3) *Capacidad del conductor para soportar la corriente de cortocircuito.* Debe limitarse la intensidad de corriente de cortocircuito, porque su valor muy elevado produce una excesivo calentamiento del conductor y puede originar que las fuerzas que tienden a separar o a juntar conductores próximos recorridos por esa corriente tomen un valor excesivo. En las instalaciones de interiores o receptoras de baja tensión, alejadas del centro de transformación que las alimenta, no se suele tener en cuenta este criterio para el cálculo de sección, porque se considera que la intensidad de corriente y el calentamiento producido no llegan a valores peligrosos antes de que actúen las protecciones contra cortocircuitos.

## 2.2. SECCIÓN MÍNIMA DE LOS CONDUCTORES POR CRITERIO TÉRMICO

Cuando circula corriente por un conductor se produce un calentamiento del mismo (debido fundamentalmente a la pérdida de energía en forma de calor o efecto Joule), aumentando su temperatura hasta que llega al equilibrio térmico cuando todo el calor producido es cedido al exterior. La temperatura de equilibrio térmico es directamente proporcional al volumen del conductor y al cuadrado de la densidad de corriente  $\delta$  (relación entre la intensidad  $I$  que circula por el conductor y su sección  $s$ ,  $\delta = I/s$ ), dependiendo de las condiciones de enfriamiento. Para mantener una determinada temperatura, la densidad de corriente admisible debe disminuir al aumentar la sección del conductor.

En los conductores aislados el calor puede deteriorar los aislamientos y las máximas temperaturas admisibles dependen del material aislante.

En los conductores desnudos o sin aislamiento utilizados en líneas aéreas, la temperatura límite viene fijado por la constancia de las características mecánicas del conductor.

El cálculo de la sección de los conductores en B.T. según el calentamiento, se realiza mediante tablas de las normas UNE que indica el Reglamento electrotécnico para B.T. (REBT), que fijan las intensidades o las densidades de corriente máximas admisibles en función de la sección, del material conductor, del aislamiento y según el tipo de instalación que marca las condiciones de enfriamiento.

- *Redes aéreas.* La sección se fija según la instrucción ITC-BT-06, por las tablas de la norma UNE 211435: 2007 que indican las intensidades admisibles en conductores para redes de distribución, aislados para una tensión superior o igual a 0,6/1 kV y temperatura ambiente de 40 °C.
- *Redes subterráneas.* La sección se fija según la instrucción ITC-BT-07, por las tablas de la norma UNE 211435: 2007 que indican las intensidades admisibles en conductores aislados para redes de distribución, con una tensión asignada superior o igual a 0,6/1 kV, profundidad 0,7 m, temperatura del terreno 25 °C y resistividad térmica 1,5 K·m/W.
- *Instalaciones interiores.* La sección se fija según la instrucción ITC-BT-19 y la norma UNE 20460-5-523: 2004, cuyas tablas indican las intensidades admisibles en conductores aislados con termoplásticos (PVC y similares) o termoestables (XLPE, EPR y similares), para una tensión de aislamiento hasta 1 kV y a la temperatura ambiente de 40 °C, que considera el REBT.

Cuando la temperatura ambiente o las condiciones de la instalación no coinciden con las de las tablas se utilizan unos factores de corrección para las intensidades admisibles, que están fijados en las instrucciones correspondientes de las normas.

El cálculo según este criterio puede efectuarse de dos formas:

- 1) *Cálculo preliminar.* Para calcular la sección del conductor necesaria para que por él circule una determinada intensidad de corriente (carga de la instalación), se divide esta intensidad por los factores de corrección necesarios y con el valor resultante se elige en las tablas la sección que admita una intensidad igual o superior.
- 2) *Cálculo de comprobación.* Escogida una sección, para determinar la intensidad admisible, se escoge en las tablas la intensidad correspondiente a esa sección y se multiplica este valor por los coeficientes de corrección necesarios. El valor resultante es la intensidad admisible en las condiciones de la instalación.

## PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**2.2-1.** Calcular la intensidad admisible por criterio térmico en un cable con tres conductores de aluminio de 95 mm<sup>2</sup> de sección y neutro de aleación de aluminio (Almelec), con 54,6 mm<sup>2</sup> de sección, aislado con polietileno reticulado, tensión nominal de aislamiento 1 kV, trenzado en haz. El cable está en una línea aérea tensada entre apoyos con sujeción por el neutro expuestos al sol a la temperatura de 35°C.

La intensidad máxima admisible viene dada en la norma UNE 211435: 2007, a la temperatura ambiente de 40°C. Para otra temperatura es necesario utilizar factores de corrección.

**Tabla 2.1.** Factores de corrección de la intensidad máxima admisible para cables aislados en haz, en función de la temperatura ambiente UNE 211435: 2007. Tabla A.6.

Temperatura °C	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Factor de corrección	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

El factor de corrección para diferentes profundidades de instalación viene dada por la tabla A.8 de la norma UNE 211435:2007.

**Tabla 2.6.** Factores de corrección para distintas profundidades de soterramiento. Extracto de la tabla A.8 (UNE 211435:2007).

Profundidad de soterramiento (m)	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3
Soterrados	1,04	1,02	1	0,99	0,97	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88
En tubular	1,03	1,01	1	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90

La intensidad mínima que debe admitir el cable, en la instalación normal o tipo, teniendo en cuenta los factores de corrección por temperatura (1,04), resistividad térmica del terreno (1,13) y profundidad de la instalación (0,99).

$$\frac{110}{1,04 \cdot 1,13 \cdot 0,99} = 94,5 \text{ A}$$

La sección necesaria será la de un conductor que sin ningún factor de corrección admita según la tabla 2.3. para instalación enterrada bajo tubo una intensidad superior a 94,6 A. El cable de sección 50 mm<sup>2</sup> es válido, por lo que esa sección es suficiente según criterio térmico.

El conductor de sección 50 mm<sup>2</sup> admite, con esos factores de corrección una intensidad de  $115 \cdot 1,04 \cdot 1,13 \cdot 0,99 = 133,8 \text{ A}$ , mayor que los 110 A, que circularán por el conductor.

**2.2-5.** Calcular la máxima intensidad admisible con una terna de cables unipolares de aluminio, aislados con XLPE, tensión asignada 0,6/1 kV, sección 50 mm<sup>2</sup> en una instalación de distribución enterrada bajo tubo a 0,8 m, con una temperatura de terreno de 25°C y resistividad térmica 1 K·m/W

Solución: 124,1 A

**2.2-6.** Calcular la intensidad admisible en una instalación trifásica con cables unipolares de aluminio, aislados con XLPE, tensión asignada 0,6/1 kV, sección 95 mm<sup>2</sup>, si la canalización se realiza bajo tubo a 0,7 m, con otra instalación trifásica bajo tubo separada 0,2 m. Se considera una temperatura del terreno de 30°C y resistividad térmica 1,5 K·m/W.

La intensidad admisible para el conductor a profundidad 0,7 m, temperatura del terreno 25°C y resistividad térmica 1,5 K·m/W está dada en la tabla 2.3. Para este le corresponde una intensidad de 175 A.

La intensidad admisible está condicionada por factores de corrección, debidos a la temperatura del terreno y al agrupamiento de circuitos.

El factor de corrección por temperatura del terreno está dado por la tabla 2.4. Para ese cable es 0,96.

El factor de corrección por agrupamiento de cables viene dado por la tabla A.9.2 de la norma UNE 211435:2007.

**Tabla 2.7.** Factores de corrección para agrupaciones de ternas de cables unipolares en instalación enterrada  
Extracto de la tabla A.9.2 (UNE 211435:2007)

Separación entre tubos o ternas	Número de cables o ternas de la zanja								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tubulares									
0 m	0,87	0,77	0,71	0,67	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56
0,2 m	0,90	0,82	0,77	0,74	0,71	0,69	0,67	0,66	0,65
0,4 m	0,94	0,87	0,84	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75
0,6 m	0,96	0,90	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	-
0,8 m	0,97	0,93	0,91	0,89	0,88	-	-	-	-
Soterrados									
0 m	0,87	0,71	0,64	0,59	0,56	0,53	0,51	0,49	0,48
0,2 m	0,88	0,79	0,74	0,70	0,67	0,65	0,63	0,62	0,61
0,4 m	0,92	0,84	0,81	0,78	0,76	0,74	0,73	0,72	0,71
0,6 m	0,94	0,88	0,85	0,83	0,82	0,80	0,80	0,79	-
0,8 m	0,96	0,91	0,89	0,87	0,86	0,85	-	-	-

Para dos tubos separados 0,2 m el factor de corrección es 0,9.

La intensidad máxima admisible por el cable es de  $175 \cdot 0,96 \cdot 0,9 = 151,2$  A.

**2.2-7.** Calcular la sección necesaria en los conductores de una línea trifásica con cables de aluminio, aislado con XLPE, tensión asignada 0,6/1 kV, enterrados directamente en una zanja, en terreno de resistividad térmica 0,9 K·m/W<sup>1</sup>. La intensidad que debe circular por el conductor es de 100 A.

Solución: 25 mm<sup>2</sup>

**2.2-8.** Calcular la sección necesaria para la circulación de una corriente de intensidad 140 A, por una línea trifásica de 400 V, subterránea con cuatro conductores unipolares de aluminio (tres fases y neutro), aislados con polietileno reticulado XLPE, tensión de aislamiento 1 kV, en instalación enterrada directamente, temperatura del terreno 30°C, con resistividad térmica 1 K·m/W .

El factor de corrección por temperatura (tabla 2.4) es 0,96, y por resistividad térmica (tabla 2.5) es 1,16. La intensidad mínima que debe admitir el cable, en instalación tipo:  $140 / 0,96 \cdot 1,16 = 125,72$  A

La sección mínima de los conductores de fase (tabla 2.3) es de 50 mm<sup>2</sup>, que admite 135 A, mayor que 125,72 A. La sección del conductor neutro viene fijada por las normas de la empresa distribuidora, si se aplica el criterio de reducción de la sección a la mitad de la de fase sería 25 mm<sup>2</sup>. Para distribución con dos o tres conductores la sección del neutro igual a la de fase

<sup>1</sup> Cuando no se especifican las condiciones se consideran las normales en una instalación tipo.

**2.2-9.** Calcular la intensidad admisible en un cable tetrapolar con conductores de aluminio, aislados con XLPE, tensión 0,6/1 kV, sección 35 mm<sup>2</sup> en instalación interior enterrada bajo tubo y separada de otra instalación entubada 0,25 m.

**Tabla 2.8.** Intensidades máximas admisibles (A) en instalaciones receptoras con canalización enterrada. Cables unipolares o multiconductores directamente o bajo tubo. Temperatura del terreno 25°C. Resistividad térmica del terreno 2,5 k·m/W. Según la norma UNE 20460-5-523:2004 (extracto de la tabla A.52-2 bis).

Sección mm <sup>2</sup>	COBRE				ALUMINIO			
	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento							
	PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3	PVC2	PVC3	XLPE2	XLPE3
1,5	20,5	17	24,5	21	-	-	-	-
2,5	27,5	22,5	32,5	27,5	20,5	17	24,5	21
4	36	29	42	35	27,5	22,5	32,5	27,5
6	44	37	53	44	34	28	40	34
10	59	49	70	58	45	38	53	45
16	76	63	91	75	58	49	70	58
25	98	81	116	96	76	62	89	74
35	118	97	140	117	91	76	107	90
50	140	115	166	138	107	89	126	107
70	173	143	204	170	133	111	156	132
95	205	170	241	202	157	131	185	157
120	233	192	275	230	179	149	211	178
150	264	218	311	260	202	169	239	201
185	296	245	348	291	228	190	267	226
240	342	282	402	336	263	218	309	261
300	387	319	455	380	297	247	349	295

**Tabla 2.9.** Factores de reducción por agrupamiento de varios circuitos en conductos enterrados, según la norma UNE 20460-5-523:2004 (extracto de la tabla A.52-E3).

Nº cables o circuitos unipolares	CABLES MULTICONDUCTORES				CABLES UNIPOLARES			
	Distancia entre conductos en metros							
	0	0,25	0,5	1,0	0	0,25	0,5	1
2	0,85	0,90	0,95	0,95	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,70	0,80	0,85	0,90	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,6	0,80	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,90

La intensidad admisible  $90 \cdot 0,9 = 81$  A.

**2.2-10.** Calcular la intensidad admisible en una instalación interior, canalización bajo tubo empotrado en pared de obra, con 3 o 4 conductores unipolares de cobre de sección 16 mm<sup>2</sup> aislados con PVC, tensión asignada 400/750 V.

La intensidad máxima admisible en instalaciones interiores según el REBT, (ITC-BT-19) y la norma UNE 20 460-5-523: 2004; para conductores de cobre, aislados con termoplásticos (PVC, Z1 y similares) o termoestables (XLPE, EPR, Z y similares), tensión de aislamiento hasta 1 kV y temperatura ambiente 40°C se indica en la tabla:

Tabla 2.10. Intensidades máximas admisibles (A) en instalaciones interiores, conductores de cobre, temperatura ambiente 40°C (norma UNE 20 460-5-523:2004, extracto de la tabla A.52-1 bis).

Conductores aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes. Método A1		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes. Método A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2							
Conductores aislados en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotradas en obra. Método B1				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2			
Cables multiconductores en tubos (incluyendo canaletas y conductos de sección circular) en montaje superficial o empotradas en obra. Método B2			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
Cables multiconductores directamente sobre la pared o en bandeja no perforada. Método C					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
Cables multiconductores al aire libre o en bandeja perforada. Distancia a la pared no inferior a 0,3 D (diámetro del cable). Método E						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
Cables unipolares en contacto mutuo o en bandeja perforada. Distancia a la pared no inferior a D. Método F							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Conductor	mm <sup>2</sup>											
Cobre	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45
	6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76
	16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123
	35		77	86	96	104	110	119	127	137	144	154
	50		94	103	117	125	133	145	155	167	175	188
	70				149	160	171	185	199	214	224	244
	95				180	194	207	224	241	259	271	296
	120				208	225	240	260	280	301	314	348
	150				236	260	278	299	322	343	363	404
	185				268	297	317	341	368	391	415	464
	240				315	350	374	401	435	468	490	552
												590

La intensidad máxima admisible en el conductor según la tabla anterior, en la columna 5, para  $16 \text{ mm}^2$  es 59 A.

**2.2-11.** En una instalación interior se utiliza un cable multiconductor 4 conductores (tres fases y neutro) RV-K 0,6/1 kV 4×10, bajo tubo en montaje superficial. Calcular la máxima intensidad admisible considerando una temperatura ambiente de 40°C.

Solución: 52 A

**2.2-12.** Calcular la sección necesaria en una distribución trifásica con neutro en instalación interior, para transportar una intensidad de 65 A con conductores unipolares de cobre, aislados con PVC, tensión asignada 400/750 V, en canalización bajo tubo empotrado en obra, junto con otros cuatro conductores pertenecientes a otro circuito, a la temperatura de 40°C.

El factor de corrección para agrupamiento de varios circuitos o varios cables multiconductores se indica en la norma UNE 20 460-5-523, según la siguiente tabla:

**Tabla 2.11.** Factores de reducción para agrupamiento de varios circuitos o de varios cables multiconductores. Grupos homogéneos de cables cargados por igual, (UNE 20 460-5-523, extracto de la tabla A.52-3).

DISPOSICIÓN DE LOS CABLES CONTIGUOS	Nº de circuitos o cables multiconductores								
	1	2	3	4	5	9	12	16	20
Empotrados o embutidos. Métodos A1/A2 y B1/B2	1,00	0,80	0,70	0,70	0,58	0,50	0,45	0,4	0,4
Capa única sobre muros, suelos o bandejas no perforadas. Método C	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	-	-	-
Capa única en el techo. Método C	0,95	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	-	-	-
Capa única sobre bandejas perforadas. Métodos E y F	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70	-	-	-
Capa única sobre escaleras de cables, abrazaderas, etc. Métodos E y F	1,00	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-	-

El número de circuitos es 2 por lo que el factor de reducción es 0,8.

La mínima intensidad que debe admitir el conductor, para mirar en la tabla de la instalación tipo:  $65/0,8=81,25 \text{ A}$

Según la tabla 2.10 la sección necesaria es  $35 \text{ mm}^2$ , que admite 96 A.

En instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas por cargas no lineales y posibles desequilibrios, salvo justificación por cálculo, la sección del neutro será como mínimo igual a la de las fases (ITC-BT-19).

La sección de los cuatro conductores será como mínimo  $35 \text{ mm}^2$  (4x35).

**2.2-13.** Calcular la máxima intensidad permitida en una instalación interior, empotrada en obra, bajo tubo con un cable tripolar de aluminio, de sección  $50 \text{ mm}^2$ , aislado con XLPE, tensión de aislamiento 1 kV a un temperatura ambiente de 40°C.

La intensidad máxima admisible en instalaciones interiores para conductores de aluminio, tensión asignada 0,6/1 kV y temperatura ambiente 40°C se indica en la norma UNE 20 460-5-523: 2004, según la tabla siguiente:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- $s$ : Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ ).  
 $L$ : Longitud de la línea (m).  
 $I$ : Intensidad eficaz (A).  
 $\cos \varphi$ : Factor de potencia.  
 $u$ : Caída de tensión en la línea (V).  
 $c$ : Conductividad del conductor.  
 Para el cobre, a  $20^\circ\text{C}$   $c = 56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$   
 Para el aluminio, a  $20^\circ\text{C}$   $c = 35 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

b) En función de la potencia  $s = \frac{2LP}{cuV}$

$P$ : Potencia de consumo (W).

$V$ : Tensión de la línea (V).

Si se considera la temperatura máxima de trabajo de los conductores según el aislante,  $90^\circ\text{C}$  (termoestables como XLPE) o  $70^\circ\text{C}$  (termoplásticos como PVC), la resistencia aumenta un 28% en el primer caso y un 20% en el segundo, por lo que la conductividad queda dividida por 1,28 o por 1,20, respectivamente.

### DEMOSTRACIÓN

Según el diagrama de la figura 2.1, la caída de tensión en la línea con carga inductiva, se puede considerar prácticamente como el producto la resistencia de los conductores de la línea por la intensidad activa:

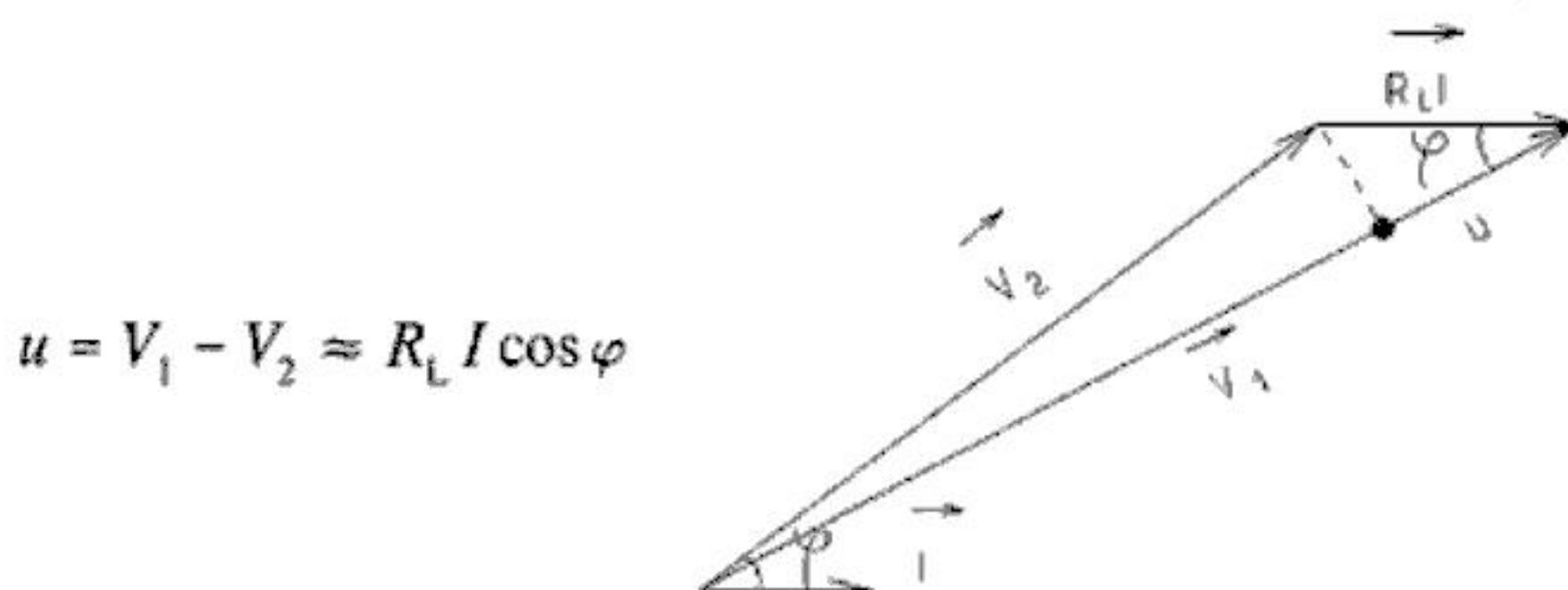


Fig. 2.1

La resistencia de la línea:  $R_L = \rho \frac{2L}{s} = \frac{2L}{cs}$

Entonces:  $= \frac{2LI \cos \varphi}{cs}$

La sección de conductor:  $s = \frac{2LI \cos \varphi}{cu}$

La potencia activa:  $P = VI \cos \varphi; I \cos \varphi = \frac{P}{V}$

La sección del conductor en función de la potencia:  $s = \frac{2LP}{cuV}$

2) *Cálculo de una línea trifásica.*

a) En función de la intensidad  $s = \frac{\sqrt{3} LI_L \cos \varphi}{cu}$

$I_L$ : Intensidad de línea (A).

$u$ : Caída de tensión de línea (V).

b) En función de la potencia  $s = \frac{LP}{cu V_L}$

$V_L$ : Tensión de línea (V).

DEMOSTRACIÓN

En la línea trifásica se tiene en cuenta solamente el conductor de fase  $s = \frac{LP}{cu V_L}$

Sustituyendo el valor de la potencia activa  $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$

La sección en función de la intensidad  $s = \frac{\sqrt{3} LI_L \cos \varphi}{cu}$

La sección mínima de los conductores de las líneas de distribución se adopta de según las instrucciones ITC-BT-06 (líneas aéreas) e ITC-BT-07 (líneas subterráneas) y de conformidad con las normas particulares de la compañía suministradora. La sección del conductor neutro será según la sección del conductor de fase:

- A dos o a tres hilos (fase y neutro o dos fases y neutro): Igual a la del conductor de fase.
- A cuatro hilos (tres fases y neutro) la sección del neutro será la indicada en de conformidad con las normas de la compañía suministradora y como mínimo la mitad de la sección de los conductores de fase.

En instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas por cargas no lineales y posibles desequilibrios, salvo justificación por cálculo, la sección del neutro será como mínimo igual a la de las fases (ITC-BT-19).

Cuando en la línea trifásica se prevén fuertes desequilibrios de carga, se suele adoptar una sección de 1,2 veces la determinada por cálculo.

PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**2.4-1.** Calcular la sección de los conductores de una línea monofásica de 230 V, 50 Hz, con una caída de tensión del 1% y que alimenta una instalación que consume 30 A con un factor de potencia unidad. Los conductores son de cobre, unipolares, aislados con PVC, 750 V, y la canalización es empotrada en obra bajo tubo, de longitud 40 m.

La caída de tensión:  $u = \frac{1 \cdot 230}{100} = 2,3 \text{ V}$

La sección de los conductores:  $s = \frac{2LI\cos\varphi}{cu} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 30 \cdot 1}{56 \cdot 2,3} = 18,63 \text{ mm}^2$

La sección más próxima por exceso es 25 mm<sup>2</sup>, que según la instrucción ITC-BT-19, norma UNE 20460, admite una intensidad de 84 A (tabla 2.10 del libro), mayor que 30.

**2.4-2.** Una línea monofásica de 230 V, 50 Hz, alimenta una instalación que consume 15 A con un factor de potencia de 0,9 inductivo. Los conductores son de cobre, unipolares, aislados con policloruro de vinilo, para 750 V y la canalización es empotrada en obra bajo tubo, de longitud 25 m. Calcular la sección de los conductores admitiendo una caída de tensión del 0,5 %

Solución: 16 mm<sup>2</sup>

**2.4-3.** Calcular la sección de los conductores de cobre, unipolares, aislados con PVC, 750 V, en canalización interior empotrada en obra bajo tubo, de longitud 20 m, que alimenta una instalación monofásica de 230 V, 4 kW y factor de potencia 0,86. La caída de tensión admisible es el 2%.

$$\text{La caída de tensión: } u = \frac{2 \cdot 230}{100} = 4,6 \text{ V}$$

$$\text{La sección del conductor: } s = \frac{2LP}{cuV} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 4000}{56 \cdot 4,6 \cdot 230} = 2,7 \text{ mm}^2$$

La sección comercial más próxima por exceso es 4 mm<sup>2</sup>, que según la instrucción ITC-BT-19, norma UNE 20460-5-523: 2004, admite una intensidad de 27 A (tabla 2.10 del libro), a temperatura ambiente de 40 °C.

La intensidad que consume el receptor:

$$P = VI \cos \varphi; \quad I = \frac{P}{V \cos \varphi} = \frac{4000}{230 \cdot 0,86} = 20,2 \text{ A}$$

Esta intensidad es menor que la intensidad admisible, por lo que la sección de 4 mm<sup>2</sup> es válida. Si la intensidad de consumo del receptor fuese mayor de la permitida por el REBT para esa sección, habría que escoger una sección comercial mayor, hasta que el conductor pudiese transportar la intensidad de consumo.

**2.4-4.** Una línea monofásica de longitud 20 m está formada por conductores de cobre de 16 mm<sup>2</sup> de sección y alimenta a la tensión de 230 V una vivienda de electrificación elevada (potencia de consumo 9,2 kW y factor de potencia 1). Calcular la caída de tensión en la línea.

Solución: 0,78%

**2.4-5.** Calcular la sección de la línea de alimentación a un receptor trifásico de 10 kW, 400 V,  $\cos \varphi = 0,8$ , conectado a una red trifásica de 400 V, 50 Hz. La línea está formada por un cable tripolar, de longitud 40 m, con conductores de cobre aislados con PVC, 750 V, en canalización interior bajo tubo en montaje superficial. La caída de tensión admisible es del 1%.

$$\text{La caída de tensión } u = \frac{1 \cdot 400}{100} = 4 \text{ V}$$

$$\text{La sección de los conductores } s = \frac{LP}{cuV_L} = \frac{40 \cdot 10000}{56 \cdot 4 \cdot 400} = 4,46 \text{ mm}^2$$

La sección comercial más próxima por exceso es 6 mm<sup>2</sup>, que según la instrucción ITC-BT-19, norma UNE 20460-5-523: 2004, admite una intensidad de 30 A (tabla 2.10).

La intensidad absorbida por el receptor:

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi; \quad I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos \varphi} = \frac{10\,000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 18 \text{ A}$$

Esta intensidad es menor que la admitida por el REBT, por lo que la sección es válida.

**2.4-6.** Calcular la longitud máxima que puede tener una línea trifásica, con conductores de cobre de  $10 \text{ mm}^2$  de sección, que alimenta a un receptor de  $7 \text{ kW}$ ,  $400 \text{ V}$  y factor de potencia  $0,9$  inductivo. La caída de tensión no debe sobrepasar el  $1\%$ .

Solución:  $128 \text{ m}$

**2.4-7.** Una instalación trifásica a  $400 \text{ V}$ , consume una intensidad de  $48 \text{ A}$  con  $\cos \varphi = 0,9$  inductivo, y está alimentada por una línea de longitud  $60 \text{ m}$ , formada por conductores de aluminio de sección  $16 \text{ mm}^2$ , aislados con XLPE. Calcular la caída de tensión en la línea en tanto por cien, considerando la temperatura máxima de trabajo ( $90^\circ\text{C}$ ).

De la fórmula del cálculo de la sección se obtiene la caída de tensión.

$$u = \frac{\sqrt{3} L I_L \cos \varphi}{cs} = \frac{\sqrt{3} \cdot 60 \cdot 48 \cdot 0,9}{\frac{35}{1,28} \cdot 16} = 10,26 \text{ V}$$

$$\text{La caída de tensión porcentual } u\% = \frac{u \cdot 100}{V_L} = \frac{10,26 \cdot 100}{400} = 2,57\%$$

**2.4-8.** Un receptor trifásico consume una intensidad de  $38 \text{ A}$  con factor de potencia  $0,8$  inductivo. Está alimentado por una línea formada por tres cables unipolares con conductores de cobre, aislados con XLPE, tensión de aislamiento  $1 \text{ kV}$ , en instalación interior bajo tubo empotrado en obra, de longitud  $40 \text{ m}$ . La tensión de línea es  $400 \text{ V}$  y la caída de tensión permitida del  $1,5\%$ . Calcular la sección de los conductores.

Solución:  $10 \text{ mm}^2$

**2.4-9.** Calcular la sección de la línea trifásica, formada por un cable tetrapolar con conductores de cobre, aislado con EPR, tensión asiganda  $0,6/1 \text{ kV}$ , en canalización bajo tubo empotrado en obra. La línea alimenta a  $400 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ , una instalación en la que se considera un consumo de  $78 \text{ A}$  con una factor de potencia  $0,86$  inductivo. En la instalación se prevén desequilibrios de carga entre las fases, por lo que se incrementa la sección calculada en un  $20\%$ . La longitud de la línea es de  $70 \text{ m}$  y la máxima caída de tensión permitida es del  $1\%$ .

Solución:  $50 \text{ mm}^2$

## 2.5. CÁLCULO DE LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN ABIERTAS DE SECCIÓN UNIFORME

La línea (fig. 2.2), puede ser monofásica o trifásica y su sección puede calcularse en función de la intensidad de corriente que circula por ella o de la potencia que consumen los receptores.

## 1) Cálculo de una línea monofásica.

a) En función de la potencia. Cuando las cargas de los receptores vienen dadas en potencias, como la caída de tensión debe ser relativamente pequeña, puede tomarse para todos los receptores la misma tensión, igual a la nominal de la línea:

$$s = \frac{2(L_1P_1 + L_2P_2 + \dots + L_nP_n)}{cuV} = \frac{2\sum(LP)}{cuV}$$

$P$ : Potencia que consume cada receptor conectado (W).

$L$ : Longitud de la línea, del extremo de alimentación a cada receptor (m).

$V$ : Tensión de la línea (V).

$s$ : Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ ).

$u$ : Caída de tensión en la línea (V).

$c$ : Conductividad del conductor ( $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$ ).

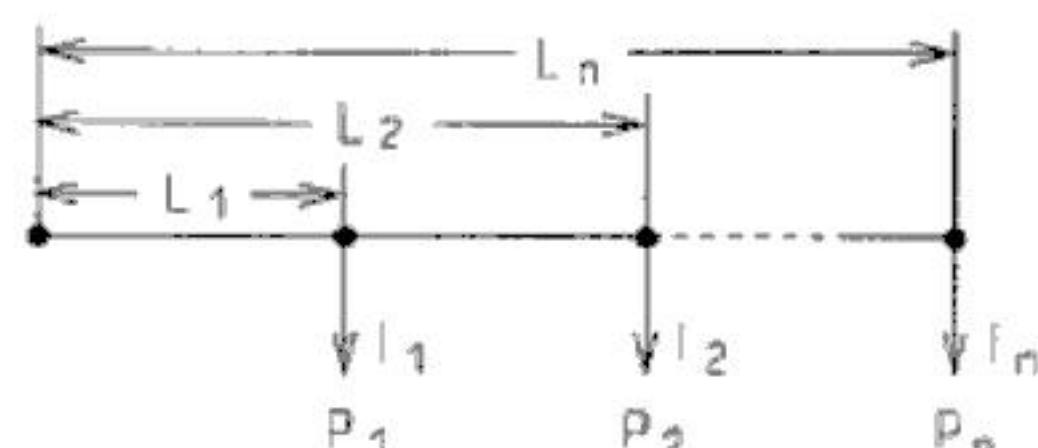


Fig. 2.2

b) En función de la intensidad  $s = \frac{2\sum(LI\cos\varphi)}{cu}$

$I$ : Intensidad eficaz de cada receptor (A).

$\cos\varphi$ : Factor de potencia de cada receptor.

## DEMOSTRACIÓN

La caída de tensión total es la suma de las caídas de tensión en cada tramo de la línea. Siendo las longitudes de cada tramo de la línea (fig. 2.2)  $l_1, l_2, \dots, l_n$ , la caída de tensión:

$$u = \frac{2l_1(P_1 + P_2 + \dots + P_n)}{csV} + \frac{2l_2(P_2 + \dots + P_n)}{csV} + \dots + \frac{2l_nP_n}{csV}$$

$$u = \frac{2l_1P_1 + 2(l_1 + l_2)P_2 + \dots + 2(l_1 + l_2 + \dots + l_n)P_n}{csV}$$

Las longitudes al origen de la línea:

$$L_1 = l_1$$

$$L_2 = l_1 + l_2$$

$$L_n = l_1 + l_2 + \dots + l_n$$

La caída de tensión:  $u = \frac{2L_1P_1 + 2L_2P_2 + \dots + 2L_nP_n}{csV} = \frac{2\sum(LP)}{csV}$

La sección:  $s = \frac{2\sum(LP)}{cuV}$

Al producto  $LP$  se le llama momento eléctrico, por analogía con el momento de una fuerza en mecánica.

Sustituyendo el valor de la potencia  $P = VI\cos\varphi$ , en la fórmula de la sección.

$$s = \frac{2\sum(LVI\cos\varphi)}{cuV} = \frac{2V\sum(LI\cos\varphi)}{cuV} = \frac{2\sum(LI\cos\varphi)}{cu}$$



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

$$\text{La sección: } s = \frac{\sqrt{3} \sum (LI_L \cos \varphi)}{cu}$$

La suma de momentos:  $\sum L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$

$$\begin{aligned} 10 \cdot 10 \cdot 1 &= 100 \\ 30 \cdot 15 \cdot 0,8 &= 360 \\ 60 \cdot 10 \cdot 0,9 &= 540 \text{ m} \cdot \text{A} \\ 100 \cdot 20 \cdot 0,8 &= \frac{1600}{2600} \end{aligned}$$

$$\text{La sección del conductor de fase: } s = \frac{\sqrt{3} \sum (LI_L \cos \varphi)}{cu} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2600}{35 \cdot 8} = 16,1 \text{ mm}^2$$

Según el REBT instrucción ITC-BT-06, la sección del conductor más próxima por exceso es  $25 \text{ mm}^2$ , que admite 76 A (tabla 2.2 del libro).

La intensidad que circula por el primer tramo AB (tramo más desfavorable) es la intensidad correspondiente a todas las cargas, que para simplificar consideramos en fase, dando así un valor por exceso.

$$I_L = 10 + 15 + 10 + 20 = 55 \text{ A}$$

Valor inferior al que admite el conductor, por lo que los conductores de la línea serán RZ 0,6/1 kV 4×25.

Para hallar el valor exacto de la intensidad total, se descomponen las intensidades en sus componentes activas y reactivas o se utilizan números complejos. Así, sumando las intensidades de línea en forma compleja, se obtiene la intensidad de línea total.

$$\begin{aligned} I_{L1} &= 10 + 0j \\ I_{L2} &= 12 - 9j \\ I_{L3} &= 9 - 4,36j \\ I_{L4} &= 16 - 12j \\ I_L &= 47 - 25,36j = 53,4 \angle -28,35^\circ \end{aligned}$$

El valor de la intensidad de línea es inferior al valor hallado considerando todas las intensidades en fase. Para simplificar los cálculos, en la práctica, se desprecia esta diferencia y se calcula la intensidad por exceso.

**2.5-6.** Calcular la caída de tensión en la línea representada en la figura 2.8, formada por conductor RZ 0,6/1 kV 3×50 Al/54,6 Alm. La tensión de línea es de 380 V.

Solución: 0,66%

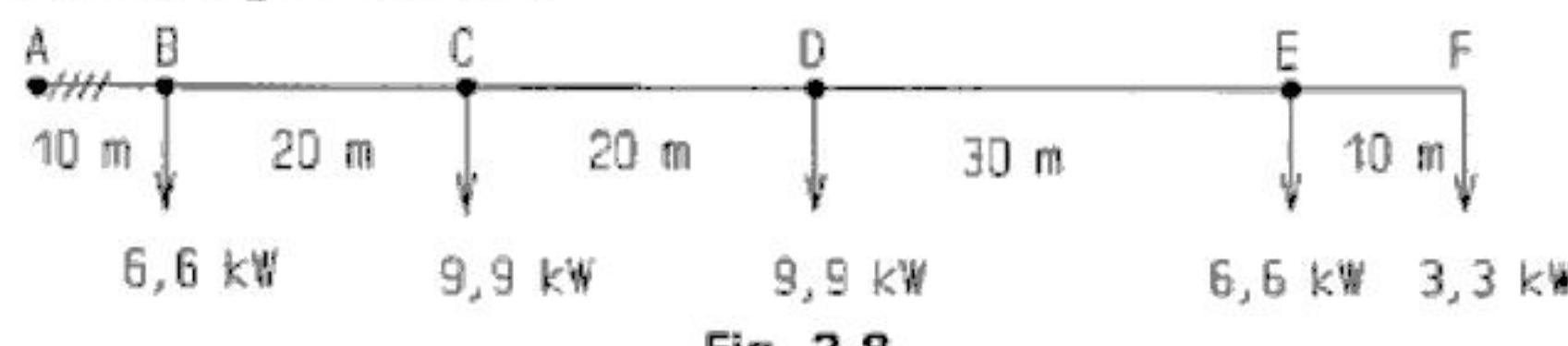


Fig. 2.8

## 2.6. CÁLCULO DE LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN ABIERTAS DE SECCIÓN NO UNIFORME

Con secciones de la línea proporcionales a la intensidad o potencia que soportan se consigue mayor economía que con líneas de sección uniforme. La sección más

económica será aquella que de lugar a un volumen de material mínimo.

En la práctica se divide la línea en tramos que se calculan independientemente, considerando todas las cargas que soporta y su caída de tensión.

La caída de tensión total debe ser la suma de las caídas de tensión parciales, desde el origen al extremo de la línea.

Para una línea de finales ramificados como la de la figura 2.9, la caída de tensión  $u_1$  en el tramo inicial AB, que da lugar a un volumen mínimo, siendo  $u$  la caída de tensión total, se calcula:

$$u_1 = \frac{u}{1 + \sqrt{\frac{C \cdot L_{BC} + D \cdot L_{BD}}{B \cdot L_{AB}}}}$$

Siendo  $B$ ,  $C$  y  $D$  los momentos eléctricos de los tramos AB, BC y BD.

$$B = \sum (LI \cos \varphi)_{AB} \quad C = \sum (LI \cos \varphi)_{BC} \quad D = \sum (LI \cos \varphi)_{BD}$$

#### PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**2.6-1.** En la línea trifásica a 400/230 V, de la figura 2.10, con conductores de cobre, se admite una caída de tensión total del 2%. Calcular:

- Caída de tensión en los tramos AB, BC y BD para un volumen mínimo de cobre.
- Sección teórica del conductor de fase en cada tramo.

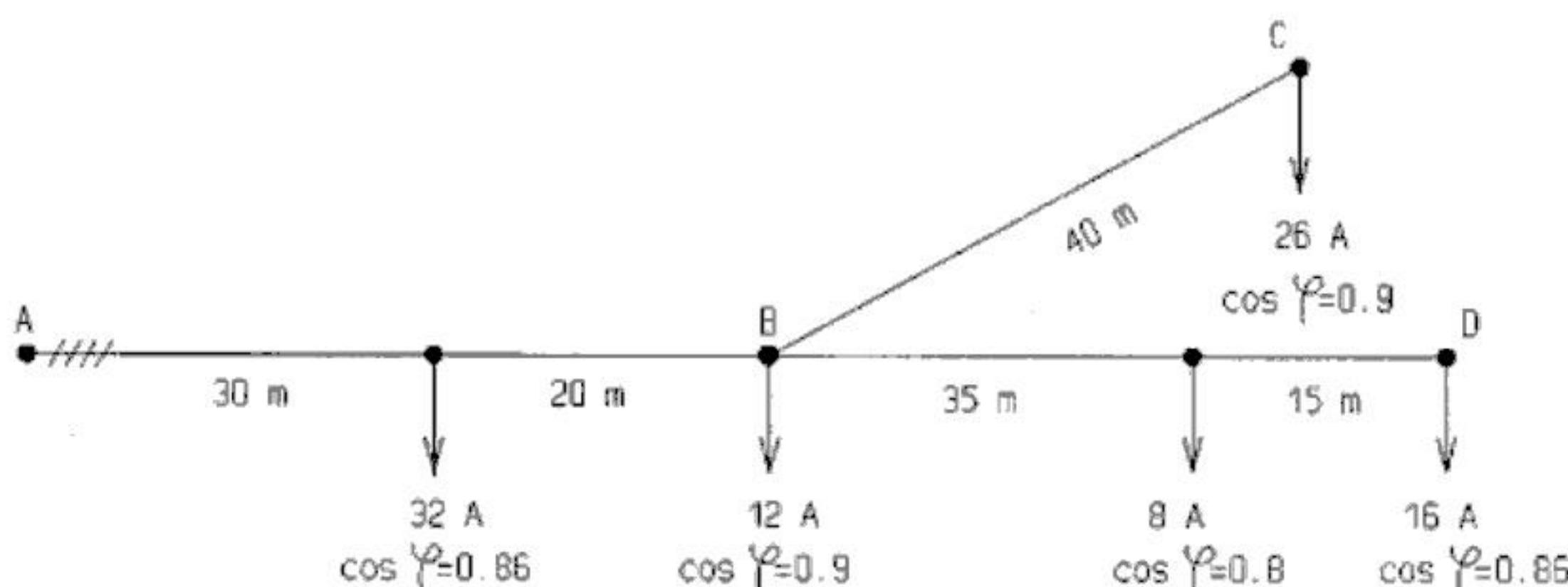


Fig. 2.10

- El momento eléctrico en los distintos tramos, considerando la intensidad de línea.

$$B = \sum (LI \cos \varphi)_{AB} = 30 \cdot 32 \cdot 0.86 + 50 \cdot (12 \cdot 0.9 + 8 \cdot 0.8 + 16 \cdot 0.86 + 26 \cdot 0.9) = 3543.6 \text{ A} \cdot \text{m}$$

$$C = \sum (LI \cos \varphi)_{BC} = 40 \cdot 26 \cdot 0.9 = 936 \text{ A} \cdot \text{m}$$

$$D = \sum (LI \cos \varphi)_{BD} = 35 \cdot 8 \cdot 0.8 + 50 \cdot 16 \cdot 0.86 = 912 \text{ A} \cdot \text{m}$$

La caída de tensión total:  $u = 2 \cdot \frac{400}{100} = 8 \text{ V}$

La caída de tensión en el tramo AB:

$$u_1 = \frac{u}{1 + \sqrt{\frac{C \cdot L_{BC} + D \cdot L_{BD}}{B \cdot L_{AB}}}} = \frac{8}{1 + \sqrt{\frac{40 \cdot 936 + 50 \cdot 912}{50 \cdot 3543,6}}} = 4,75 \text{ V}$$

La caída de tensión en los tramos BC y BD  $u_2 = 8 - 4,75 = 3,25 \text{ V}$

b) La sección en el tramo AB:

$$s_{AB} = \frac{\sqrt{3} \sum (L I_L \cos \varphi)_{AB}}{c u_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 3543,6}{56 \cdot 4,75} = 23,07 \text{ mm}^2$$

La sección en el tramo BC:

$$s_{BC} = \frac{\sqrt{3} \sum (L I_L \cos \varphi)_{BC}}{c u_2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 936}{56 \cdot 3,25} = 8,9 \text{ mm}^2$$

La sección en el tramo BD:

$$s_{BD} = \frac{\sqrt{3} \sum (L I_L \cos \varphi)_{BD}}{c u_2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 912}{56 \cdot 3,25} = 8,68 \text{ mm}^2$$

Es necesario escoger las secciones comerciales más próximas por exceso y comprobar que la intensidad de corriente que circula por cada tramo está permitida por el REBT. Con empleo de estas nuevas secciones las caídas de tensión serán distintas y también el volumen de material conductor.

**2.6-2.** Calcular la caída de tensión y la sección teórica en los tramos AB, BC y BD de la línea monofásica a 230 V de la figura 2.11, con conductores de cobre, para que el volumen de material sea mínimo. La caída de tensión máxima admisible es del 2% y el factor de potencia común para todas las cargas 0,8 inductivo.

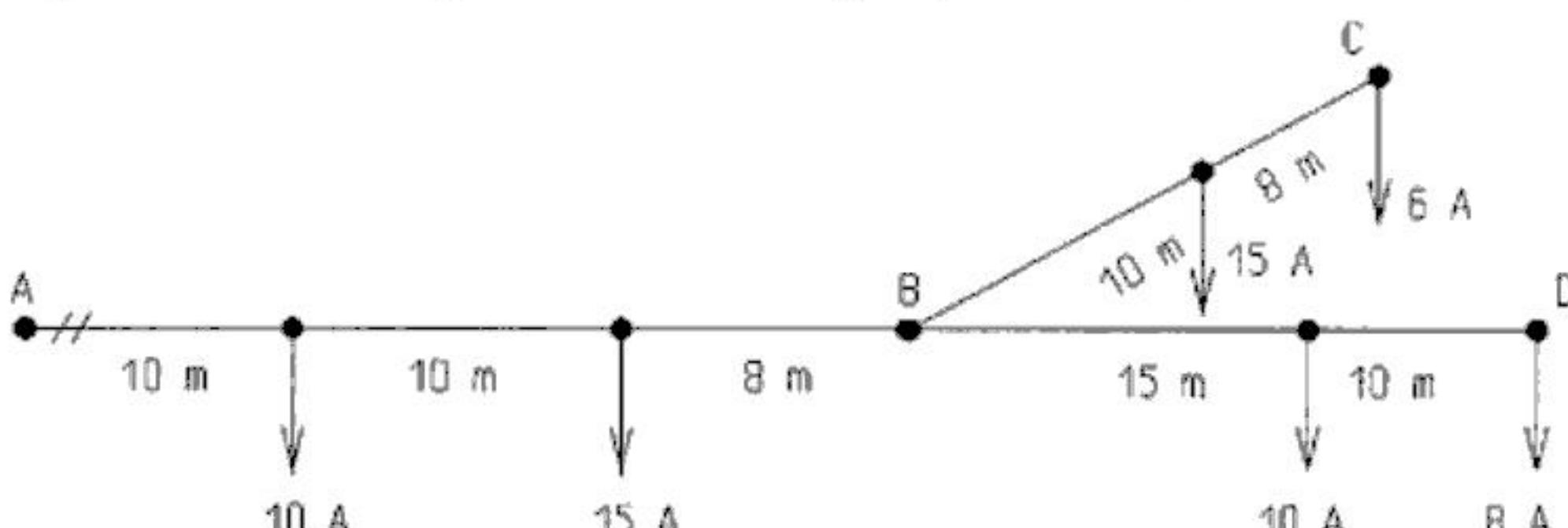


Fig. 2.11

Solución:  $u_1 = 2,94 \text{ V}$ ;  $s_{AB} = 14,5 \text{ mm}^2$ ;  $s_{BC} = 4,44 \text{ mm}^2$ ;  $s_{BD} = 6,02 \text{ mm}^2$

**2.6-3.** La línea trifásica a 400 V, representada en la figura 2.12, se quiere realizar con conductores unipolares de cobre H07V-U, en instalación empotrada en obra bajo tubo. Calcular la sección de los tramos AD, DH y DF, considerando las caídas de tensión porcentuales indicadas y un factor de potencia común a todas las cargas de 0,8.

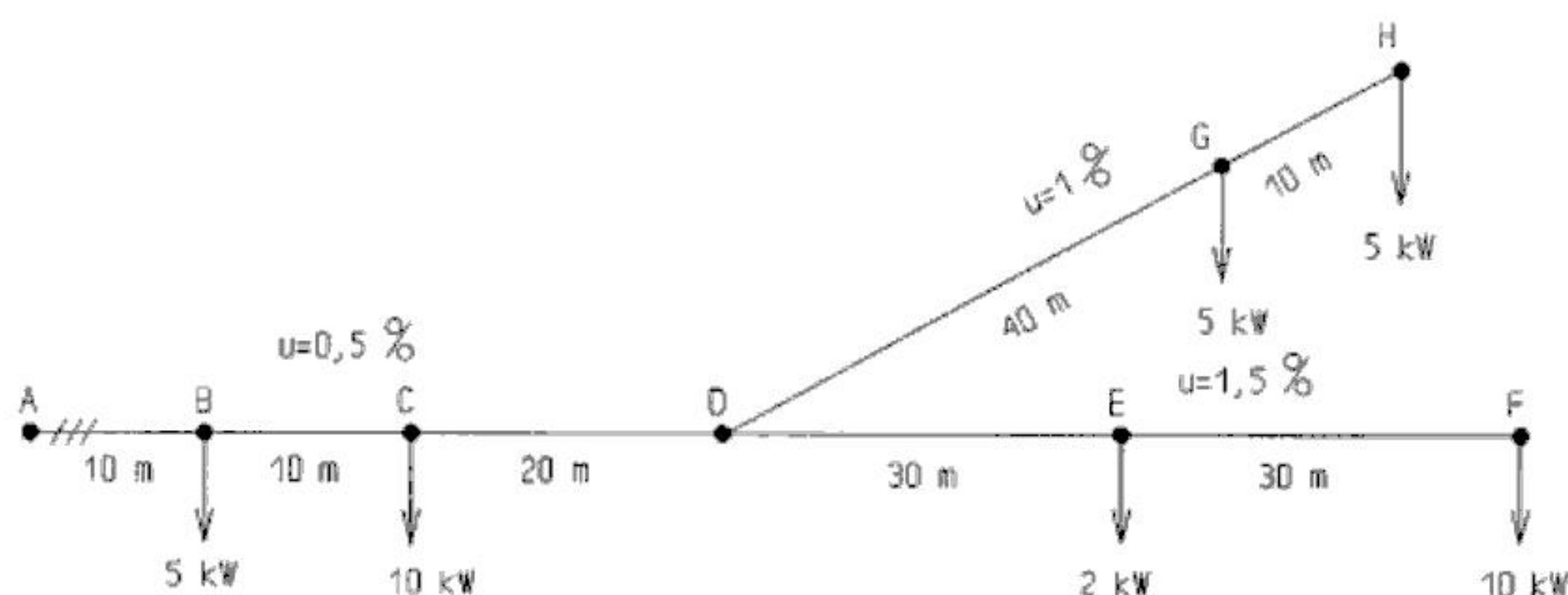


Fig. 2.12

La caída de tensión en el tramo AD:

$$u_1 = \frac{0,5 \cdot 400}{100} = 2 \text{ V}$$

Considerando en el punto D toda la carga conectada a este punto fuera del tramo  $2 + 10 + 5 + 5 = 22 \text{ kW}$ .

$$\text{La sección } s_1 = \frac{\sum (LP)_1}{cu_1 V_L} = \frac{10 \cdot 5000 + 20 \cdot 10000 + 40 \cdot 22000}{56 \cdot 2 \cdot 400} = 25,22 \text{ mm}^2$$

Según la instrucción ITC-BT-19 la sección normalizada inmediatamente superior es de  $35 \text{ mm}^2$ , que admite, a la temperatura ambiente de  $40^\circ\text{C}$ , la intensidad de 96 A (tabla 2.10 del libro).

Las intensidad que circula por el tramo AB es la intensidad total

$$I_{L1} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\varphi} = \frac{(5 + 10 + 22) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 66,76 \text{ A}$$

Esta intensidad es menor que la permitida por el conductor de  $35 \text{ mm}^2$ , por lo que se elige para el tramo AD esta sección.

$$\text{La caída de tensión en el tramo DH } u_2 = \frac{1 \cdot 400}{100} = 4 \text{ V}$$

$$\text{La sección } s_2 = \frac{\sum (LP)_2}{cu_2 V_L} = \frac{40 \cdot 5000 + 50 \cdot 5000}{56 \cdot 4 \cdot 400} = 5,02 \text{ mm}^2$$

Según el REBT instrucción ITC-BT-19, la sección normalizada inmediatamente superior es de  $6 \text{ mm}^2$  que admite una intensidad de 32 A (tabla 2.10 del libro).

Las intensidad que circula por el tramo DG es la intensidad total de la derivación DH.

$$I_{L2} = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\varphi} = \frac{(5 + 5) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 18 \text{ A}$$

Esta intensidad es menor que la permitida por el conductor de  $6 \text{ mm}^2$  por lo que se elige para el tramo DH esta sección.

$$\text{La caída de tensión en el tramo DF } u_3 = \frac{1,5 \cdot 400}{100} = 6 \text{ V}$$

$$\text{La sección } s_3 = \frac{\sum (LP)_3}{cu_3 V_L} = \frac{30 \cdot 2\,000 + 60 \cdot 10\,000}{56 \cdot 6 \cdot 400} = 4,91 \text{ mm}^2$$

Según el REBT instrucción ITC-BT-19, la sección normalizada inmediatamente superior es de  $6 \text{ mm}^2$  que admite una intensidad de 32 A (tabla 2.10 del libro).

Las intensidad por el tramo DE es la intensidad total de la derivación DF.

$$I_{L3} = \frac{P_3}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\varphi} = \frac{(2+10) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 21,65 \text{ A}$$

Esta intensidad es menor que la permitida por el conductor de  $6 \text{ mm}^2$  por lo que se elige para el tramo DF esta sección.

**2.6-4.** La línea monofásica, representada en la figura 2.13, está formada por un cable, con dos conductores de cobre, aislados con polietileno reticulado en instalación superficial. La tensión es de 230 V y las secciones están indicadas. Calcular la caída de tensión en los tramos AD, DG y DF.

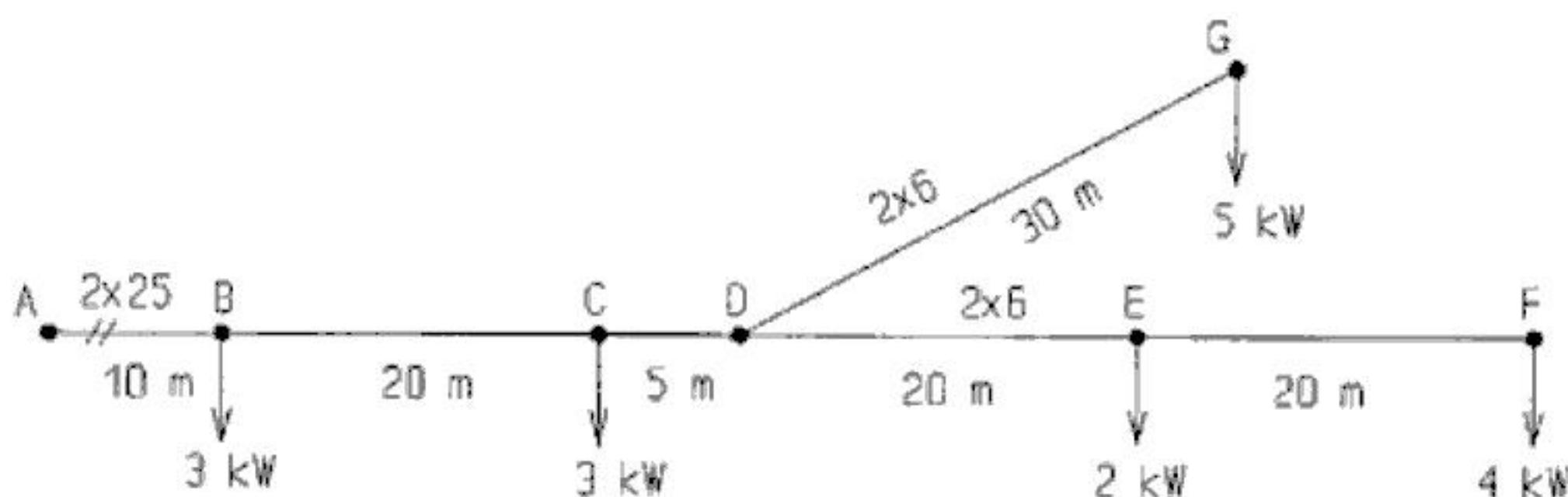


Fig. 2.13

Solución:  $u_{AD}=1,36\%$ ;  $u_{DG}=1,69\%$ ;  $u_{DF}=2,25\%$

**2.6-5.** Una línea de distribución en BT está formada por conductores de aluminio trenzados en haz, con las secciones y disposición indicada en la figura 2.14. Calcular las caídas de tensión en los distintos tramos y la máxima caída de tensión. Tensión de alimentación 380/220 V.

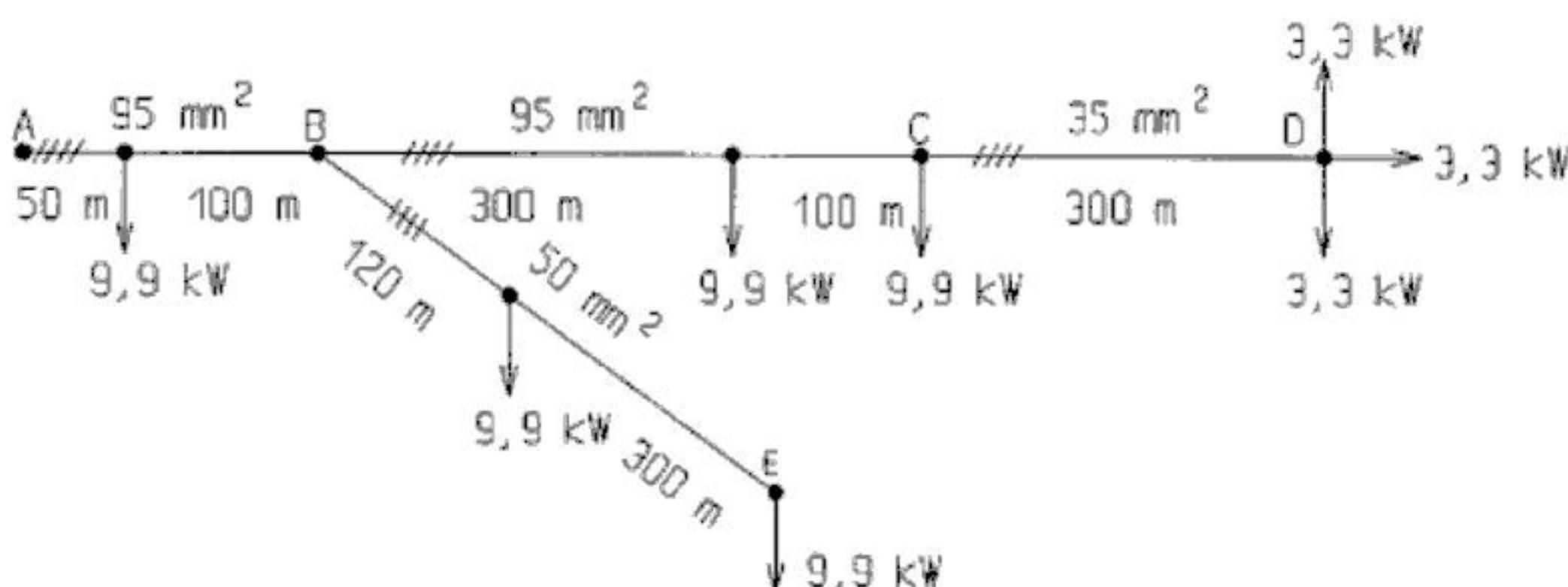


Fig. 2.14

Solución:  $u_{AB}=1,65\%$ ;  $u_{BC}=2,27\%$ ;  $u_{CD}=1,68\%$ ;  $u_{BE}=2,12\%$ ;  $u_{AD}=5,6\%$



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

La intensidad que circula por el tramo AB es la total de la derivación AC.

$$I_{L1} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\varphi} = \frac{(16 + 28) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 79,39 \text{ A}$$

Las intensidad por el tramo A'E es la intensidad total de la derivación A'C.

$$I_{L2} = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos\varphi} = \frac{(40 + 20 + 4) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 115,5 \text{ A}$$

Esta intensidad es mayor que la permitida por el conductor de  $35 \text{ mm}^2$  por lo que se elige el conductor de sección  $50 \text{ mm}^2$ , que según el REBT instrucción ITC-BT-19 y norma UNE 20460, admite a la temperatura de  $40^\circ\text{C}$ , 133 A (tabla 2.10).

La sección de los conductores activos o de fase de la línea es de  $50 \text{ mm}^2$ . La sección del conductor neutro será como mínimo igual a la de las fases, si no se justifica por cálculo la ausencia de corrientes armónicas debidas a cargas no lineales o posibles desequilibrios (ITC-BT-19).

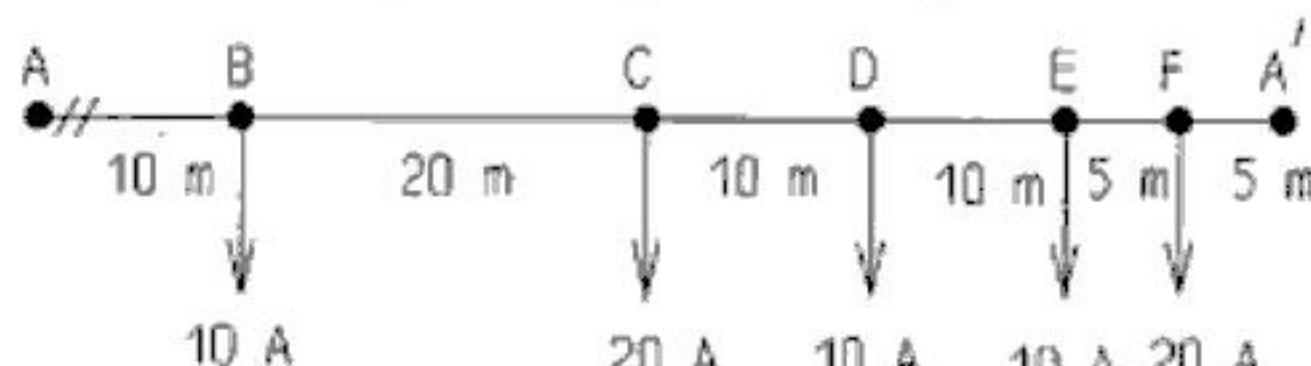


Fig. 2.19

**2.7-2.** Calcular la sección de la línea monofásica representada en la figura 2.19, con conductores de cobre unipolares HO7V-K, en instalación bajo tubo empotrado en obra. Tensión 230 V y caída de tensión máxima admisible 1,5%. Se considera un factor de potencia común para todas las cargas de 0,8 inductivo.

Solución:  $10 \text{ mm}^2$

**2.7-3.** Si la línea trifásica representada en la figura 2.20, es de aluminio, de sección  $25 \text{ mm}^2$ . Calcular la caída de tensión, sabiendo que la tensión de alimentación es de 400 V.

Solución: 0,44%

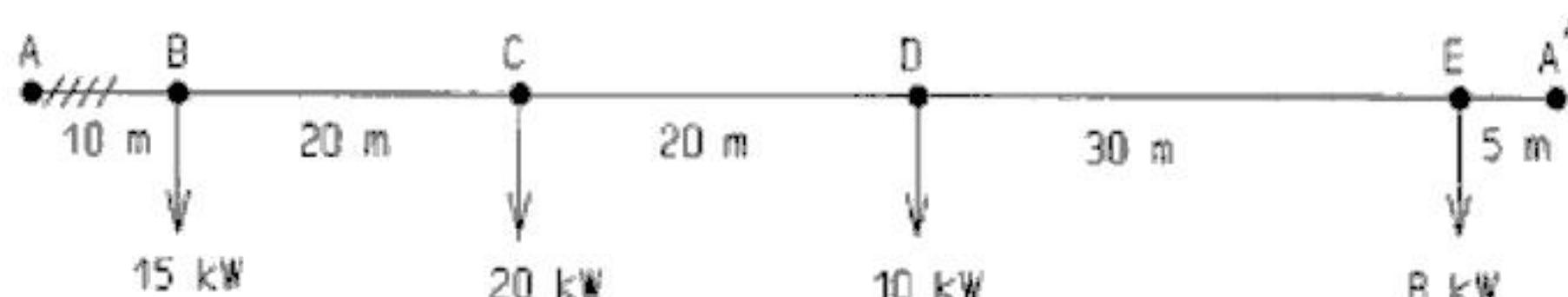


Fig. 2.20

## 2.8. CÁLCULO DE LÍNEAS CERRADAS EN ANILLO

Estas líneas cerradas pueden suponerse abiertas en el punto de alimentación. Así se pueden considerar como líneas abiertas alimentadas por los dos extremos a la misma tensión.

### PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**2.8-1.** La línea trifásica cerrada representada en la figura 2.21, está formada por conductores de cobre, tiene de sección  $35 \text{ mm}^2$ . La tensión de la línea es de 400 V.

Calcular la caída de tensión.

Se considera la línea abierta en el punto A.

Se calcula la carga que soporta cada extremo en función de la potencia que consumen los receptores. La carga en el sentido de A a D se denomina  $P_{A'}$  y la carga en el sentido de A a B se denomina  $P_A$ :

$$P_{A'} = \frac{\sum (LP)}{L} = \frac{40 \cdot 15\,000 + 100 \cdot 16\,000 + 140 \cdot 10\,000}{200} = 18\,000 \text{ W} = 18 \text{ kW}$$

$$P_A = \sum P - P_{A'} = 41 - 18 = 23 \text{ kW}$$

El punto de mínima tensión es C, que recibirá en el sentido de A a D una potencia de 8 kW y en el sentido de A a B una potencia de 8 kW.

Considerando uno de los tramos abiertos en que queda dividida la línea teniendo en cuenta en ella toda la caída de tensión. Si se escoge el tramo ABC.

$$\text{La sección } s = \frac{\sum (LP)}{cu V_L}$$

$$\text{La caída de tensión } u = \frac{\sum (LP)}{cs V_L} = \frac{40 \cdot 15\,000 + 100 \cdot 8\,000}{56 \cdot 35 \cdot 400} = 1,79 \text{ V}$$

$$\text{En tanto por cien } u = \frac{1,79 \cdot 100}{400} = 0,45\%$$

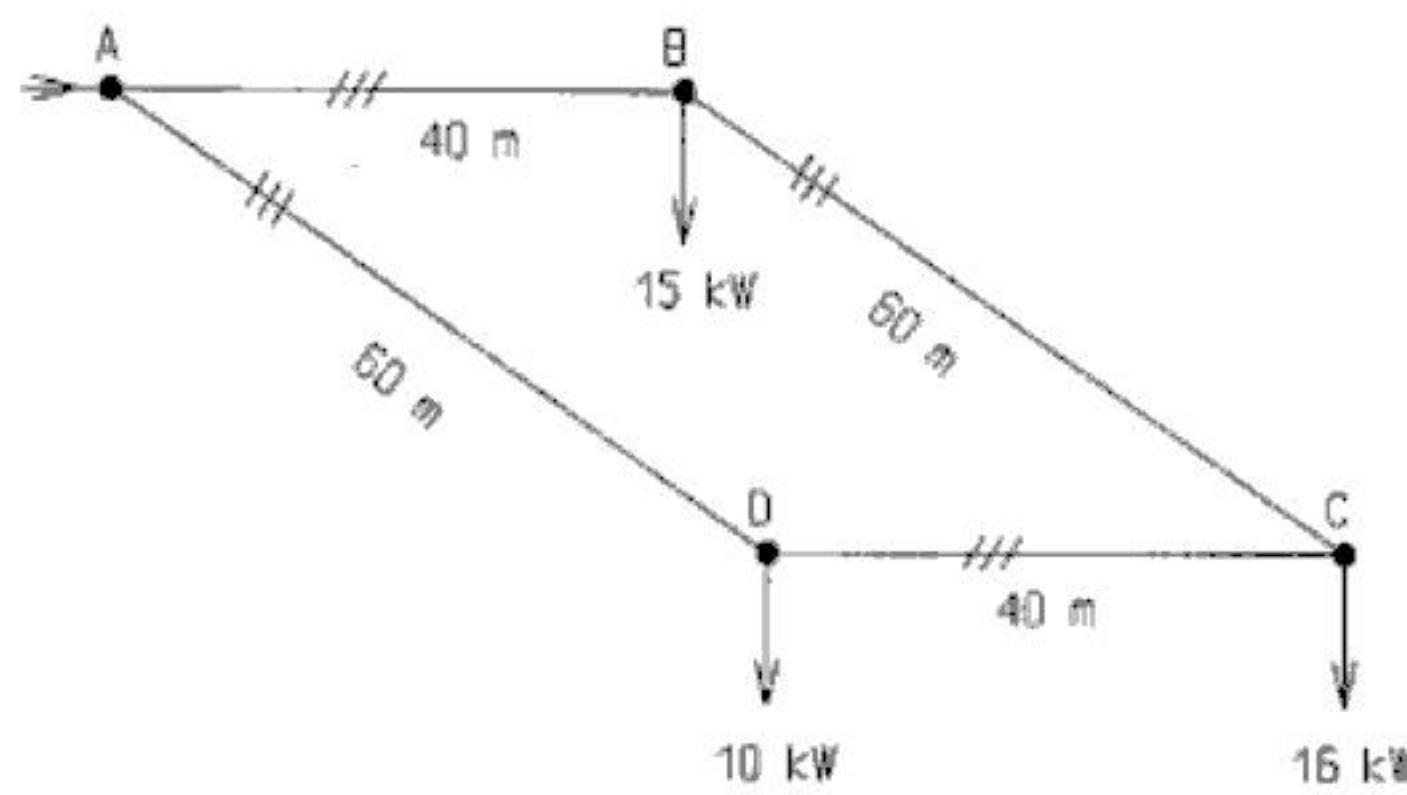


Fig. 2.21

**2.8-2.** Calcular la sección de la línea trifásica cerrada representada en la figura 2.22. Los conductores son de aluminio, cable RZ en instalación aérea tensada con neutro fiador. La tensión de línea es 400 V y la caída de tensión máxima 1,5%. Se considera la unidad como factor de potencia común para todas las cargas.

Solución: 25 mm<sup>2</sup>

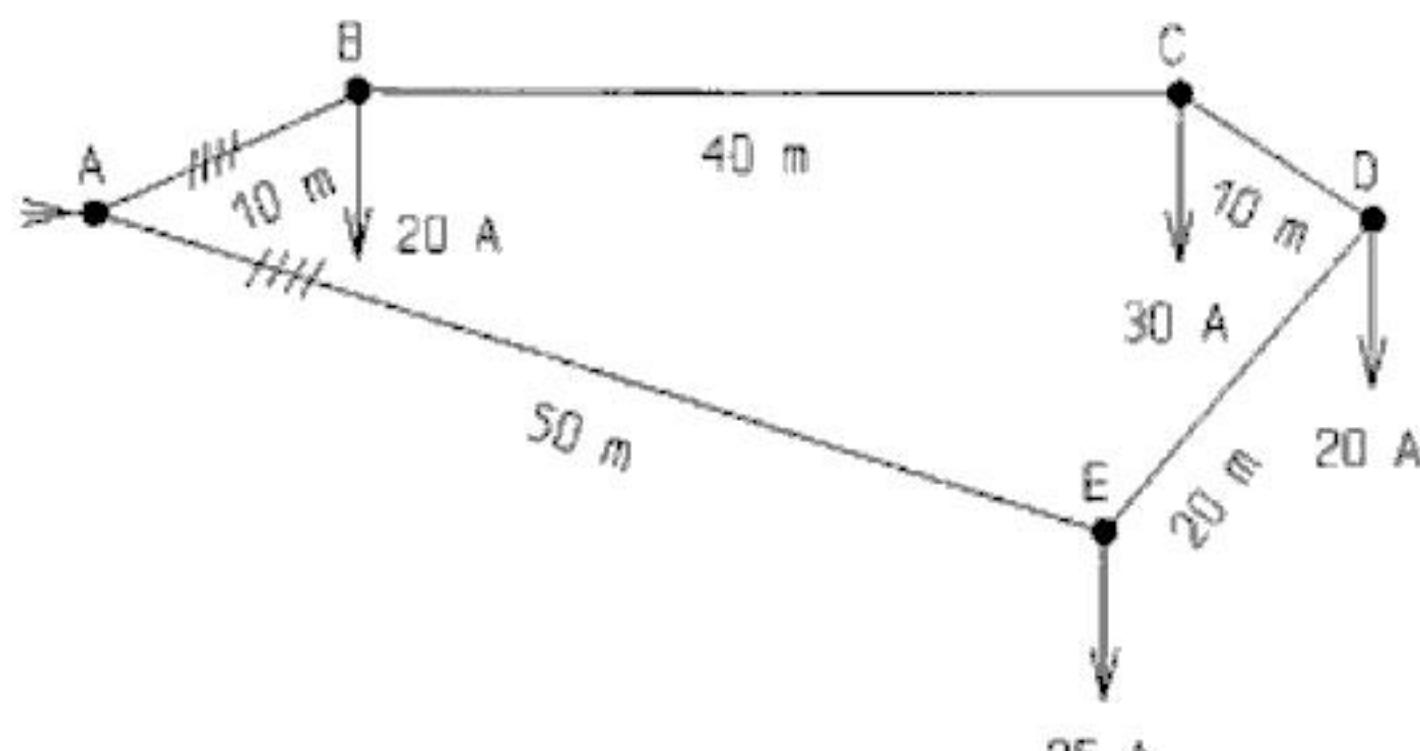


Fig. 2.22

## 2.9. CÁLCULO DE LÍNEAS DE B.T. POR MEDIO DE ÁBACOS

La sección de una línea monofásica con la caída de tensión en tanto por cien  $u\%$  es:

$$s = \frac{2 \cdot 100 LP}{c V^2 u \%}$$

## DEMOSTRACIÓN

$$\text{La caída de tensión } u = \frac{V \cdot u \%}{100}$$

$$\text{Sustituyendo en la fórmula de la sección } s = \frac{2LP}{cuV} = \frac{2 \cdot 100LP}{cu\% V^2}$$

$$\text{La caída de tensión porcentual } u \% = \frac{200LP}{cV^2s}$$

$$\text{Si la longitud se expresa en km y la potencia en kW } u \% = \frac{200 \cdot 10^6 LP}{cV^2s}$$

La expresión  $k = \frac{2 \cdot 10^8}{cV^2}$  es constante para una tensión y un material conductor.

Al producto  $LP$  se le llama momento eléctrico.

$$\text{La caída de tensión } u \% = \frac{2 \cdot 10^8}{cV^2} \cdot \frac{LP}{s} = k \frac{LP}{s}$$

Para una determinada tensión, si en un eje de coordenadas marcamos los momentos y en el otro las caídas de tensión, se obtiene un gráfico o ábaco, con una recta para cada sección (fig. 2.23).

Análogamente para una línea trifásica:

$$u \% = \frac{100 \cdot 10^6}{cV_L^2} \cdot \frac{LP}{s} = \frac{10^8}{cV_L^2} \cdot \frac{LP}{s}$$

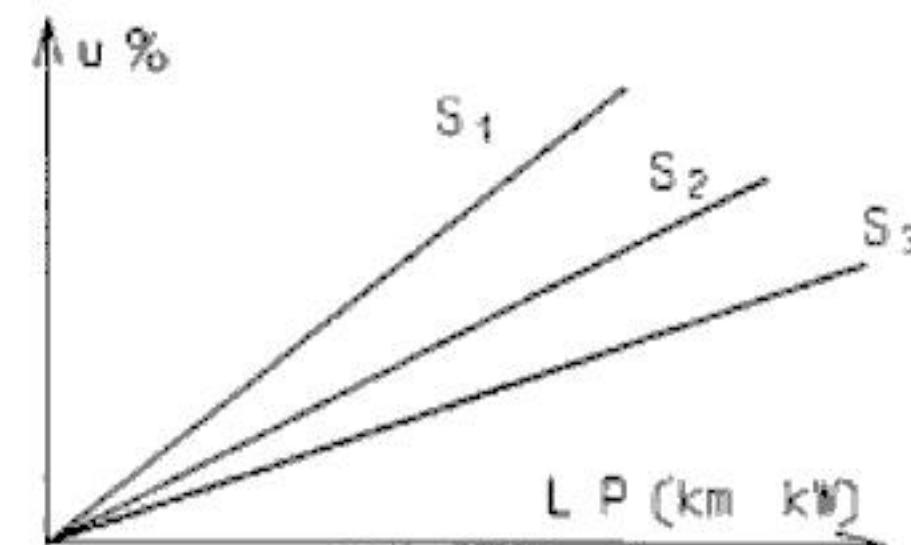


Fig. 2.23

## PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**2.9-1.** Calcular por qué punto del ábaco de momentos pasará la recta que representa el momento eléctrico en función de la caída de tensión para una línea trifásica de aluminio de sección  $50 \text{ mm}^2$ ,  $400 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ , considerando una caída de tensión del  $3\%$ . El ábaco tiene en el eje horizontal los momentos en  $\text{km} \cdot \text{kW}$  y el eje vertical las caídas de tensión en tanto por cien.

$$\text{La caída de tensión } u \% = \frac{10^8}{cV_L^2} \cdot \frac{LP}{s}$$

$$\text{El momento eléctrico } LP = u \% \cdot s \cdot \frac{c \cdot V_L^2}{10^8} = \frac{3 \cdot 50 \cdot 35 \cdot 400^2}{10^8} = 8,4 \text{ km} \cdot \text{kW}$$

La línea pasará por el origen y por el punto:  $LP = 8,4 \text{ km} \cdot \text{kW}$  y  $u = 3\%$ .

**2.9-2.** Calcular para qué momento eléctrico una línea monofásica de cobre, de tensión  $230 \text{ V}$  y sección  $16 \text{ mm}^2$  tiene una caída de tensión del  $2\%$ .

Solución:  $0,47 \text{ km} \cdot \text{kW}$

## 2.10. CÁLCULO DE LÍNEAS DE CORRIENTE CONTINUA

El cálculo de la sección en las líneas bifilares (a dos hilos) de corriente continua puede realizarse con las mismas expresiones que para las líneas monofásicas de corriente alterna, teniendo en cuenta que las cargas serían sólo resistivas, por no existir en corriente continua reactancia.

### PROBLEMAS DE APLICACIÓN

- 2.10-1.** Calcular la sección teórica de la línea bifilar de corriente continua de sección uniforme representada en la figura 2.24. El conductor es de cobre, la tensión es 220 V y la caída de tensión admisible el 2%.

La caída de tensión en la línea:

$$u = \frac{2 \cdot 220}{100} = 4,4 \text{ V}$$

$$\text{La sección del conductor } s = \frac{2 \sum (LP)}{cuV}$$

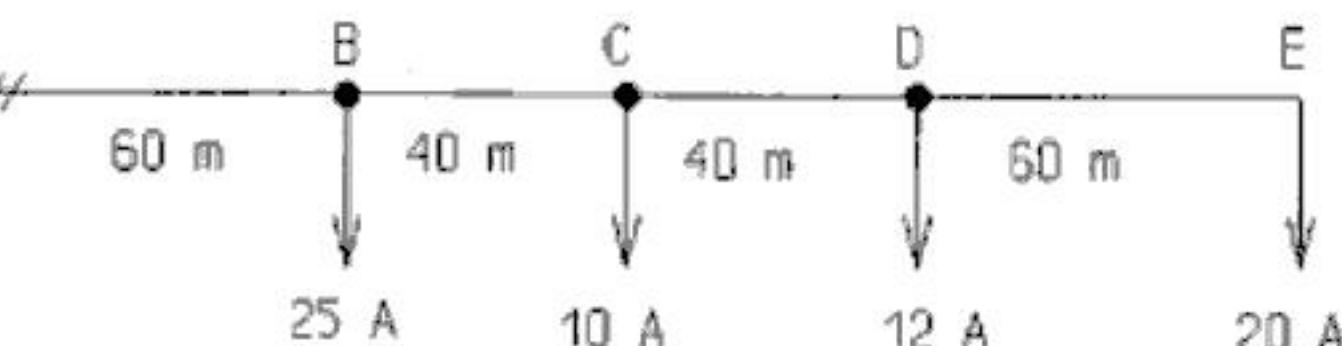
$$5000 \cdot 60 = 300000$$

$$2000 \cdot 140 = 280000$$

$$190 \cdot 5000 = 950000 \text{ m} \cdot \text{W}$$

$$1530000$$

$$\text{La sección } s = \frac{2 \sum (LP)}{cuV} = \frac{2 \cdot 1530000}{56 \cdot 4,4 \cdot 220} = 56,45 \text{ mm}^2$$



- 2.10-2.** Calcular la sección de los conductores de una línea bifilar de corriente continua de 220 V y longitud 40 m, con una caída de tensión del 1% y que alimenta un receptor que consume 40 A. Los conductores son de cobre.

Solución: 25,97 mm<sup>2</sup>

- 2.10-3.** Calcular la caída de tensión en la línea bifilar de corriente continua de la figura 2.25. La tensión nominal es 220 V y el conductor es de cobre con sección 35 mm<sup>2</sup>.

Solución: 3,8%

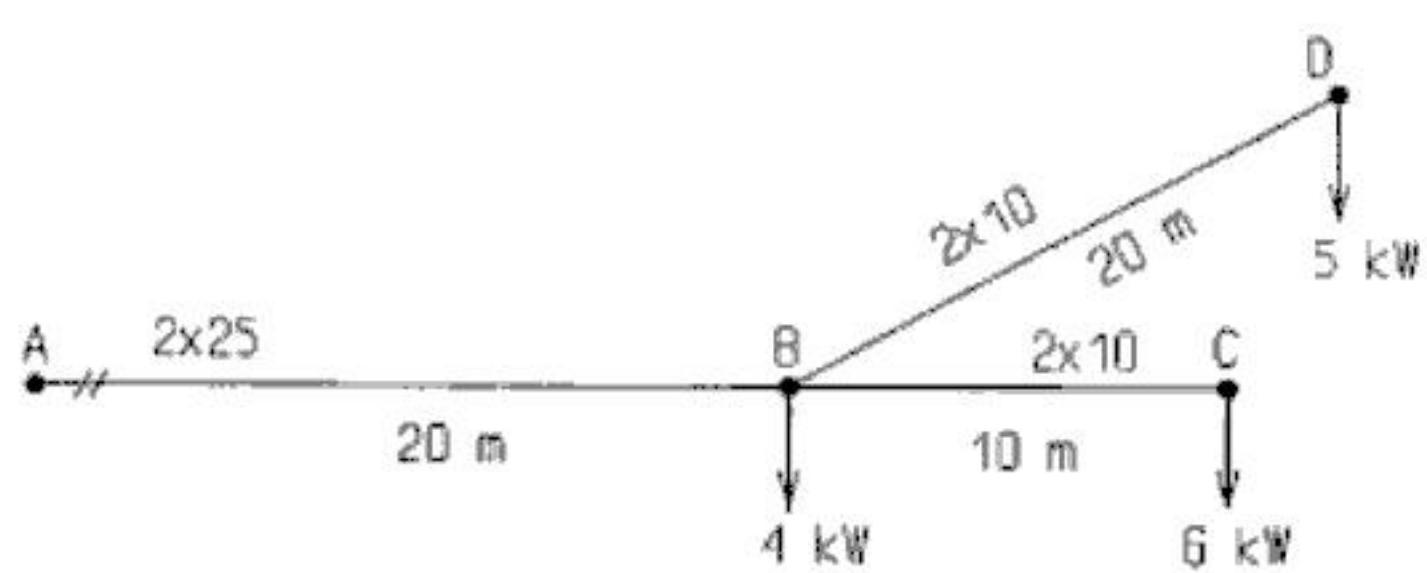


Fig. 2.25

- 2.10-4.** Calcular la caída de tensión en los tramos AB, BC y BD de la línea de corriente continua indicada en la figura 2.26, con las secciones indicadas. El conductor es de cobre y la tensión 220 V.

Solución: a)  $u_{AB} = 0,89$ ;  $u_{BC} = 0,44\%$ ;  $u_{BD} = 0,74\%$

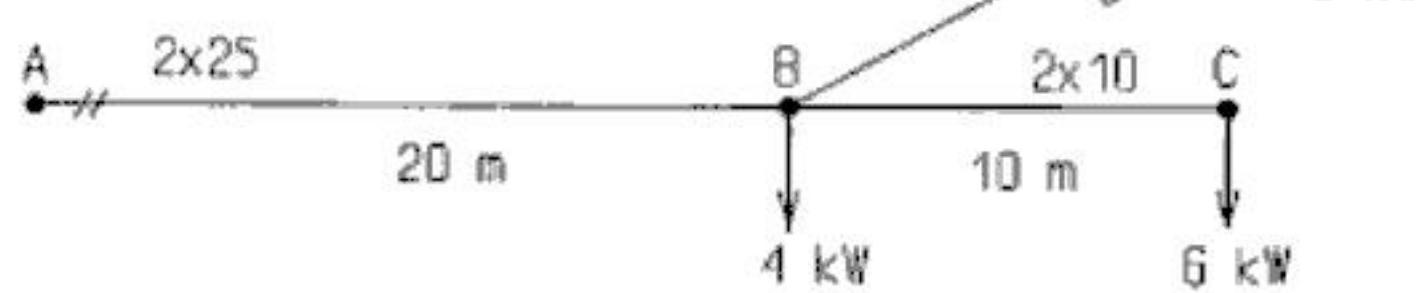


Fig. 2.26

**2.10-5.** Calcular la caída de tensión en los tramos AB, BC y BD de la línea de distribución bifilar de corriente continua con las cargas, longitudes y secciones que indica la figura 2.27. Los conductores son de cobre y la tensión de alimentación 220 V.

Solución: a)  $u_{AB} = 2,35\%$ ;  $u_{BC} = 3,04\%$   
 $u_{BD} = 3,57\%$

**2.10-6.** Calcular la caída de tensión en la línea bifilar de corriente continua representada en la figura 2.28, con conductores de cobre de sección  $25 \text{ mm}^2$ . Tensión 220 V.

Solución: 2,36%

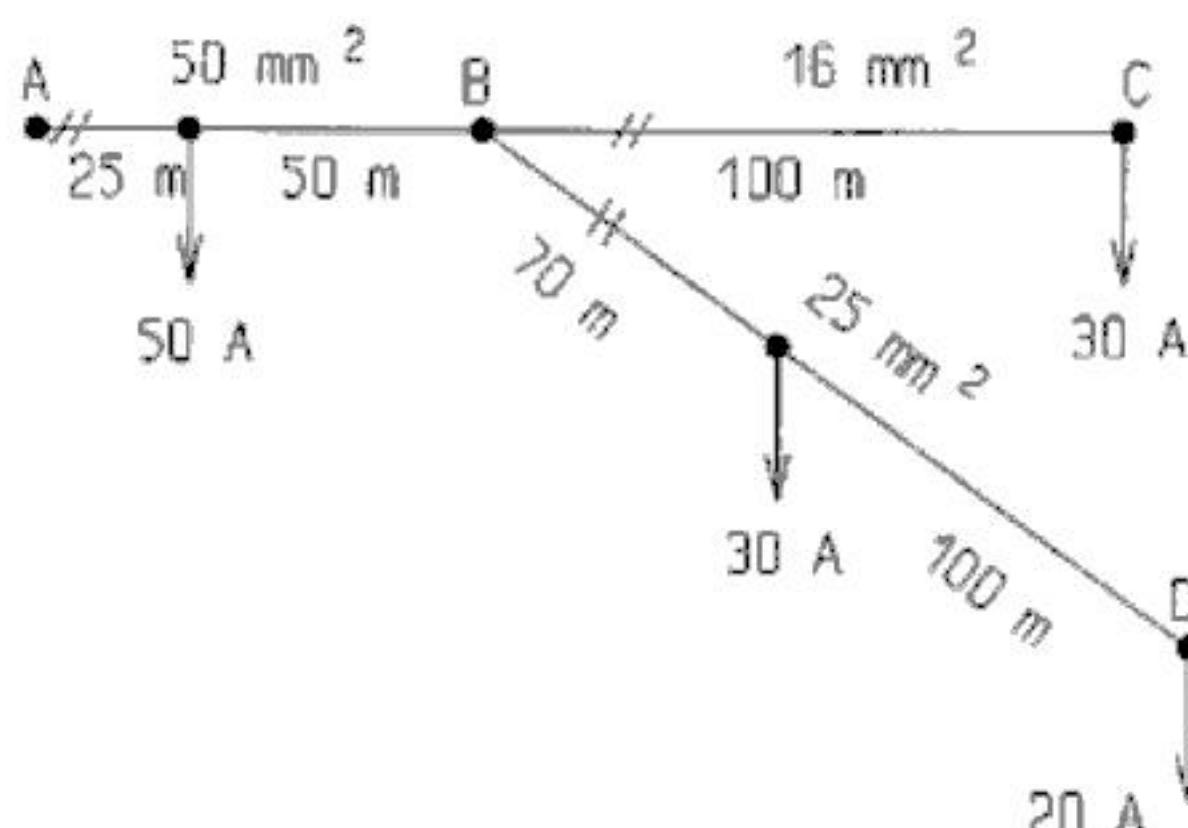


Fig. 2.27

## 2.11. CÁLCULO ELÉCTRICO DE LÍNEAS DE MEDIA TENSIÓN

En el cálculo de la sección de los conductores se consideran tres criterios:

- 1) *Calentamiento del conductor.* El cálculo de la sección por este criterio se basa en las tablas facilitadas por el fabricante de conductor que indica la intensidad admisible en régimen permanente según determinadas condiciones y factores de corrección para condiciones distintas.
- 2) *Caída de tensión en el conductor.* En el cálculo de la caída de tensión en las líneas de M.T. se tienen en cuenta:
  - *Resistencia eléctrica de los conductores.* Generalmente se considera como resistencia longitudinal ( $\Omega/\text{km}$ ).
  - *Reactancia inductiva de los conductores.* La intensidad de corriente alterna que recorre los conductores, produce un flujo magnético alterno, que origina en ellos fuerzas electromotrices de autoinducción. Se suelen considerar valores longitudinales de autoinducción ( $\text{H}/\text{km}$ ) o reactancia ( $\Omega/\text{km}$ ).

Entre los conductores de la línea o entre un conductor y su pantalla (cables unipolares con pantalla) se produce el efecto de capacidad, que en las líneas de B.T. y en las de M.T. suele despreciarse para el cálculo de la caída de tensión.

- 3) *Capacidad del conductor para soportar la corriente de cortocircuito.* La intensidad de cortocircuito es varias veces superior a la intensidad de corriente en funcionamiento normal y aunque el tiempo de actuación de las protecciones es pequeño, el calentamiento puede ser excesivo para el conductor. El fabricante suministra tablas o gráficos de intensidad de cortocircuito admisible en los conductores en función de su sección, del aislamiento, incremento de la temperatura admisible y tiempo de duración del cortocircuito.

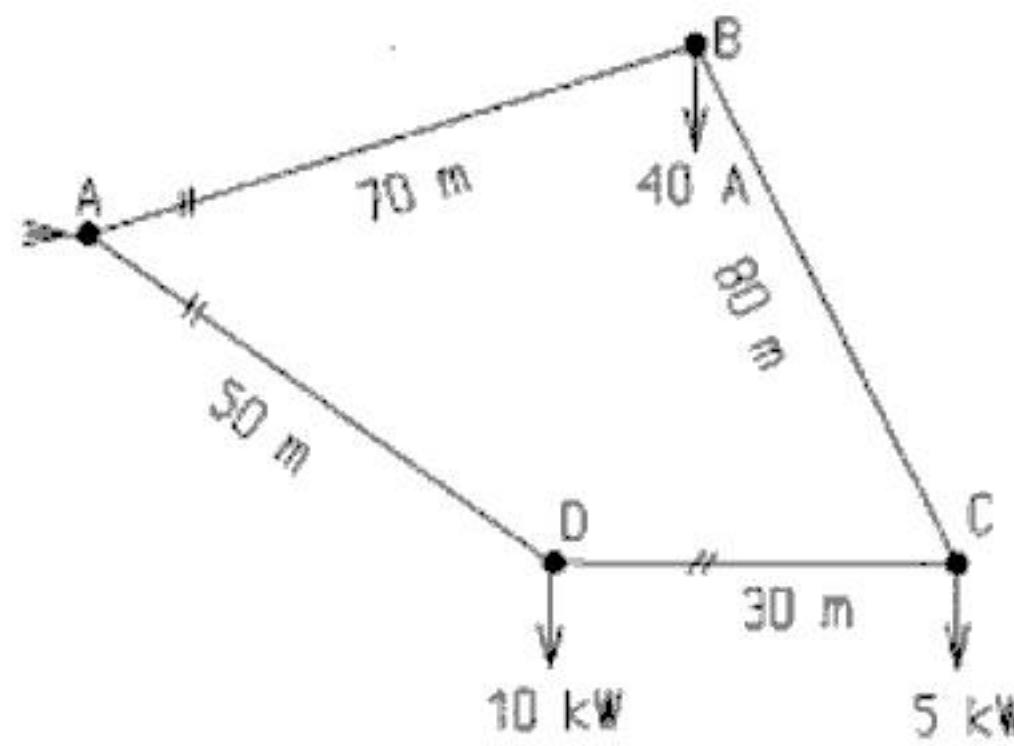


Fig. 2.28



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### DEMOSTRACIÓN

En el diagrama vectorial del circuito equivalente (fig. 2.30) se representa la ecuación vectorial del circuito.

$$V_1 = V_2 + R_L I + X_L I$$

La caída de tensión

$$u = V_1 - V_2 = DF = DE + EF = R_L I \cos \varphi + X_L I \sin \varphi$$

Utilizando los valores  $R$  y  $X$  de resistencia y reactancia longitudinales

$$u = R L I \cos \varphi + X L I \sin \varphi = I L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

En la línea trifásica equilibrada, con valores de línea  $u = \sqrt{3} I L (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$

Sustituyendo el valor de la intensidad de línea en función de la potencia:

$$u = \frac{PL}{V_L \cos \varphi} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = \frac{PL}{V_L} (R + X \operatorname{tg} \varphi)$$

$u$ : Caída de tensión compuesta o de línea (V).

La caída de tensión en tanto por ciento de la tensión de línea:

$$u\% = \frac{PL}{10V_L^2} (R + X \operatorname{tg} \varphi)$$

$u\%$ : Caída de tensión en tanto por ciento de la tensión de línea (V).

$P$ : Potencia activa a transportar (kW).

$V_L$ : Tensión de línea (kV).

$L$ : Longitud de la línea (km).

$R$ : Resistencia del conductor ( $\Omega/\text{km}$ ).

$X$ : Reactancia del conductor ( $\Omega/\text{km}$ ),

$\cos \varphi$ : Factor de potencia de la línea.

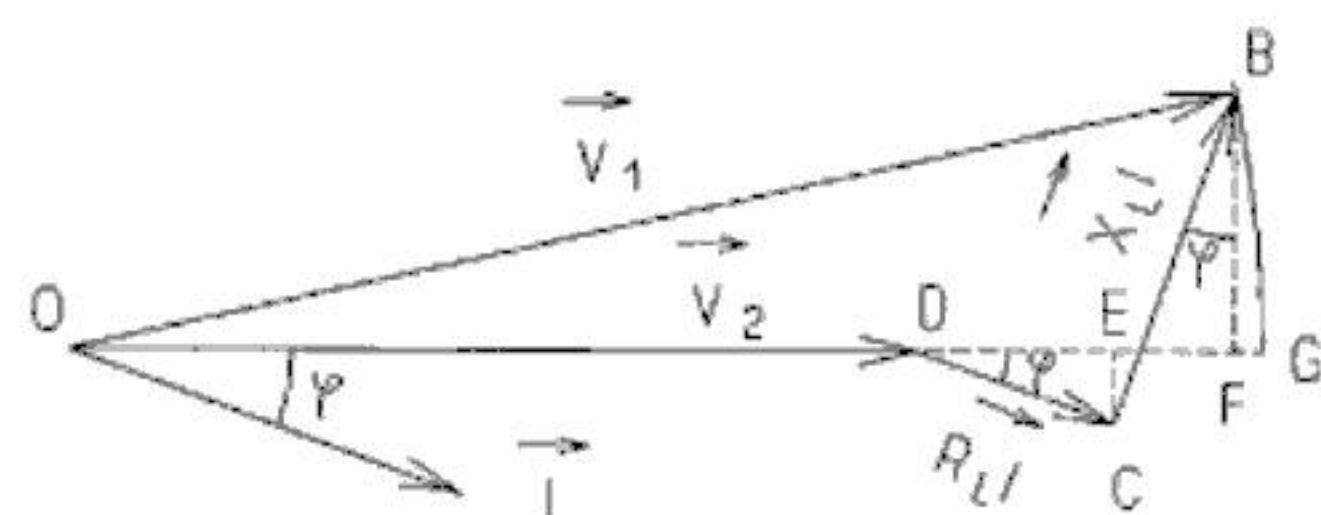


Fig. 2.30

### DEMOSTRACIÓN

La caída de tensión porcentual de la tensión de línea:

$$u\% = \frac{100 \cdot u}{V_L} = \frac{100 \cdot LP}{V_L^2} (R + X \operatorname{tg} \varphi)$$

Si la potencia se expresa en kW y la tensión en kV:

$$u\% = \frac{100 \cdot L \cdot 1000 \cdot P}{(1000 \cdot V_L)^2} (R + X \operatorname{tg} \varphi) = \frac{LP}{10V_L^2} (R + X \operatorname{tg} \varphi)$$

Mediante esta ecuación se obtienen gráficos o ábacos para calcular la caída de tensión en función del momento eléctrico  $LP$ , para diferentes valores de tensión, conductor y factor de potencia.

La caída de tensión, según el Real Decreto 1955/2000, sobre actividades de transporte, distribución, comercialización y autorización de instalaciones eléctricas, en la líneas de suministro de energía no debe sobrepasar el 7% de la tensión nominal.

## PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**2.12-1.** Una instalación que consume 1 MW, con un factor de potencia 0,86 se alimenta mediante una línea trifásica de 6 kV, 50 Hz, con cables unipolares de cobre, sección 70 mm<sup>2</sup>, aislados con XLPE, de longitud 400 m. Calcular la caída de tensión en el conductor, sabiendo que la resistencia longitudinal es de 0,4 Ω/km a la temperatura de trabajo de 90 °C y la reactancia longitudinal 0,1 Ω/km. Dibujar el ábaco de momentos para este conductor.

La tangente del ángulo de desfase entre tensión e intensidad de fase

$$\cos \varphi = 0,86; \quad \varphi = 30,68^\circ; \quad \operatorname{tg} \varphi = 0,593$$

La caída de tensión:

$$u \% = \frac{LP}{10V_L^2} (R + X \operatorname{tg} \varphi)$$

$$u = \frac{1000 \cdot 0,4}{10 \cdot 6^2} (0,4 + 0,1 \cdot 0,593) = 0,51\%$$

La recta que representa a este conductor en el ábaco de momentos se indica en la figura 2.31.

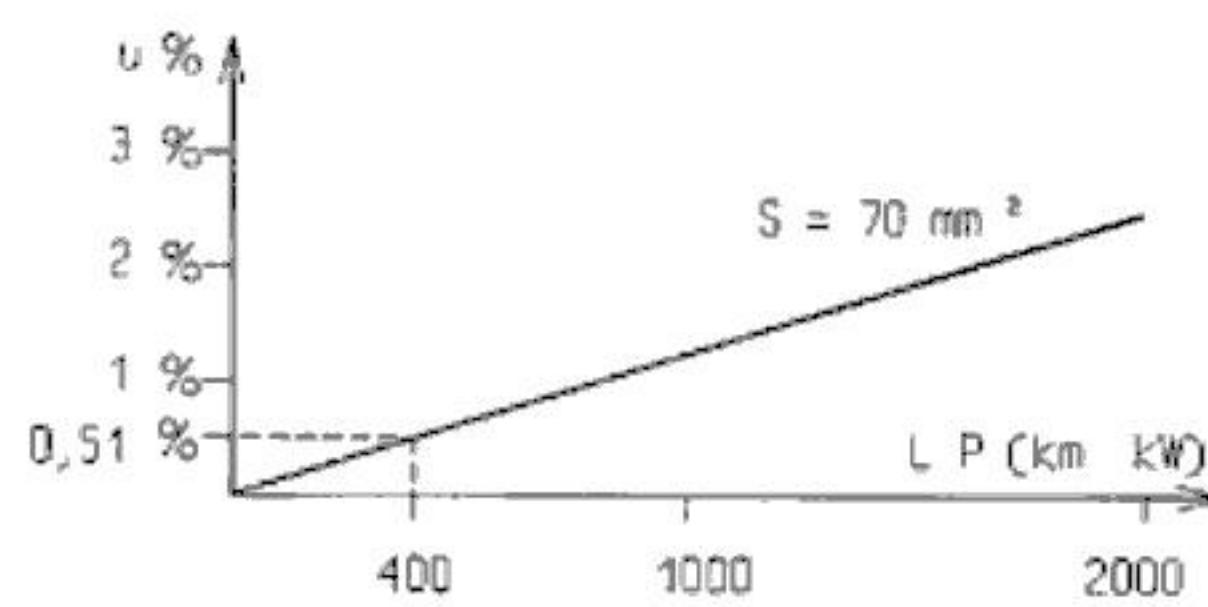


Fig. 2.31

**2.12-2.** Calcular la longitud máxima de una línea, con cables unipolares de aluminio, de sección 70 mm<sup>2</sup>, aislado con XLPE, 12/20 kV, que alimenta una instalación trifásica a 20 kV, 50 Hz, de consumo 4 MW, con factor de potencia 0,8 inductivo; para que la caída de tensión no sobrepase el 1%. La resistencia longitudinal de cable a la máxima temperatura de trabajo de 90 °C es de 0,57 Ω/km y la reactancia 0,13 Ω/km.

Solución: 1,5 km

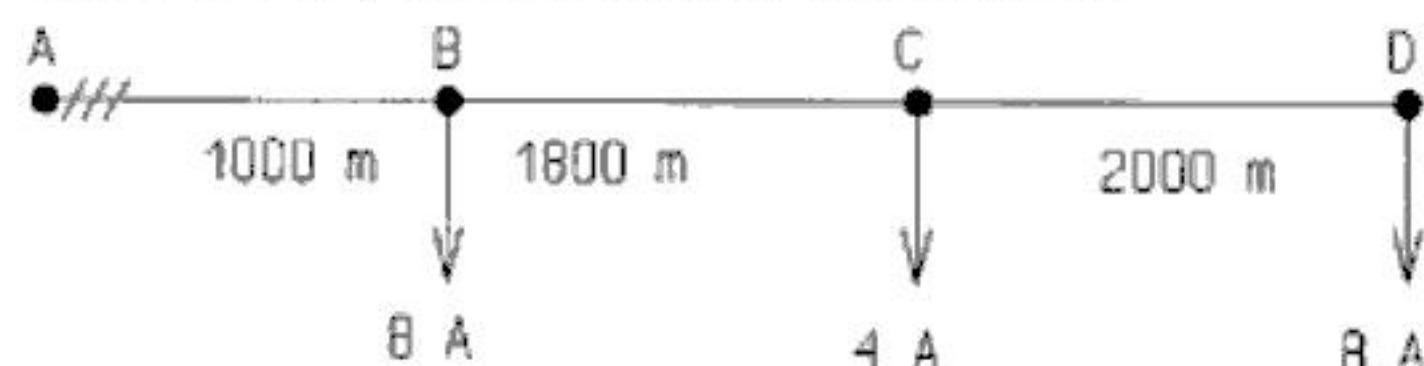


Fig. 2.32

**2.12-3.** Una línea trifásica de 20 kV, 50 Hz, alimenta con sección uniforme las cargas de la figura 2.32, equilibradas y con factor de potencia 0,8 inductivo. Los conductores son cables unipolares de cobre de resistencia longitudinal 0,47 Ω/km y reactancia 0,15 Ω/km. Calcular la caída de tensión total.

La caída de tensión en una línea de una sola carga:

$$u = \sqrt{3} I_L L (R \cos \varphi + X \operatorname{sen} \varphi) = \sqrt{3} (R L I_L \cos \varphi) + \sqrt{3} (X L I_L \operatorname{sen} \varphi)$$

Para líneas de sección uniforme y varias cargas la caída de tensión se halla igual que para líneas de B.T. tomando momentos respecto al origen.

$$u = \sqrt{3} \sum (R L I_L \cos \varphi) + \sqrt{3} \sum (X L I_L \operatorname{sen} \varphi)$$

Considerando constantes R, X y φ:

$$u = \sqrt{3} R \cos \varphi \sum (L I_L) + \sqrt{3} X \operatorname{sen} \varphi \sum (L I_L)$$

$$u = \sqrt{3} \cdot 0,47 \cdot 0,8 (1 \cdot 8 + 2,8 \cdot 4 + 4,8 \cdot 8) + \sqrt{3} \cdot 0,15 \cdot 0,6 (1 \cdot 8 + 2,8 \cdot 4 + 4,8 \cdot 8) = 46,5 \text{ V}$$

$$\text{La caída de tensión porcentual } u \% = \frac{u \cdot 100}{V_L} = \frac{46,5 \cdot 100}{20000} = 0,23\%$$



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

## 2.15. SECCIÓN MÍNIMA DE LOS CONDUCTORES PARA SOPORTAR UN CORTOCIRCUITO

### ■ Cortocircuito tripolar

Las líneas eléctricas deben poder soportar las corrientes de cortocircuito, de corta duración, porque actuarán los elementos de protección al cabo de pocos segundos. El valor elevado de la intensidad tiene dos efectos:

- Aumentar el calor producido en el cable por unidad de tiempo (proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente).
- Aumentar las fuerzas entre conductores, por efecto de aumento del campo magnético que rodea el conductor. En los cables de varios conductores, este esfuerzo lo soporta el propio cableado.

El caso de cortocircuito que se considera en el diseño de las protecciones de la instalación es el cortocircuito trifásico tripolar.

### ■ Corriente de cortocircuito

Para un tiempo de cortocircuito del orden de 1,5 s se considera la intensidad de línea en régimen permanente para cortocircuito tripolar. Su valor eficaz:

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} V_L}$$

$I_{cc}$ : Intensidad eficaz de corriente de fase en el cortocircuito (A).

$S_{cc}$ : Potencia aparente de cortocircuito (VA).

$V_L$ : Tensión de línea (V).

La sección del conductor en función de la intensidad permanente de cortocircuito se calcula teniendo en cuenta:

- El cortocircuito es de muy corta duración.
- La temperatura es la máxima admisible por el aislamiento.
- El calor producido se utiliza en incrementar la temperatura del conductor, no transmitiendo calor alguno al exterior (proceso adiabático).

Según estas condiciones, la sección necesaria para soportar el cortocircuito:

$$s = \frac{I_{cc} \sqrt{t}}{K}$$

$s$ : Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )

$t$ : Tiempo de duración del cortocircuito (s).

$K$ : Constante que depende del conductor y de las temperaturas al inicio y al final del cortocircuito.

Para instalaciones interiores la intensidad máxima admisible en los conductores (ITC-BT-19) se considera a una temperatura máxima de trabajo según la norma UNE 20460-5-523 de 70°C para cables aislados con termoplásticos (PVC o similares) y de 90°C para aislamiento con termoestables (XLPE, EPR o similares). Considerando como temperaturas finales, 160°C para aislamiento de PVC, y 250°C

para aislamiento de XLPE o EPR. Admitiendo una duración de cortocircuito no superior a 5 segundos, los valores de K utilizados se indican en la tabla 2.13, para cables de B.T.

Tabla 2.13

CONDUCTOR	AISLAMIENTO	K
Cobre.	PVC	115
	XLPE - EPR	143
Aluminio.	PVC	76
	XLPE - EPR	94

Las compañías suministradoras facilitarán los valores máximos previsibles de la potencias o intensidades de cortocircuito de sus redes de distribución, (artículo 14 del REBT).

Las intensidades máximas de cortocircuito para redes aéreas de B.T. se obtienen según la instrucción ITC-BT-06, y según la ITC-LAT-8 para líneas aéreas de A.T. con cables aislados. Las densidades máximas de corrientes de cortocircuito admisibles en líneas subterráneas de B.T. se obtienen según la instrucción ITC - BT-07, y según la instrucción ITC-LAT-06 para líneas subterráneas de A.T.

### PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**2.15-1.** Una línea trifásica, de tensión 20 kV, 50 Hz, alimenta una instalación utilizando cables unipolares de aluminio aislados con EPR, 12/20 kV. Calcular:

- Intensidad de cortocircuito si la potencia de cortocircuito en el punto de entronque con la línea de distribución, según la empresa suministradora es de 500 MVA.
- Sección necesaria para soportar el cortocircuito si su duración (según la empresa suministradora) es de 0,2 s y según la norma UNE 21123 las temperaturas inicial y final de cortocircuito son de 90 °C y 250 °C, con lo que la constante K=94.

$$\text{La intensidad de cortocircuito } I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} V_L} = \frac{500\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 20\,000} = 14\,434 \text{ A}$$

$$\text{La sección del conductor } s = \frac{I_{cc} \sqrt{t}}{K} = \frac{14\,434 \cdot \sqrt{0,2}}{94} = 68,67 \text{ mm}^2$$

**2.15-2.** La intensidad de cortocircuito en un punto de la instalación trifásica de M.T. a 20 kV es 11,547 kA. Calcular:

- Potencia aparente de cortocircuito.
- Sección necesaria para soportar el cortocircuito si el tiempo de duración del mismo es 0,2 s, el conductor es cable tripolar de cobre aislado con PVC, de constante K=115.

Solución: a) 400 MVA; b) 45 mm<sup>2</sup>

**2.15-3.** Calcular la intensidad de cortocircuito tripolar que puede soportar un cable tripolar de cobre 0,6/1 kV, aislado con XLPE, sección 95 mm<sup>2</sup>, si el tiempo de duración del cortocircuito es de 0,4 segundos.

Solución: 21,48 kA



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

**P.2-10.** Calcular la potencia máxima, con factor de potencia 0,9 inductivo, que puede transportar a 600 m una línea trifásica de 20 kV, 50 Hz, para que la caída de tensión no exceda del 1%. Los conductores son cables unipolares de cobre, de máxima resistencia longitudinal a la temperatura de trabajo  $0,5 \Omega/\text{km}$  y reactancia  $0,12 \Omega/\text{km}$ .

Solución: 11 945 kW.

**P.2-11.** Calcular la longitud máxima que puede tener una línea trifásica para alimentar una instalación que consume 4 000 kW con factor de potencia 0,8 inductivo, con pérdida máxima de potencia del 1% a 20 kV, 50 Hz. La línea está formada por cables unipolares de cobre con resistencia longitudinal  $0,4 \Omega/\text{km}$ .

Solución: 1,6 km.

**P.2-12.** Una línea trifásica de 20 kV, 50 Hz, alimenta una instalación utilizando cables tripolares de cobre aislados con XLPE, 15/25 kV. Calcular la sección necesaria para soportar el cortocircuito si su duración es de 0,2 s, la constante K del cable es 143 y la potencia de cortocircuito en el punto de entronque con la línea de distribución es de 450 MVA.

Solución:  $40,6 \text{ mm}^2$ .



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### 3.3. CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS CONDUCTORES EN LAS LÍNEAS AÉREAS DE M.T. CON CABLES DE ALUMINIO ACERO

#### ■ Proceso de cálculo

Se elige el conductor de la línea y después se justifica esta elección con el cálculo de :

- Impedancia de la línea.
- Caída de tensión.
- Potencia de transporte que permite la línea.
- Pérdida de potencia en la línea.

#### ■ Elección de los conductores

Las líneas de M.T. suelen ser de tensión nominal 20 kV y los conductores a emplear de aluminio acero.

La elección del conductor puede realizarse según el ábaco de momentos como el indicado en la figura 3.2.

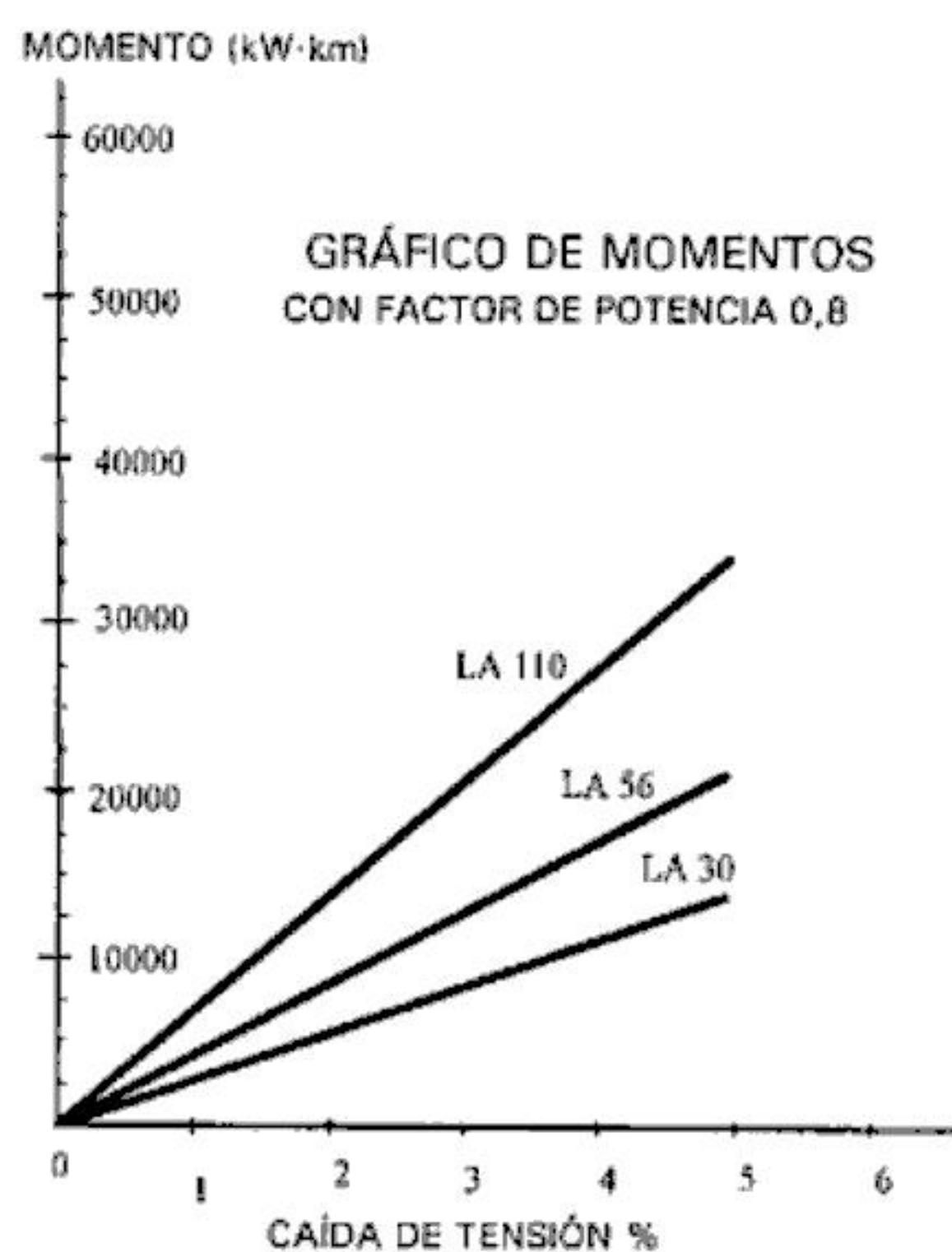


Fig. 3.2

#### PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**3.3-1.** Una línea aérea de 20 kV, 50 Hz, con una longitud de 2,5 km está formada por tres conductores LA 110 sujetos a apoyos de forma que la distancia entre ellos es de  $D_{12}=1,8$  m,  $D_{23}=1,8$  m y  $D_{31}=3,6$  m. Calcular:

- Coeficiente de autoinducción de la línea, si el diámetro del conductor es 14 mm,
- Reactancia por kilómetro de la línea.
- Impedancia total, sabiendo que la resistencia del conductor es 0,307 Ω/km.
- Como se indica en el epígrafe 2.12, la separación media entre los conductores:

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} = \sqrt[3]{1,8 \cdot 1,8 \cdot 3,6} = 2,27 \text{ m}$$

El coeficiente de autoinducción:

$$L_k = (0,53 + 4,6 \log \frac{D}{r}) \cdot 10^{-4} = (0,53 + 4,6 \log \frac{2,27}{0,007}) \cdot 10^{-4} = 0,0012 \text{ H/km}$$

- La reactancia de la línea por conductor en Ω/km:

$$X = 2\pi f L_k = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,0012 = 0,377 \Omega/\text{km}$$

- La impedancia de la línea por conductor en Ω/km:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,307^2 + 0,377^2} = 0,486 \Omega/\text{km}$$

La impedancia total:  $Z_T = Z \cdot L = 0,486 \cdot 2,5 = 1,215 \Omega$

**3.3-2.** Una derivación de una línea de 20 kV, 50 Hz, tiene una longitud de 800 m y se realiza con conductor LA 30. Si tiene un coeficiente de autoinducción de 0,0013 H/km y una resistencia media a 20°C de 1,075 Ω/km, calcular la impedancia total de la línea.

Solución: 0,92 Ω



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

**3.3-4.** En una línea aérea trifásica de 20 kV, 50 Hz y longitud 3 km, se utilizan tres conductores LA 56. La reactancia media es 0,4 Ω/km y la resistencia media 0,613 Ω/km. Calcular la potencia activa máxima de transporte con factor de potencia 0,8 inductivo, para una caída de tensión del 3%.

Solución: 4 381 kW

**3.3-5.** Para transportar una carga de 600 kW mediante una línea aérea trifásica de 20 kV, 50 Hz y longitud 4 km, se utilizan tres conductores LA 56. Si la reactancia media es 0,4 Ω/km y la resistencia media 0,613 Ω/km, Calcular:

- Intensidad de línea con factor de potencia 0,8 inductivo.
- Caída de tensión en la línea.

$$\text{a) La intensidad de línea: } I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos \varphi} = \frac{600\,000}{\sqrt{3} \cdot 20\,000 \cdot 0,8} = 21,65 \text{ A}$$

b) La caída de tensión:

$$u = \sqrt{3} I_L L (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = \sqrt{3} \cdot 21,65 \cdot 4 \cdot (0,613 \cdot 0,8 + 0,4 \cdot 0,6) = 109,56 \text{ V}$$

$$\text{En tanto por cien: } u \% = \frac{109,56 \cdot 100}{20\,000} = 0,548\%$$

**3.3-6.** Calcular que momento eléctrico en km·kW, produciría en una línea de 20 kV, 50 Hz, con conductor LA 30, de reactancia 0,41 Ω/km y resistencia 1,07 Ω/km una caída de tensión del 2%, con un factor de potencia 0,8 inductivo.

Solución: 5 808 km·kW

**3.3-7.** Para suministro de energía eléctrica con una potencia de 500 kVA a 20 kV, 50 Hz, en una distancia de 2 km, se utiliza conductor LA 30. La cruceta que soporta los conductores hace que la distancia entre estos sea  $D_{12}=1,6$  m,  $D_{23}=1,6$  m y  $D_{31}=3,2$  m. Calcular:

- Coeficiente de autoinducción de la línea.
- Impedancia de la línea.
- Intensidad que circula por la línea según la potencia de transporte.
- Densidad de corriente en el conductor.
- Caída de tensión en la línea a plena carga, con factor de potencia 0,8 inductivo.
- Intensidad máxima que puede circular por la línea, admitiendo una densidad de corriente de 4,55 A/mm<sup>2</sup>.
- Potencia máxima de transporte con factor de potencia 0,8.

Solución: a)  $13,3 \cdot 10^4$  H/km; b)  $2,3 \Omega$ ; c) 14,43 A; d) 0,46 A/mm<sup>2</sup>; e) 0,277 %, f) 132,6 A, g) 3 675 kW.

**3.3-8.** Calcular la potencia perdida en una línea aérea de 20 kV, 50 Hz, formada por conductores LA 110, de resistencia 0,307 Ω/km y longitud 4 km, si se transporta una potencia de 800 kW con factor de potencia 0,86 inductivo.

$$\text{La potencia perdida } P_p = \frac{R L P^2}{V_L^2 \cos^2 \varphi} = \frac{0,307 \cdot 4 \cdot 800^2}{20^2 \cdot 0,86^2} = 2\,657 \text{ W}$$



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Estos esfuerzos se consideran con un coeficiente de seguridad de 2,25 y aplicados simultáneamente con el esfuerzo resultante de la presión ejercida por el viento de  $100 \text{ daN/m}^2$  en su mismo sentido sobre la superficie libre del poste.

#### ■ Esfuerzo secundario

Es el esfuerzo máximo  $F_s$ , que puede soportar un poste en dirección secundaria aplicado a 0,25 m por debajo de la cogolla con un coeficiente de seguridad igual que para el esfuerzo nominal.

#### ■ Cimentación

Se utiliza para la cimentación hormigón con dosificación de  $200 \text{ kg/m}^3$  y resistencia mecánica mínima de  $120 \text{ daN/cm}^2$ . (se utilizan para  $1 \text{ m}^3$  de hormigón,  $850 \text{ dm}^3$  de grava,  $425 \text{ dm}^3$  de arena seca,  $200 \text{ kg}$  de cemento tipo portland P-350 y el agua necesaria). Los macizos de cimentación, con las dimensiones indicadas en la tabla 3.5, quedan a unos 10 cm por encima del terreno y con una pequeña pendiente como vierte-aguas (fig. 3.10).

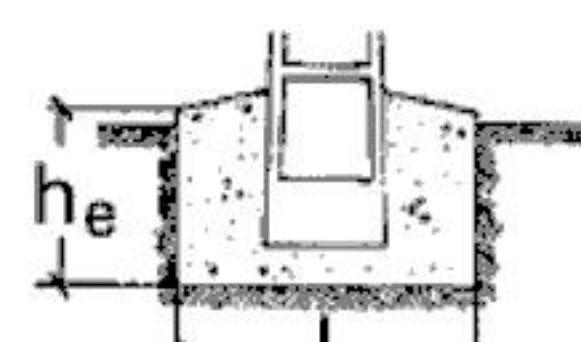


Fig. 3.10

Tabla 3.5

APOYOS	ALTURA TOTAL m	COLOR DE IDENTIFICACIÓN	CIMENTACIÓN EN TERRENO NORMAL	
			LADO 1 (m)	ALTURA he (m)
HV-160-R	9	NARANJA	0,6	1,2
	11		0,6	1,4
HV-250-R	9	NEGRO	0,6	1,4
	11		0,6	1,5
HV-400-R	13	AZUL	0,6	1,7
	9		0,7	1,4
HV-630-R	11	ROJO	0,7	1,5
	13		0,7	1,7
HV-1000-R	15	VERDE	0,8	1,9
	9		0,8	1,8
HV-1000-R	11	VERDE	0,8	1,9
	13		0,8	1,9
	15		0,8	2

#### ■ Bornes de puesta a tierra de los apoyos

El poste lleva en la cara más estrecha dos bornes de puesta a tierra, con tornillos galvanizados. Uno a unos 2,1 m por debajo de la cogolla y otro de 2 m a 2,7 m de la base, según la altura del apoyo.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### 3.12. HERRAJES

Son los soportes de los aisladores, construidos de acero galvanizado, que sujetan el aislador a la cruceta. En los cables trenzados los herrajes son ganchos de acero galvanizado para amarre o suspensión del haz al apoyo.

La sujeción del herraje se realiza según el tipo de aislador:

Aislador fijo: se une al herraje mediante yeso o cemento, en líneas de media tensión (fig. 3.19) y en baja tensión (fig. 3.20). Estos aisladores rígidos se utilizan en apoyos de madera y están actualmente en desuso.

Aislador de suspensión: se une al herraje mediante horquilla de bola y al conductor mediante rótula, que sostiene la grapa de amarre o de suspensión como indica la figura 3.21.

### 3.13. ANTIVIBRATORIOS

Para reducir la vibración de los conductores en la línea se utilizan elementos antivibratorios:

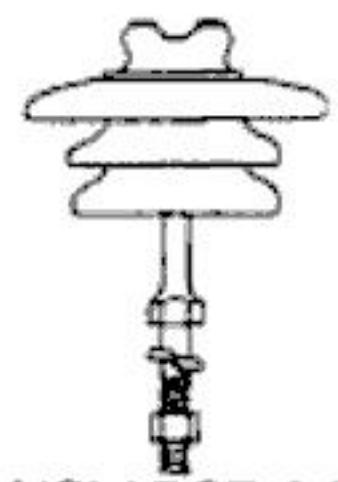
- varillas de armar, que son un conjunto de varillas redondas arrolladas en espiral sobre una porción del conductor.
- Amortiguadores, que consisten en unos contrapesos sujetos al conductor. En la figura 3.22 se representa un amortiguador stockbridge.

### 3.14. EMPALMES Y DERIVACIONES EN LAS LÍNEAS AÉREAS DE MEDIA TENSIÓN

Se llama empalme a la unión de conductores que asegura su continuidad eléctrica y mecánica (ITC-LAT-07). Los empalmes no deberán aumentar la resistencia eléctrica del conductor y podrán soportar sin deslizamiento ni rotura el 95% de la carga de rotura del cable empalmado. No se pueden utilizar empalmes por soldadura a tope, ni colocar más de un empalme por vano y conductor excepto caso de reparación de avería.

Se llama conexión a la unión de conductores que asegura su continuidad eléctrica. La conexión no debe aumentar la resistencia eléctrica del conductor y será sin tensión mecánica. La unión de conductores de distinta sección o naturaleza se realiza en el puente de conexión de las cadenas horizontales de amarre.

Los empalmes a plena tracción para los cables aluminio acero utilizados en las líneas aéreas de media tensión se hacen mediante un manguito de unión por engastado (fig. 3.23). Se utiliza un manguito de acero para unir el cable de acero y después se coloca el manguito exterior de aluminio.



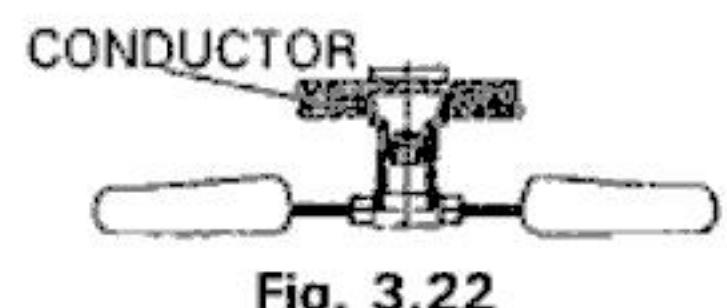
AISLADOR A.T.  
Fig. 3.19



AISLADOR  
B.T.  
Fig. 3.20



HORQUILLA  
RÓTULA  
Fig. 3.21



CONDUCTOR  
Fig. 3.22



Fig. 3.23



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

c) Tensión máxima en cada vano.

Solución: a) 226,7 daN; b) 2,34 m; c)  $T_1=227,7$  daN,  $T_2=227,3$  daN.

### 3.17. ECUACIÓN DEL CAMBIO DE CONDICIONES

La ecuación del cambio de condiciones relaciona la tensión mecánica de un cable, en unas condiciones dadas, con la tensión en otras condiciones distintas.

Consideremos un conductor de sección  $s$ , colocado en un vano de luz  $a$ , siendo  $p_1$  la carga por unidad de longitud. A una temperatura  $\Theta_1$  le corresponde una tensión  $T_1$ ; si varían los valores de  $p_1$  a  $p_2$  y de  $\Theta_1$  a  $\Theta_2$ , se producirá también una nueva tensión mecánica  $T_2$ .

$$\text{La variación de la longitud del conductor } l_1 - l_2 = \frac{a^3 p_1^2}{24 T_1^2} - \frac{a^3 p_2^2}{24 T_2^2}$$

Esta variación de longitud es debida a los efectos de dilatación producida por la diferencia de temperaturas, ( $\Theta_1 - \Theta_2$ ), y de elasticidad del cable debido a la diferencia de tensiones mecánicas, ( $T_1 - T_2$ ).

La variación de longitud debida a la dilatación, siendo  $\alpha$  el coeficiente de dilatación lineal, y considerando la luz del vano  $a$  aproximadamente igual a la longitud del cable:

$$a\alpha(\Theta_1 - \Theta_2)$$

La variación de longitud debida a la elasticidad, siendo  $E$  el módulo de elasticidad del cable (relación entre la carga o tensión mecánica por unidad de sección y la deformación por unidad de longitud):

$$\frac{a}{sE}(T_1 - T_2)$$

$$\text{Entonces, la variación de longitud: } \frac{a^3 p_1^2}{24 T_1^2} - \frac{a^3 p_2^2}{24 T_2^2} = a\alpha(\Theta_1 - \Theta_2) + \frac{a}{sE}(T_1 - T_2)$$

Esta expresión se llama *ecuación del cambio de condiciones*. Suele expresarse en función de la tensión mecánica, de la temperatura y la carga por unidad de longitud, de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} T_2^2(T_2 + A) &= B \\ A &= \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_1^2}{24 \cdot T_1^2} - T_1 - \alpha \cdot s \cdot E (\Theta_1 - \Theta_2) \\ B &= \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_2^2}{24} \end{aligned}$$

$T_1$ : Tensión inicial (daN).

$T_2$ : Tensión final después de cambio de condiciones (daN).

$\Theta_1$ : Temperatura inicial ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$\Theta_2$ : Temperatura final ( $^{\circ}\text{C}$ ).



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### ■ Flecha máxima

Las flechas máximas se calculan según las hipótesis fijadas por el RLAT (ITC-LAT-07) para líneas de segunda y tercera categoría.

Tabla 3.8

Condición	Zona A		Zona B		Zona C	
	Temperatura	Sobrecarga	Temperatura	Sobrecarga	Temperatura	Sobrecarga
Máxima flecha	-	-	0 °C	Hielo	0 °C	Hielo
	15 °C	Viento	15 °C	Viento	15 °C	Viento
	50 °C	Ninguna	50 °C	Ninguna	50 °C	Ninguna

### ■ Vano ideal de regulación

Para el emplazamiento de los apoyos, según las curvas de nivel del terreno por donde discurre la línea, hay que tener en cuenta que las curvas del conductor deben ser porciones de una misma catenaria (fig. 3.31). Los apoyos se van colocando siguiendo las partes elevadas del terreno. Como orientación, en las líneas de M.T. los vanos suelen ser de unos 100 m a 200 m de longitud horizontal o luz.

La igualación de tensiones horizontales en todos los vanos, exige que la línea se dividida en tramos de menos de 3 km, con apoyos de anclaje y cadenas de aisladores de amarre, de manera que la tensión mecánica de los conductores no se transmita de un tramo a otro.

Se procura que todos los tramos tengan longitudes similares, de manera que nunca uno llegue a ser al doble del otro.

Se admite que la tensión a que están sometidos los cables, iguales en todos los vanos que forman un tramo, varían como lo haría el de un vano teórico, llamado "vano ideal de regulación". El vano de regulación  $a_r$  en cada tramo para el tendido de la línea se calcula de la forma:

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum a}}$$

a: Longitud de cada vano en el tramo considerado.

De forma aproximada y según proyecto tipo de UNESA, se puede admitir como vano de regulación:

$$a_r = \text{vano medio} + \frac{2}{3}(\text{vano máximo} - \text{vano medio})$$

Al tener la misma tensión en todos los vanos del tramo, la relación entre la flecha en un vano  $f$  y la flecha del vano de regulación  $f_r$  es la relación entre el cuadrado de las longitudes de los vanos:

$$\frac{f}{f_r} = \left( \frac{a}{a_r} \right)^2$$



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

$$T_2^2(T_2+A)=B$$

El valor del coeficiente A:

$$A = \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_1^2}{24 \cdot T_1^2} - T_1 - \alpha \cdot s \cdot E (\Theta_1 - \Theta_2)$$

$$A = \frac{54,6 \cdot 7\,900 \cdot 100,75^2 \cdot 1,293^2}{24 \cdot 556^2} - 556 - 19,1 \cdot 10^{-6} \cdot 54,6 \cdot 7\,900 \cdot (-20 - 30) = 842,54$$

El valor del coeficiente B:

$$B = \frac{s \cdot E \cdot a^2 \cdot p_2^2}{24} = \frac{54,6 \cdot 7\,900 \cdot 100,75^2 \cdot 0,1855^2}{24} = 6\,277\,496 = 627,75 \cdot 10^4$$

La ecuación del cambio de condiciones toma la forma  $T_2^2(T_2+842,54)=627,75 \cdot 10^4$   
Esta ecuación se resuelve por tanteos, siendo la solución con suficiente  
aproximación  $T_2=82,4$  daN.

e) La flecha en el vano de regulación  $f_r = \frac{p_2 \cdot a_r^2}{8 \cdot T_2} = \frac{0,1855 \cdot 100,75^2}{8 \cdot 82,4} = 2,86$  m

f) La flecha en el vano de 110 m  $f = f_r \cdot \left( \frac{a}{a_r} \right)^2 = 2,86 \cdot \left( \frac{110}{100,75} \right)^2 = 3,41$  m

**3.18-5.** Un cable conductor LA 56 en un vano de 110 m, tiene de flecha en tramo horizontal 1,7 m en zona B a 15°C. Calcular:

- Tensión horizontal si la carga es el propio peso del cable de valor 0,19 daN/m, distribuida según la horizontal.
- Tensión en un extremo del cable.
- Sobrecarga por viento a 15°C, siendo el diámetro del cable  $d=9,45$  mm.
- Tensión de tendido a 15°C con viento, siendo para el cable  $s=54,6$  mm<sup>2</sup>,  $E=7\,900$  daN/mm<sup>2</sup>,  $\alpha=19,1 \cdot 10^{-6}$  °C<sup>-1</sup>.
- Flecha a 15 °C con viento.

Solución: a) 169,04 daN; b) 169,4 daN; c) 0,598 daN/m; d) 394,8 daN; e) 2,29 m.

**3.18-6.** El conductor del problema anterior si halla sometido a sobrecarga por hielo a 0°C. Calcular:

- Sobrecarga por hielo.
- Tensión a 0 °C.
- Flecha a 0 °C con hielo.

Solución: a) 0,743 daN/m; b) 500 daN; c) 2,25 m.

**3.18-7.** Un conductor LA 30 en zona A se tiende con EDS 7 en un tramo con vano de regulación 90 m. Calcular:

- Tensión de tendido a 30 °C.
- Flecha a esa temperatura en el vano de regulación.

Los datos necesarios del conductor son:

- Carga mínima de rotura del cable: 990 daN.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

**3.20-2.** Calcular el esfuerzo horizontal debido a la acción del viento sobre cada conductor LA 56, en un apoyo que está entre dos vanos de 120 y 130 m de luz.

Solución: 70,875 daN.

### 3.21. APOYOS EN ÁNGULO

Utilizados para sostener los conductores en los vértices de los cambios de alineación.

Si el ángulo que forman las alineaciones es  $\alpha$  (fig. 3.34), la fuerza máxima (daN) horizontal a soportar por el apoyo considerando las dos tensiones iguales.

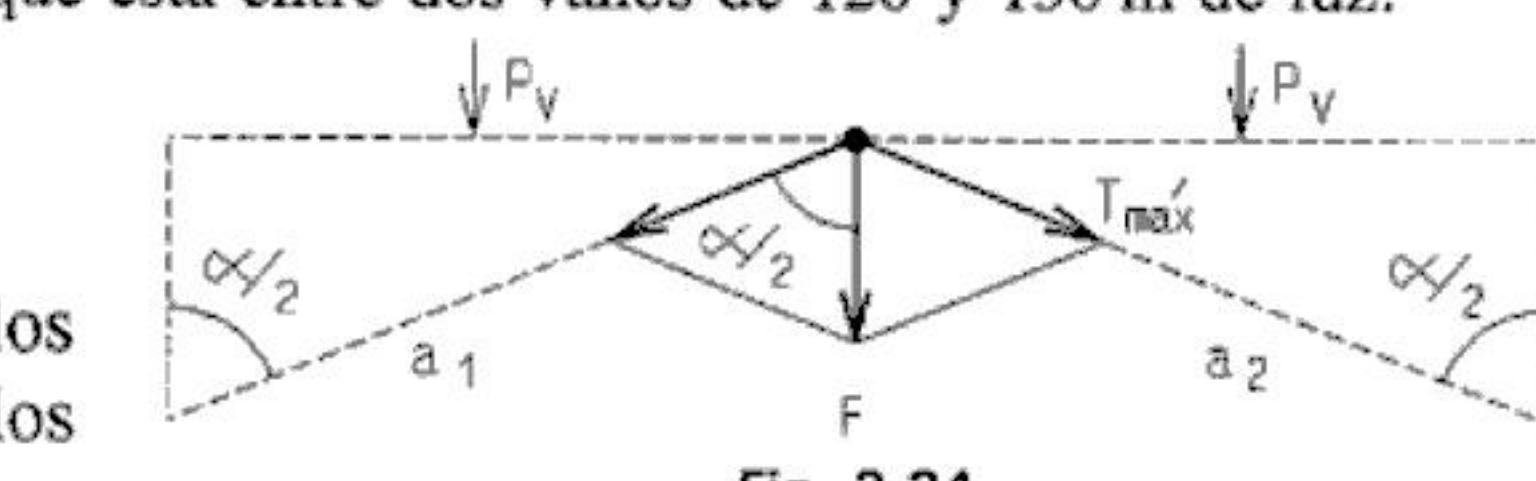


Fig. 3.34

$$F = 2T_{\max} \cos \frac{\alpha}{2}$$

$F$ : Esfuerzo resultante sobre el apoyo (daN).  
 $T_{\max}$ : Tensión máxima según la hipótesis considerada (daN).  
 $\alpha$ : Ángulo que forman los vanos que concurren en el apoyo.

#### ■ Esfuerzo transversal

Considerando la acción del viento sobre los conductores de los vanos contiguos y suponiendo la presión del viento en la dirección del esfuerzo resultante:

$$F_v = p_v \cdot \frac{1}{2} (a_1 + a_2) \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = p_v \cdot a_e \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

En el apoyo en ángulo suele utilizarse cruceta recta, con lo que el punto de sujeción a la cruceta estará a una altura  $h$ .

$$\text{Esfuerzo en punta en el sentido transversal } F_T = \frac{(2T_{\max} \cos \frac{\alpha}{2} + p_v \cdot a_e \cdot d \cdot \sin \frac{\alpha}{2}) 3h}{H}$$

#### ■ Esfuerzo longitudinal

Según el desequilibrio de tracciones indicado reglamentariamente, para cruceta recta con cadena de aisladores de amarre (ITC-LAT-07):

$$F_L = \frac{15}{100} \frac{T_{\max} \cdot 3 \cdot h}{H}$$

#### PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**3.21-1.** Se utiliza como apoyo en ángulo el poste de celosía C-2000-12, con empotramiento de 1,8 m y cruceta tipo bóveda horizontal. El cable conductor es LA 30 y el cambio de dirección en el ángulo es de  $30^\circ$  (ángulo de la línea  $150^\circ$ ). Los vanos contiguos al apoyo son de 80 y 90 m. Calcular:

- Coeficiente de seguridad, considerando un tensión máximo de 330 daN y sabiendo que la carga mínima de rotura del cable es de 990 daN.
- Esfuerzo resultante sobre el apoyo debido a las tensiones que se consideran iguales a la máxima.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### 3.24. CARGAS VERTICALES SOBRE LOS APOYOS

Sobre los apoyos actúan verticalmente además de su propio peso, el de conductores, aisladores y crucetas.

El esfuerzo vertical que los conductores transmiten al apoyo se calcula por el *gravivano*.

Se llama *gravivano* a la longitud  $a_g$  que hay que considerar para determinar las cargas verticales que le transmiten los conductores al apoyo. Esta longitud es la distancia horizontal entre los puntos vértices de las curvas (catenarias) que forman los conductores del los vanos contiguos al apoyo considerado, como indica la figura 3.35.

En las líneas de B.T y M.T. no se suelen calcular las cargas verticales sobre los apoyos, porque éstos resisten, trabajando a compresión, cargas mucho más grandes que las que se originan en la línea.

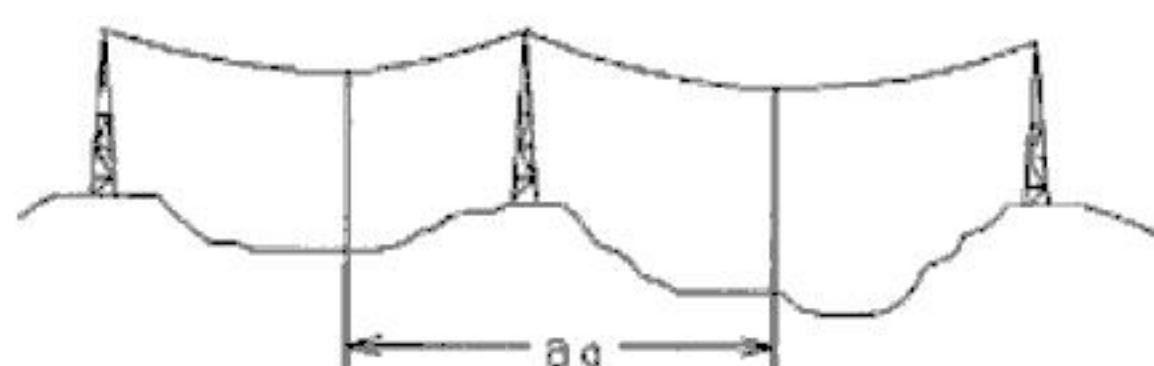


Fig. 3.35

### 3.25. DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Las distancias se calculan según el RLAT:

- 1) *Distancias de los conductores al terreno* (ITC-LAT-07). Es la mínima altura  $h_{\min}$  en metros que corresponde a la máxima flecha:

$$h_{\min} = 5,3 + D_{el}$$

$D_{el}$ : Distancia mínima de aislamiento en el aire (0,22 m, para tensión más elevada de la red 24 kV).

La altura mínima es de 6 m. En lugares de difícil acceso esta altura puede ser reducida en un metro. Esta distancia afecta a la altura del apoyo.

- 2) *Distancia de los conductores entre sí* (ITC-LAT-07).

La separación mínima entre conductores  $D_{\min} = k \sqrt{f_{\max} + L_{cad}} + k'D_{pp}$

$D_{\min}$ : Distancia entre conductores (m).

$f_{\max}$ : Flecha máxima (m).

$L_{cad}$ : Longitud de la cadena de suspensión en metros. En cadenas de amarre o en aisladores rígidos  $L_{cad}=0$ .

$D_{pp}$ : Distancia mínima de aislamiento en el aire (0,25 m, para tensión más elevada de la red 24 kV).

$k$ : Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.

Para tensión nominal menor o igual a 30 kV, valor máximo  $k=0,65$ .

Esta distancia afecta a las dimensiones de la cruceta.

$k'$ : Coeficiente de la tensión de la línea,  $k'=0,75$  para categoría no especial.

- 3) *Distancia entre los conductores y los apoyos* (ITC-LAT-07).

La distancia mínima  $d_{\min}$  (m) entre los conductores y los apoyos:  $d_{\min} = D_{del}$



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Las derivaciones en las líneas aéreas de baja tensión, con conductores de aluminio trenzados en haz se realizan de varias formas:

- Cuña a presión, de aleación de aluminio (fig. 3.45).
- Conector por compresión, de aleación de aluminio (fig. 3.46).
- Grapas de aleación de aluminio (fig. 3.47).

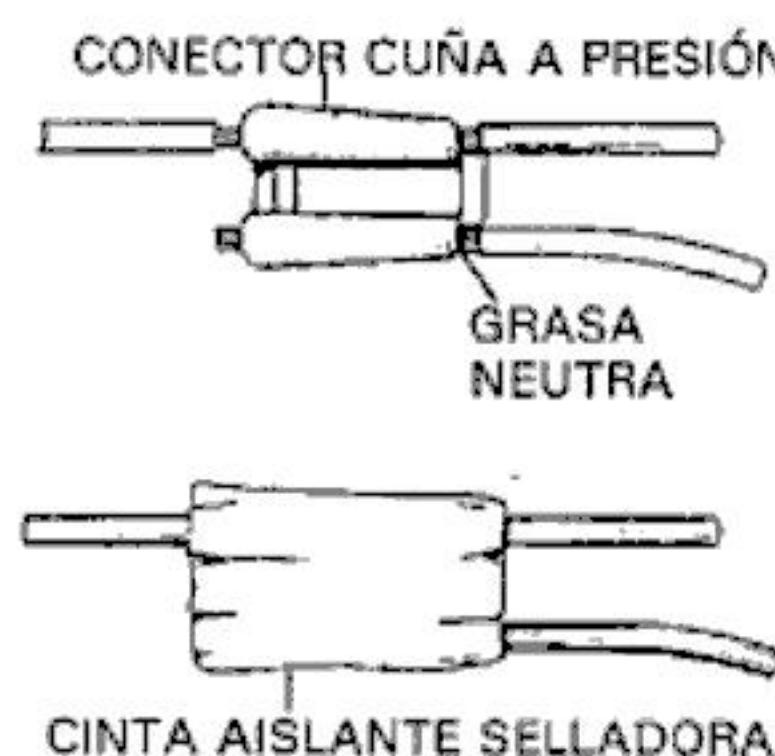


Fig. 3.45



Fig. 3.46

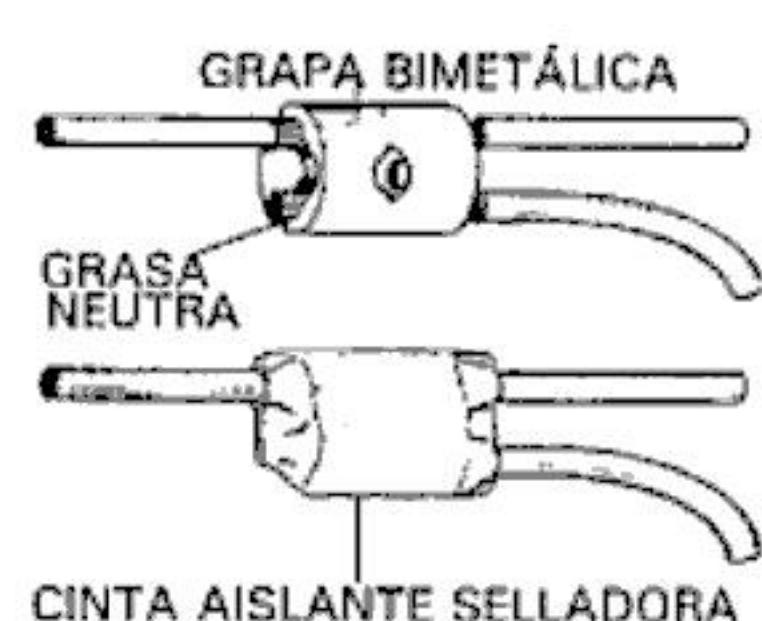


Fig. 3.47

Para la realización de estas derivaciones se utiliza grasa neutra y cinta aislante selladora.

### 3.30. DERIVACIONES PARA ACOMETIDAS

En las derivaciones para acometidas aéreas, además de grapas de derivación se utilizan conectores de perforación (fig. 3.48), de aleación de aluminio. Para derivaciones a varias acometidas se utiliza caja derivación exterior de poliéster reforzado con fibra de vidrio (fig. 3.49).

Las acometidas de las líneas de B.T. terminan en las *cajas generales de protección*, de material plástico con fusibles. De estas cajas parte la línea repartidora.

- Designación. Según las letras CGP, seguidas de dos números. El primero indica el esquema eléctrico (fig. 3.50) y el segundo indica la intensidad nominal de la base de los fusibles.
- Constitución: Las cajas generales de protección son de material aislante y autoextinguible con cierre y precintando, las entradas y salidas para instalación a intemperie se realizan por la parte inferior. El neutro es seccionable mediante pletina y los fusibles, que se utilizan para los

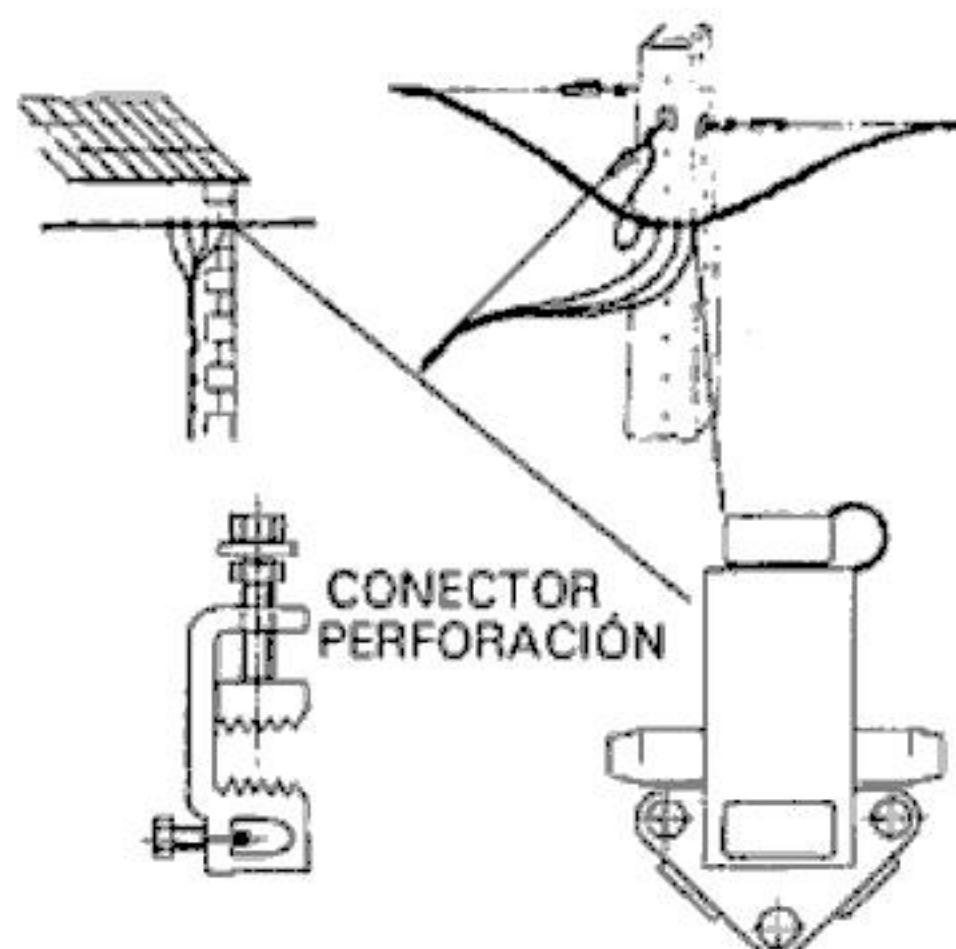


Fig. 3.48

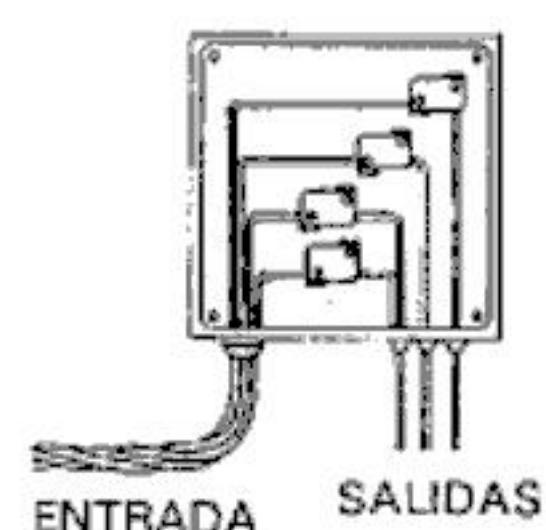


Fig. 3.49



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Las características de mecánicas de los fiadores se indican en la tabla 3.13.

Tabla 3.13

Material	Sección nominal (mm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (daN)	Coeficiente de dilatación lineal (°C <sup>-1</sup> )	Módulo de elasticidad (daN/mm <sup>2</sup> )
Almelec	54,6	1 660	23·10 <sup>-6</sup>	6 200
Almelec	80	2 000	23·10 <sup>-6</sup>	6200
Acero	22	2800	11,5	18500

### ■ Hipótesis de cálculo

Como tensión máxima del haz en las condiciones más desfavorables se escoge un coeficiente de seguridad mínimo de 2,5, con lo que será como máximo 664 daN para el neutro de almelec y de 1 120 daN para el fiador de acero, para las hipótesis más desfavorables de la tabla siguiente, según la instrucción ITC-BT-06:

Tabla 3.14

Condición	Zona A (Altitud < 500 m)		Zona B (Altitud entre 500 y 1 000 m)		Zona C (Altitud > 1 000 m)	
	Temperatura	Sobrecarga (daN/m)	Temperatura	Sobrecarga (daN/m)	Temperatura	Sobrecarga (daN/m)
Máxima tensión	15 °C	Viento de 50	15 °C	Viento de 50	15 °C	Viento de 50
	0 °C	Viento de 50/3	0 °C	Hielo de $0,06\sqrt{d}$	0 °C	Hielo de $0,12\sqrt{d}$

### ■ Sobrecargas

Las sobrecargas se calculan según la altitud del terreno donde se sitúa la línea:

#### 1) Zona A (viento).

Se calcula la sobrecarga por viento  $P_v = p_v \cdot d$  (daN/m)

$p_v$ : Presión del viento (daN/m<sup>2</sup>): 50 daN/m<sup>2</sup> a 15 °C o 50/3 daN/m<sup>2</sup> a 0 °C

$d$ : Diámetro del haz de conductores (m)

El peso del conductor con sobrecarga  $P_T = \sqrt{P_v^2 + P^2}$  (daN/m)

Siendo  $P$ : Peso del conductor (daN/m).

#### 2) Zona B y C (Hielo).

Se calcula la sobrecarga por hielo  $P_h = k\sqrt{d}$  (daN/m)

$d$ : Diámetro del haz de conductores (mm)

$k$ : Constante, de valor 0,06 en zona B y 0,12 en zona C.

El peso con sobrecarga de hielo  $P_T = P_h + P$  (daN/m)

### ■ Flecha máxima

Según el Reglamento electrotécnico para baja tensión (ITC-BT-06), la flecha máxima de los conductores se calcula según las siguientes hipótesis:

- Mayor valor resultante de la comparación de las dos hipótesis según la zona.
- Hipótesis de temperatura (válida para las tres zonas), considerando los conductores sometidos a la acción de su propio peso a la temperatura máxima previsible (no inferior a 50 °C), teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y de servicio de la línea.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- 3.34-2.** Una línea aérea de 400/230 V se cruza con otra de 20 kV en un punto en el que el apoyo más próximo de la línea de M.T. está a 50 m y el de la línea de B.T. a 15 m. Calcular la distancia mínima entre las dos líneas.

Solución: 2,35 m

### 3.36. CIMENTACIONES

Sobre al apoyo actúan fuerzas exteriores que tienden a volcarlo. Este momento de vuelco está contrarrestado por las fuerzas estabilizadoras que el terreno transmite al apoyo empotrado, originando un momento estabilizador.

La cimentación de los apoyos de hormigón y metálicos, se realiza mediante un macizo de hormigón de forma prismática y sección cuadrada (fig. 3.56).

- La *altura mínima de empotramiento* suele calcularse:

$$h_e = \frac{H_t}{15} + 0,5$$

$h_e$ : Altura de empotramiento (m).

$H_t$ : altura total del poste (m).

- El *momento de vuelco*  $M_v$  (m·kN), aplicado al punto O de giro del macizo viene dado por:

$$M_v = F(H + \frac{2}{3}h_e)$$

F: Fuerza en la cogolla del apoyo en kiloNewton (kN).

H: Altura útil del apoyo (m).

$h_e$ : Profundidad de empotramiento (m).

- El *momento estabilizador* es el resultado del momento estabilizador del terreno y del bloque de hormigón que forma el empotramiento  $M_0$ , además del momento estabilizador de las cargas verticales  $M_b$ .

El momento estabilizador del terreno y del bloque de hormigón  $M_0$ , en metros·kiloNewton (m.kN), por el método suizo:

$$M_0 = 1,39 \cdot K_T \cdot l \cdot h_e^4 + 8,8 \cdot l^3 \cdot h_e$$

$K_T$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno a la profundidad de 2 m en daN/cm<sup>3</sup>, según la clase de terreno en daN/cm<sup>3</sup> (ITC-LAT-07, tabla 10).

$l$ : Lado de la base de hormigón (m).

El momento estabilizador  $M_b$  (m.kN), de las cargas verticales:

$$M_b = 0,4 \cdot p_c \cdot l$$

$p_c$ : Peso del apoyo, cruceta, aisladores y conductor en kN.

El momento de vuelco debe ser menor que el momento estabilizador total. Con un coeficiente de seguridad mínima 1,5 para hipótesis normales, (RLAT, ITC-LAT-07), se verifica:

$$\frac{M_0 + M_b}{M_v} \geq 1,5$$

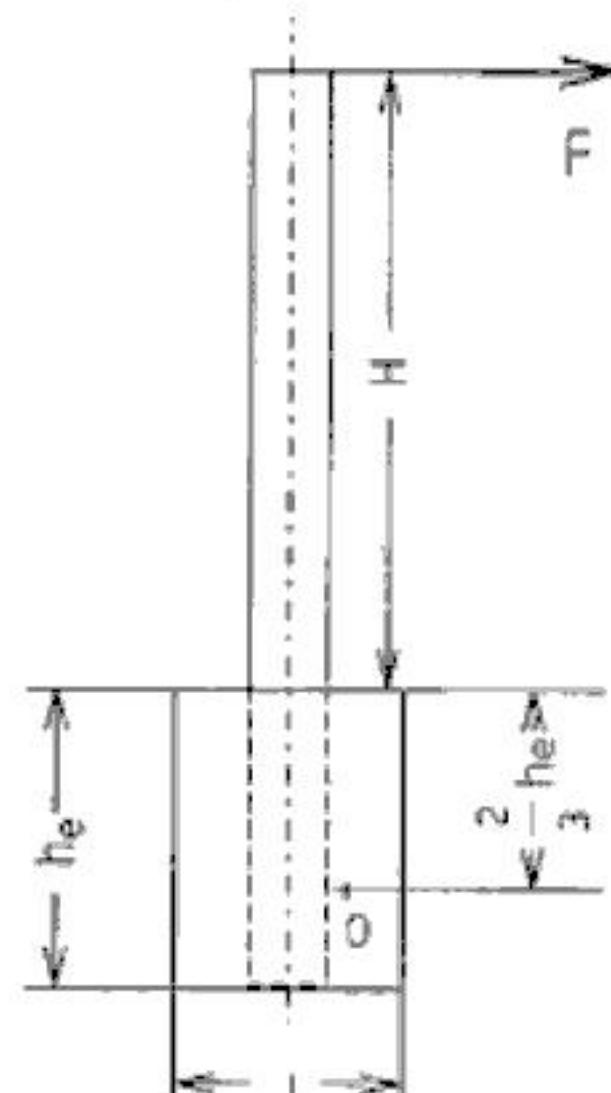


Fig. 3.56



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Tabla 3.17

Conductor	Tensión máxima (daN)	Vano máximo (m)	Apoyo fin de línea resistencia (daN)/altura (m)
RZ 0,6/ 1kV 3×25 Al/54,6 Alm	315	45	400/9
RZ 0,6/ 1kV 3×50 Al/54,6 Alm	500	50	630/9
RZ 0,6/ 1kV 3×95 Al/54,6 Alm	500	50	630/9
RZ 0,6/ 1kV 3×95 Al/80 Alm	500	50	1000/9
RZ 0,6/ 1kV 3×150 Al/95 Al	500	50	1 000/9

Los apoyos de alineación tendrán de resistencia mínima 160 daN.

Secuencia de montaje de los conductores:

- Sujetar a los apoyos los ganchos y anclajes previstos.
- Realizar el tendido del cable. Se recomienda la utilización de poleas de madera o aluminio de diámetro mínimo 23 veces el de los cables con ancho y profundidad de la garganta no inferiores a 1,5 veces el diámetro del haz de cables.
- Efectuar el tense del cable según la tabla de tendido y el vano de regulación.
- Separar del haz los fiadores o neutros portantes para realizar, a continuación el amarre (el amarre debe ser 24 horas después del tendido para que se igualen las tensiones en los vanos por las oscilaciones del cable).

#### ■ Red posada sobre fachada

Secuencia de montaje de los conductores:

- Realizar los taladros para los soportes con intervalos de 50 a 70 cm, como mínimo a 30 cm de la techumbre o esquina del edificio.
- Colocar los soportes sobre la pared del edificio.
- Efectuar el tendido del cable, situándolo en los soportes y cerrando éstos a continuación.

### 3.43. SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD EN LAS LÍNEAS AÉREAS

Consiste en la colocación de indicadores de peligro en cada apoyo de las líneas de primera categoría y en las que pasen por zonas muy frecuentadas.

En las proximidades de los aeropuertos se pintan de rojo y blanco los apoyos y se colocan en los conductores lámparas de descarga para señalización nocturna.

### 3.44. APERTURA DE CALLES EN ZONAS DE ARBOLADO PARA LÍNEAS DE MEDIA TENSIÓN

Para evitar interrupciones del servicio y los posibles incendios producidos por el contacto de ramas o troncos de árboles en los conductores de la línea, cuando la línea pasa por zonas de bosque o arbolado se establece, mediante la indemnización correspondiente, una zona de tala de árboles, corte de ramas y desbrozado. La zona es una calle con ancho la servidumbre de vuelo de la línea más la distancia de seguridad a ambos lados de la misma (mínimo 2 m), según ITC-LAT-07.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### 4.3. CABLES AISLADOS SUBTERRÁNEOS PARA MEDIA TENSIÓN

En las líneas subterráneas de media tensión se utilizan varios tipos de cables:

#### ■ Cables de aislamiento seco

El cable más utilizado es de aluminio.

- 1) *Composición.* Cuerda de hilos de aluminio recubierto de pantalla semiconductora, aislamiento plástico, pantalla semiconductora, pantalla de cobre y cubierta de PVC (fig. 4.1) o de poliolefina termoplástica (Z1).

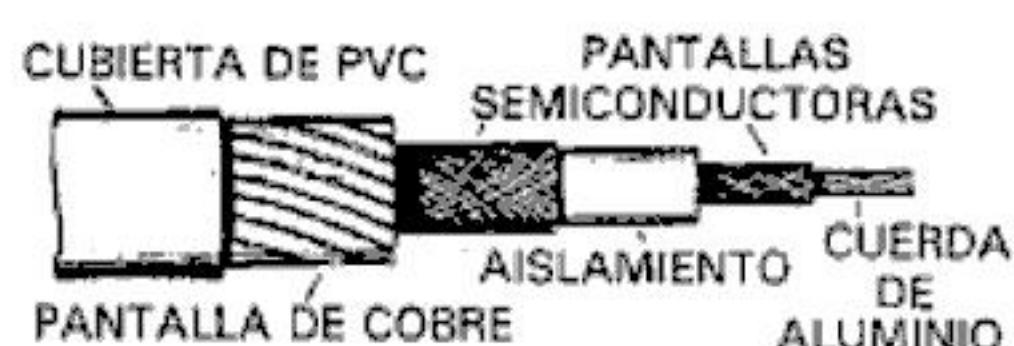


Fig. 4.1

- 2) *Designación.* Se designan por tres letras (la primera indica el aislamiento, la segunda la pantalla y la tercera el material de la cubierta), seguidas por la tensión nominal, la composición del cable con su sección y la sección de la pantalla (ver tabla 1.3 del libro).

Así el cable R HV 12/20 kV 1x240 k Al + H 16, es el cable con aislamiento de polietileno reticulado (R), pantalla (H), cubierta de PVC (V), tensión nominal 12/20 kV, conductor compacto (k) unipolar de 240 mm<sup>2</sup> de sección, aluminio y sección de la pantalla 16 mm<sup>2</sup>.

- 3) *Características.* Las principales características de estos conductores:

Tabla 4.1 Cables de aluminio de tensión 12/20 kV aislados con XLPE.

CARACTERÍSTICAS	Sección nominal (mm <sup>2</sup> )			
	95	150	240	400
Espesor nominal de aislamiento (mm).	5,5	5,5	5,5	5,5
Diámetro exterior aproximado (mm).	30	33	37	47
Número de alambres del conductor.	15	15	30	53
Radio mínimo de curvatura (mm).	420	480	560	680
Nivel de aislamiento a impulsos (kV).	125	125	125	125
Intensidad admisible, 3 unipolares al aire a 40 °C (A).	255	335	455	610
Intensidad admisible, 3 unipolares enterrados a 25 °C (A).	205	260	345	445
Intensidad admisible, 3 unipolares entubados a 1 m (A).	190	245	280	320
Intensidad admisible en cortocircuito con duración 0,1 s (kA).	28,3	44,7	71,5	119,2
Resistencia máxima a 20 °C (Ω/km).	0,320	0,206	0,125	0,078
Capacidad (μF/km).	0,235	0,257	0,310	0,360
Reactancia inductiva (Ω/km).	0,119	0,110	0,104	0,097

La temperatura máxima de trabajo de estos cables es de 90 °C y en cortocircuito de duración inferior a 5 s 250 °C.

Actualmente se utilizan cables con protección a la penetración de agua y no propagadores de llama o de incendio como el designado por RHZ1-2OL-(AS) 12/20 kV 1x240 k Al + H16: Cable unipolar con conductor compacto de aluminio de 240 mm<sup>2</sup> de sección, tensión 12/20 kV, aislado con polietileno reticulado, cubierta de poliolefina, doble obturación frente al agua, no propagador de incendio, sección de la pantalla 16 mm<sup>2</sup>.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Con estos conectores se pueden montar distintos tipos de derivaciones y se utilizan mucho para la conexión del cable al terminal del transformador, formado por un pasatapas también enchufable. La instalación de los conectores puede ser en el interior o en el exterior, sin necesidad de herramientas especiales, encintado o material de relleno. Se utilizan hasta una tensión de 24 kV.

#### 4.7. TERMINALES DE CABLES SUBTERRÁNEOS PARA MEDIA TENSIÓN

El manguito terminal es el elemento utilizado para conectar los extremos de los cables subterráneos a los equipos eléctricos o a las líneas. hay que distinguir que los terminales sean para recinto interior o para exterior, destinados a la conexión de líneas aéreas con subterráneas.

Los terminales son distintos según sean para cable de aislamiento seco o para cables de papel impregnado. Todos llevan un cono deflector (componente del terminal que unido a la pantalla o envolvente metálica del cable, en el punto donde esta termina, reduce el gradiente de potencial en ese punto).

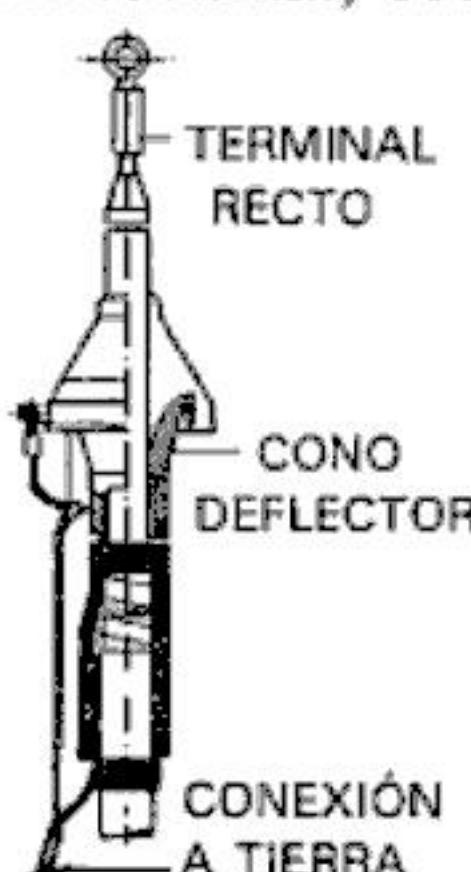


Fig. 4.6

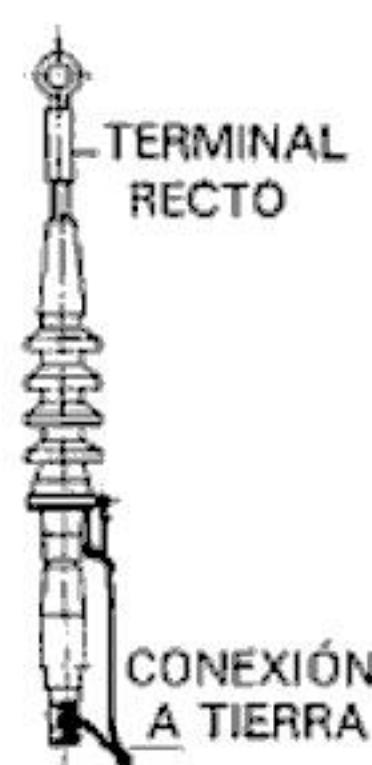


Fig. 4.7

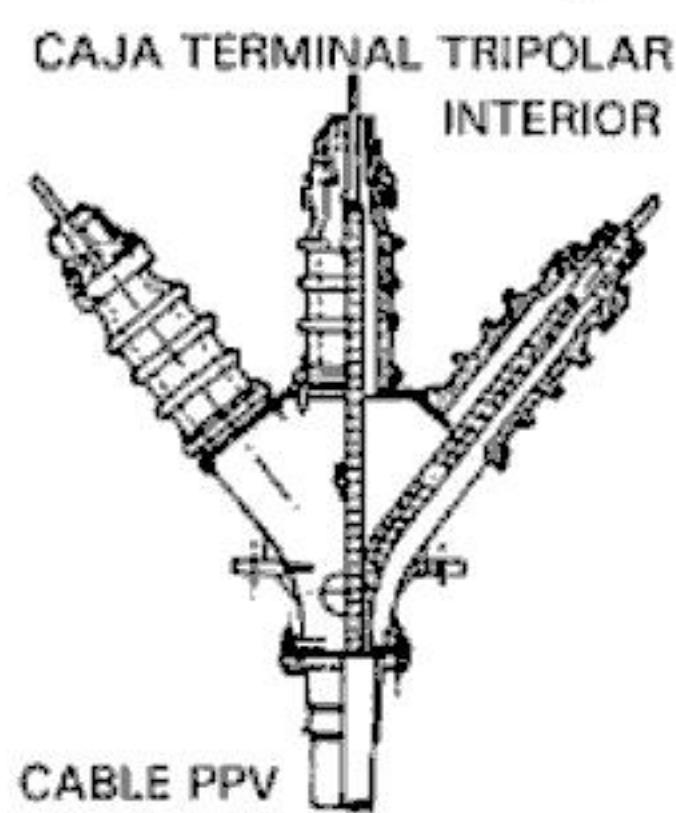


Fig. 4.8

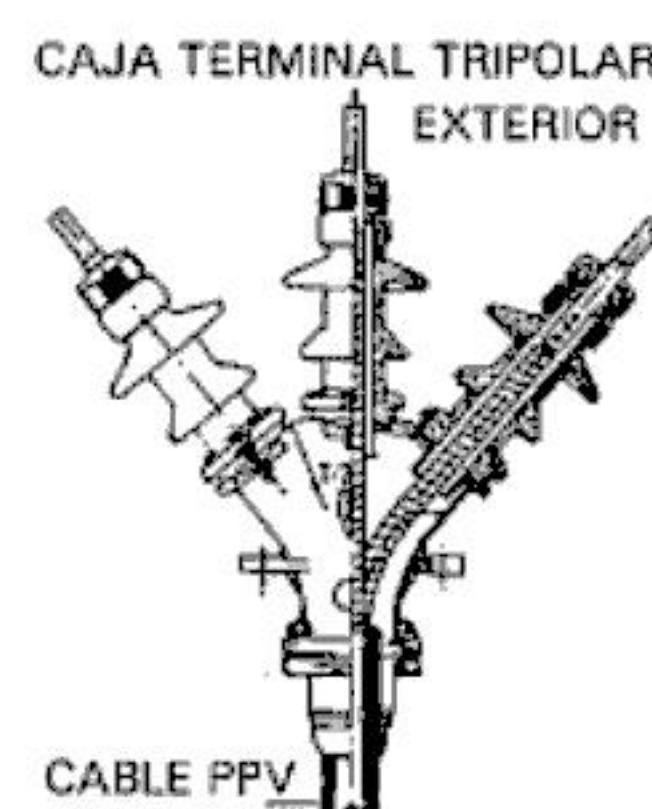


Fig. 4.9

Los terminales más utilizados, según el tipo de cable, son:

- Cable de aislamiento seco. Se utilizan terminales preformados, sin aislamiento de porcelana (fig. 4.6). El terminal exterior lleva aletas (fig. 4.7) para aumentar la longitud de la línea de fuga de una descarga de contorno del terminal.
- Cables de papel impregnado, en los que se necesita aportación de calor. Las cajas terminales constan de aisladores de porcelana llenos de mezcla aislante según el tipo de aislamiento del cable (fig. 4.8). En los terminales de exterior el aislador de porcelana dispone de aletas para alargar la línea de fuga de una descarga de contorno del aislador (fig. 4.9).

Actualmente se utilizan *terminales retráctiles en frío* hasta tensiones de 45 kV, mediante una pieza de caucho-silicona, que se realizan de la forma siguiente:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

$$\text{La sección } s_4 = \frac{\sum (LP)_4}{cu_3 V_L} = \frac{100 \cdot 45\,000 + 250 \cdot 30\,000}{35 \cdot 8 \cdot 400} = 107,13 \text{ mm}^2$$

Según el REBT (ITC-BT-07), la sección normalizada inmediatamente superior es de  $150 \text{ mm}^2$ , que admite una intensidad de 230 A bajo tubo (tabla 2.3 del libro).

La mayor intensidad que circula por el tramo BC es la intensidad total de la derivación.

$$I_{L4} = \frac{P_4}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \varphi} = \frac{75 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 108,3 \text{ A}$$

Esta intensidad es menor que la permitida por el conductor de  $150 \text{ mm}^2$ , por lo que se elige para el tramo BC esta sección  $3 \times 150 + 1 \times 95$ .

**4.9-2.** La línea trifásica de distribución en B.T. representada en la figura 4.12, está formada por un cable tetrapolar con conductores de aluminio, aislados con polietileno reticulado, 0,6/1 kV, en instalación enterrada bajo tubo. La tensión es de 400/230 V y las secciones están indicadas en la figura. Calcular la caída de tensión desde el origen a los puntos E, D y G, considerando la temperatura máxima de trabajo ( $90^\circ\text{C}$ ).

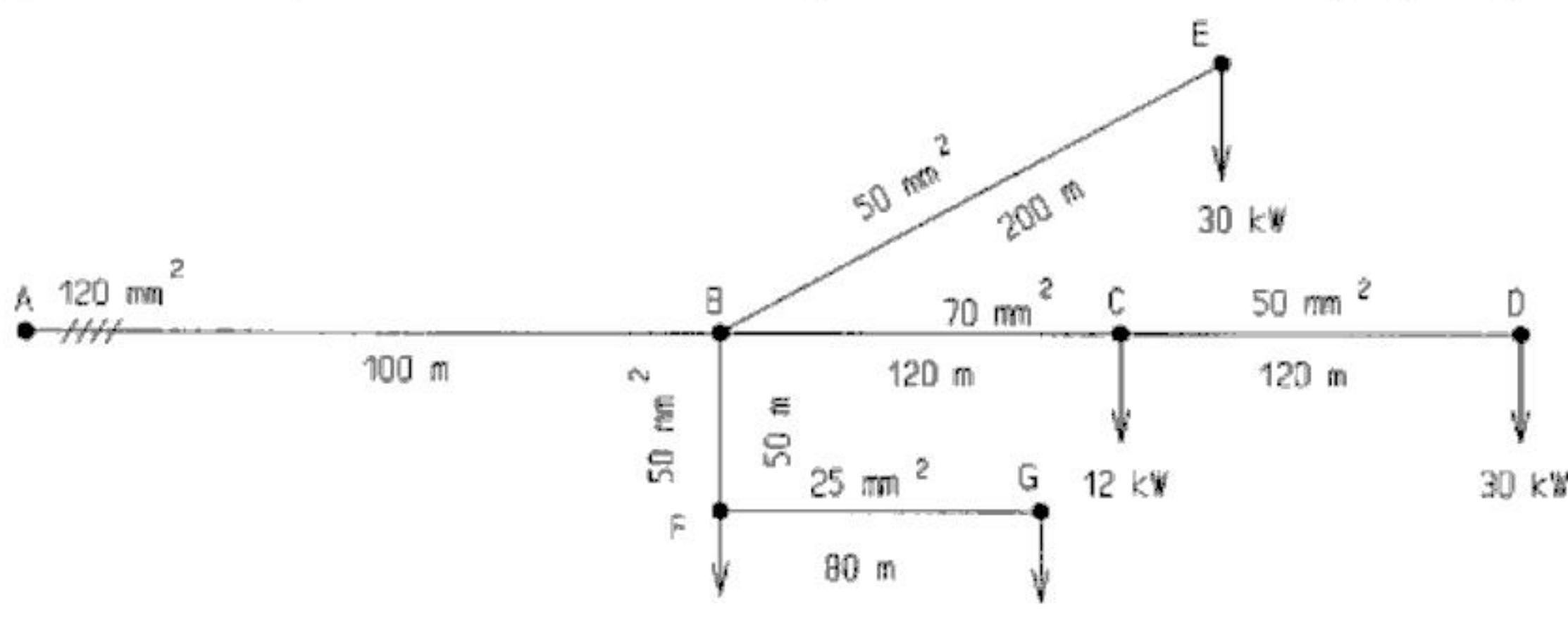


Fig. 4.12

Solución:  $u_{AE}=5,25\%$ ,  $u_{AD}=6,46\%$ ,  $u_{AG}=6,07\%$

**4.9-3.** Calcular la sección de la línea trifásica cerrada representada en la figura 4.13. Los conductores son de aluminio, cable tetrapolar aislado con XLPE, 0,6/1 kV, en instalación interior enterrada bajo tubo. La tensión de línea es 400 V y la caída de tensión máxima 2%. Factor de potencia 1, común para todas las cargas.

Solución:  $70 \text{ mm}^2$

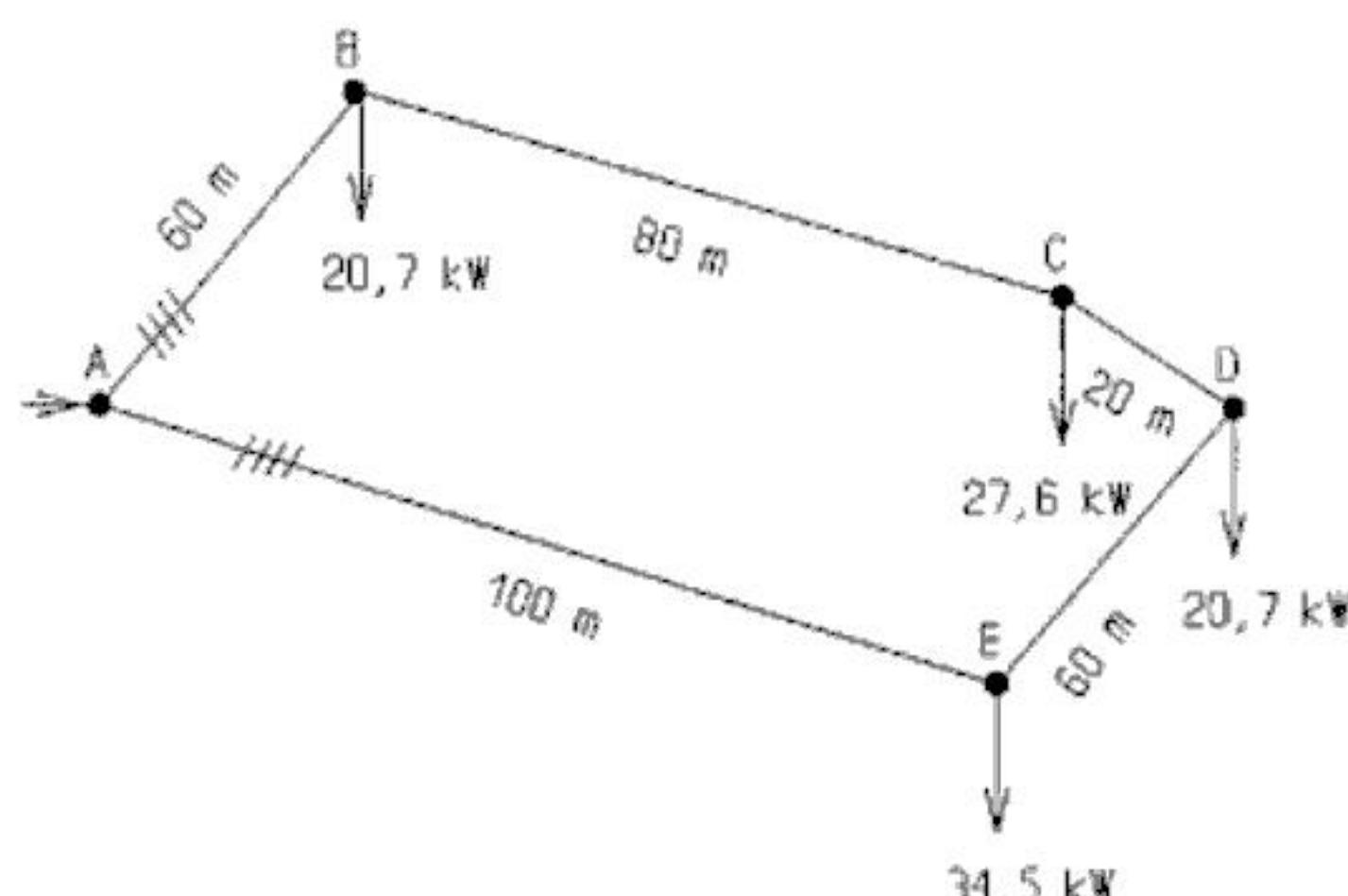


Fig. 4.13



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

#### 4.18. ZANJAS Y CANALIZACIONES EN BAJA TENSIÓN

Las *zanjas* se abren con una anchura de 60 cm y una profundidad mayor de 60 cm (ITC-BT-07) y de 0,8 m en cruce de calzada.

La *canalización* se realiza de varias formas:

- Cable directamente enterrado en zanja, sobre arena de río, con protección de rasilla o ladrillo y cinta de señalización (fig. 4.23).
- Bajo tubo de plástico o de fibrocemento, cuando se necesite protección mecánica. Se instalará un circuito por tubo. El diámetro interior mínimo de los tubos es el doble del diámetro del cable. El cruce de calzada se realiza bajo tubo hormigonado y la zanja con cinta de señalización (igual que en M.T.).
- En galerías visitables o zanjas registrables. Uso preferente para electricidad.
- En canales revisables o conductores sujetos a la pared directamente, mediante bandejas y soportes. Solamente utilizados en locales técnicos.

Las proximidades y paralelismos entre conducciones subterráneas se indican en la instrucción ITC-BT-07. La distancia mínima con canalizaciones de A.T. es de 0,25 m y con otras canalizaciones 0,2 m.



Fig. 4.23

#### 4.19. TENDIDO DE CABLES

Los cables se suministran habitualmente en bobinas de madera, que para el tendido del cable se colocan en un apoyo que les permita girar.

*Formas de tendido.* El tendido se realiza sujetando el cable por una mordaza o manguito mediante el cual se ejerce la tracción y puede efectuarse de varias formas:

- Por gravedad desde un vehículo en marcha que se mueva a lo largo de la zanja.
- Tendido a mano sobre rodillo, en cables de poco peso, con tiro manual mediante manguito de arrastre (fig. 4.24).
- Tendido mecánico con rodillos accionados por motores.
- Tendido por medio de torno o cabrestante. Es el sistema más utilizado. La cuerda de tracción se sujeta al cable por medio de unas mordazas de arrastre, que consiste en un disco taladrado, en el que se introducen los conductores y se sujetan mediante tornillos. La tracción se ejerce desde un extremo de la zanja y en el otro extremo se halla la bobina (fig. 4.25). El mismo sistema se utiliza para el tendido en tubos o en galerías (fig. 4.26). Los esfuerzos de tracción del cable no deben sobrepasar los 5 daN/mm<sup>2</sup> para



Fig. 4.24



Fig. 4.25



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

En alta tensión se especifica el nivel de aislamiento. Viene indicado a frecuencia industrial (50 Hz) y a impulsos tipo rayo (1,2/50  $\mu$ s), según la instrucción MIE RAT 12. Tabla 5.2 para media tensión (grupo A, tensión mayor de 1 kV y menor de 52 kV)).

Tabla 5.2

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV cresta)		TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL DE CORTA DURACIÓN A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)
	Lista 1	Lista 2	
3,6	20	40	10
7,6	40	60	20
12	60	75	28
17,5	75	95	38
24	95	125	50
36	145	170	70

La elección de la lista 1 se hace según las consideraciones de la instrucción MIE RAT 12. Cuando sea necesario un alto grado de seguridad se utiliza el material correspondiente a la lista 2.

- Valor asignado. Valor de una magnitud establecida para un determinado funcionamiento del aparato.
- Intensidad límite térmica. Valor eficaz de la intensidad de corriente circulando durante un tiempo (1 a 3 s) a partir del cual los efectos térmicos de la corriente pueden dañar el aparato. La aparamenta debe soportar el afecto térmico de la intensidad de cortocircuito.
- Intensidad límite dinámica. Valor de la intensidad de corriente máxima o de pico, a partir de la cual los esfuerzos electrodinámicos pueden deteriorar el aparato. Los esfuerzos electrodinámicos dependen del cuadrado del valor máximo o de pico de la intensidad de corriente. La aparamenta debe soportar los esfuerzos electrodinámicos de la intensidad de cortocircuito

Los *parámetros característicos de los aparatos de maniobra* son:

- Poder de corte: Intensidad eficaz máxima que es capaz de cortar o interrumpir el aparato.
- Poder de cierre: Valor máximo o de pico de la intensidad de corriente que es capaz de soportar el aparato en el cierre del circuito.

### 5.3. INTERRUPTOR

Aparato mecánico de conexión que permite establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales y sobrecargas. Soporta durante un tiempo la intensidad de cortocircuito. Su poder de corte es suficiente para poder cortar la intensidad nominal, pero no la de cortocircuito. Se llama también interruptor en carga.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

En M.T. se utiliza el seccionador bajo carga o interruptor seccionador (fig. 5.6). Es un interruptor que en posición abierta satisface las condiciones de aislamiento de un seccionador, pudiendo maniobrar con la intensidad nominal de servicio. Se utilizan seccionadores en carga telemendados sobre apoyo en líneas aéreas de M.T.

### ■ Funcionamiento

Su función es hacer visible, por seguridad, la apertura de los circuitos. El accionamiento puede ser con pértiga, y en instalaciones con mando a distancia por motor o por aire comprimido.

Se utilizan también seccionadores de puesta a tierra de las líneas como medida de protección, cuando están desconectadas.

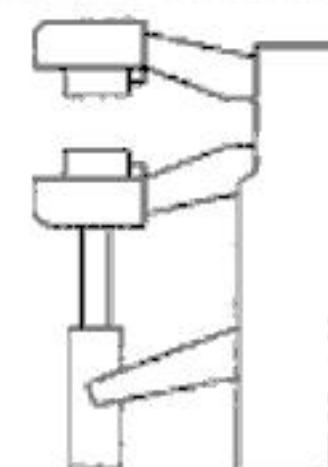


Fig. 5.6

### ■ Características

El seccionador se caracteriza por no tener ni poder de corte ni poder de cierre.

El seccionador de puesta a tierra, por la posibilidad de presencia de tensión debido a cualquier fallo de la instalación, debe tener poder de cierre, porque al conectar a tierra pone la línea en cortocircuito.

## 5.7. FUSIBLE

El fusible o cortacircuito es el aparato de conexión que provoca la apertura del circuito en el que está instalado, por fusión, debido al calentamiento de uno o varios elementos destinados a este fin, cortando la corriente cuando ésta sobrepasa un determinado valor durante un tiempo.

### ■ Constitución

- Base portafusible. Es la parte fija que conecta con la instalación a través de unos bornes de conexión y contiene los soportes del cartucho fusible.
- Cartucho fusible. Formado por los contactos, cartucho aislante (porcelana o vidrio) con material extintor (excepto los de calibre muy pequeño) y elemento fusible. Algunos tipos de cartuchos tienen un indicador de fusión, consistente en un percutor de señalización que sale al exterior cuando el fusible funde.

El conductor fusible es un hilo metálico redondo o una cinta de sección rectangular, que funde rápidamente por sobreintensidad. El material utilizado habitualmente es cobre o plata.

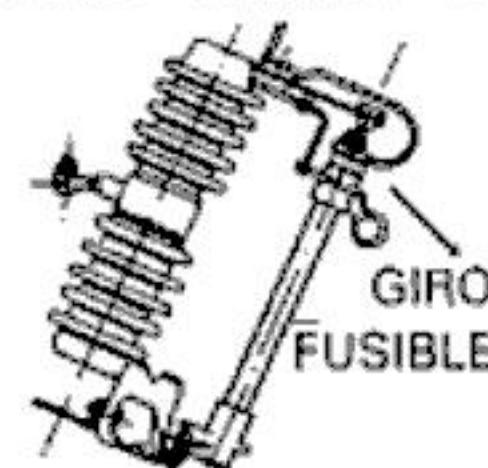


Fig. 5.7

### ■ Funcionamiento

Cuando circula corriente por el elemento fusible, este se calienta por efecto Joule, elevando su temperatura. Si la corriente es muy elevada, la temperatura puede alcanzar el punto de fusión del elemento conductor, que comienza a fundirse. El material extintor que rodea el elemento fusible condensa los vapores metálicos producidos en la fusión, facilitando la extinción del arco que se forma.

En líneas aéreas de M.T. se utiliza también el fusible de explosión seccionador (fig. 5.7). El elemento fusible está unido a una trencilla de conexión de cobre. En



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

empleo, intensidad térmica convencional (máxima intensidad de corriente que un contactor puede soportar en servicio de 8 horas), poder de cierre y de corte.

Para la elección del contactor hay que tener en cuenta la naturaleza del equipo que va a conectar (motor, cargas no inductivas, etc) y el tipo de servicio.

Los servicios asignados son:

- Servicio de 8 horas. El contactor permanece accionado un tiempo igual o inferior a 8 horas, con intensidad constante, alcanzando el equilibrio térmico con el ambiente.
- Servicio continuo o ininterrumpido. El contactor permanece accionado un tiempo superior a 8 horas.
- Servicio temporal. El contactor permanece accionado un tiempo pequeño, sin alcanzar el equilibrio térmico, para pasar durante un tiempo largo a la posición de reposo, adquiriendo el contactor la temperatura ambiente.
- Servicio intermitente. El contactor abre y cierra periódicamente en una sucesión de ciclos de maniobra sin que se alcance el equilibrio térmico. Según el número de maniobras por hora los contactores se clasifican en clases (tabla 5.5).

Tabla 5.5

CLASE	Nº DE MANIOBRAS POR HORA
0,03	3
0,1	12
0,3	30
1	120
3	300
10	1 200

Según la naturaleza de la carga se definen unas categorías de empleo o servicio. Para corriente alterna se indican en la tabla 5.6.

Tabla 5.6

CATEGORÍA	APLICACIONES CARACTERÍSTICAS
AC-1	Cargas no inductivas o débilmente inductivas
AC-2	Motores de anillos, arranque, inversión de marcha
AC-3	Motores de rotor en cortocircuito, arranque, desconexión a motor lanzado.
AC-4	Motores de rotor en cortocircuito: arranque, marcha a impulsos, inversión de marcha.
Por inversión de marcha se entiende la parada o la inversión rápida del sentido de rotación del motor permutando las conexiones de alimentación mientras el motor está girando. Por marcha a impulsos se entiende el uno o varios cierres breves y frecuentes del circuito del motor, para conseguir pequeños desplazamientos del mecanismo accionado.	

- En el contactor se definen unos parámetros de desgaste.
- Endurancia eléctrica. Número de ciclos de maniobras en carga que soporta el contactor en las condiciones dadas por las normas.
  - Endurancia mecánica. Número de maniobras que soporta el contactor en vacío.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- El interruptor debe cortar la corriente de cortocircuito en un tiempo inferior a aquel que hace tomar al conductor una temperatura superior a su temperatura límite. Así en el cortocircuito el conductor no llegará a la temperatura máxima admisible. La intensidad de cortocircuito máxima debe ser menor que la intensidad que corresponde a la energía disipada admisible en el conductor  $I_{ccmáx} < I_b$

La energía disipada admisible en el conductor  $(P^2t)_{adm}$ , puede calcularse en función de una constante K y de la sección s del conductor en  $\text{mm}^2$ .  $(P^2t)_{adm} = K^2s^2$

La constante K depende del material conductor y del aislante. Los valores utilizados se indican en la tabla 2.16.

Calculada la energía disipada admisible en el conductor, llevando este valor a la curva característica de la energía disipada por el interruptor en cortocircuito (fig. 5.11) se obtiene el valor de la intensidad  $I_b$ .

En la *protección con fusible*, los criterios de protección son:

- Poder de corte del fusible mayor que la máxima intensidad de cortocircuito (cortocircuito al principio de la línea).  $PdC > I_{ccmáx}$
- Intensidad de cortocircuito mínima (cortocircuito al final de la línea) mayor que la intensidad mínima a la que el fusible protege al conductor.  $I_{ccmín} > I_a$

Los fusibles, por su rapidez de actuación, limitan mucho la energía disipada en cortocircuito. Deben escogerse de calibre ligeramente superior a la intensidad de utilización de la línea  $I_B$ .

La *protección mediante fusible-interruptor automático en serie*, se escoge en ocasiones por razones de economía. El fusible protege frente a cortocircuitos de gran intensidad, y el interruptor protege contra sobrecargas y cortocircuitos con intensidad de valor moderado.

La *protección mediante la combinación de fusible-contactor y relé térmico*, se utiliza en la protección de motores. El fusible protege contra cortocircuitos y el contactor con el relé térmico protegen contra sobrecargas. El fusible debe resistir sin fundirse la corriente de arranque del motor.

Los dispositivos de protección se sitúan en el origen de la instalación y en los puntos donde se produzca una reducción de la corriente admisible. Los dispositivos protegen la parte de la instalación situada a continuación de ellos siguiendo el sentido de la alimentación (aguas abajo).

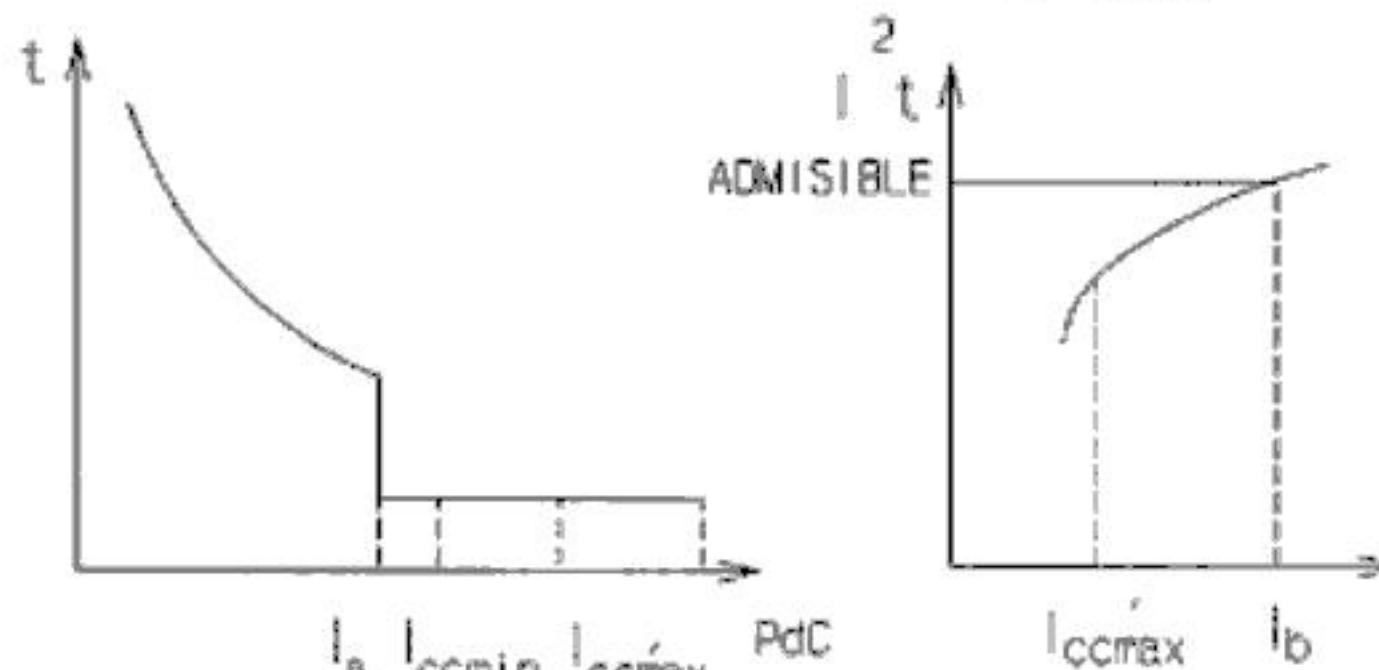


Fig. 5.11



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### 5.23. PELIGROSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

#### ■ Efectos fisiológicos

La circulación de la corriente por el cuerpo humano puede producir varios efectos:

- Agarrotamiento muscular. Contracción involuntaria de los músculos, al circular por ellos la corriente eléctrica.
- Alteraciones del ritmo cardíaco. Cuando la corriente circula a través del corazón.
- Fibrilación ventricular. Cuando la corriente excita las fibras de los ventrículos del corazón, produciendo un asincronismo completo. Es la causa mayor de muerte por accidente eléctrico.
- Quemaduras. Producidas en las partes del cuerpo en contacto con las piezas en tensión. Este efecto térmico es muy peligroso en media y alta tensión.

#### ■ Límite de peligrosidad de la corriente eléctrica

Varios factores influyen en la peligrosidad de la corriente eléctrica:

- Valor eficaz de la corriente. Se considera peligrosa una corriente mayor de 10 mA.
- Frecuencia de la corriente. La corriente más peligrosa es la de frecuencias comprendidas entre 10 y 100 Hz.
- Trayectoria de la corriente. El trayecto más peligroso es el que afecta directamente al corazón, de la mano izquierda al pecho.
- Duración de la descarga. La peligrosidad es mayor cuanto mayor es la duración de la descarga. La CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) define la peligrosidad de la corriente para la frecuencia de 50 y 60 Hz mediante un gráfico tiempo-corriente (fig. 5.24).

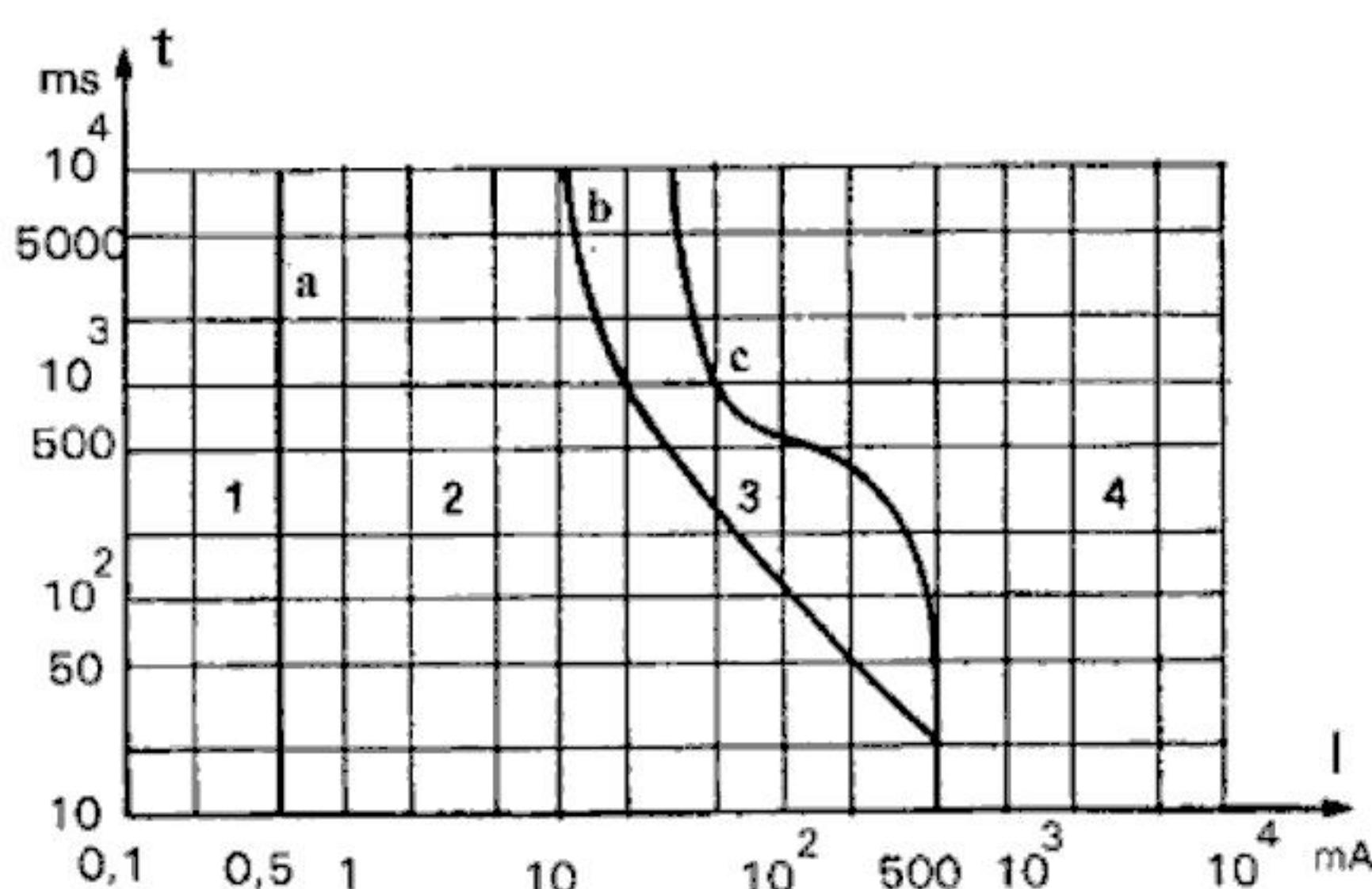


Fig. 5.24



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

**5.28-2** Calcular la máxima resistencia a tierra en un local mojado si la instalación está protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de 30 mA.

Solución:  $800 \Omega$ .

**5.28-3** En un local seco la resistencia a tierra es de  $120 \Omega$ . Calcular el interruptor diferencial necesario para protección de una línea trifásica que alimenta a 400 V, 50 Hz, una carga de 15 kW con factor de potencia 0,8.

Solución: 300 mA, 40 A, 400 V

## 5.29. PROTECCIÓN DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS

Las líneas deben estar protegidas contra sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones.

## 5.30. RELÉS DE PROTECCIÓN

Son aparatos que controlan una magnitud eléctrica y, que al variar ésta por encima o por debajo de un cierto valor, hacen actuar un interruptor (de forma instantánea o retardada) que desconecta la instalación.

Los relés de protección son de varios tipos según la magnitud que controlan:

- a) *Relé de sobreintensidad*. Controla la intensidad que circula por el equipo protegido, puede ser:
  - 1) De tiempo independiente. Actúa siempre en el mismo tiempo cualquiera que sea el valor de intensidad que sobrepase el valor ajustado en el relé. Suelen ajustarse para que funcionen con un retardo de unos 0,3 s. Se utilizan en M.T. en líneas de poca longitud.
  - 2) De tiempo inverso. Actúa en función de la intensidad de corriente, de forma que cuanto mayor sea la sobreintensidad menor será el tiempo de actuación. Se utilizan en M.T. en líneas de gran longitud o en redes en malla.
- b) *Relé de tensión*. Para protección de sobretensión y subtensión se utilizan relés que actúan según la tensión entre fases y que funcionan retardados entre 2 y 20 s, para dar tiempo a que los dispositivos reguladores de tensión actúen antes de desconectar la línea.
- c) *Relé de vigilancia de contacto a tierra* (en redes de neutro aislado). En estas redes, si un conductor se conecta accidentalmente a tierra, cualquier nuevo contacto con tierra produciría una fallo de conexión.
- d) *Relé detector de cortocircuito fase-tierra* (en redes de neutro conectado a tierra). En líneas de M.T., para detectar la conexión de una fase con tierra, que produce una corriente de retorno a través del terreno, de magnitud inferior al ajuste usual de las protecciones, se utiliza un relé de sobreintensidad conectado al neutro de la línea que actúa con un retardo entre 10 y 60 s. El relé genera una señal de alarma, procediéndose entonces a la localización de la avería.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- Trabajos en contacto. El operario va provisto de herramientas aislantes. Se utiliza en líneas de B.T.
- Trabajos a distancia. El operario se mantiene a una distancia de seguridad de los elementos en tensión maniobrando mediante pétigas y herramientas especiales. Se utiliza en M.T.
- Trabajos a potencial. El operario se conecta al potencial del elemento sobre el que va a trabajar, no conservando por ello distancia de seguridad y trabajando con herramientas comunes. Se utiliza en muy alta tensión.

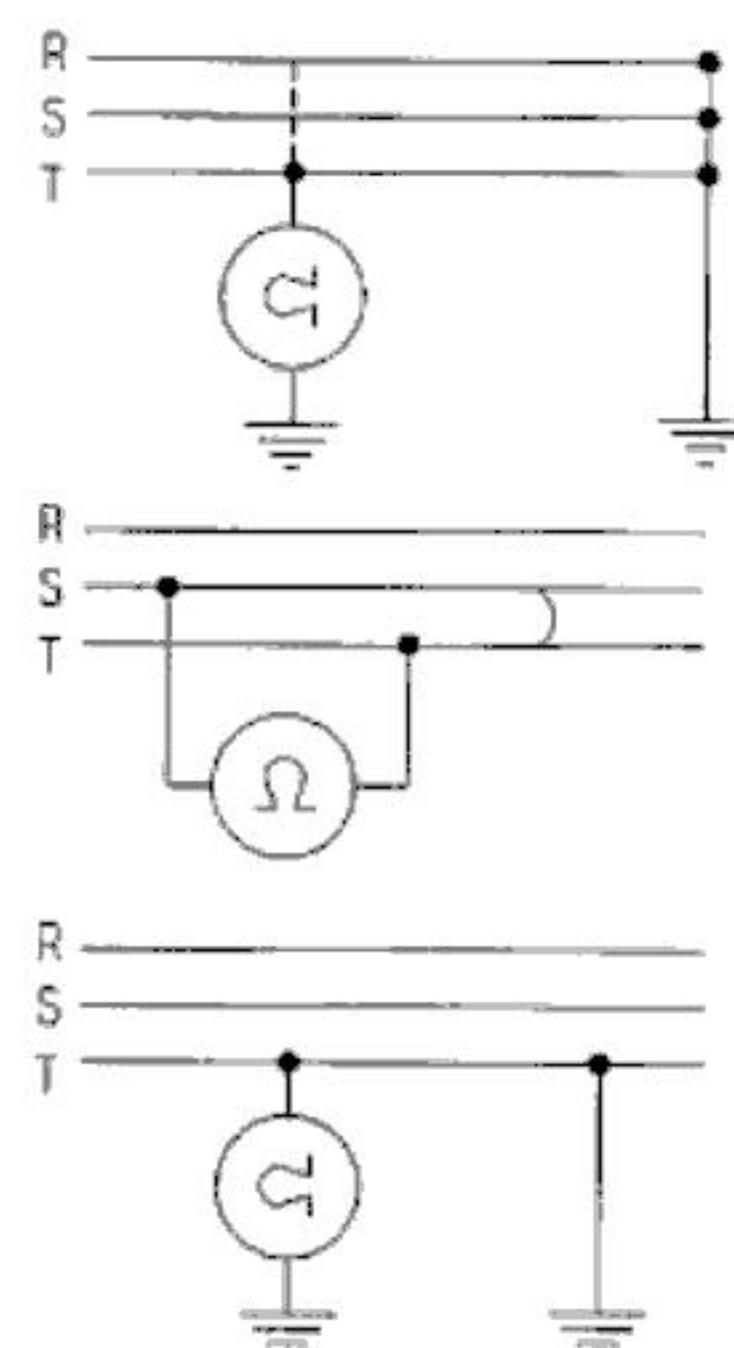


Fig. 5.36

### 5.38. DETERMINACIÓN DE AVERÍAS EN LAS LÍNEAS

- Las averías de una línea son (fig. 5.36):
- Conductor sin continuidad. Se determina midiendo la resistencia entre cada uno de los conductores y tierra por un extremo mientras que por el otro los conductores se conectan entre sí a tierra. La resistencia respecto a tierra del conductor cortado es mucho mayor que la de los demás conductores.
  - Contacto entre conductores. Se determina midiendo la resistencia entre cada dos conductores. La resistencia entre los conductores en contacto es muy pequeña.
  - Contacto entre conductor y tierra. Se determina midiendo la resistencia entre cada conductor y tierra, que debe tener un valor muy pequeño.

### 5.39. LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS EN LAS LÍNEAS

la localización de las averías se hace en dos fases:

- 1) *Prelocalización*, mediante puentes de medida.

Son muy usados:

- Puente de Wheatstone. Se utiliza para contactos entre conductores, efectuándose la medida desde los dos extremos (fig. 5.37).

Cuando el primer puente está en equilibrio:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot (R_x + 2R_p)$$

En el equilibrio del segundo puente  $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot [R_x + (2R_L - 2R_p)]$

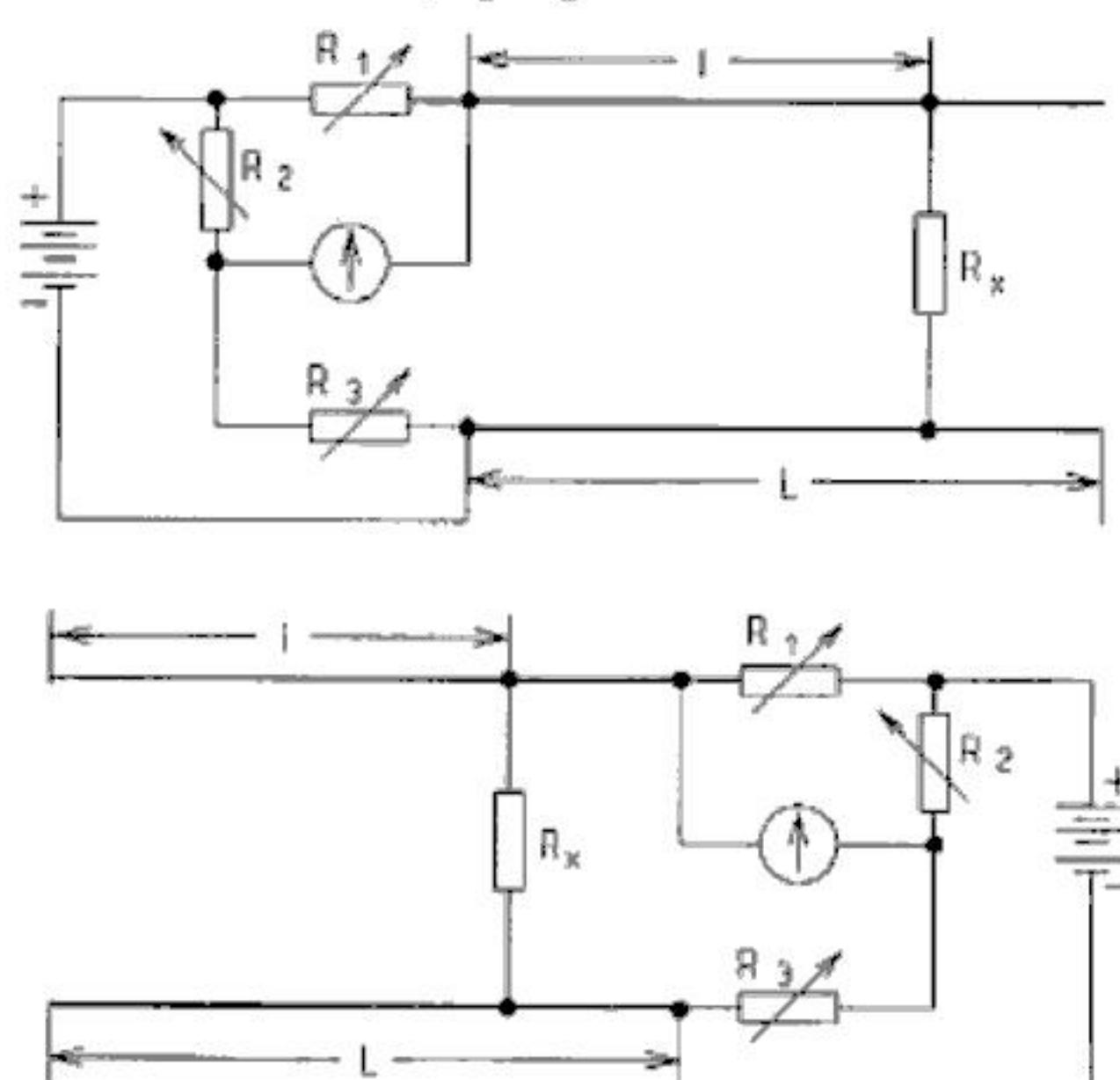


Fig. 5.37



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

#### 6.4. TRANSFORMADOR

El transformador de potencia es el aparato más importante de los centros de transformación. Es la máquina eléctrica estática capaz de transformar, por inducción electromagnética, un sistema de corriente alterna en otro de corriente alterna, pero de distinta tensión e intensidad. En los centros de transformación transfiere la energía eléctrica entre el circuito de M.T. y el circuito de B.T.<sup>1</sup>

##### ■ Características

El transformador más utilizado en los centros de transformación es el transformador trifásico. Las características más importantes, indicadas en su placa de características son:

- *Potencia nominal.* Las potencias normalizadas en los transformadores de distribución se indican en KVA: 10, 25, 50, 100, 160, 250, 400, 630, 800, 1 000, 1 250, 1 600, 2 000 y 2 500.
- *Relación de transformación.* Relación entre la tensión de línea nominal primaria y la secundaria.

La tensión nominal secundaria se considera a 400 V, y como tensión de línea en vacío 420 V. Los tipos de transformadores según la tensión secundaria, son:

B1: Para alimentación de receptores a 230 V.

B2: Para alimentación de receptores a 400 V.

La tensión nominal primaria es la de la línea de alimentación en M.T. Habitualmente 20 kV.

En el lado de M.T. los transformadores de distribución van provistos de un conmutador que permite variar el número de espiras con el transformador desconectado, regulando la tensión en  $\pm 2,5\%$ ,  $\pm 5\%$  o  $+7\%$ .

- *Tensión de cortocircuito.* La tensión porcentual de cortocircuito en los transformadores trifásicos de distribución está comprendida entre 4 y 6%.

- *Frecuencia.* La frecuencia normalizada es 50 Hz.

- *Grupo de conexión.* Los grupos de conexión más utilizados en los transformadores de distribución, son:

Para transformadores de potencia nominal menor de 160 kVA: Yzn 11. Conexión estrella en el primario, zig-zag en el secundario, neutro accesible e índice de conexión 11, (desfase entre tensiones de línea de primario y secundario,  $30 \cdot 11 = 330^\circ$ ).

Para transformadores de distribución de potencia mayor o igual a 160 kVA: Dyn11. Conexión triángulo en el primario, estrella en el secundario, neutro accesible e índice de conexión 11.

<sup>1</sup> Para estudiar el funcionamiento del transformador ver el apéndice B: "Transformador"



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

El interruptor está equipado con dispositivos de extinción del arco, generalmente gas a presión. La corriente y el tiempo de disparo se pueden ajustar por separado mediante un sistema con dispositivo temporizador que actúa sobre los relés.

Combinados con los fusibles o con los interruptores automáticos se utilizan *seccionadores*. Son los aparatos de maniobra empleados para aislar los diferentes elementos del C.T.. Su funcionamiento puede ser manual, mediante mando adecuado, o enclavado con el interruptor. Sólo se pueden maniobrar en vacío, pues el arco que se produciría en carga puede dar lugar a cortocircuitos y a la destrucción de la cuchillas de contacto. La apertura del seccionador pone a tierra los bornes de salida.

Se utilizan también para poner a tierra las líneas cuando deben revisarse y para dividir las barras activas de una línea.

## 6.8. PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRETENSIONES

Las causas de las sobretensiones pueden ser:

- Sobretensiones a frecuencia industrial. Debidas a variaciones bruscas de carga.
- Sobretensiones de maniobra. Debidas a conexiones o desconexiones bruscas.
- Sobretensiones atmosféricas. Por caída de rayo en un conductor o en sus proximidades.

### ■ Protección interna del transformador contra sobretensiones

1) *Protección de cuba*. Esta protección controla las corrientes de fuga a tierra originadas por una sobretensión. Consiste en aislar la cuba del transformador de tierra, conectándola luego a una toma de tierra mediante un conductor que pasa por un anillo de material magnético. Sobre el anillo toroidal está arrollada una bobina que conecta con un relé, el cual acciona el interruptor de conexión del transformador.

2) *Limitador de sobretensión*. Es una protección conectada en el lado de B.T. del transformador, conectada obligatoriamente en el régimen de neutro IT. El limitador de sobretensión deriva a tierra las tensiones peligrosas del secundario por fallos de aislamiento entre el devanado primario y secundario. El limitador funciona al perforarse un aislante de grosor determinado según la sobretensión.

### ■ Protección externa del transformador contra sobretensiones

Se realiza con *autoválvulas*. Conectadas entre los conductores de la línea y tierra, protegen los centros de transformación contra las sobretensiones de origen atmosférico. Cuando la tensión es la nominal la autoválvula es un circuito abierto; pero cuando la tensión es más elevada se hace conductora, permitiendo el paso de corriente a través de ella a tierra e impidiendo así la llegada de la sobretensión al C.T.. Se colocan lo más cerca posible de la entrada de la línea aérea al C.T. Si



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

La fuerza sobre los soportes de las barras debe ser menor que la carga máxima de rotura que admiten los aisladores utilizados.

Considerando las barras apoyadas en los dos extremos, como caso más desfavorable, el momento flector  $M_f$  (daN·cm):

$$M_f = \frac{F \cdot L_b}{8}$$

$L_b$ : Longitud máxima de las barras (cm).

Momento resistente o módulo de flexión  $M_r$  (cm<sup>3</sup>), para pletina de sección rectangular, de dimensiones de la base  $b$  (cm) y de la altura  $h$  (cm).

$$M_r = \frac{b h^2}{6}$$

El coeficiente de trabajo  $\sigma$  (daN/cm<sup>2</sup>):  $\sigma = \frac{M_f}{M_r}$

Este coeficiente de trabajo tiene que ser menor que la carga de rotura de las barras (1 200 daN/cm<sup>2</sup> para el cobre y 1 000 daN/cm<sup>2</sup> para el aluminio).

## ■ SOLICITACIONES TÉRMICAS

- La densidad de corriente en régimen nominal  $\delta = \frac{I_n}{s}$

$\delta$ : Densidad de corriente (A/mm<sup>2</sup>).

$s$ : Sección del conductor (mm<sup>2</sup>).

Esta densidad de corriente tiene que ser menor que la que puede soportar el conductor.

- Sección necesaria para soportar el incremento de la temperatura del conductor en régimen de cortocircuito.

$$\text{Para el cobre } s = \frac{I_{cc}}{13} \sqrt{\frac{t}{\Delta\theta}}$$

$s$ : Sección del conductor (mm<sup>2</sup>).

$\Delta\theta$ : Incremento de temperatura permitida en el conductor (°C).

$t$ : Tiempo de duración del cortocircuito (s). Se suele considerar 0,1 s

La temperatura alcanzada por el conductor debe ser menor que la permitida según el fabricante.

## PROBLEMAS DE APLICACIÓN

- 6.13-1** Un centro de transformación tiene un transformador de 1 000 kVA, 20/0,4 kV,  $u_{ce}=6\%$ . Las pérdidas en el cobre a plena carga y 75 °C, es 10,5 kW. La potencia de cortocircuito en el punto de conexión con la línea de distribución de 20 kV, según la empresa suministradora de energía es de 400 MVA. Calcular:

- Intensidad de cortocircuito en el primario, considerando en los bornes de conexión la potencia de cortocircuito de 400 MVA.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- *Centro de transformación sobre apoyo metálico* (fig. 6.3). Igual que en el transformador sobre apoyo de hormigón; la línea de M.T. se sujeta a la cruceta soporte de las autoválvulas y deriva a éstas y al primario del transformador, que colocado sobre soporte metálico, tiene la salida de B.T. conectada a un interruptor de protección de corte tetrapolar. Puede tener una toma de tierra para el neutro de B.T. y otra para masas y autoválvulas. La parte baja del apoyo lleva una chapa antiescala. El apoyo metálico admite transformadores de más potencia que el apoyo de hormigón (hasta 160 kVA). Se utiliza mucho el apoyo C-3000.
- *Centro de transformación sobre dos apoyos de hormigón*. El transformador se coloca sobre un pórtico formado por dos postes de hormigón (fig. 6.4). Uniendo los dos postes en su parte superior está una cruceta recta que sirve de sujeción a la cadena de aisladores de amarre a la línea de M.T. y de soporte a las autoválvulas. Situado en uno de los apoyos está el interruptor de protección de B.T., que recibe la línea del secundario del transformador. De este interruptor parte la línea de baja tensión con conductor RZ. También se pueden utilizar las dos tomas de tierra, para neutro y para masa y autoválvulas. Esta disposición permite utilizar transformadores de potencia más elevada que sobre un sólo apoyo (se utiliza para 160 kVA). Los apoyos mínimos que se emplean son HV-630.

Actualmente se prefiere utilizar un apoyo metálico para el C.T. sobre poste. La parte inferior de la cuba del transformador debe estar a una altura del suelo no inferior a 3 m (MIE RAT 15). Las partes que se encuentren bajo tensión y no estén protegidas contra contactos accidentales se sitúan como mínimo a 5 m del suelo.

#### ■ Protección en B.T.

- *Cuadro de protección intemperie*. Es un interruptor de corte tetrapolar con fusibles, utilizado para transformadores de 100 a 250 kVA, de intensidades nominales de 160 a 400 A y fusibles de 32 a 250 A. La caja es de poliéster con fibra de vidrio y la entrada y salida de cables se realiza por su parte inferior.

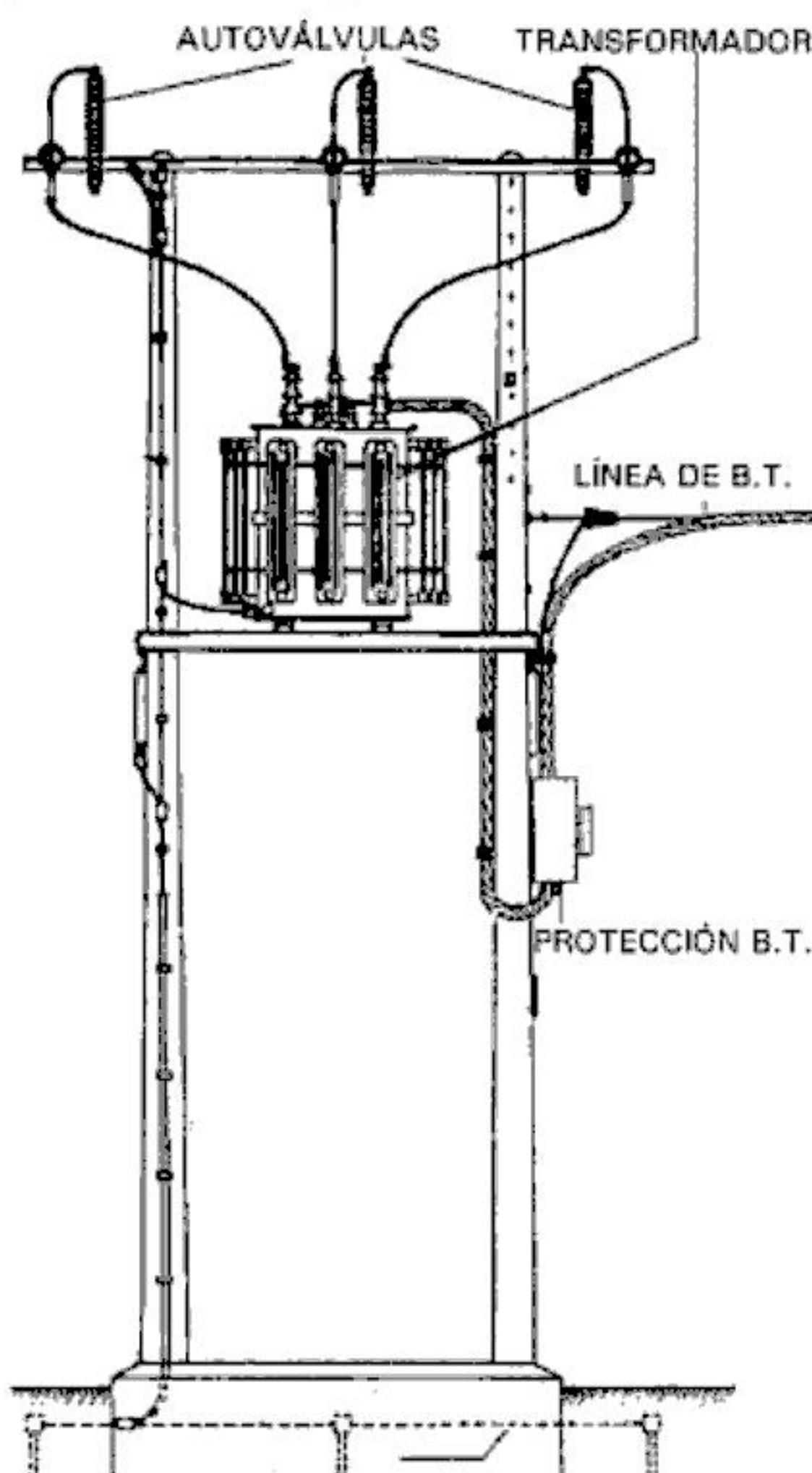


Fig. 6.4



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

## PROBLEMAS DE APLICACIÓN

**6.14-1** Se instala un centro de transformación aéreo con un transformador de 100 kVA, 20/0,4 kV, en un apoyo HV-1000-R11. El centro de gravedad del transformador está a 6,6 m del suelo, con un empotramiento del apoyo de 1,9 m. En la punta de apoyo se coloca una cruceta de amarre para conductor LA 30. Calcular:

- Acción transversal del viento sobre los conductores, sabiendo que el vano de amarre es de 60 m.
- Acción del viento sobre la cara lateral del transformador, si su superficie es de 0,74 m<sup>2</sup>.
- Fuerza transversal en la punta del apoyo, considerando las dos acciones anteriores.
- Tiro longitudinal de los conductores, considerando un tensión máxima de 288 daN.
- Fuerza resultante en la punta del apoyo.

$$\text{a) El eolovano } a_e = \frac{1}{2}(a) = \frac{60}{2} = 30 \text{ m}$$

La fuerza del viento sobre los tres conductores de diámetro 0,00714 m:

$$F_v = 3 \cdot p_v \cdot a_e \cdot d = 3 \cdot 60 \cdot 30 \cdot 7,14 \cdot 10^{-3} = 38,56 \text{ daN}$$

- La fuerza del viento sobre el transformador, considerando una presión del viento de 100 daN/m<sup>2</sup> para velocidad del mismo 120 km/h (ITC-LAT-07):

$$F_{tra} = S_{tra} \cdot 100 = 0,74 \cdot 100 = 74 \text{ daN}$$

- La altura del apoyo sobre el terreno  $H = 11 - 1,9 = 9,1 \text{ m}$

La fuerza en la punta del apoyo que produce el mismo momento que la debida al viento sobre el transformador:

$$F_{tra}' = \frac{74 \cdot 6,6}{9,1} = 53,67 \text{ daN}$$

El esfuerzo transversal total en la punta del apoyo  $F_T = 38,56 + 53,67 = 92,23 \text{ daN}$

- El esfuerzo longitudinal en punta  $F_L = 3 \cdot T_{\max} = 3 \cdot 288 = 864 \text{ daN}$

$$\text{e) La fuerza resultante } F_R = \sqrt{F_T^2 + F_L^2} = \sqrt{92,23^2 + 864^2} = 869 \text{ daN}$$

**6.14-2** Se instala un centro de transformación aéreo con un transformador de 160 kVA, 20/0,4 kV, en un apoyo de longitud 12 m y empotramiento de 2,4 m. El centro de gravedad del transformador está a 6,5 m del suelo. En la punta de apoyo se coloca una cruceta de amarre para conductor LA 56. Calcular:

- Fuerza transversal en la punta del apoyo debida a la acción del viento, si la cara lateral del transformador es de 1,2 m<sup>2</sup> de superficie y el vano de amarre 80 m.
- Fuerza longitudinal de los conductores, considerando un tensión máxima de 522 daN.
- Fuerza resultante en la punta del apoyo.

Solución: a) 149,3 daN; b) 1 566 daN; c) 1 573 daN.

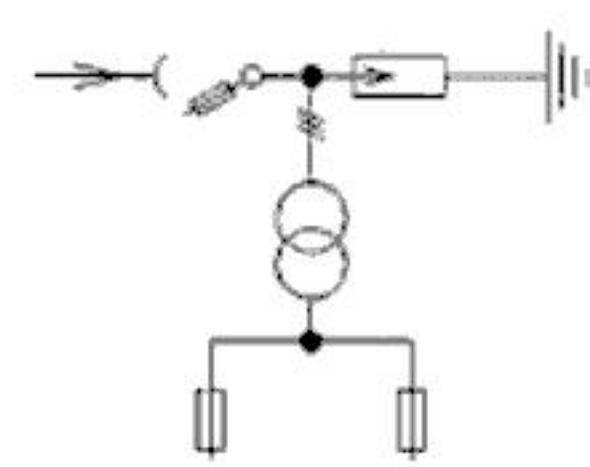
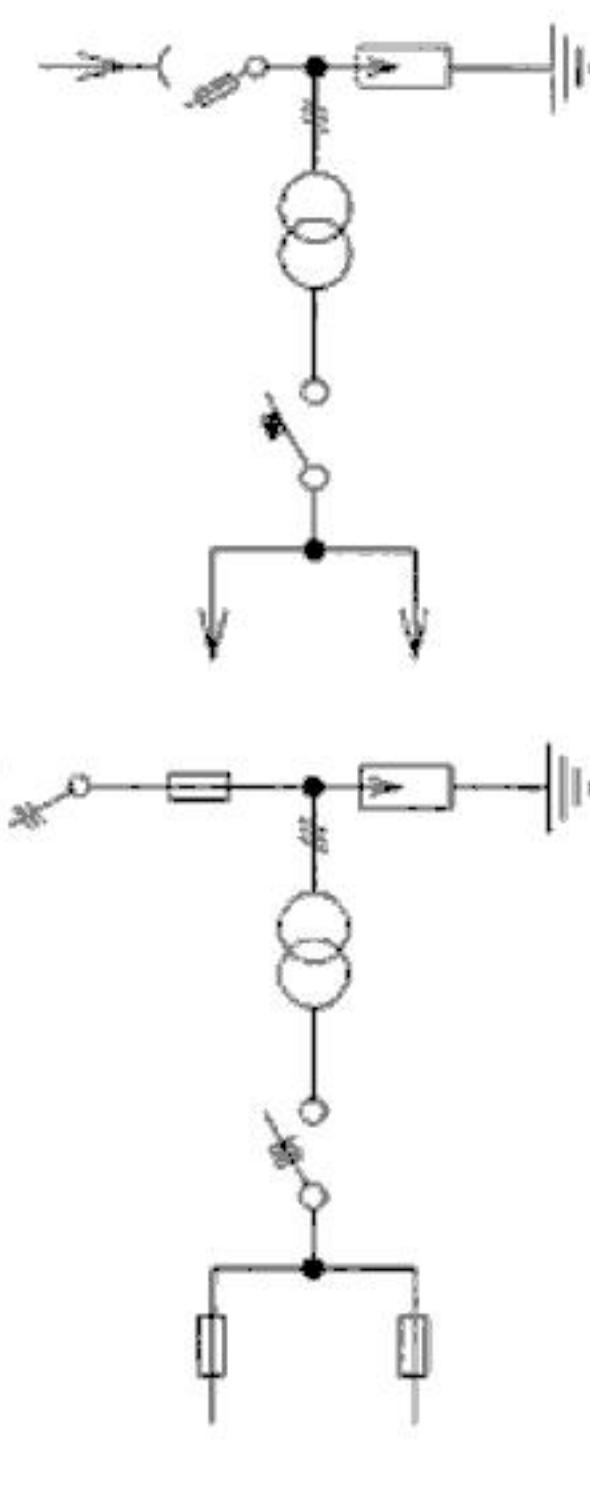


Fig. 6.12



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### ■ Celdas en el centro de transformación.

- 1) *Celda de línea*, para entrada y salida de los cables (fig. 6.21).

Lleva un interruptor seccionador, seccionador de puesta a tierra, aisladores capacitivos (uno por fase) y pilotos señalizadores de tensión (situados en la parte delantera con colores marrón amarillo y verde), alojamiento para terminales del cable y barras de interconexión.

El interruptor seccionador, tiene apertura y cierre simultáneo en los tres polos, con posición abierta visible, tensión nominal 24 kV e intensidad nominal 400 A.

El seccionador de puesta a tierra está situado entre el terminal del cable y el aparato de protección y maniobra.

En C.T. de usuario la construcción de estas celdas debe adaptarse a las normas de la empresa distribuidora, que es la única que tiene acceso a ellas según la instrucción MIE RAT 19.

- 2) *Celda de protección* (fig. 6.22), utilizada para maniobra y protección. Lleva un interruptor seccionador, fusibles, seccionador de puesta a tierra, alojamiento para terminal del cable, bobina de disparo (accionada por el termostato del transformador) y barras de interconexión.

Al conjunto interruptor-seccionador fusible se le llama ruptofusible cuando al fundir el fusible, su percutor hace abrir el interruptor-seccionador. Esta protección está siendo sustituida por interruptor automático o disyuntor, que mediante relés protege contra sobrecargas y cortocircuitos.

Las características eléctricas más usuales de los aparatos de corte y maniobra son: tensión nominal 24 kV, intensidad nominal 400-630-1 250 A, intensidad de corta duración (1 s) 16 kA, intensidad de cresta 40 kA, poder de cierre 40 kA, nivel de aislamiento a tierra con impulso de tipo rayo 125 kV, nivel de aislamiento a tierra a 50 Hz durante 1 minuto 50 kV. El poder de corte depende de cada aparato.

- 3) *Celda de remonte* (fig. 6.23). Con alojamiento para terminación del cable.

- 4) *Celda de seccionamiento*. Lleva un seccionador, alojamiento para terminal del cable y barras de conexión (fig. 6.24). Se utiliza también la celda de seccionamiento en centros de seccionamiento (utilizados para conexión y desconexión de líneas de M.T.) y conectada con celdas de línea (fig. 6.25).

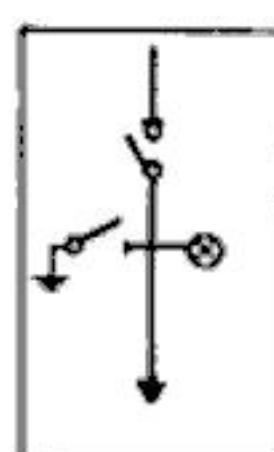


Fig. 6.21

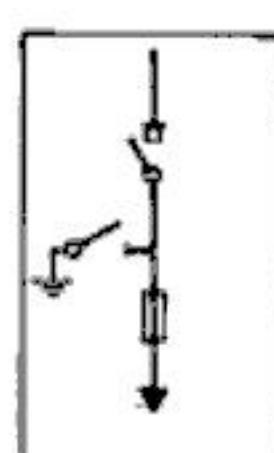


Fig. 6.22

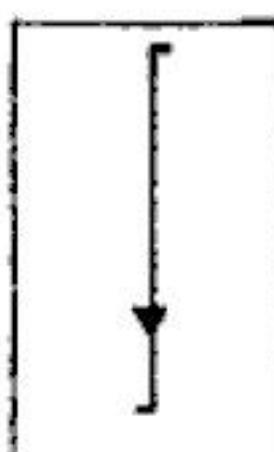


Fig. 6.23



Fig. 6.24

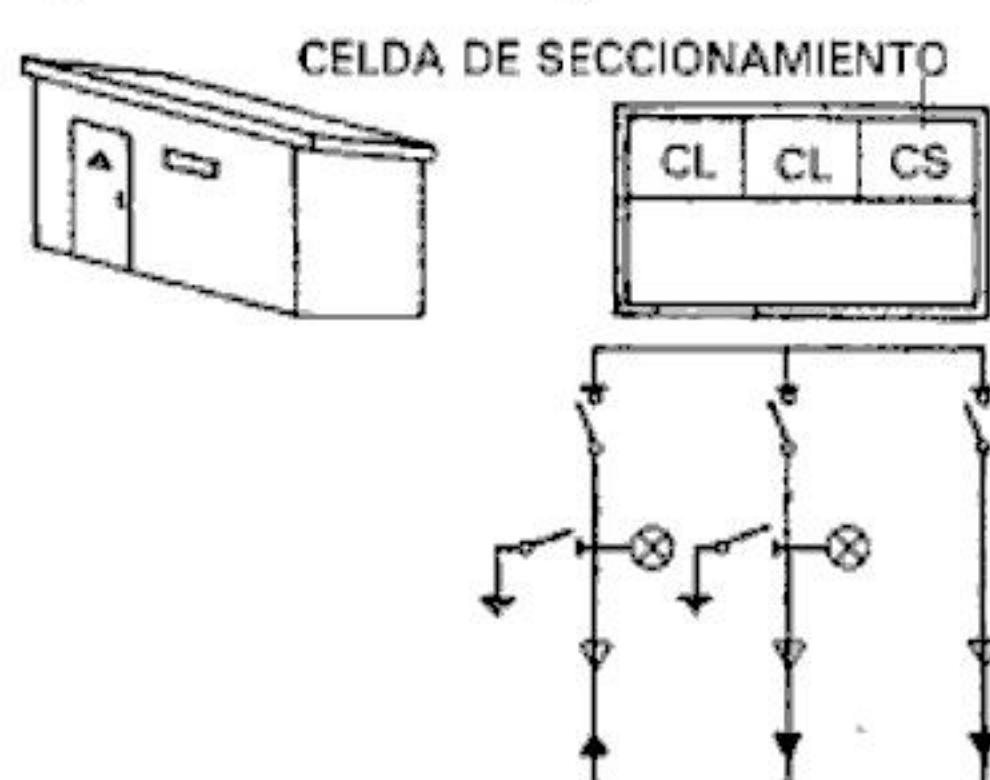


Fig. 6.25



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- *Neutro en la línea de M.T. puesto a tierra a través de una reactancia.*

$$\text{La intensidad de defecto a tierra } I_d = \frac{V_L}{\sqrt{3} \sqrt{(R_T + R_n)^2 + X_n^2}}$$

$R_n$ : Resistencia de puesta a tierra del neutro de la red ( $\Omega$ ).

$X_n$ : Reactancia de puesta a tierra del neutro de la red ( $\Omega$ ).

La corriente de defecto a tierra, originada por un fallo de aislamiento, debe ser mayor que la corriente de arranque  $I_s$  del relé de protección conectado sobre la conexión del neutro a tierra.

$$I_d \geq I_s$$

### ■ Tensión de paso máxima

Es el valor  $V_{p\max}$  (V).  $V_{p\max} = K_p \cdot \rho \cdot I_d$

### ■ Tensión de paso admisible

Es el valor  $V_p$  (V). Se calcula según la instrucción MIE-RAT 13 del Reglamento de centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

$$V_p = \frac{10K}{t^n} \left[ 1 + \frac{6\rho}{1000} \right]$$

Los valores de  $K$  y  $n$  se escogen en función del tiempo  $t$  (s) de duración del defecto de acuerdo con el Reglamento de centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación, según la instrucción (MIE RAT 13). El tiempo de duración del defecto es un dato suministrado por la empresa distribuidora de energía, que suele ser inferior a 0,9 s. En este caso  $K=72$  y  $n=1$ .

La tensión de paso máxima debe ser menor que la admisible.

### ■ Tensión de paso admisible en el acceso al centro de transformación

Es la tensión de paso  $V_{p(\text{acc})}$  (V), a la que puede quedar expuesta una persona cuando tiene un pie en el terreno de resistividad  $\rho$  y otro sobre el pavimento del centro de transformación de resistividad  $\rho'$  (hormigón con resistividad elevada):

$$V_{p(\text{acc})} = \frac{10K}{t^n} \left[ 1 + \frac{3\rho + 3\rho'}{1000} \right]$$

Esta tensión de paso debe ser mayor que la tensión de contacto máxima.

### ■ Tensión de contacto máxima

Es el valor  $V_{cmáx}$  (V).  $V_{cmáx} = K_c \cdot I_d \cdot \rho$

### ■ Tensión de contacto admisible

$$\text{Es el valor } V_c \text{ (V). } V_c = \frac{K}{t^n} \left[ 1 + \frac{1,5\rho}{1000} \right]$$

La tensión de contacto máxima debe ser menor que la admisible. Esto no se cumple en muchos casos por lo que adoptan las siguientes medidas de seguridad:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- a) Consumo total de energía activa.
- b) Factor de potencia medio.
- c) Complemento por energía reactiva.

a) La energía activa total  $W_a = 3\,400 + 4\,300 + 7\,400 = 15\,100 \text{ kWh}$

$$\text{b) El factor de potencia medio } \cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}} = \frac{15\,100}{\sqrt{15\,100^2 + 3\,840^2}} = 0,97$$

b) El valor porcentual de recargo por complemento por energía reactiva:

$$K_r \% = \frac{37,026}{\cos^2 \varphi} - 41,026 = \frac{37,026}{0,97^2} - 41,026 = -1,7\% \quad (\text{descuento})$$

**7.15-4** Un local de hostelería con contador de triple tarifa, consume mensualmente en horas punta 4 400 kWh, en horas llano 8 430 kWh y en horas valle es de 9 740 kWh. El consumo de energía reactiva es de 8 340 kVArh. Calcular:

- a) Consumo total de energía activa.
- b) Factor de potencia medio.
- c) Complemento porcentual por energía reactiva.

Solución: a) 22570 kWh; b) 0,94; c) 0%

## 7.16. TARIFAS DE ACCESO EN BAJA TENSIÓN

Los peajes de acceso a las redes son únicos en todo el territorio nacional y no incluirán ningún tipo de impuestos. Además, tienen en cuenta las especialidades por niveles de tensión y las características de los consumos por horario y potencia.

Se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica y se regulan las condiciones básicas de los contratos de adquisición de energía y de acceso a las redes en baja tensión (Real Decreto 1435/2002, de 27 de diciembre).

Tarifas de acceso existentes en baja tensión:

Tarifa 2.0 A: tarifa simple (1 ó 2 períodos horarios y potencia contratada menor o igual a 15 kW)

Tarifa 3.0 A: tarifa general (3 períodos horarios)

En la figura 7.8 se representa el esquema de medida indirecta en B.T. con doble tarifa y máxímetro. La regleta de verificación, situada entre los transformadores de intensidad y los contadores, permite la comprobación del funcionamiento de estos. El reloj conmutador horario permite cambiar la tarifa y marcar los períodos de funcionamiento del máxímetro. Estos contadores con relojes mecánicos están siendo sustituidos por contadores electrónicos programables.

## 7.17. ESTRUCTURA DE LAS TARIFAS DE ACCESO

La estructura actual de tarifas de acceso tiene una fórmula binomial compuesta por un término de potencia, un término de energía activa y, en su caso, término de energía reactiva. Estos términos se obtienen de la siguiente forma:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

a) La potencia de facturación en el primer período es:  $P_{f1} = 0,85 \cdot 80 = 68 \text{ kW}$ .

La potencia de facturación en el segundo período es:  $P_{f2} = P_{\max} = 83,2 \text{ kW}$ .

La potencia de facturación en el tercer período  $P_{f3} = 0,85 \cdot 140 = 119 \text{ kW}$ .

$$\text{Término de potencia } T_p = \frac{68 \cdot 15,090975 + 83,2 \cdot 9,306199 + 119 \cdot 2,134018}{12} = 171,2 \text{ euros}$$

b) El término de energía:  $T_e = (3360 + 13373 + 7512) \cdot 0,10465 = 2537,24 \text{ euros}$ .

c) La facturación por energía reactiva es aplicable al primero y segundo período.

$$\text{Factor de potencia medio, primer período } \cos \varphi_1 = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}} = \frac{3360}{\sqrt{3360^2 + 1328^2}} = 0,93$$

$$\text{Factor de potencia medio, segundo período } \cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}} = \frac{13373}{\sqrt{13373^2 + 6851^2}} = 0,89$$

La facturación de energía reactiva

$$(1328 - 0,33 \cdot 3360) \cdot 0,000013 + (6851 - 0,33 \cdot 13373) \cdot 0,013091 = 0 + 31,91 = 31,91 \text{ euros.}$$

d) El impuesto sobre la electricidad

$$\text{IE} = \frac{4,864}{100} \cdot 1,051130 \cdot (171,2 + 2537,24 + 31,91) = 140,11 \text{ euros}$$

El alquiler del equipo de medida  $5,23 \cdot 1 = 5,23 \text{ euros}$ .

El impuesto sobre el valor añadido

$$\text{IVA} = \frac{16}{100} \cdot (171,2 + 2537,24 + 31,91 + 140,11 + 5,23) = 0,16 \cdot 2885,69 = 461,71 \text{ euros}$$

Facturación total =  $2885,69 + 461,71 = 3347,4 \text{ euros}$ .

**7.19-5** Una empresa recibe energía eléctrica a 20 kV y tiene contratado la tarifa 3.1A con tres períodos tarifarios. El consumo de energía en un mes y las potencias:

PERÍODOS	$W_a$ (kwh)	$W_r$ (kVArh)	Potencia contratada (kW)	Potencia máxmetro (kW)
$P_1$	1830	922	26	40
$P_2$	6598	3493	26	52
$P_3$	4725	2443	26	36

Calcular:

a) Término de potencia mensual, si el precio unitario es 15,090975 euros/kW·año en el primer período, 9,306199 euros/kW·año en el segundo y 2,134018 euros/kW·año en el tercero.

b) Término de energía total si el precio medio ponderado, incluido el término de energía de la tarifa de acceso, según contrato, es 0,10349 euros/kWh.

c) Término de facturación de energía reactiva si el precio unitario de ésta para factor de potencia mayor de 0,90 hasta 0,85 es de 0,013091 euros/kVArh.

d) Facturación total sin considerar el alquiler del equipo de medida.

Solución: a) 170,38 €; b) 1361,2 €; c) 21,38 €; d) 1893,54 €.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

7.22-6 Una industria trabaja 16 horas diarias a plena carga con un total de 352 horas mensuales. En un año, el menor consumo mensual fue de 30 102 kWh y 32 880 kVArh, y el mayor consumo fue de 32 132 kWh y 35 295 kVArh. Calcular para estos dos consumos mensuales:

- Potencia media.
- Factor de potencia medio.
- Potencia reactiva que necesita la batería de condensadores para elevar el factor de potencia a 0,96.

Solución: a) 85,5 kW; 91,3 kW; b) 0,675; 0,673; c) 68,5 kVAr; 73,7 kVAr

## 7.23. INSTALACIÓN DE LA BATERÍA DE CONDENSADORES

### ■ Formas de compensación

La instalación de las baterías de condensadores para compensar el factor de potencia de la instalación puede realizarse:

- En el inicio de la instalación. Compensación global o centralizada, mediante la cual se compensa la energía reactiva total de la instalación.
- En las derivaciones a cuadros secundarios. Compensación parcial o de grupo, mediante la cual se compensa la energía reactiva consumida por varios receptores.
- En bornes de cada receptor. Compensación individual, con la batería de condensadores conectada directamente a los bornes de la carga. En motores asincrónicos trifásicos la potencia reactiva de la batería debe estar comprendida entre el 20%-30% del valor de la potencia aparente absorbida.

Suele utilizarse la compensación global, con conexión en los bornes de los cuadros generales de B.T. Esta compensación puede efectuarse:

- Por compensación automática, mediante un dispositivo automático regulador, medidor del factor de potencia, que conecta o desconecta escalones de baterías de condensadores según el factor de potencia del conjunto de la instalación. Los aparatos de maniobra pueden ser contactores (fig. 7.11), o interruptores estáticos a base de tiristores, que realizan la conexión de los distintos tramos de baterías de condensadores según la señal que reciben del regulador. La variación del factor de potencia no será superior al 10% de un valor medio en un prolongado período de funcionamiento (ITC-BT-43).
- Por una batería de condensadores de capacidad fija. En este caso la potencia reactiva de la batería en kVAr, no debe sobrepasar el 15% de la potencia nominal en kVA del transformador situado en el centro de transformación que alimenta la instalación, para evitar posibles elevaciones de tensión en caso de funcionamiento en vacío o con muy poca carga.

### ■ Conexión de la batería de condensadores

Debido a fenómenos transitorios, la intensidad de corriente en el instante de conexión puede ser elevada.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

**P.7-10.** A un motor asincrónico trifásico de potencia nominal 22 kW, 380/660 V, 50 Hz, factor de potencia 0,87, se le conecta una batería de condensadores en triángulo para elevar el factor de potencia a 0,96, cuando funciona a plena carga conectado a 380 V. Calcular:

- Potencia absorbida por el motor a plena carga si el rendimiento es el 90%.
- Potencia reactiva de la batería de condensadores.
- Capacidad de cada rama del triángulo de la batería de condensadores.
- Intensidad de línea a plena carga, sin conectar la batería de condensadores.
- Intensidad de línea a plena carga después de conectada la batería.

Solución: a) 24,44 kW; b) 6,72 kVAr; c) 49,38  $\mu$ F; d) 42,68 A; e) 38,68 A.

**P.7-11.** Un estacionamiento subterráneo de vehículos está iluminado por 162 lámparas de 56 W, 230 V,  $\cos \varphi = 0,42$  inductivo. La línea de alimentación es trifásica con neutro 400/230 V y las lámparas están conectadas simétricamente en estrella. Calcular:

- Potencia activa que consume la instalación.
- Potencia reactiva que debe tener una batería de condensadores conectada en triángulo para elevar el factor de potencia de la instalación de iluminación a 0,98.

Solución: a) 9 072 W; b) 17,76 kVAr.

**P.7-12.** Con una batería de condensadores conectada en triángulo se necesita compensar el factor de potencia a 0,98 de un grupo de motores asincrónicos trifásicos, de tensión nominal 400 V, 50 Hz, formado por:

- Cuatro motores de 11 kW,  $\cos \varphi = 0,84$ , rendimiento 87%.
- Ocho motores de 3 kW,  $\cos \varphi = 0,82$ , rendimiento 80%.

Considerando que los motores funcionan a plena carga, calcular:

- Potencia activa y reactiva total que consumen los motores.
- Factor de potencia del conjunto de los motores.
- Potencia reactiva que debe tener la batería de condensadores.

Solución: a) 80,57 kW, 53,6 kVAr; b) 0,8325; c) 37,25 kVAr.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



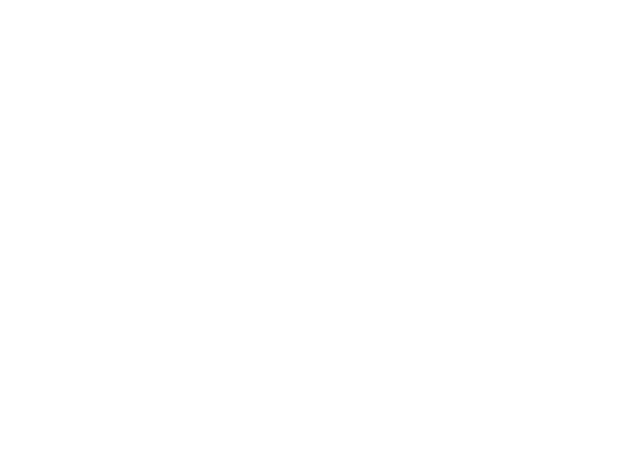
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- Para alimentación de un solo motor, el 125% de la intensidad nominal o de plena carga del motor.
- Para alimentación de varios motores, el 125% de la intensidad de plena carga del motor de mayor potencia más la intensidad a plena carga del resto de los motores.

En la alimentación de motores de equipos de elevación la caída de tensión en el arranque no debe ser superior al 5% (ITC-BT-32).

Las empresas suministradoras están obligadas, siempre que lo solicite el cliente, a un suministro que permita el funcionamiento de cualquier receptor monofásico de potencia menor a 5 750 W, hasta un máximo de 14 490 W, a 230 V (ITC-BT-10).

## 8.15. INSTALACIONES EN EL INTERIOR DE LA VIVIENDA

- a) *Naturaleza de los conductores.* Según la instrucción ITC-BT-19 los conductores empleados en las instalaciones interiores pueden ser de cobre o aluminio. De cobre en viviendas (ITC-BT-26), usualmente tipo H07V-U, H07V-R y HO7V-K.
- b) *Identificación de los conductores en una instalación interior.* Los conductores se identificarán por el color del aislante (ITC-BT-19):
  - Azul claro para el neutro.
  - Negro, marrón o gris para los conductores de fase.
  - Amarillo-verde para el conductor de protección.
- c) *Sección del conductor neutro.* En instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas por cargas no lineales y posibles desequilibrios, salvo justificación por cálculo, la sección del neutro será como mínimo igual a la de las fases (ITC-BT-19).
- d) *Circuitos en el interior de la vivienda.* Las tablas 8.6 y 8.7, resume la instalación en el interior de las viviendas según el REBT (ITC-BT-25) con los circuitos mínimos y puntos de utilización según los grados de electrificación. Se utilizan también otros circuitos: señalización acústica, portero eléctrico, antenas receptoras de TV, telefonía, seguridad, etc.

La caída de tensión máxima en el interior de la vivienda, desde el cuadro general de mando y protección es el 3%, considerando la intensidad nominal del interruptor automático que protege el circuito (ITC-BT-25).

La resistencia de aislamiento mínima en instalaciones interiores, para canalizaciones que no excedan de 100 m de longitud, será mayor o igual a  $0,5 \text{ M}\Omega$ , para tensiones menores o iguales a 500 V; excepto muy bajas tensiones de seguridad o protección, que será mayor o igual a  $0,25 \text{ M}\Omega$  (ITC-BT-19).

Las conexiones no pueden realizarse por simple retorcimiento y para secciones superiores a  $6 \text{ mm}^2$ , la conexión será por medio de terminales (ITC-BT-19).

Los circuitos de mando de automatización, alimentados a muy baja tensión de seguridad, pueden conectarse antes del interruptor diferencial (ITC-BT-25).

Todos los circuitos deben llevar conductor de protección (ITC-BT-26).



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

permitida desde el origen de la instalación es el 5% en el arranque. La caída de tensión en la línea general es como máximo el 0,5%, por lo que queda para la derivación al motor el 4,5%.

La intensidad a considerar en el arranque (ITC-BT-47)

Tabla 8.9

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA	
Potencia nominal del motor	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga.
De 0,75 a 1,5 kW	4,5
De 1,5 a 5,0 kW	3,0
De 5,0 a 15,0 kW	2,0
De más de 15,0 kW	1,5

En los motores de ascensores y aparatos de elevación la constante de proporcionalidad se multiplica por 1,3.

La intensidad de arranque máxima es:  $3 \cdot 8,5 \cdot 1,3 = 33,15$  A.

La caída de tensión en la derivación, de sección 6 mm<sup>2</sup>.

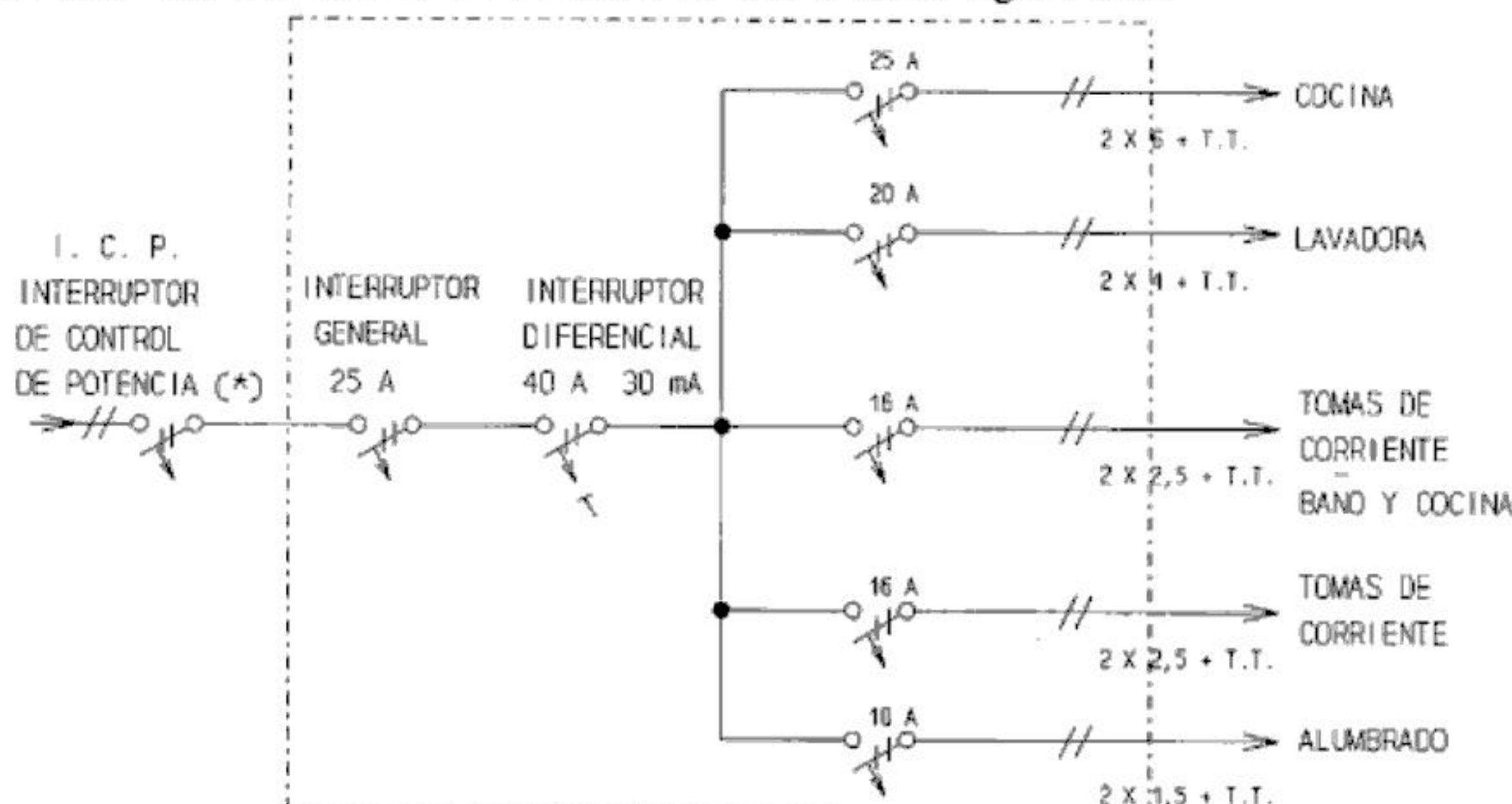
$$u = \frac{\sqrt{3} L I_L \cos \varphi}{cs} = \frac{\sqrt{3} \cdot 40 \cdot 33,15 \cdot 0,82}{56 \cdot 6} = 4,2 \text{ V}$$

$$\text{En tanto por cien } u \% = \frac{4,2 \cdot 100}{400} = 1,05 \%$$

El cuadro de control y protección del motor del ascensor, así como del alumbrado de la cabina, cuarto de máquinas y recinto (que por ser su consumo muy pequeño no se consideró en el cálculo), suele situarse inmediato al motor, y está alimentado por las tres fases y neutro, por lo que la derivación tendrá 4 conductores de sección 6 mm<sup>2</sup> y el conductor de protección (4x6 + T.T.).

Las secciones mínimas, halladas por cálculo, deben adaptarse a las especificaciones particulares de las empresas suministradoras de energía eléctrica.

El esquema del cuadro de vivienda se indica en la figura 8.10



(\*) DIMENSIONADO SEGUN LA POTENCIA CONTRATADA

Fig. 8.10: Cuadro de mando y protección de una vivienda de electrificación básica.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

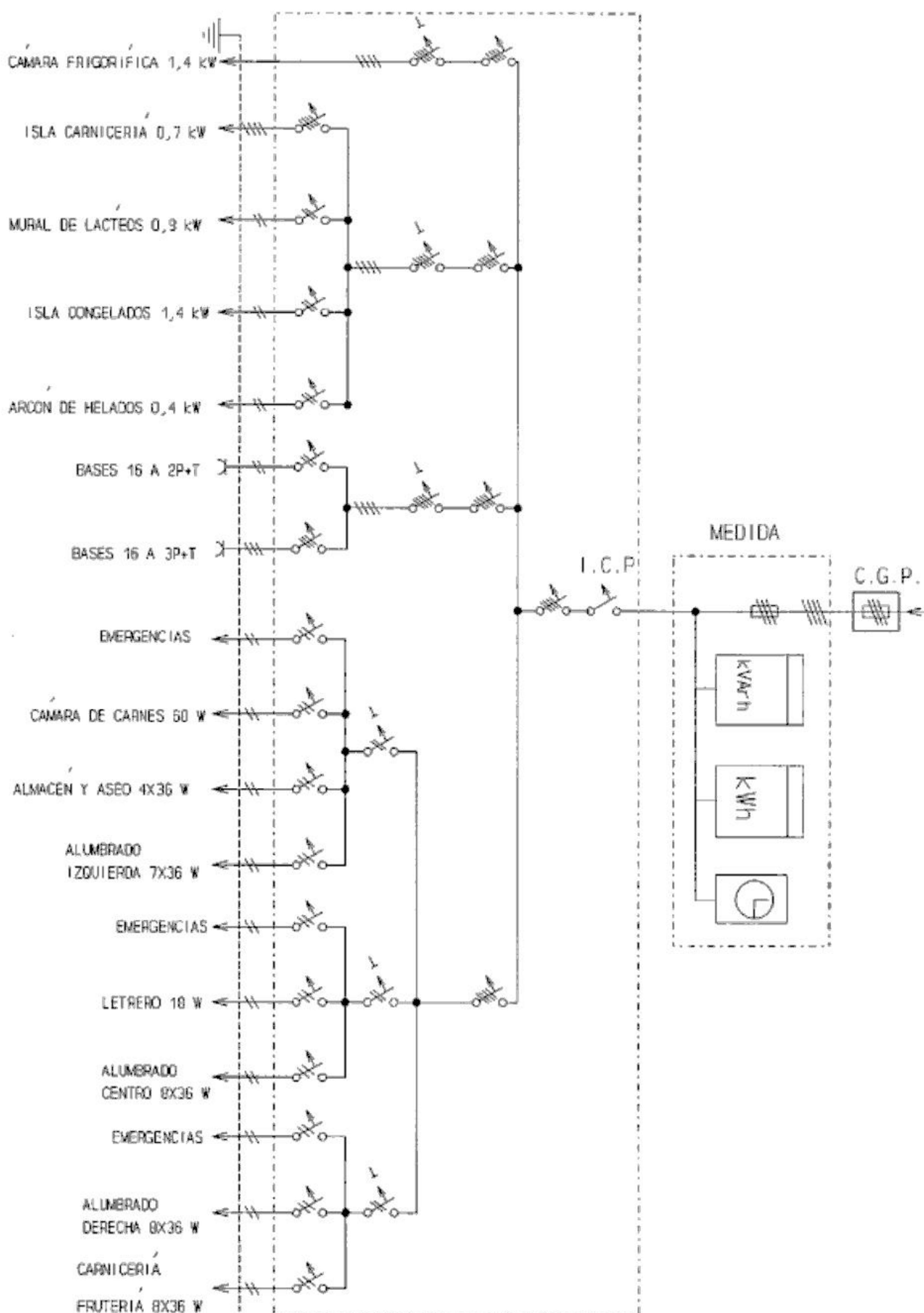


Fig. 8.13



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- Cabina de By-Pass, con tres seccionadores de 400 A, 24 kV, para la comprobación por la empresa distribuidora del equipo de medida con transformadores patrones independientes.
- Transformador de 400 kVA; 20/0,400 kV,  $u_{ce}=4,1\%$ , en baño de aceite con sonda térmica.

*Equipo de medida en A.T.:*

- Armario de plástico con puerta transparente y precintable, ubicado en el CT, de dimensiones  $750 \times 100 \times 300$  mm.
- Contador de energía activa a tres hilos, de doble tarifa con máxímetro.
- Contador de energía reactiva a tres hilos.
- Discriminador horario programable.
- Regleta de verificación y placa para montaje y colocación de todos los elementos.

*Conexión al cuadro de B.T.* Cables unipolares de cobre RV 0,6/1 kV 150 mm<sup>2</sup>, dos por fase y uno para neutro.

*Cuadro de B.T.* Armario metálico con:

- Interruptor tetrapolar 1 000 A/750 V
- Cuatro columnas aisladas seccionables 400 A.
- Fusibles 250 A.

*Red de tierras para CT:*

- Red de tierras para neutro del transformador con conductor aislado RV 0,6/1kV de cobre de 50 mm<sup>2</sup> de sección y longitud 15 m (bajo tubo de PVC de diámetro 50 mm) conectado a 4 picas de tierra de acero cobreado de diámetro 14 mm, mediante soldadura de alto punto de fusión.
- Red de tierras para masas con conductor de cobre desnudo, de sección 50 mm<sup>2</sup>, conectado a 4 picas de tierra de diámetro 14 mm, con soldadura aluminotérmica.

*Iluminación del CT:*

- Iluminación general del local del CT con dos pantallas fluorescentes estancas de potencia  $2 \times 36$  W.
- Iluminación de emergencia con dos bloques autónomos de 300 lúmenes.

*Señalizaciones del CT y material de seguridad:*

- Cuadro de primeros auxilios.
- Armario metálico con gafas y mascarillas.
- Extintor de incendios.
- Rótulos.

Dibujar el esquema unifilar de la instalación y el esquema multifilar del cuadro de contadores. Calcular:

- a) Intensidades nominales en primario y secundario del transformador.
- b) Intensidad de cortocircuito máxima en la línea de M.T. si la potencia de cortocircuito en el punto de entronque es de 500 MVA.
- c) Intensidad de cortocircuito en el secundario del transformador considerando la red de alimentación de potencia infinita.
- d) Caída de tensión en la línea de M.T. a plena carga con factor de potencia 0,8, si la resistencia del cable es de  $0,4 \Omega/\text{km}$  y la reactancia  $0,1 \Omega/\text{km}$
- e) Presupuesto de los materiales de la instalación utilizando catálogos de casas comerciales.

Solución: a) 11,54 A, 577,35 A; b) 14,43 kA; c) 14,1 kA; d) 1,52 V



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- *Lámparas de inducción.* La emisión de luz es el resultado de la excitación de átomos de vapores metálicos por inducción electromagnética de alta frecuencia.

### 9.3. MAGNITUDES LUMINOSAS Y UNIDADES

*Flujo luminoso  $\Phi$ :* Energía luminosa emitida por unidad de tiempo. Su unidad es el **lumen** (lm).

El valor del flujo luminoso de una lámpara viene dado por el fabricante. Su rendimiento luminoso o eficacia es la relación entre el flujo que emite y la potencia que consume.

*Intensidad luminosa  $I$ :* Es el flujo luminoso emitido en una dirección dada por unidad de ángulo sólido (estereorradián). Su unidad es la **candela** (cd); unidad patrón del sistema internacional de unidades. Se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente de luz que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \cdot 10^{12}$  Hz, y cuya intensidad energética en dicha dirección es  $1/683$  vatios por estereoradián.

El lumen es el flujo luminoso emitido por un foco puntual de una candela de intensidad sobre una porción de superficie esférica de  $1 \text{ m}^2$  a la distancia de 1 m (fig. 9.3), que corresponde a un ángulo sólido de un estereoradián.

*Iluminación o iluminancia  $E$ :* Es el flujo luminoso recibido por unidad de superficie.

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Se mide en **lux** (lx) con un aparato llamado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que al ser iluminada genera una corriente eléctrica, medida por un miliamperímetro graduado en lux. El lux es la iluminación de una superficie de  $1 \text{ m}^2$  que recibe el flujo luminoso de un lumen.

$$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}$$

*Luminancia o brillo  $L$ :* Es la intensidad luminosa en una dirección dada por unidad de superficie aparente luminosa o iluminada (fig. 9.4). Se mide en **nit** (nt), aunque se utiliza también la  $\text{cd}/\text{cm}^2$ . El nit es la luminancia de una superficie aparente de  $1 \text{ m}^2$  en una dirección en que la intensidad luminosa es una candela.

$$1 \text{ nt} = \frac{1 \text{ cd}}{1 \text{ m}^2}$$

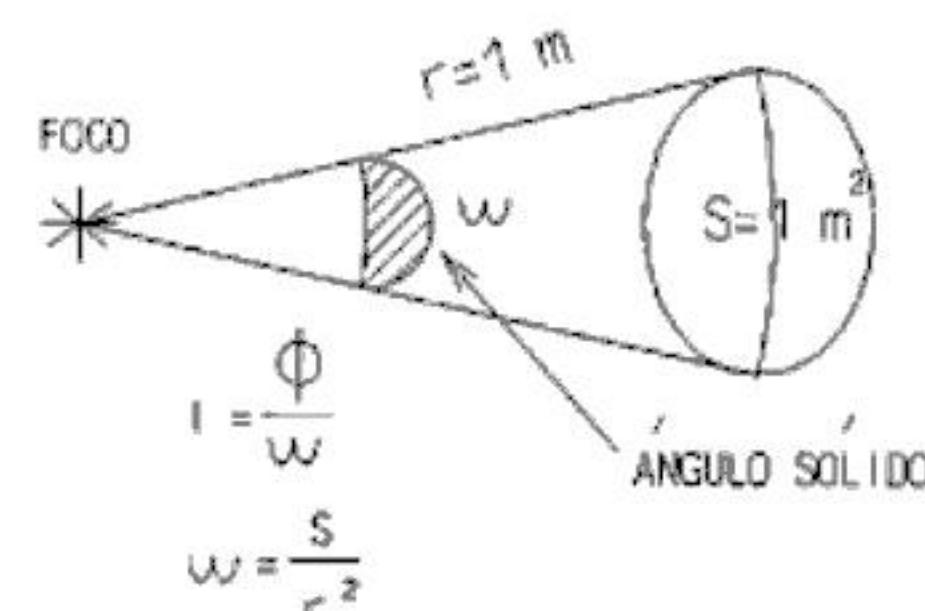


Fig. 9.3

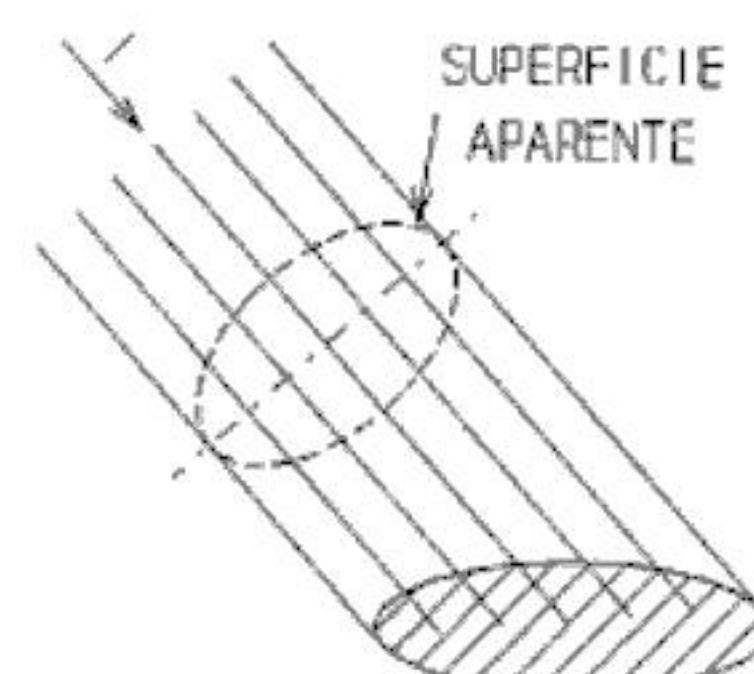


Fig. 9.4



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### 9.17. LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTECNIA

#### ■ Ley de la inversa de los cuadrados

La iluminación  $E$  (lux) en un punto P que dista  $d$  (m) del foco, es directamente proporcional a la intensidad de iluminación  $I$  (cd) en la dirección del punto e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia:

Esto presupone:

- Que el foco de luz está lo suficientemente alejado para poder ser considerado como puntiforme (luz procedente de un punto)
- Que la superficie es perpendicular a la dirección del rayo luminoso.

En estas condiciones, el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido se distribuye sobre una superficie que se hace mayor a medida que aumenta la distancia del foco (fig. 9.13).

$$E = \frac{I}{d^2}$$

#### ■ Ley del coseno

Cuando la superficie no es perpendicular a la dirección de la intensidad de iluminación, formando el rayo incidente un ángulo  $\alpha$  con la normal a dicha superficie (fig. 9.14), la iluminación en un punto:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha$$

En este caso la superficie interceptada por el haz de rayos luminosos es mayor que cuando la superficie es perpendicular al rayo, siendo menor la iluminación o densidad de flujo. La superficie interceptada es proporcional al coseno de  $\alpha$ .

Cuando el foco está situado a una altura  $h$  sobre la superficie a iluminar (fig. 9.15), la iluminación  $E$  en un punto P situado sobre esa superficie, formando el rayo incidente un ángulo  $\alpha$  con la normal, siendo  $I$  la intensidad de iluminación en esa dirección:

$$E = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha$$

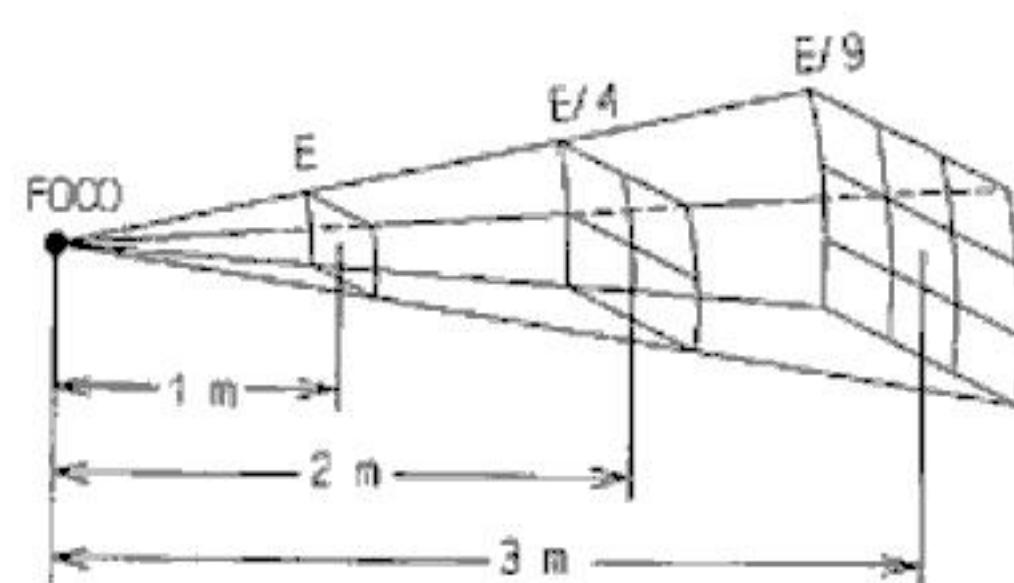


Fig. 9.13

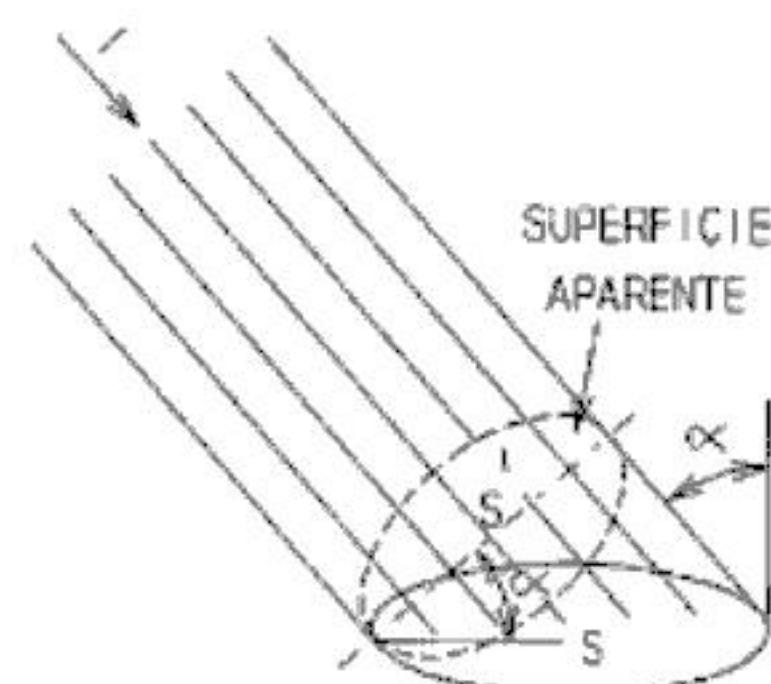


Fig. 9.14

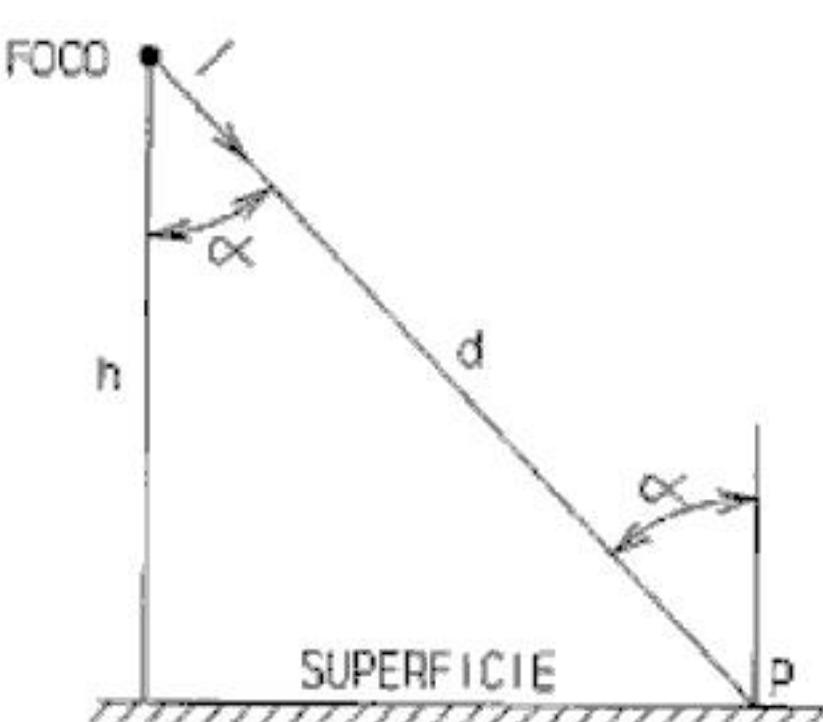


Fig. 9.15



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

- 2) El flujo total necesario  $\Phi_t$  es el cociente entre el flujo útil y el rendimiento de la iluminación o factor de utilización  $\eta$

$$\Phi_t = \frac{\Phi_u}{\eta}$$

El rendimiento de la iluminación se halla en tablas en función del tipo de alumbrado, de la luminaria y de su conservación, de las dimensiones del local, del color del techo, paredes y suelo, y de la altura a la que se hallan suspendidas las lámparas sobre el plano de trabajo o utilización (de 0,85 m a 1 m del suelo en iluminación directa o semi-directa).

Como valores orientativos del rendimiento de iluminación en un local con techo y paredes claros pueden utilizarse los siguientes:

- Alumbrado directo:  $\eta = 0,5$ .
- Alumbrado semi-directo:  $\eta = 0,4$ .
- Alumbrado indirecto:  $\eta = 0,3$ .

Con las paredes y techo de colores muy oscuros (verde oscuro, azul oscuro, etc.) el rendimiento de la iluminación se reduce a la mitad.

- 3) El número de lámparas  $n_L$  necesarias, siendo el flujo por lámpara  $\Phi_L$  se calcula de la forma siguiente:

$$n_L = \frac{\Phi_t}{\Phi_L}$$

Las lámparas se distribuyen uniformemente sobre la superficie del local (fig. 9.25), siendo la distancia entre ellas ( $d$ ) de una a dos veces la altura de suspensión sobre el plano de trabajo ( $h$ ).  $d = 1 \dots 2 \cdot h$

El *factor de uniformidad* sobre el área de trabajo no debe ser menor de 0,8 para alumbrado general, y de 0,5 cuando existe alumbrado localizado sobre cada puesto de trabajo.

El *deslumbramiento* (excesivo contraste de luminancias en el campo visual) se corrige:

- Utilizando en el plano de trabajo superficies de acabados mates y colores apropiados.
- Utilizando luminarias de baja luminancia.
- Evitando la colocación de lámparas sin difusores en un cono de visión de 30° de semiángulo sobre un eje horizontal de cualquier observador dentro del local.

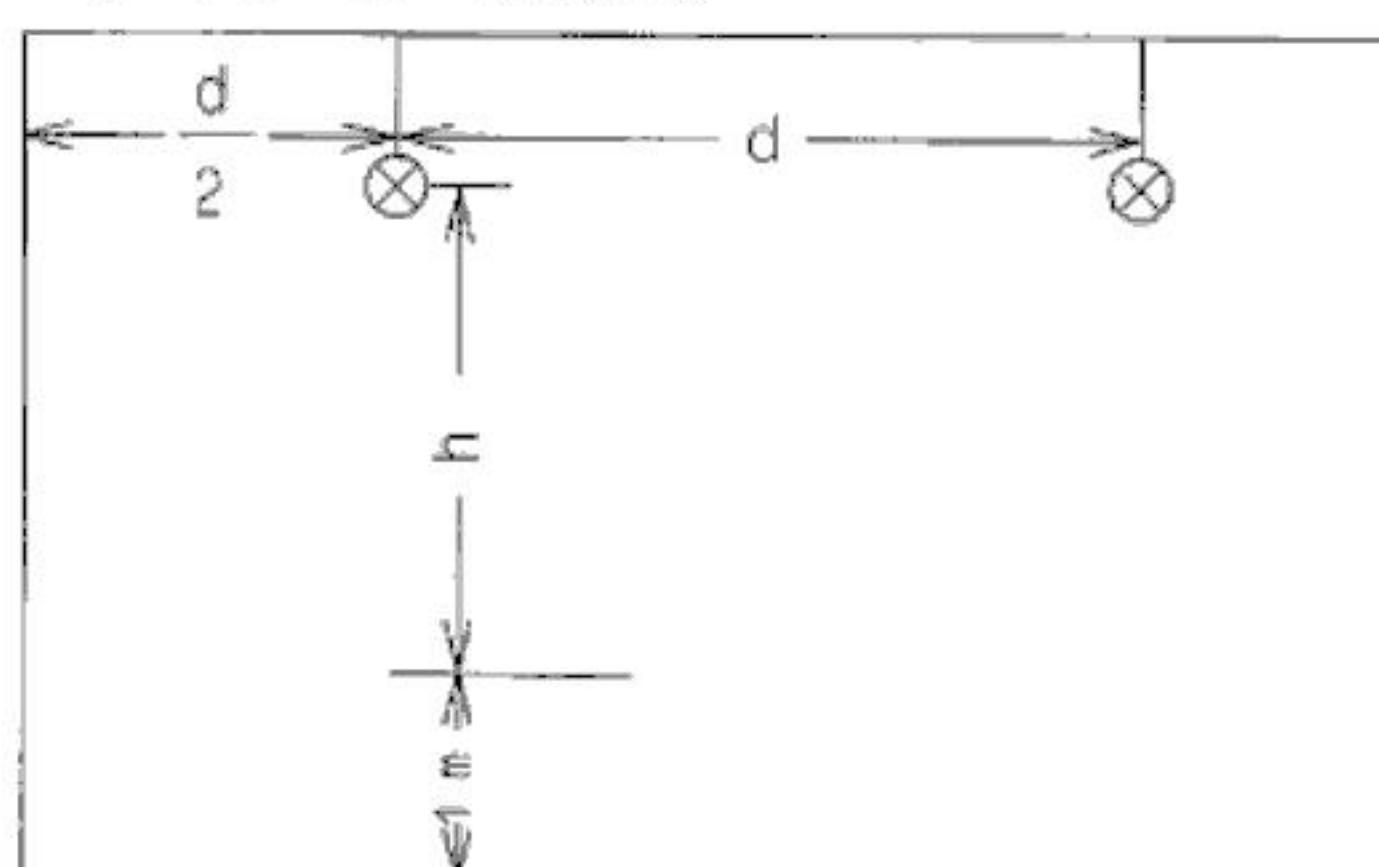


Fig. 9.25



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

### DEMOSTRACIÓN

Del triángulo ONM de la figura A. 23, se deduce:

$$\frac{I_L}{2} = I_f \sin 60^\circ = I_f \frac{\sqrt{3}}{2}; \quad I_L = \sqrt{3} I_f$$

### A.15. POTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

La potencia de un sistema trifásico es la suma de potencias de las tres fases. Si el sistema es equilibrado:

- Potencia activa:  $P = 3 V_f I_f \cos \varphi = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$
- Potencia reactiva:  $Q = 3 V_f I_f \sin \varphi = \sqrt{3} V_L I_L \sin \varphi$
- Potencia aparente:  $S = 3 V_f I_f = \sqrt{3} V_L I_L$

Siendo  $\varphi$  el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad de fase.

La relación entre las tres potencias  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

En el cálculo de las potencias se suelen utilizar valores compuestos o de línea.

La potencia activa del sistema trifásico equilibrado es tres veces la potencia de una fase.

### DEMOSTRACIÓN

En estrella  $V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ ;  $I_f = I_L$ . La potencia activa  $P = 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \varphi = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$

En triángulo  $V_f = V_L$ ;  $I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$ . La potencia activa  $P = 3 V_L \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi$

De forma análoga se pueden deducir las fórmulas de la potencia reactiva y de la potencia aparente.

### A.16. CÁLCULO DE UN CIRCUITO TRIFÁSICO EQUILIBRADO

El circuito trifásico equilibrado en tensiones e intensidades se calcula a partir de una sola fase, como un circuito monofásico:

$$I_f \text{ (intensidad de fase)} = \frac{V_f \text{ (tensión de fase)}}{Z_f \text{ (impedancia de fase)}}$$

De los valores de tensiones e intensidades de fase se obtienen los valores de línea, según el tipo de conexión del circuito.

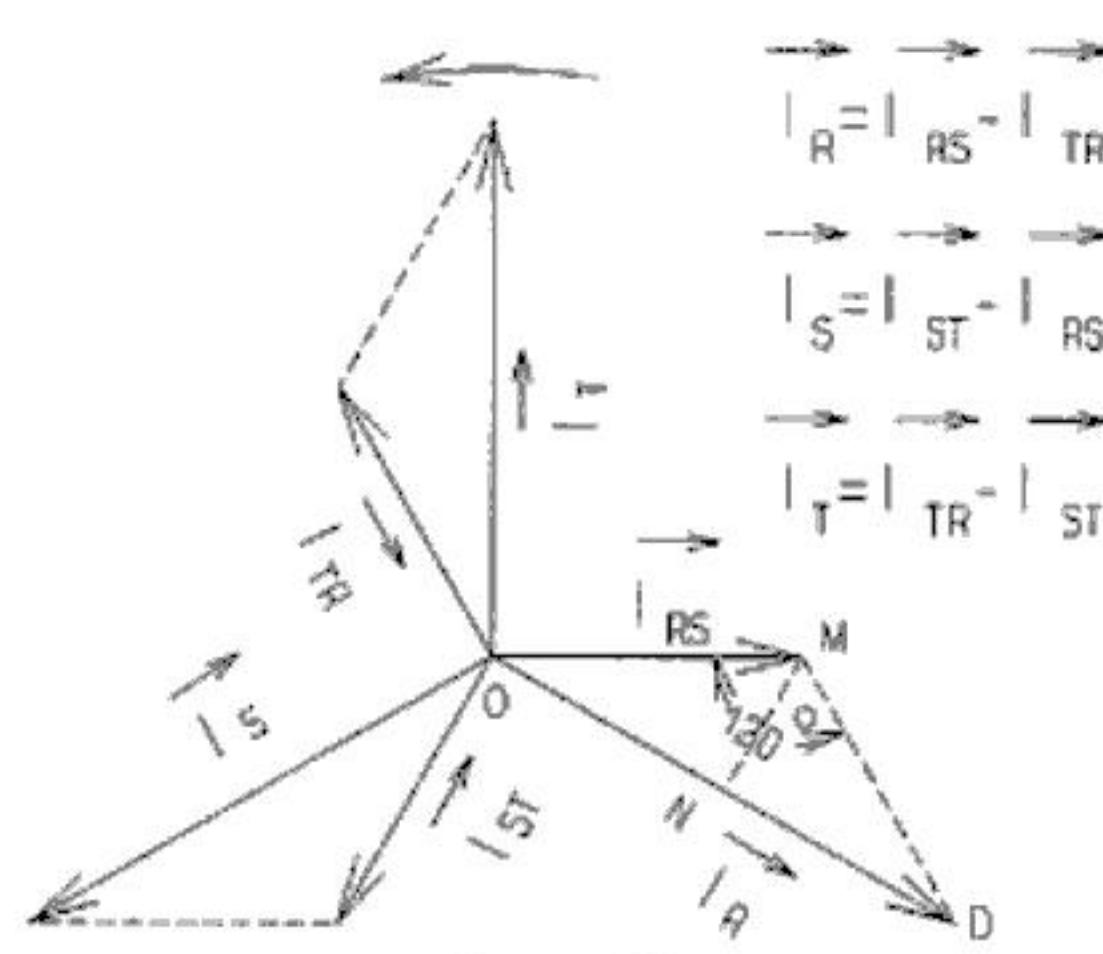


Fig. A.23



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

# D

## SÍMBOLOS GRÁFICOS

SÍMBOLOS	DENOMINACIÓN	SÍMBOLOS	DENOMINACIÓN
NATURALEZA DE LA CORRIENTE			
	Corriente continua.		Corriente continua o corriente alterna indistintamente.
	Corriente alterna.		
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN			
	Corriente alterna de m fases y frecuencia f.	N	Neutro.
	Polaridad positiva.	-	Polaridad negativa.
LÍNEAS, CONDUCTORES			
	Línea en general, un conductor o un grupo de varios conductores.		Línea de tres conductores en representación unifilar y multifilar.
	Círculo de corriente trifásica, 50 Hz, con tres conductores de 50 mm² y el neutro de 25 mm²		
TERMINALES Y CONEXIONES			
*	Unión o conexión de conductores, especialmente unión fija.	.	Unión desmontable, borne.
	Derivación.		Conductores o canalizaciones cruzadas y conectadas.
	Terminal para cable.		
RESISTENCIAS, BOBINAS, CONDENSADORES Y OTROS ELEMENTOS			
	Variabilidad, símbolo general.		Resistencia en general.
	Resistencia no reactiva.		Resistencia en el caso de que no sea necesario especificar si es reactiva.
	Impedancia.		Inductancia.
	Reóstato.		Condensador.
			Tierra, toma de tierra.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.





You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

La ecuación del cambio de condiciones:  $T_2^2(T_2 + A) = B$

El valor del coeficiente A:

$$A = \frac{sEa^2p_1^2}{24T_1^2} - T_1 - \alpha sE(\Theta_1 - \Theta_2)$$

$$A = \frac{54,6 \cdot 7900 \cdot 90^2 \cdot 0,7385^2}{24 \cdot 415^2} - 415 - 19,1 \cdot 10^{-6} \cdot 54,6 \cdot 7900 \cdot (-15 - 50) = 581,5$$

$$\text{El valor del coeficiente B: } B = \frac{sEa^2p_2^2}{24} = \frac{54,6 \cdot 7900 \cdot 90^2 \cdot 0,1855^2}{24} = 500,9 \cdot 10^4$$

La ecuación del cambio de condiciones toma la forma  $T_2^2(T_2 + 581,5) = 500,9 \cdot 10^4$   
Esta ecuación se resuelve por tanteos, siendo la solución con suficiente aproximación  $T_2 = 86,6$  daN.

d) La flecha con esta tensión en el vano de regulación:  $f_2 = \frac{P_2 a^2}{8T} = \frac{0,1855 \cdot 90^2}{8 \cdot 86,6} = 2,17$  m

La flecha con esta tensión en el vano máximo:  $f_2 = \frac{P_2 a^2}{8T} = \frac{0,1855 \cdot 100^2}{8 \cdot 86,6} = 2,68$  m

#### Problema P.3-4.

a) El eolovano:  $a_e = \frac{1}{2}(a_1 + a_2) = \frac{120 + 90}{2} = 105$  m

La fuerza del viento sobre los conductores:  $F_v = p_v a_e d = 60 \cdot 9,45 \cdot 10^{-3} \cdot 105 = 59,54$  daN

La altura del apoyo sobre el terreno:  $H = 11 - 1,5 = 9,5$  m

La altura de los puntos de amarre de las cadenas de aisladores que soportan los conductores:

$$h_1 = H + 1,15 = 9,5 + 1,15 = 10,65$$
 m

$$h_2 = H + 1,55 = 9,5 + 1,55 = 11,05$$
 m

b) El esfuerzo en punta en sentido transversal:

$$F_T = \frac{F_v(2h_1 + h_2)}{H} = \frac{59,54 \cdot (2 \cdot 10,65 + 11,05)}{9,5} = 202,75$$
 daN

c) El tensión máximo:  $T_{\max} = \frac{1640}{3,2} = 513$  daN

e) El esfuerzo en punta en sentido longitudinal:

$$F_L = \frac{8}{100} \frac{T_{\max}(2h_1 + h_2)}{H} = 0,08 \frac{513 \cdot (2 \cdot 10,65 + 11,05)}{9,5} = 140$$
 daN

#### Problema P.3-5.

El tensión máximo:  $T_{\max} = \frac{990}{3} = 330$  daN

El esfuerzo debido a las tensiones de los conductores:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



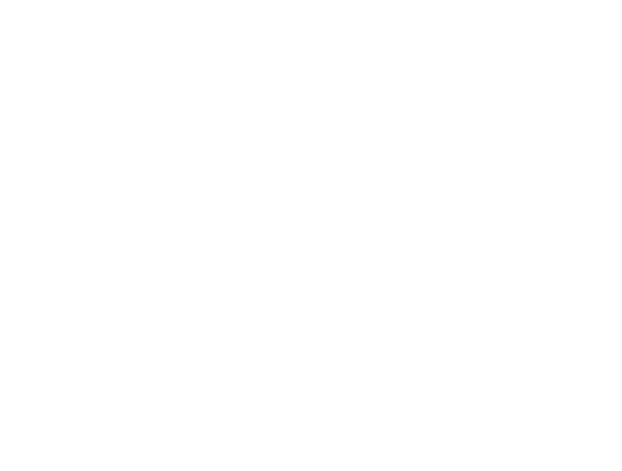
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

a) El coeficiente de facturación del contador de energía reactiva.

$$C_F = \frac{m_I}{m_C} C_M = \frac{100/5}{100/5} 10 = 10$$

### Problema P.7-2.

La potencia máxima:  $P_{\max} = 35 \text{ kW} > 1,05 \cdot P_c = 1,05 \cdot 33 = 34,65 \text{ kW}$

La potencia de facturación:  $P_f = P_{\max} + 2(P_{\max} - 1,05 \cdot P_c) = 35 + 2(35 - 34,65) = 35,7 \text{ kW}$

### Problema P.7-3.

La potencia del maxímetro punta:  $P_{\max} = 105 \text{ kW} = 1,05 \cdot P_c = 1,05 \cdot 100 = 105 \text{ kW}$ .

La potencia de facturación:  $P_{f1} = P_{\max} = 105 \text{ kW}$

La potencia del maxímetro llano.

$P_{\max} = 148 \text{ kW}; 0,85 \cdot P_c = 0,85 \cdot 150 < 148 < 1,05 \cdot P_c = 1,05 \cdot 150$ .

La potencia de facturación:  $P_{f2} = 148 \text{ kW}$

La potencia del maxímetro valle:  $P_{\max} = 225 \text{ kW} > 1,05 \cdot P_c = 1,05 \cdot 200 = 210 \text{ kW}$

La potencia de facturación:  $P_{f3} = P_{\max} + 2(P_{\max} - 1,05 \cdot P_c) = 225 + 2(225 - 210) = 255 \text{ kW}$

La potencia de facturación total:  $P_f = 105 + 0,5(148 - 105) + 0,2(255 - 148) = 147,9 \text{ kW}$ .

### Problema P.7-4.

a)  $T_p = 4,4 \cdot 1,642355 \cdot 1 = 7,23 \text{ euros}$ .

b)  $T_e = 65 \cdot 0,135145 + 185 \cdot 0,059614 = 8,78 + 11,03 = 19,81 \text{ euros}$ .

c) La suma de los dos términos de la facturación  $T_p + T_e = 27,04 \text{ euros}$ .

El impuesto sobre la electricidad IE =  $\frac{4,864}{100} \cdot 1,051130 \cdot 27,04 = 1,38 \text{ euros}$

El impuesto sobre el valor añadido IVA =  $\frac{16}{100} \cdot (27,04 + 1,38) = 4,55 \text{ euros}$

Facturación total =  $T_p + T_e + IE + IVA = 27,04 + 1,38 + 4,55 = 32,97 \text{ euros}$ .

### Problema P.7-5.

a) La energía activa consumida  $W_a = 3460 + 6984 = 10\,444 \text{ kW}$

El factor de potencia medio.

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}} = \frac{10\,444}{\sqrt{10\,444^2 + 4\,750^2}} = 0,91$$

b) El valor porcentual de recargo por complemento por energía reactiva:

$$K, \% = 0\%$$

### Problema P.7-6.

a)  $T_p = 31,18 \cdot 1,77 \cdot 1 = 55,19 \text{ euros}$ .

b)  $T_e = 875 \cdot 0,143055 + 1147 \cdot 0,115580 + 2120 \cdot 0,078481$

$T_e = 125,17 + 132,57 + 166,38 = 424,12 \text{ euros}$ .

c) La suma de los dos términos de la facturación  $T_p + T_e = 479,31 \text{ euros}$ .

La energía activa total:  $W_a = 875 + 1147 + 2120 = 4142 \text{ kWh}$ .

El factor de potencia medio



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

## INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN

Este libro está dirigido a los estudiantes de electricidad, tanto en ciclos formativos como en la iniciación de ingeniería de las instalaciones eléctricas.

El objetivo del libro es facilitar la comprensión de las Instalaciones Electrotécnicas: líneas aéreas y subterráneas de media y baja tensión, centros de transformación, instalaciones de enlace e interiores, tarificación de energía e iluminación; y también la aplicación de estos contenidos de forma razonada.

**Cada capítulo está constituido por:**

- Teoría
- Problemas de aplicación (unos totalmente resueltos y otros propuestos al alumno con las soluciones indicadas).
- Problemas de recapitulación con sus resultados.

**Completan el libro cuatro apéndices:** corriente alterna, transformadores, proyecto técnico, símbolos eléctricos y soluciones a problemas de recapitulación.

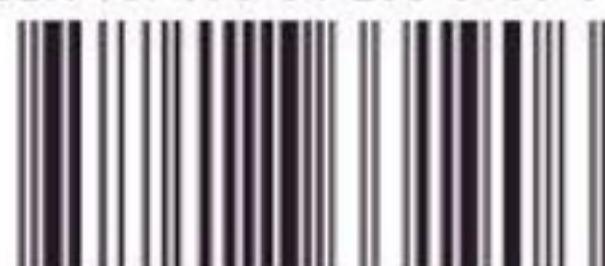
**El contenido de esta edición se ha adaptado a:**

- Alta tensión: Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias. (Real Decreto 223/2008).
- Instalaciones interiores: norma UNE 20460-5-523:2004, sobre intensidades admisibles.
- Líneas de distribución: norma UNE 211435:2007, sobre intensidades admisibles.
- Tarificación eléctrica: tarifas eléctricas actuales (Orden ITC/3801/2008).

Sus contenidos serán también de utilidad para el profesional en diseño y ejecución de instalaciones eléctricas.

Con el fin de completar el libro, se plantea mediante el acceso a la página Web de la editorial [www.paraninfo.es](http://www.paraninfo.es), una colección de pruebas objetivas sobre cada capítulo, que ponen de manifiesto los aspectos más relevantes de la materia. Estos 350 test, con una respuesta correcta entre cuatro presentadas (con corrección automática del sistema), están escogidos siguiendo el orden de las cuestiones planteadas en cada capítulo. Las respuestas incorrectas presentan errores muy significativos o errores típicos que cometen los alumnos.

ISBN 10: 84-283-3190-1  
ISBN 13: 978-84-283-3190-6



9 788428 331906