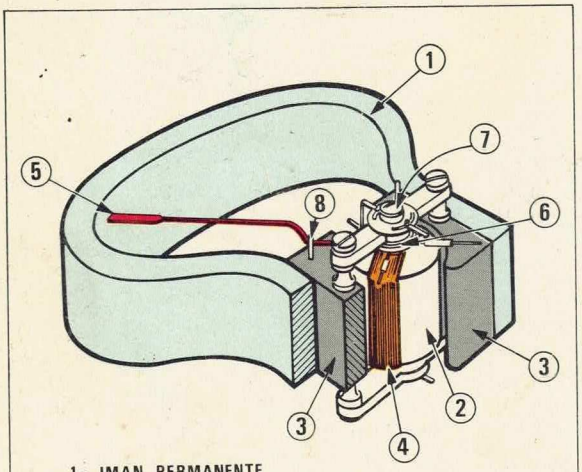
FP1

TECNOLOGIA ELECTRICA /2

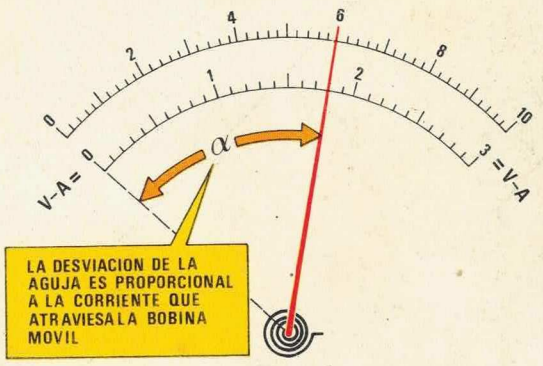
Segundo Curso de Formación Profesional de Primer Grado

por
RICARDO CASADO



1.- IMAN PERMANENTE
2.- NUCLEO
3.- PIEZAS POLARES
4.- BOBINA MOVIL
5.- AGUJA
6.- ESPIRAL ANTAGONISTA
7.- AJUSTE DE CERO MECANICO
8.- TOPE

a) MECANISMO BASICO DEL INSTRUMENTO



b) ESCALAS PARA TENSIONES Y CORRIENTES CONTINUAS

bruño-edebé
formación profesional

TECNOLOGÍA ELÉCTRICA/2

Segundo Curso
de Formación Profesional
de Primer Grado

TECNOLOGIA ELECTRICA/2

Segundo Curso
de Formación Profesional de Primer Grado

ES PROPIEDAD
© *Ediciones Don Bosco*
Barcelona, 1976

Impreso en España
Printed in Spain

ISBN 84-236-1299-6
Depósito Legal. B. 613-77

Escuela Gráfica Salesiana
Barcelona-Sarriá

TECNOLOGÍA ELÉCTRICA/2

Segundo Curso
de Formación Profesional
de Primer Grado

por

RICARDO CASADO
ingeniero técnico
profesor del Instituto Politécnico Virgen del Pilar
de Zaragoza

Colaboradores:
JOSE LUIS RUIZ
MARIO RUBIO
ANDRES MARTIN
ingenieros técnicos
profesores de las Escuelas Profesionales Salesianas de Zaragoza

EDICIONES DON BOSCO
Paseo San Juan Bosco, 62. Barcelona 17

EDITORIAL BRUÑO
Marqués de Mondéjar, 32. Madrid 28

CUESTIONARIO OFICIAL
O. M. 13-VII-74; BOMEC, 26-VIII-74

Segundo Curso del Primer Grado

Medidas eléctricas

Sistemas básicos empleados en la construcción de aparatos de medida. Precisión de los aparatos de medida. Errores.
Medidas de tensiones, intensidad y potencias c/c y c/a.
Medidas de resistencias, aislamientos y de rigidez dieléctrica.
Resistencias de tierra.
Medidas de intensidades de iluminación.
Medidas de frecuencia y del factor de potencia.
Medidas en c/a de resistencias, inductancias y condensadores. Distancias, combinaciones.

Electrodomésticos

Aparatos de calefacción. Calentadores.
Aparatos de refrigeración.
Cocinas y hornos eléctricos.

Líneas de distribución

Líneas de distribución en edificios y plantas industriales.
Cálculo de secciones de los conductores.
Aparatos de maniobra y protección. Dispositivos automáticos.
Nociones sobre las líneas de distribución en A.T.
Nociones sobre aparatos de maniobra y protección A.T.
Canalizaciones protegidas, empotradas y al aire.

Montaje de instalación de motores

Instalación de motores de corriente alterna, monofásica y trifásica.
Aparatos de maniobra y protección. Dispositivos automáticos.

Máquinas y aparatos eléctricos

Constitución y funcionamiento de la dinamo, motor en c/c, alternador, motores monofásicos y trifásicos. Características.
Constitución y funcionamiento de transformadores monofásicos y trifásicos. Características.
Constitución y funcionamiento de baterías de acumuladores. Características.
Constitución y funcionamiento de aparatos rectificadores. Características.
Mantenimiento y reparaciones.

Bobinados de máquinas y aparatos eléctricos

Estudio de los bobinados de corriente alterna monofásicos y trifásicos.
Estudio de los bobinados de transformadores monofásicos y trifásicos.

Reglamentos y normas eléctricas

Estudio de interpretación de reglamentos y normas eléctricas que son de aplicación en los contenidos especificados.

Presentación

El presente texto sigue el Cuestionario Oficial.

Nos hemos empeñado en dar a algunos temas mayor extensión de la que el propio cuestionario parece pretender. Toca al profesor guiar a sus alumnos y hacer hincapié en aquellas materias que son de mayor importancia, dejando el resto solamente en el campo de una mayor ilustración.

Creemos que este libro puede servir de consulta para ampliar conocimientos del texto Técnicas de Expresión Gráfica/2. Electricidad*, de esta misma Editorial.*

El presente libro puede prestar grandes servicios al profesional electricista.

Agradeceríamos inmensamente nos transmitieran sus sugerencias y correcciones para mejorar una posible nueva edición.

LOS AUTORES

Indice

MEDIDAS ELECTRICAS

1 **Introducción a las medidas eléctricas** 13
1.1 *Generalidades* 13
1.1.1 Medición directa 13
1.1.2 Medición indirecta 13
1.1.3 Aplicación de las medidas en la Electricidad 14
1.2 *Desarrollo histórico de las medidas eléctricas* 14
1.3 *Magnitudes físicas* 15
1.3.1 Magnitudes fundamentales 15
1.3.2 Unidades derivadas 16
1.4 *Patrones de las magnitudes eléctricas* 17
1.4.1 Medidas industriales 17
1.4.2 Medidas de laboratorio 17
1.4.3 Clasificación de patrones 17

2 **Características generales de los instrumentos de medición** 19
2.1 *Clasificación de los aparatos de medida* 19
2.1.1 Criterios de clasificación 19
2.2 *Símbolos de los aparatos de medida* 19
2.3 *Funcionamiento de los instrumentos indicadores* 19
2.4 *Aspectos constructivos de los aparatos* 21
2.4.1 Aparatos de distribución 21
2.4.2 Aparatos de ejecución portátil 21
2.5 *Amortiguamiento de los dispositivos medidores* 22
2.5.1 Electromagnético 22
2.5.2 De aire 22
2.6 *Tipos de apoyo del órgano móvil* 22
2.6.1 Apoyo de pivotes 22
2.6.2 Apoyo de cojinetes 23
2.6.3 Apoyos de cintas 23
2.7 *Dispositivos de lectura. Sistemas de lectura* 23
2.7.1 Escala 23
2.7.2 Indice 24
2.8 *Vocabulario de aparatos de medida* 24

3 **Sistemas básicos empleados en la construcción de aparatos de medida** 25
3.1 *Instrumentos electromagnéticos de bobina móvil* 25
3.1.1 Construcción del aparato 26
3.1.2 Funcionamiento 26
3.1.3 Utilización 26
3.1.4 Características más destacadas de este instrumento 27
3.2 *Instrumentos electromagnéticos de hierro móvil* 27
3.2.1 Constitución y funcionamiento del aparato 27
3.2.2 Utilización 27
3.2.3 Características más destacadas de estos instrumentos 27
3.3 *Instrumentos electrodinámicos* 27
3.3.1 Constitución y funcionamiento del aparato 27
3.3.2 Utilización 28
3.3.3 Características más destacadas de estos instrumentos 28
3.4 *Instrumentos térmicos* 28
3.4.1 Instrumento de alambre 29
3.4.2 Instrumento de termopar 29
3.4.3 Instrumentos bimetálicos 29
3.5 *Instrumentos de inducción* 30
3.5.1 Constitución y funcionamiento del aparato 30
3.5.2 Utilización 30
3.5.3 Características más importantes de estos instrumentos 30
3.6 *Otros sistemas de medida* 30
3.6.1 Sistemas de medida electrostáticos 30
3.6.2 Sistemas de medida de vibración 31
3.6.3 Sistemas de medida de cocientes 31
3.6.4 Sistemas de medida astáticos 31
3.6.5 Sistemas de medida apantallados 31

4 **Errores. Precisión de los aparatos de medida** 31
4.1 *Generalidades sobre errores* 32
4.2 *Clasificación de errores* 32
4.2.1 Sistemáticos 32
4.2.2 Accidentales 32
4.2.3 Normas generales para evitar errores 33
4.3 *Errores absolutos y relativos* 33
4.3.1 Error absoluto 33
4.3.2 Error relativo porcentual 34
4.4 *Error relativo referido al final de la escala* 34
4.5 *Clases de precisión* 35
4.6 *Contrastación de los instrumentos de medida. Diagramas de errores* 36
4.6.1 Pruebas de control normal 36
4.6.2 Pruebas de verificación 36
4.6.3 Métodos de contrastación 36
4.7 *Contrastación de voltímetros* 36
4.7.1 Curvas de error 36
4.8 *Contrastación de amperímetros* 37

5 **Medidas de tensiones, intensidades y potencias en corriente continua. Receptores para corriente alterna** 39
5.1 *Medidas de intensidad. Amperímetros* 40
5.1.1 Ampliación del alcance del instrumento Shunt 40
5.1.2 Utilización 40
5.1.3 Elección del amperímetro 41
5.2 *Medidas de tensión, voltímetros* 41
5.2.1 Ampliación del alcance del instrumento 42
5.2.2 Clasificación 42
5.3 *Medidas de potencia en corriente continua* 42
5.3.1 Errores en la medida de potencia 42
5.3.2 Resumen 43
5.3.3 Medida en vatímetros 43
5.4 *Receptores para corriente alterna* 44
5.4.1 Circuito resistivo 44
5.4.2 Circuito inductivo 44
5.4.3 Circuito capacitivo 44
5.4.4 Resumen 45
5.5 *Acoplamiento de receptores a c.a.* 45
5.5.1 Acoplamiento en serie 45
5.5.2 Acoplamiento de receptores en paralelo 47
5.6 *Circuitos con receptores reales* 49

6 **Medidas de potencia en corriente alterna** 50
6.1 *Medidas de potencia en c.a. Circuitos monofásicos* 50
6.1.1 Medida de potencia activa 50
6.1.2 Medida de la potencia reactiva 51
6.2 *Sistema trifásico de tensiones. Cargas trifásicas* 52
6.2.1 Tensiones simples y compuestas 52
6.2.2 Cargas trifásicas equilibradas 53
6.2.3 Cargas trifásicas desequilibradas 53
6.3 *Medida de la potencia activa en un sistema trifásico* 53
6.3.1 Sistemas equilibrados en estrella (con neutro o sin él) 53
6.3.2 Sistema equilibrado sin neutro 54
6.3.3 Sistema equilibrado en triángulo 54
6.3.4 Sistemas equilibrados 54
6.3.5 Método de Arón 54
6.4 *Medida de potencia reactiva en circuitos trifásicos* 55
6.4.1 Método de Arón 55
6.4.2 Método de Righi 55

7 **Medidas de resistencia, aislamiento y rigidez dieléctrica** 58
7.1 *Generalidades sobre medidas de resistencia* 59
7.1.1 Métodos de medida 59
7.1.2 Magnitud de las resistencias más usuales 59
7.2 *Medida de resistencias con voltímetro y amperímetro* 59
7.2.1 Primer procedimiento 59
7.2.2 Segundo procedimiento 60
7.3 *Medida de resistencias por método directo* 61
7.3.1 Puente de Wheatstone 61
7.3.2 Puente de hilo 61
7.3.3 Doble puente de Thomson 61
7.4 *Medida de resistencias con instrumento indicador* 62
7.4.1 Ohmetro amperimétrico 62
7.4.2 Ohmetro de bobinas cruzadas 62
7.5 *Resistencias de aislamiento en las instalaciones eléctricas* 62
7.6 *Medida de resistencia de aislamiento de una instalación* 63
7.6.1 Medida del aislamiento entre la instalación y tierra 63
7.6.2 Medida del aislamiento entre cada conductor y tierra 63
7.6.3 Medida del aislamiento entre conductores 63
7.7 *Rigidez dieléctrica* 63
7.7.1 Equipos de ensayo 64
7.7.2 Normas para el ensayo de rigidez 64

8 **Resistencia de tierra** 65
8.1 *Introducción* 65
8.2 *Puesta a tierra* 66
8.2.1 Tomas de tierra 66
8.2.2 Líneas principales de tierra 68
8.2.3 Derivaciones de las líneas principales de tierra 68
8.2.4 Conductores de protección 68
8.3 *Mediciones de resistencias de tomas de tierra* 69
8.3.1 Método para la determinación de la resistencia de tierra 69
8.3.2 Determinación de la resistividad de un terreno 70

9 **Luminotecnia. Medida de intensidades de iluminación** 72
9.1 *Naturaleza de la luz* 72
9.2 *Color de la luz y curva de distribución espectral* 73
9.2.1 Curva de distribución espectral 73
9.3 *Percepción de la luz. Ojo humano* 74
9.4 *Magnitudes empleadas en Luminotecnia* 74
9.4.1 Flujo luminoso 74
9.4.2 Intensidad luminosa 75
9.4.3 Nivel de iluminación o iluminancia 75
9.4.4 Luminancia 76
9.5 *Fuentes de luz* 77
9.6 *Resumen de las principales magnitudes fotométricas y unidades* 78

10 **Medidas de frecuencia y del factor de potencia** 79
10.1 *Generalidades sobre la medida de frecuencias* 80
10.2 *Frecuencímetro de láminas vibrantes* 80
10.3 *Frecuencímetro de aguja* 81
10.4 *Generalidades sobre el factor de potencia de las instalaciones* 81
10.4.1 Mejora del factor de potencia 81
10.5 *Medida del factor de potencia en circuitos monofásicos* 81
10.5.1 Fasímetro 82
10.6 *Medida del factor de potencia en circuitos trifásicos* 82
10.7 *Tenaza fasimétrica* 83

11 **Medidas en corriente alterna de R, L, C. Distintas combinaciones** 83
11.1 *Medición de resistencias puras en corriente alterna* 84
11.2 *Medición de inductancias en corriente alterna* 85
11.3 *Medida de la capacidad de un condensador en corriente alterna* 86
11.4 *Otros métodos empleados en medidas de inductancias* 87
11.4.1 Método de Joubert 87
11.4.2 Método del puente de Wien-Maxwell 87
11.5 *Puente de Schering para medidas de capacidades* 88
11.6 *Diferentes combinaciones R, L, C, empleadas en mediciones* 88
11.6.1 Método de los tres voltímetros 88
11.6.2 Método de los tres amperímetros 89

ELECTRODOMESTICOS

12 **Aparatos eléctricos de uso doméstico** 92
12.1 *Introducción* 92
12.2 *Efecto calorífico de la corriente eléctrica* 93
12.2.1 Calor producido por una corriente eléctrica 93
12.2.2 Propagación del calor 93
12.3 *Aparatos de calefacción eléctrica* 94
12.3.1 Sistema de calefacción por convección 94
12.3.2 Sistema de calefacción por radiación 94
12.4 *Calentadores eléctricos de agua* 96
12.4.1 Tipos de calentadores 96
12.4.2 Constitución de un calentador para agua dura 96
12.4.3 Constitución de un calentador para agua blanda 97
12.5 *Cocinas y hornos eléctricos. Campanas purificadoras* 97
12.5.1 Elementos de una cocina eléctrica 97
12.5.2 Hornos empotrables 99
12.5.3 Encimera vitrocerámica 100
12.5.4 Campanas purificadoras 100
12.6 *Aparatos de refrigeración* 101
12.6.1 Constitución 101
12.6.2 Armarios frigoríficos para uso doméstico 101
12.6.3 Acondicionadores de aire 102

LINEAS DE DISTRIBUCION

13 **Líneas de distribución en baja tensión, líneas de enlace** 105
13.1 *Generalidades sobre la producción y transporte de la energía eléctrica* 105
13.2 *Redes de distribución* 106
13.2.1 Red pública 106
13.2.2 Red privada 106
13.2.3 Red primaria 106
13.2.4 Red secundaria 106
13.2.5 Redes de distribución abiertas 106
13.2.6 Redes de distribución cerradas 107
13.3 *Redes de distribución aérea y subterránea* 107
13.3.1 Red aérea 107
13.3.2 Red subterránea 107
13.4 *Instalaciones de enlace* 107
13.4.1 Acometida 108
13.4.2 Caja general de protección 108
13.4.3 Línea repartidora 108
13.4.4 Derivaciones individuales 108
13.4.5 Contadores 109
13.4.6 Dispositivos privados de mando y protección 110
13.5 *Instalaciones interiores* 110

14 **Cálculo de secciones de conductores de líneas de distribución** 112
14.1 *Generalidades* 112
14.2 *Distribución por corriente continua* 112
14.2.1 Factores a tener en cuenta en el cálculo de una línea de corriente continua 112
14.2.2 Cálculo de la sección en líneas bifilares de corriente continua 114
14.3 *Distribución por corriente alterna* 115
14.3.1 Factores a tener en cuenta en el cálculo de una línea de corriente alterna 116
14.3.2 Cálculo de la sección en líneas de distribución de corriente alterna 116
14.3.3 Resumen 118
14.4 *Normas vigentes sobre secciones mínimas a emplear en instalaciones de baja tensión* 118

15 **Aparatos de maniobra y protección en baja tensión. Dispositivos automáticos** 119
15.1 *Tipos de instalación* 119
15.1.1 Aparatos de maniobra para instalaciones de baja tensión 119
15.2 *Aparatos de protección* 122
15.2.1 Cortacircuito fusible 122
15.2.2 Interruptor automático 123
15.2.3 Interruptor diferencial 124
15.3 *Protección de una vivienda* 125

16 **Nociones sobre las líneas de distribución en media y alta tensión** 126
16.1 *Introducción* 127
16.2 *Utilización de las redes de distribución* 127
16.3 *Origen de las redes de distribución primarias* 127
16.3.1 Subestación con un transformador 128
16.3.2 Subestación con varios transformadores 128
16.4 *Tipos de redes de distribución primarias* 129
16.4.1 Redes de distribución radiales 129
16.4.2 Redes de distribución malladas 129
16.5 *Nociones sobre casetas de transformación* 130
16.6 *Conductores utilizados en el montaje de redes de distribución* 130
16.6.1 Cable 131
16.6.2 Cable comprimido 131
16.6.3 Constitución de un cable 131
16.7 *Justificación del empleo de altas tensiones* 131

17 **Aparatos de maniobra y protección en media y alta tensión** 134
17.1 *Generalidades sobre los aparatos de maniobra* 134
17.1.1 Seccionadores 134
17.1.2 Interruptores 135
17.1.3 Disyuntores 136
17.2 *Cortacircuitos de alta tensión* 137
17.2.1 Constitución 137
17.2.2 Clasificación 137
17.3 *Origen de las sobretensiones* 137
17.3.1 Tipos de protección contra las sobretensiones 137

18 **Canalizaciones protegidas, empotradas y al aire** 138
18.1 *Generalidades sobre canalizaciones* 138
18.2 *Condiciones que deben reunir las canalizaciones* 139
18.3 *Clasificación de los sistemas de instalación* 139
18.3.1 Canalizaciones con conductores desnudos sobre aisladores 139
18.3.2 Canalizaciones con conductores aislados sobre aisladores 139
18.3.3 Canalizaciones con conductores aislados bajo tubos protectores 139
18.3.4 Canalizaciones prefabricadas 141

MONTAJE DE INSTALACION DE MOTORES

19 **Aparatos de maniobra y dispositivos automáticos. Aparatos de protección** 144
19.1 *Introducción* 144
19.2 *Aparatos de mando y señalización de accionamiento manual* 145
19.2.1 Pulsadores 145
19.2.2 Conmutador 145
19.2.3 Combinadores 145

19.2.4 Seccionadores 146
19.3 *Dispositivos automáticos* 146
19.4 *Estudio del contactor* 146
19.4.1 Constitución 146
19.4.2 Funcionamiento del contactor para corriente alterna 148
19.4.3 Elección 148
19.4.4 Características 148
19.4.5 Aplicaciones 148
19.5 *Aparatos auxiliares de mando de accionamiento automático* 148
19.5.1 Relés de tiempo 148
19.5.2 Termostatos 150
19.5.3 Presostatos 151
19.5.4 Finales de carrera 151
19.5.5 Programadores 152
19.6 *Aparatos de protección del motor eléctrico* 152
19.6.1 Relés térmicos 152
19.6.2 Relés electromagnéticos 153
19.6.3 Relés diferenciales 153
19.6.4 Fusibles 154

20 **Instalación de motores de corriente alterna, monofásica y trifásica** 156
20.1 *Normas sobre el emplazamiento de motores eléctricos* 157
20.1.1 Montajes de los motores 157
20.2 *Instalación eléctrica de los motores* 158
20.3 *Condiciones del funcionamiento del motor* 158
20.3.1 De servicio continuo 158
20.3.2 Servicio de tiempo corto 158
20.3.3 Servicio intermitente 158
20.4 *Tipos de protección del motor* 158
20.4.1 Protección IP-23 158
20.4.2 Protección IP-44 158
20.5 *Temperaturas y clases de aislamiento* 158
20.6 *Arranque de los motores eléctricos* 159
20.6.1 Arranque de los motores monofásicos 159
20.6.2 Arranque de los motores asincrónicos trifásicos 160

MAQUINAS Y APARATOS ELECTRICOS

21 **Constitución, funcionamiento y características de la dinamo y del motor de corriente continua** 163
21.1 *Generalidades sobre las máquinas eléctricas* 163
21.2 *Estudio de las dinamos* 164
21.2.1 Producción de la fuerza electromotriz en una dinamo 164
21.2.2 Determinación del sentido de la f.e.m. inducida en una dinamo 164
21.3 *Estudio del motor de corriente continua* 165
21.3.1 Fundamento del motor 165
21.3.2 Fuerza ejercida sobre los conductores 165
21.3.3 Inversión del sentido de giro 165
21.3.4 Funcionamiento como generador 165
21.4 *Constitución de las máquinas de corriente continua* 166
21.4.1 Inductor 166
21.4.2 Inducido 167
21.4.3 Colector 167
21.4.4 Escobillas 167
21.4.5 Entrehierro 167
21.4.6 Cojinetes 167
21.5 *Excitación de las máquinas de corriente continua* 167
21.5.1 Excitación independiente 168
21.5.2 Autoexcitación 168
21.6 *Principales características de los generadores de corriente continua* 169
21.6.1 Características de la dinamo de excitación independiente 169
21.6.2 Características de la dinamo de excitación shunt 170
21.6.3 Características de la dinamo de excitación serie 170
21.6.4 Características de la dinamo de excitación compound 170
21.7 *Motor de corriente continua* 170
21.7.1 Arranque del motor 171

22 **Constitución, funcionamiento y características de las máquinas de corriente alterna. Alternadores, motores trifásicos y motores monofásicos** 172
22.1 *Clasificación de las máquinas de corriente alterna* 173
22.1.1 Máquinas síncronas 173
22.1.2 Máquinas asíncronas 173
22.2 *Generalidades sobre la producción y transporte de la energía eléctrica* 173
22.3 *Comparación entre dinamos y alternadores* 174
22.3.1 Anillos rozantes 174
22.3.2 Bobinados 174
22.3.3 Inducido e inductores 174
22.3.4 Velocidad de giro 174
22.4 *Fuerza electromotriz generada en un alternador* 175
22.4.1 Fundamento 175
22.4.2 Tipos de bobinados 175
22.4.3 Conexiones trifásicas 175
22.4.4 Potencia suministrada por un alternador trifásico 175
22.4.5 F.e.m. inducida por fase 175
22.5 *Aspecto constructivo de las máquinas eléctricas síncronas* 175
22.5.1 Máquinas de polos lisos y polos salientes 175
22.5.2 Rotor 176
22.5.3 Estator 176
22.5.4 Anillos rozantes 176
22.6 *Características eléctricas de un alternador* 177
22.6.1 Curva de vacío 177
22.6.2 Característica exterior 177
22.6.3 Regulador de la tensión 177
22.6.4 Aplicaciones 177
22.7 *Motor síncrono* 177
22.7.1 Fundamento 177
22.7.2 Aplicación 177
22.8 *Motor asíncrono trifásico* 178
22.8.1 Fundamento 178
22.8.2 Velocidad de giro 178
22.8.3 Deslizamiento 178
22.9 *Aspecto constructivo de los motores asíncronos trifásicos* 180
22.9.1 Estator 180
22.9.2 Entrehierro 181
22.9.3 Rotor 181
22.10 *Características de los motores asíncronos trifásicos* 182
22.10.1 Características mecánicas 182
22.10.2 Arranque de los motores asíncronos 182
22.10.3 Aplicaciones 182
22.11 *Motores monofásicos* 182
22.11.1 Motores monofásicos de inducción o asíncronos 182
22.11.2 Motores monofásicos de colector 184

23 **Constitución, funcionamiento y características de los transformadores monofásicos y trifásicos** 185
23.1 *Funcionamiento del transformador* 185
23.2 *Relación de transformación de un transformador* 186
23.3 *Clasificación de los transformadores. Símbolos para su representación* 187
23.4 *Aspectos constructivos del transformador* 187
23.4.1 Circuito magnético 187
23.4.2 Circuitos eléctricos (bobinados) 188
23.4.3 Sistemas de refrigeración 188
23.5 *Características eléctricas del transformador* 189
23.5.1 Rendimiento 189
23.5.2 Característica externa 189
23.5.3 Característica de calentamiento 190
23.6 *Campo de aplicación del transformador* 190
23.6.1 Transformadores en redes de distribución 190
23.6.2 Otras aplicaciones 190

24 **Constitución, funcionamiento y características de las baterías de acumuladores** 191
24.1 *Generalidades sobre acumuladores* 192
24.2 *Acumuladores de plomo* 192
24.2.1 Recipientes y tapas 192
24.2.2 Placas 193
24.2.3 Separadores 193
24.2.4 Electrólito 193
24.2.5 Tapones 193
24.2.6 Conexiones 194
24.3 *Características eléctricas de un acumulador de plomo* 194
24.3.1 Característica de carga 194
24.3.2 Característica de descarga 195
24.4 *Acumuladores alcalinos* 195
24.4.1 Constitución 195
24.4.2 Funcionamiento 196
24.4.3 Aplicaciones 196
24.5 *Otras características de los acumuladores* 197
24.5.1 Capacidad 197
24.5.2 Rendimiento 197
24.5.3 Necesidad del uso de acumuladores 198
24.6 *Acoplamiento de pilas y acumuladores* 198
24.6.1 Acoplamiento en serie 198
24.6.2 Acoplamiento en paralelo 199
24.6.3 Acoplamiento mixto 200

25 **Constitución y funcionamiento de aparatos rectificadores. Características** 201
25.1 *Introducción* 202
25.2 *Convertidores rotativos* 202
25.2.1 Grupo motor-dinamo 202
25.2.2 Conmutatriz 203
25.3 *Conceptos generales sobre rectificadores* 203
25.3.1 Funcionamiento 203
25.3.2 Rectificadores de vapor de mercurio 203
25.3.3 Rectificadores de semiconductores 206
25.3.4 Idea sobre un rectificador controlado 208

26 **Mantenimiento, averías y reparaciones de las máquinas y aparatos eléctricos** 209
26.1 *Generalidades sobre el mantenimiento* 209
26.2 *Mantenimiento de las máquinas y aparatos eléctricos* 209
26.2.1 Mantenimiento de motores generadores 209
26.2.2 Mantenimiento de los transformadores 210
26.2.3 Mantenimiento de las baterías de acumuladores 211
26.2.4 Mantenimiento de aparatos rectificadores 211
26.3 *Generalidades sobre las reparaciones* 211
26.3.1 Localización de averías 211
26.4 *Averías más frecuentes en las máquinas y aparatos eléctricos* 212
26.4.1 Averías de las máquinas de corriente continua. Reparaciones 212
26.4.2 Averías de las máquinas de corriente alterna. Reparaciones 212
26.4.3 Averías de las baterías de acumuladores. Reparaciones 212
26.4.4 Averías de los rectificadores. Reparaciones 219

BOBINADOS DE LAS MAQUINAS Y APARATOS ELECTRICOS

27 **Estudio de los bobinados de las máquinas de corriente alterna** 220
27.1 *Características generales de los bobinados* 220
27.1.1 Velocidad 221
27.1.2 Número de polos 221
27.1.3 Número de ranuras por polo y fase 221
27.2 *Tipos de bobinados* 221
27.2.1 Bobinados concéntricos 222
27.2.2 Bobinados excéntricos 224
27.2.3 Bobinados especiales 225

28 **Estudio de los bobinados de transformadores** 228
28.1 *Introducción* 228
28.1.1 Transformador de columna 229
28.1.2 Transformador acorazado 229
28.2 *Construcción de los arrollamientos del transformador* 229
28.2.1 Factores que influyen en la construcción del bobinado 229
28.2.2 Tipos de arrollamientos 230
28.3 *Bobinados de transformadores muy pequeños* 230
28.3.1 Tipos de transformadores 230
28.3.2 Rendimiento 231
28.3.3 Arrollamiento 231
28.3.4 Construcción 231

REGLAMENTOS Y NORMAS ELECTRICAS. PELIGROS DE LA ELECTRICIDAD

29 **Reglamentos y normas eléctricas** 232
29.1 *Generalidades sobre la reglamentación en materia eléctrica* 232
29.1.1 Promulgación del Reglamento 232
29.1.2 Ordenanza sobre seguridad e higiene 233
29.1.3 Reglamento de iluminación de los centros de trabajo 233
29.1.4 Otras normas 233
29.2 *Aplicación de las normas eléctricas a las materias descritas en el presente texto* 233
29.3 *Normas de aplicación a las medidas eléctricas* 233
29.3.1 Tensiones normalizadas 233
29.3.2 Sistemas de aislamiento y tomas de tierra 233
29.4 *Normas de aplicación a los electrodomésticos* 234
29.4.1 Interruptor diferencial 234
29.4.2 Instalaciones de aparatos de caldeo 234
29.4.3 Calentadores de agua 234
29.4.4 Cocinas y hornos eléctricos 234

29.4.5 Aparatos de uso doméstico provistos de motor eléctrico 235
29.4.6 Aislamiento y puesta a tierra 235
29.4.7 Intensidades admisibles en conductores 235
29.5 *Normas de aplicación a las líneas de distribución* 235
29.5.1 Contadores 235
29.5.2 Acometidas 235
29.5.3 Sección de los conductores 235
29.5.4 Interruptor automático y diferencial 235
29.5.5 Otras normas 235
29.5.6 Tubos protectores 235
29.5.7 Instalación de locales peligrosos 235
29.5.8 Líneas aéreas de B.T. 236
29.5.9 Líneas subterráneas 236
29.5.10 Materiales de seguridad para realizar los trabajos en instalaciones de B.T. 236
29.5.11 Líneas aéreas de A.T. 236
29.6 *Normas de aplicación al montaje de instalaciones de motores* 237
29.6.1 Sección de los conductores 237
29.6.2 Ambientes peligrosos 237
29.6.3 Puesta a tierra 237
29.7 *Normas de aplicación a las máquinas y aparatos eléctricos* 237
29.7.1 Máquinas giratorias 237
29.7.2 Transformadores 237
29.7.3 Rectificadores 237
29.7.4 Baterías 237

30 **Peligros de la electricidad. Prevención de accidentes** 238
30.1 *Introducción* 238
30.2 *Factores que intervienen en los accidentes de electrocución* 238
30.2.1 Factores técnicos 238
30.2.2 Factores propios de la persona 239
30.3 *Lesiones producidas por el paso de la corriente* 239
30.4 *Prevención contra contactos eléctricos en B.T.* 239
30.4.1 Tipos de contacto 239
30.5 *Situaciones favorables al riesgo de accidentes eléctricos* 240
30.5.1 Con líneas aéreas de A.T. 240
30.5.2 En instalaciones fijas en B.T. 240
30.5.3 En trabajos varios 240
30.5.4 Por defectos en la instalación 240

1. Medidas eléctricas

Tema 1. Introducción a las medidas eléctricas

OBJETIVOS

- *Comprender el significado de medición eléctrica.*
- *Seguir la evolución de la tecnología eléctrica a través del tiempo.*
- *Estudiar el origen de la unidad fundamental elegida en electricidad y magnetismo.*
- *Conocer los patrones de magnitudes eléctricas.*
- *Ver la necesidad de colaboración en el campo de la investigación.*
- *Conocer las unidades más importantes empleadas en electricidad y magnetismo.*

GUION

- Generalidades.
- Desarrollo histórico de las medidas eléctricas.
- Magnitudes físicas.
- Patrones de las magnitudes eléctricas.

PUNTOS CLAVE

- Distinción entre medición directa e indirecta.
- Unidades eléctricas y magnéticas.
- Patrones eléctricos.

EXPOSICION DEL TEMA

1.1 Generalidades

En Física, la palabra medida indica *comparación* entre dos magnitudes, una de ellas conocida, llamada patrón, y la otra, desconocida.

El resultado de la medición de la magnitud física puede obtenerse por dos procedimientos: *directo* e *indirecto.*

1.1.1 *Medición directa*

Es la comparación entre dos magnitudes para ver si son iguales.

Un ejemplo sería la contrastación de una resistencia con una resistencia patrón.

1.1.2 *Medición indirecta*

Es la comparación entre una magnitud con otra magnitud de diferente naturaleza, pero que guardan entre sí alguna relación. Por ejemplo, la medición de una magnitud eléctrica (intensidad) por comparación con la desviación de la aguja, que en realidad es una magnitud geométrica (alargamiento de un muelle).



Hans Christian Oörsted

La importancia de las medidas, de cualquier magnitud física, es vital en la técnica industrial. En el campo de la investigación se recurre siempre a las medidas para poder descubrir leyes de la Naturaleza o para confirmar las teorías científicas.

1.1.3 *Aplicación de las medidas en la Electricidad*

La electricidad es una parte de la Física, que se manifiesta por fenómenos mecánicos, luminosos, fisiológicos y químicos.

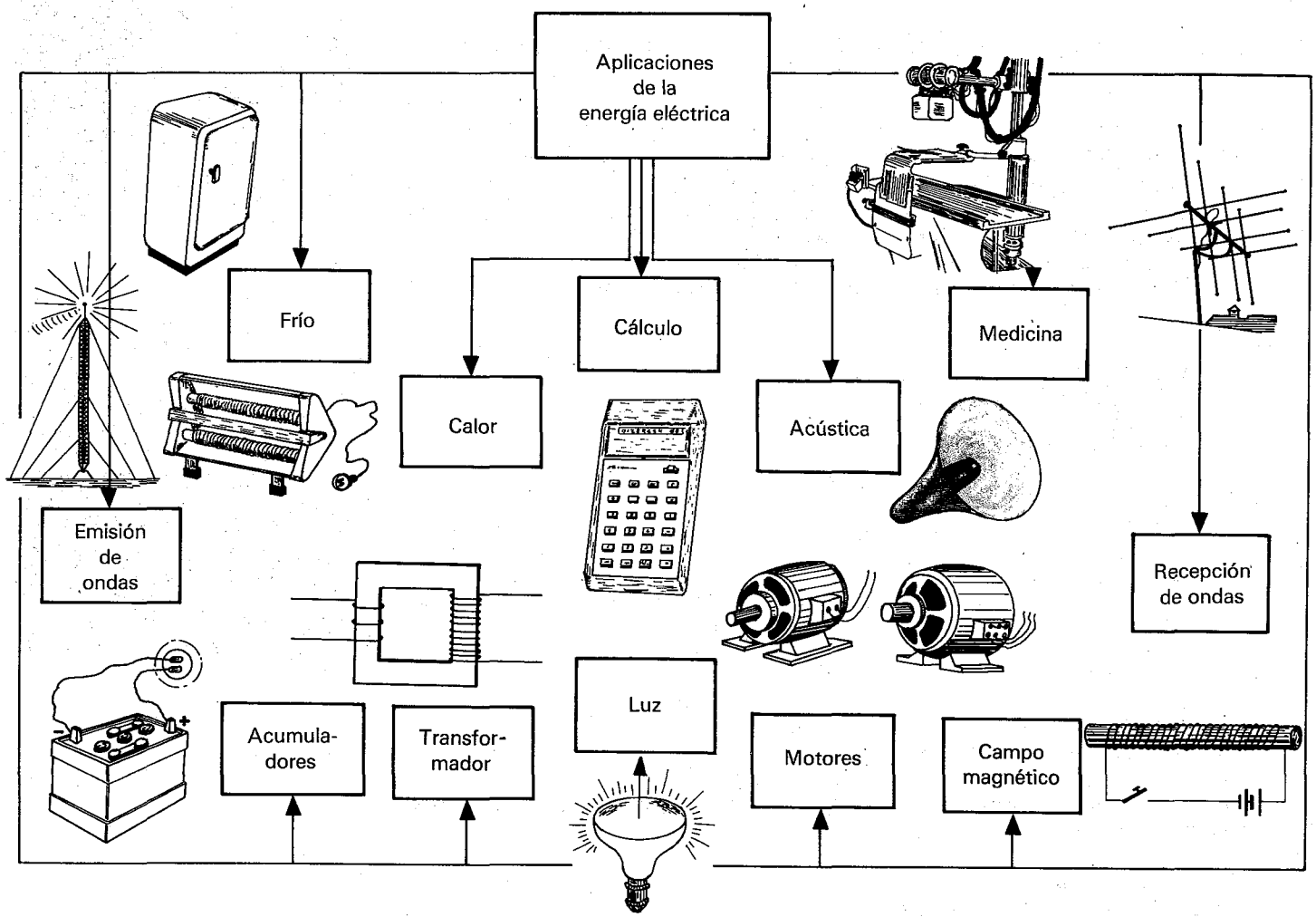
Debido a la facilidad de producción, transporte y distribución de la energía eléctrica, así como su rentabilidad para convertirla en otros tipos de energía, se la considera actualmente imprescindible.

El inconveniente de no poder almacenarse, excepto casos especiales como pilas, baterías, acumuladores y condensadores, limita su empleo a lugares próximos a redes de distribución de energía, donde puede hacerse una conexión eléctrica.

La velocidad de transmisión de la energía eléctrica, desde el centro de producción (central) al sitio de consumo (receptor), es prácticamente instantánea.

De lo anterior se desprende la importancia del conocimiento total de las magnitudes eléctricas (tensión, intensidad, potencia, energía, etc.), que intervienen en cualquier instalación eléctrica. Esto se logra a través de los aparatos de medida eléctricos. A continuación se indican las diversas aplicaciones de la energía eléctrica, en el gráfico 1.1.

Cuadro 1.1 Aplicaciones de la energía eléctrica



1.2 Desarrollo histórico de las medidas eléctricas

Las medidas eléctricas van ligadas al descubrimiento de las leyes de la electricidad, desarrolladas en su mayor parte, a finales del siglo XVIII y a principios del XIX.

La mayor parte de las magnitudes eléctricas tienen como nombre de su unidad fundamental el de algún investigador físico o eléctrico de la época señalada. Por orden cronológi-

co, se citan, a continuación, los científicos más destacados por sus trabajos relacionados con la electricidad:

Gilbert	(1540-1603)	Oersted	(1777-1851)	Weber	(1804-1891)
Coulomb	(1736-1806)	Gaus	(1777-1855)	Joule	(1818-1889)
Watt	(1736-1819)	Ohm	(1787-1854)	Thomson	(1824-1907)
Volta	(1745-1827)	Faraday	(1791-1867)	Maxwell	(1831-1879)
Ampère	(1775-1836)	Henry	(1797-1878)	Giorgi	(1871-1950)

Actualmente, muchos de los aparatos empleados en medidas eléctricas son básicamente los mismos que construyeron estos investigadores.

Basta fijarse en los medios con que hoy se cuentan, en cualquier laboratorio de medidas (fuentes de energía seguras, instrumentos de gran precisión, pupitres cómodos y prácticos, etc.), para reconocer el tesón y la capacidad intelectual de estas personas, que carecían de toda clase de medios y tenían que inventar y construir los aparatos, a la vez que descubrían las leyes en que estaban basados.

A finales del siglo XIX se empezaron a proyectar diversos tipos de aparatos de medidas eléctricas, tales como amperímetros, voltímetros, galvanómetros, rectificadores y algunos aparatos de medidas de precisión.

A principios del siglo XX, paralelamente a la electrificación de la industria, se fabricaron y perfeccionaron progresivamente los instrumentos de medidas eléctricas.

Al aumentar el conocimiento del tema y extenderse por todo el mundo, se imponía presentar un lenguaje común, para poder colaborar y contrastar los trabajos de investigación. Esta necesidad llevó a la elección de la unidad fundamental y a la creación de los patrones de medida.

A la vez, se fue conociendo y dominando la medición de magnitudes no eléctricas (mecánica, temperatura, presión, luz, tiempo, etc.), por procedimientos eléctricos (termostatos, presostatos, células fotoeléctricas, etc.), iniciándose la automatización en la industria. Más tarde, con el descubrimiento e introducción de los dispositivos electrónicos, se consiguió una automatización considerable en los avances de la tecnología.

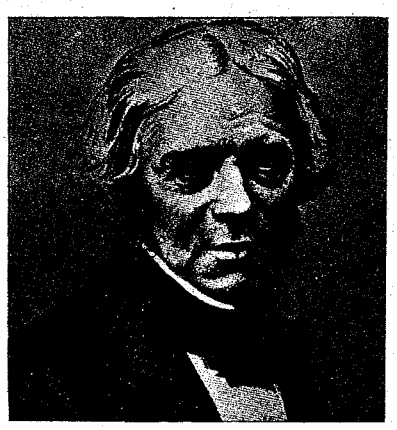
Así se llega a la época actual, con utilización de materiales de construcción más perfeccionados, empleando métodos de medida diversos y logrando que los aparatos clásicos se conviertan en aparatos de gran precisión; por esto se llama a la era actual era de la instrumentación.



Alessandro Volta



André-Marie Ampère



Michel Faraday

1.3 Magnitudes físicas

Todo fenómeno natural es susceptible de medida.

Las magnitudes físicas son cada una de las clases de fenómenos observados (luz, calor, distancia, etc).

1.3.1 *Magnitudes fundamentales*

Son aquellas que se definen por sí mismas (por ejemplo, la longitud) y que han sido escogidas como base de un sistema. De ellas se deduce el resto de las magnitudes físicas que se llaman magnitudes derivadas.

En el Sistema Internacional las magnitudes fundamentales son: *longitud, masa, tiempo, temperatura, intensidad eléctrica, intensidad luminosa.*

Al desarrollarse la electricidad y magnetismo, se pensó en la creación de la cuarta unidad fundamental. Esta unidad fue el amperio.

Las otras tres unidades fundamentales eran: el metro, el kilogramo y el segundo, para las cuales se habían construido patrones fundamentales.

Por la misma razón, también en electricidad se pensó en la creación de patrones eléctricos.

En el año 1948, la Comisión Internacional de Pesas y Medidas, acordó adoptar como unidad fundamental de Intensidad eléctrica *el amperio.*

1.3.1.1 *Amperio*

Es la intensidad de corriente eléctrica constante, que recorre dos conductores paralelos y rectilíneos, de longitud infinita y sección circular despreciable, situados en el vacío a la distancia de 1 m, determinando una fuerza mutua de 2.10^{-7} Nw por metro de conductor (fig. 1.2).

La medida del amperio, según esta definición es extremadamente complicada y, aunque se podría conseguir, midiendo la fuerza entre dos bobinas con una balanza de gran precisión, resulta bastante más práctico emplear otros patrones más sencillos, llamados patrones secundarios.

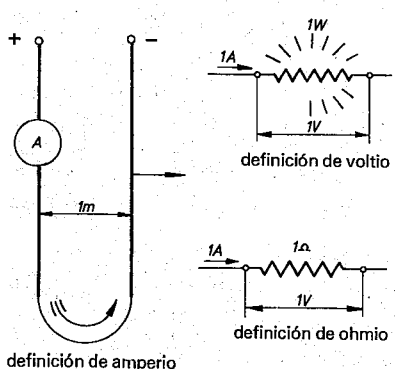
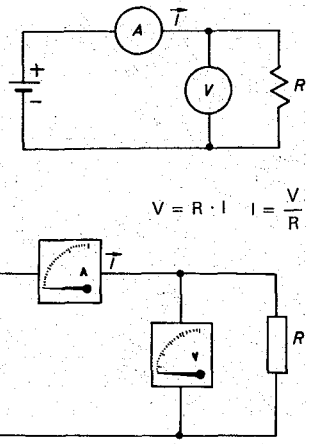


Fig. 1.2 Definiciones del amperio, ohmio y voltio.



$V = R \cdot I \quad I = \frac{V}{R}$

Fig. 1.3 Ley Ohm.

Los patrones secundarios más importantes son: *hilos* de resistencia, para la magnitud eléctrica resistencia y *pilas* de cadmio para la magnitud f.e.m. o tensión.

Aunque la exactitud de las medidas, según los patrones secundarios, es inferior a la conseguida por los patrones absolutos (aquellos que se miden en función de la longitud, masa y tiempo), todavía se mantienen dentro de los límites de precisión exigidos actualmente en las medidas eléctricas.

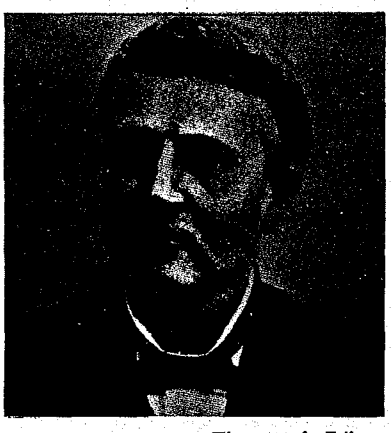
Se puede definir el amperio, según la ley de Ohm (fig. 1.3), como: *la intensidad de corriente que al circular por una resistencia de un ohmio, produce la caída de tensión de un voltio.*

Las unidades ohmio y voltio corresponden a las unidades derivadas del amperio. Se verán a continuación.

1.3.2 *Unidades derivadas*

De la unidad fundamental (amperio) se derivan todas las demás unidades, formando el Sistema Internacional de medidas, más conocido por sistema *GIORGI.*

A continuación se indican en la tabla 1.4 las magnitudes eléctricas y magnéticas más importantes del sistema GIORGI.



Thomas A. Edison

Tabla 1.4 Magnitudes eléctricas y magnéticas

	Magnitudes	*Símbolo*	*Unidad Giorgi*		*Aparato para su medición*
			Denominación	*Símbolo*	
Eléctricas	Cant. corriente	Q	Culombio	C	galvanómetro balístico
	Corriente	I	Amperio	A	amperímetro galvanómetro
	Resistencia	R	Ohmio	Ω	óhmetro y puentes
	Tensión	V	Voltio	V	voltímetro
	Potencia	P	Vatio	W	vatímetro
	Energía	W	Julio	J	contador
	Capacidad	C	Faradio	F	puente para capacidad
	Frecuencia	f	Hertz	Hz	frecuencímetro
	Factor de potencia	φ	Grados		fasímetro
Magnéticas	Inductancia	L	Henrio	H	puente para inductancia
	Flujo magnético	Φ	Weber	Wb	fluxímetro
	Inducción	B	Tesla	Wb/m^2	
	Fuerza Magnetomotriz	F	Amp. vuelta	Av	tensímetro magnético



Benjamín Franklin

1.3.2.1 *Definiciones*

Culombio. Cantidad de electricidad transportada en 1 seg. por una corriente de 1 amperio.

Ohmio. Es la resistencia eléctrica que existe entre dos puntos de un conductor, cuando una diferencia de potencial constante de 1 V, aplicada entre estos dos puntos, produce en el conductor una corriente de 1 A, siempre y cuando no se genere en él ninguna f.e.m.

Voltio. Es la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos puntos de un hilo conductor, por el que circula una corriente continua constante de 1 A, cuando la potencia disipada entre estos puntos es igual a 1 W.

Vatio. Es la potencia eléctrica de un circuito que, al aplicársele una d.d.p. de 1V, hace circular una intensidad de 1 A.

Vatio-hora. Energía desarrollada, durante una hora, por la potencia de 1 W, y que es igual a 3.600 julios.

Voltiamperio-hora. Unidad de energía aparente en el sistema práctico, equivalente a 1 W hora.

Faradio. Capacidad de un condensador eléctrico, entre cuyas armaduras aparece una d.d.p. eléctrico de 1 V, cuando se carga con una cantidad de electricidad igual a 1 culombio.

Hertzio. Unidad de frecuencia que corresponde a un ciclo por segundo.

Fase de una cantidad senoidal. Angulo variable que figura en la expresión senoidal de la cantidad.

Henrio. Inductancia de un circuito cerrado, en el que se produce una f.e.m. de 1 V, cuando la corriente que recorre el circuito varía uniformemente a razón de 1 A/seg.

Weber. Flujo de inducción magnética que, al atravesar un circuito de una sola espira, produciría una f.e.m. de un voltio, si se le redujese el campo magnético uniformemente hasta cero en 1 seg.

Tesla. Es la inducción que, en dirección perpendicular a un hilo rectilíneo de 1 m de longitud y atravesado por una corriente de 1 A, desarrolla sobre el hilo una fuerza de 1 Nw.

Amperio-vuelta. Fuerza magnetomotriz producida por una corriente de 1 A, al circular por una espira de un conductor.

1.4 Patrones de las magnitudes eléctricas

En el campo de las medidas eléctricas hay que distinguir entre medidas de tipo industrial y medidas propias de laboratorio.

1.4.1 *Medidas industriales*

Son las utilizadas en cualquier montaje o instalación eléctrica, y necesitan de unos instrumentos de medida prácticos, que normalmente están fundados en la medición indirecta.

1.4.2 *Medidas de laboratorio*

Comprenden las mediciones de precisión necesarias a la hora de proyectar circuitos de instrumentos de medida, o bien graduar y verificar los aparatos de medición indirecta, y necesitan de los *patrones eléctricos.* Este tipo de mediciones tiene lugar en el laboratorio.

1.4.3 *Clasificación de patrones*

Normalmente los patrones que se construyen son para:

— resistencias;
— fuerzas electromotrices;
— capacidades;
— inductancias.

1.4.3.1 *Patrones de resistencia*

Los patrones de resistencias se suelen construir con hilos de aleaciones metálicas, como *manganina* (compuesta de cobre, níquel y manganeso), y tienen la propiedad de dar a las resistencias un valor prácticamente constante, aunque varíe la temperatura. El patrón completo es la llamada caja de resistencias. Se llama completo porque permite medir un gran número de valores de las mismas. Un modelo de tales patrones es la *caja a décadas circulares,* indicada en la figura 1.5, formada por varios grupos de resistencias patrones, cuyos extremos se unen a piezas metálicas, haciendo contacto sobre ellas otra pieza metálica giratoria.

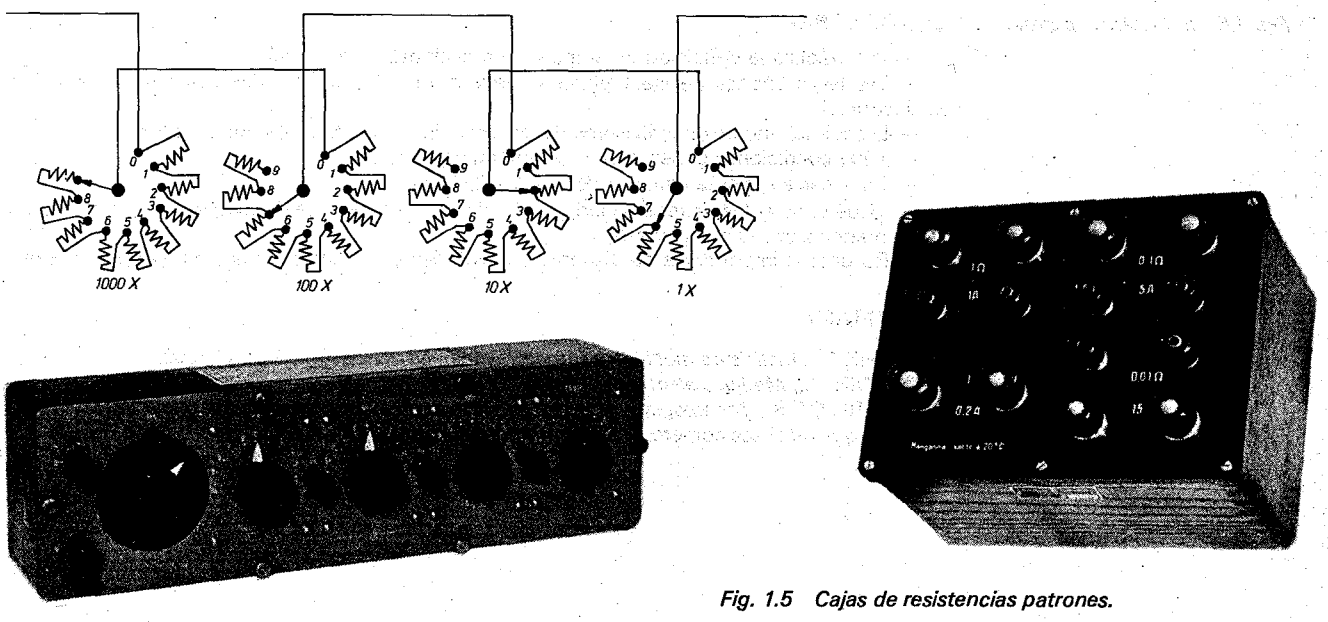


Fig. 1.5 Cajas de resistencias patrones.

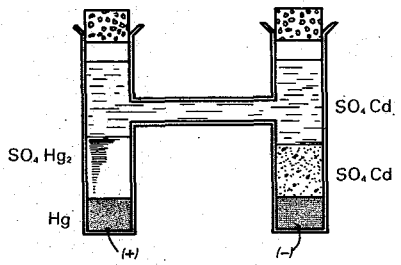


Fig. 1.6 Pila patrón Weston.

1.4.3.2 *Patrones de fuerza electromotriz o tensión*

Son las pilas patrón. La más importante es la *pila Weston,* indicada en la figura 1.6, que genera una f.e.m. de 1,0186 V a la temperatura de 20 ° C. Los componentes químicos de la pila (sulfato de cadmio y mercurio) producen una f.e.m. constante. Una observación interesante sobre la pila patrón es que solamente se debe utilizar para comparación de f.e.m. en medidas de laboratorio, y nunca para suministrar corriente.

1.4.3.3 *Patrones de capacidad*

Los patrones de capacidades son los *condensadores patrones* como se indica en la figura 1.7, formados por dos armaduras de hojas de estaño, separadas por un aislante sólido, como la mica o el papel.

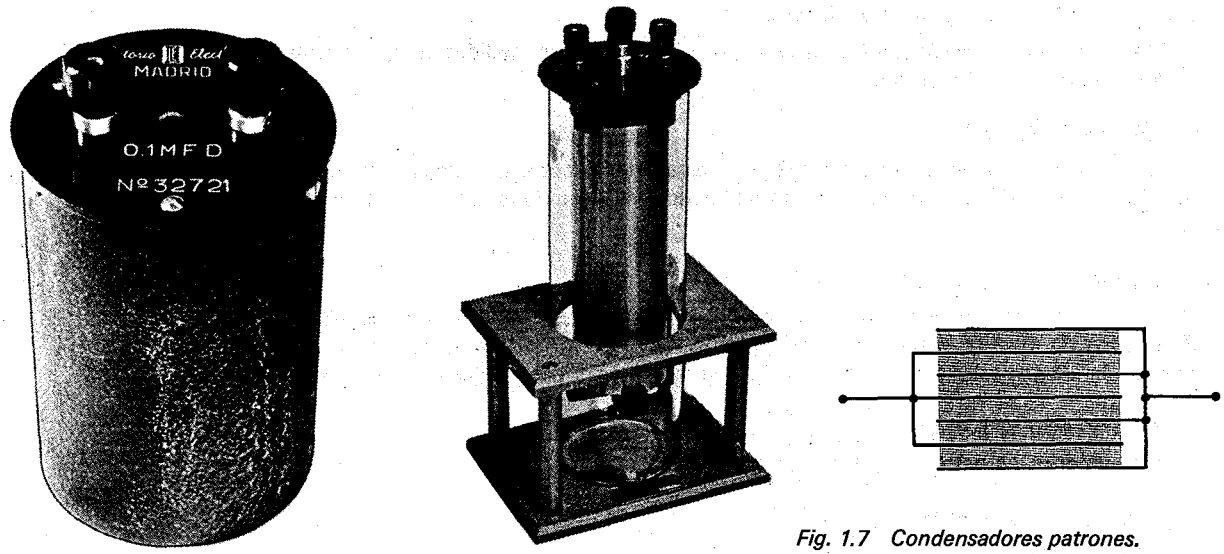


Fig. 1.7 Condensadores patrones.

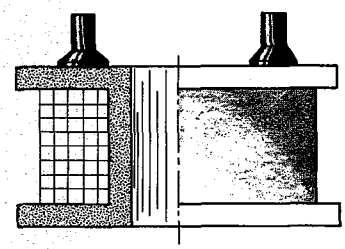


Fig. 1.8 Inductancia patrón.

1.4.3.4 *Patrones de inductancia*

La *inductancia patrón,* indicada en la figura 1.8, consiste en una bobina de hilo de cobre grueso, arrollada sobre un núcleo de madera o mármol para evitar las corrientes parásitas. Al realizar mediciones se procurará alejarse de los campos magnéticos, para no obtener resultados erróneos.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Informarse sobre la vida de los investigadores citados en (1-2), en relación a sus trabajos sobre electricidad y magnetismo.

CUESTIONARIO

— ¿Es práctica la definición de amperio internacional? ¿Se utiliza?
— Las leyes básicas de electricidad y magnetismo, ¿fueron creadas solamente por estos investigadores?
— Escribir los múltiplos y divisores de las unidades eléctricas más importantes.
— ¿Qué condiciones deben reunir los aparatos patrones?
— Informarse sobre la construcción de la pila Weston.
— ¿Qué constantes de resistividad, conductividad y coeficiente de temperatura, presentan a 0 °C la manganina y el constantán?
— Razonar la importancia de disponer de unidades eléctricas comunes en todo el mundo.

BIBLIOGRAFIA

FRANK E., *Análisis de medidas eléctricas,* Ediciones del Castillo, Madrid 1969.
BANDINI A., *Medidas eléctricas 1/1,* REDE, Barcelona 1967.
ELORRIAGA S., *Tecnología Eléctrica y Electrónica /1,* Bruño-Edebé, Barcelona 1975.
Catálogos de casas comerciales (Laboratorio Electrofísico, A.E.G.)

Tema 2. Características generales de los instrumentos de medición

OBJETIVOS

- *Saber clasificar los aparatos según diferentes criterios.*
- *Identificación de los aparatos por sus símbolos.*
- *Conocimiento del funcionamiento general de los aparatos.*
- *Distinción de los aparatos por su aspecto externo.*
- *Conocer materiales empleados en construcción de aparatos.*
- *Saber realizar lecturas en las mediciones.*
- *Retener los conceptos básicos que intervienen en un aparato de medida.*

GUION

- Clasificación de los aparatos de medida.
- Símbolos de los aparatos de medida.
- Funcionamiento de los instrumentos indicadores.
- Aspectos constructivos de los aparatos.
- Amortiguamiento de los dispositivos medidores.
- Tipos de apoyo del órgano móvil.
- Dispositivos de lectura. Sistemas de lectura.
- Vocabulario de aparatos de medida.

PUNTOS CLAVE

- Conocer los símbolos de aparatos.
- Comprender el funcionamiento general.
- Conocer las partes esenciales de los instrumentos.
- Aprender las definiciones que intervienen en el vocabulario.

EXPOSICION DEL TEMA

2.1 Clasificación de los aparatos de medida

Es conveniente hacer la clasificación de los aparatos, según varios criterios, ya que el campo de las medidas es muy extenso y no se puede aplicar un razonamiento común para todos.

2.1.1 *Criterios de clasificación*

Los criterios más interesantes para hacer una clasificación son:

— *Principio de funcionamiento.* Que los divide en electromagnéticos, electrodinámicos, electrotérmicos, de inducción y electrostáticos.

— *Corrientes a utilizar.* Pueden ser aparatos para corriente continua, para corriente alterna y para ambas.

— *Magnitud a medir.* Pueden ser voltímetros, vatímetros, contadores, etc.

— *Tipo de indicación.* Que los agrupa en aparatos indicadores (de aguja, de órganos vibratorios, de índices luminosos y sonoros), registradores (de inscripción con tinta o eléctrica) y contadores de energía.

— *Clase de precisión.* En general, se pueden dividir en aparatos de precisión o de medida fina y aparatos industriales.

2.2 Símbolos de los aparatos de medida

Con el fin de identificar un aparato, desde el exterior, para poder usarlo correctamente, se han adoptado unos símbolos, según los criterios anteriores. En el texto se dan los símbolos, más usuales. Una adecuada rotulación de símbolos, en el interior del aparato, lo identificará de un modo rápido y sencillo.

A continuación, se representan los símbolos y gráficos de instrumentos (tabla 2.1).

2.3 Funcionamiento de los instrumentos indicadores

Los instrumentos indicadores forman el grupo más importante y numeroso de los aparatos de medida. Por esto, se da a continuación una idea de su funcionamiento, si bien el estudio completo de cada aparato se hará en el siguiente tema.

El dispositivo medidor consta de una parte fija y otra móvil. El órgano móvil puede girar alrededor de un eje, que lleva acoplado un índice, y se desplaza sobre una escuadra gra-

Tabla 2.1 Símbolos para instrumentos de medición, clase de corriente, posición de empleo y tensión de prueba

Símbolo	*Denominación*	*Símbolo*	*Denominación*	*Símbolo*	*Aparatos*
	Instrumento de bobina móvil con imán permanente, en general.		Convertidor termoeléctrico, aislado.	(A)	AMPERIMETRO
	Medidor de cocientes de carrete móvil.		Convertidor termoeléctrico con instrumento de bobina móvil.	(Ω)	OHMETRO
	Instrumento de imán móvil.		Rectificador.	(V)	VOLTIMETRO
	Instrumento de imán móvil medidor de cocientes.		Rectificador con instrumento de bobina móvil.	(W)	VATIMETRO
	Instrumento de hierro móvil.		Símbolo indicador de blindaje de hierro.	(VAr)	VARIMETRO
	Instrumento de hierro móvil medidor de cocientes.		Símbolo indicador de pantalla electrostática.	(f)	FRECUENCIMETRO
	Instrumento electrodinámico, sin hierro.	ast	Instrumento astático.	(φ)	FASIMETRO
	Instrumento electrodinámico medidor de cocientes, sin hierro.	—	Corriente continua.		SINCRONOSCOPIO
	Instrumento electrodinamico con circuito magnético de hierro.	~	Corriente alterna.	kWh	CONTADOR kWh.
	Instrumento electrodinámico medidor de cocientes, con circuito magnético de hierro.	≂	Corrientes continua y alterna.	kVArh	CONTADOR kVArh.
	Instrumento de inducción.	≋	Instrumento de corriente trifásica con un circuito medidor.		
	Instrumento de inducción medidor de cocientes.	≋	Instrumento de corriente trifásica con dos circuitos medidores.		
	Instrumento térmico de alambre dilatable.	≋	Instrumento de corriente trifásica con tres circuitos medidores.		
	Instrumento bimetálico.	⊥	Posición de empleo vertical.		
	Instrumento electrostático.	⌐	Posición de empleo horizontal.		
	Instrumento de vibración.	∠60°	Posición de empleo con un determinado ángulo de inclinación.		
	Convertidor termoeléctrico, en general.		Dispositivo de ajuste del cero.		
		☆	Signo de la tensión de prueba (estrella de contorno negro).		

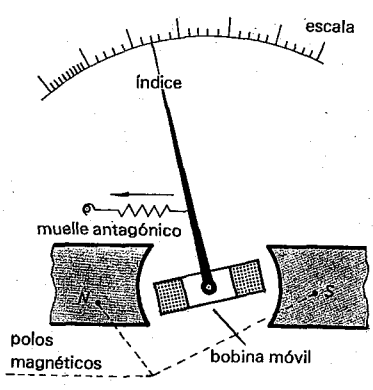


Fig. 2.2 Dispositivo medidor.

duada (fig. 2.2). Normalmente, en su posición de reposo, el índice señala el cero de la escala.

La magnitud a medir produce, entre las dos partes (fija y móvil), una fuerza que tiende a desplazar el órgano móvil de su posición de reposo a otra posición, por lo que se llama fuerza motriz (también se llama par motriz). El valor de esta fuerza motriz se mide por comparación con otra fuerza, que actúa en sentido opuesto, llamada fuerza resistente (antagónica). La fuerza antagónica se produce al alargarse los muelles o hilos de suspensión que unen las partes fija y móvil.

El órgano móvil se detendrá en un punto tal, que la fuerza motriz sea igual a la fuerza antagónica; este punto lo señalará el índice sobre la escala en su nueva posición de equilibrio.

La fuerza antagónica, producida por torsión del muelle, es proporcional a su alargamiento, de modo que es suficiente conocer el ángulo girado por el índice para que quede determinada dicha fuerza. Teniendo en cuenta que en el punto de equilibrio ambas fuerzas son iguales, al conocer la fuerza antagónica queda determinada al mismo tiempo la fuerza motriz.

Como la magnitud eléctrica a medir es proporcional a la fuerza motriz, resulta que, con una adecuada graduación de la escala, quedará determinado el valor de la medición.

2.4 Aspectos constructivos de los aparatos

Desde el punto de vista de su construcción, se clasifican en aparatos para *cuadros de distribución* y de ejecución *portátil.*

2.4.1 *Aparatos para cuadros*

Normalmente sirven para empotrar (fig. 2.3) de forma que la escala queda delante del cuadro y el sistema de medida en la parte posterior de la caja, resumiéndose en dos tipos: modelo cuadrado y circular. En general, se prefiere el modelo cuadrado, por el mejor aprovechamiento del espacio.

El modelo cuadrado presenta dos tipos: el *horizontal*, para lecturas a distancia, indicado en la figura 2.4, y el de *perfil*, para medir magnitudes correspondientes. Tal sería el caso de tensiones o intensidades en un sistema trifásico, como se indica en la figura 2.5.

Para estos aparatos se fabrican elementos accesorios como, dispositivos de iluminación, contactos especiales, indicadores de máxima, etc.

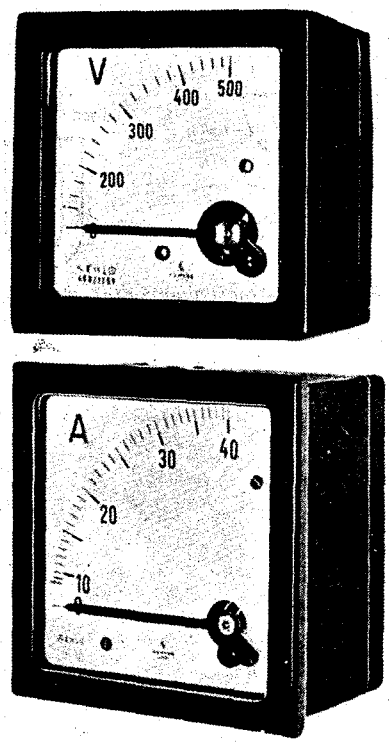


Fig. 2.3 Aparatos de cuadro.

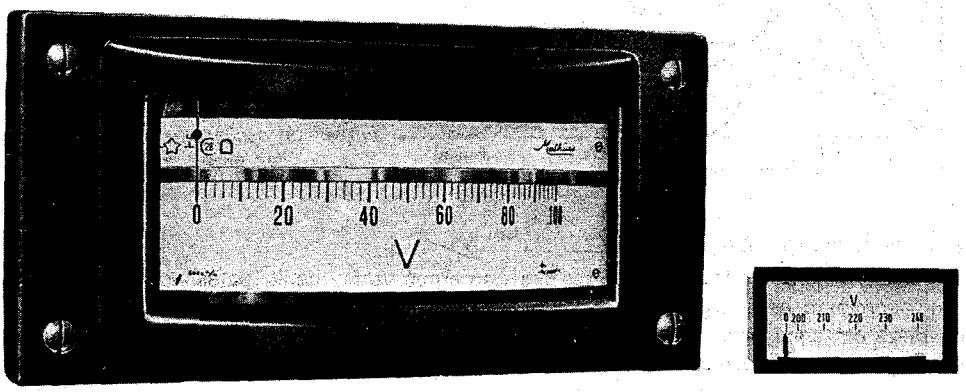


Fig. 2.4 Aparatos de cuadro de tipo horizontal.

2.4.2 *Aparatos de ejecución portátil*

Los aparatos portátiles, para el servicio, van alojados en cajas de baquelita (gris claro o negro) o de madera barnizada (fig. 2.6); su posición normal de trabajo es la horizontal y pueden disponer de uno o varios alcances en el mismo aparato. Son múltiples las posibilidades que ofrece este tipo de aparatos y además su elevado número de accesorios les convierten en instrumentos de medida universal (voltímetros, vatímetros, luxómetros, sincronoscopios, registradores universales, puentes de resistencias, pinzas de medida de corriente, etc.), como indica la figura 2.7

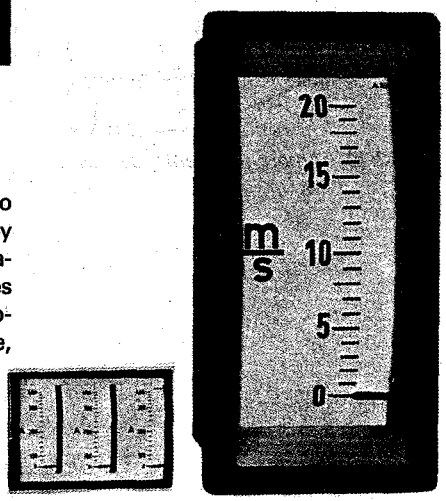


Fig. 2.5 Aparatos de cuadro de tipo perfil.

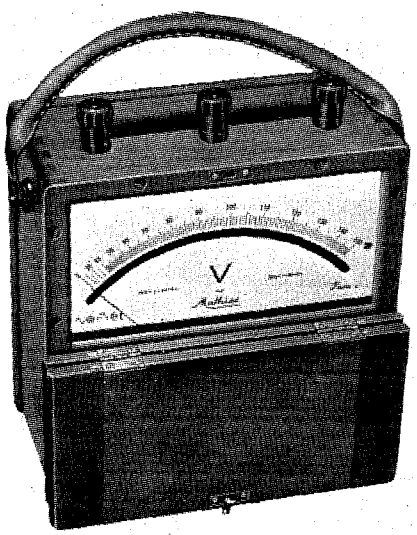


Fig. 2.6 Aparato portátil sobre caja de madera.

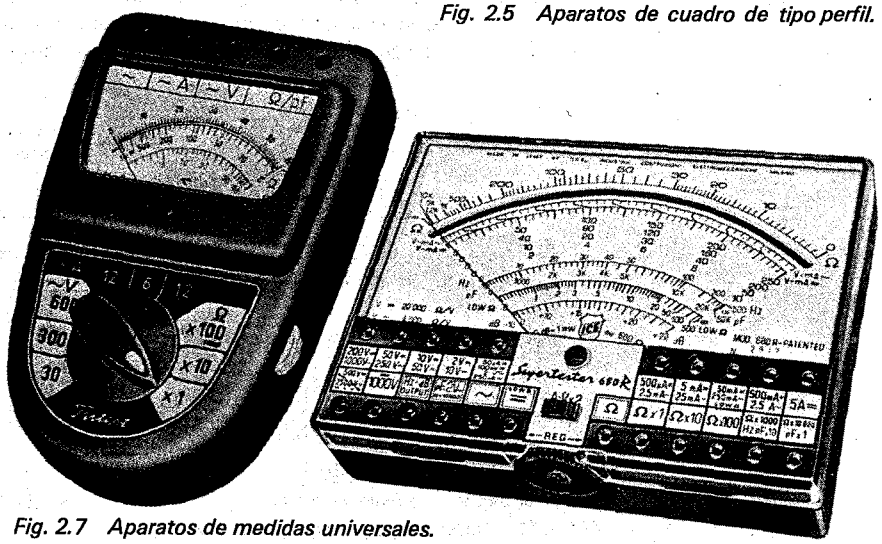


Fig. 2.7 Aparatos de medidas universales.

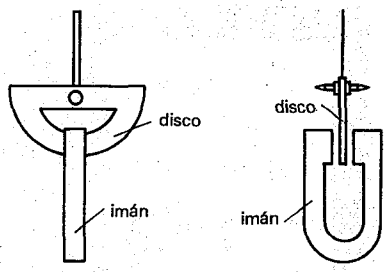


Fig. 2.9 Amortiguamiento electromagnético.

2.5 Amortiguamiento de los dispositivos medidores

Al aplicar o modificar la magnitud a medir, el órgano móvil se desplaza con una velocidad que le hace adquirir una energía (proporcional al cuadrado de la velocidad) hasta sobrepasar el punto de equilibrio. Al pararse, la fuerza antagónica en ese momento es superior a la motriz, haciéndola retroceder aceleradamente y rebasando de nuevo el punto de equilibrio. El proceso se repite produciéndose unas oscilaciones amortiguadas que duran unos segundos, impidiendo, por tanto, una lectura rápida.

Las curvas de oscilaciones (fig. 2.8) varían según sea el sistema de amortiguamiento instalado en el aparato.

En los instrumentos delicados (de precisión), se produce alguna oscilación antes de pararse la aguja. Los instrumentos de cuadro están amortiguados de forma que no haya oscilaciones, consiguiéndose así una lectura muy rápida.

Los tipos de amortiguamiento son dos: *electromagnético* y *de aire.*

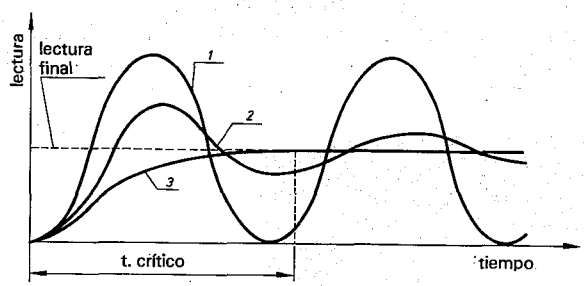


Fig. 2.8 Curvas de oscilaciones: 1, curva de amortiguamiento nulo; 2, curva con oscilaciones amortiguadas; 3, curva con amortiguamiento crítico.

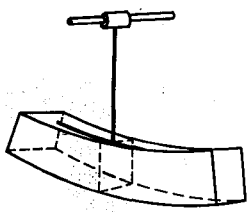


Fig. 2.10 Amortiguamiento por aire.

2.5.1 *Electromagnético*

Está fundamentado en el frenado por corrientes de Foucault (parásitas) (fig. 2.9). Su funcionamiento es el siguiente: un disco metálico solidario al eje del órgano móvil, se desplaza entre los polos de un imán permanente (parte fija), induciéndole unas corrientes parásitas, que producen una fuerza contraria al movimiento, logrando así el amortiguamiento.

2.5.2 *De aire*

El amortiguador de *aire* está formado por unas aletas de material muy ligero (aluminio), solidarias al eje de giro, que se desplazan en una cámara de aire (fig. 2.10). Como hay poca holgura entre las aletas y la cámara, el movimiento es frenado por el aire interior y las oscilaciones se anulan rápidamente. Este sistema presenta la ventaja de ser muy económico y adaptable a diversos aparatos.

2.6 Tipos de apoyo del órgano móvil

Se fabrican tres tipos de apoyo: *pivotes, cojinetes y cintas.*

2.6.1 *Apoyo de pivotes*

Los instrumentos que poseen órganos móviles grandes, disponen de ejes terminados en puntas o pivotes. Los ejes suelen ser de acero (0,2 a 2 mm de diámetro), terminados en forma de conos (fig. 2.11). Estos pivotes apoyan sobre asientos de bronce, con cavidad cónica en los aparatos industriales y en una piedra dura (ágata, granate, rubí o zafiro) en los instrumentos de precisión para disminuir el rozamiento.

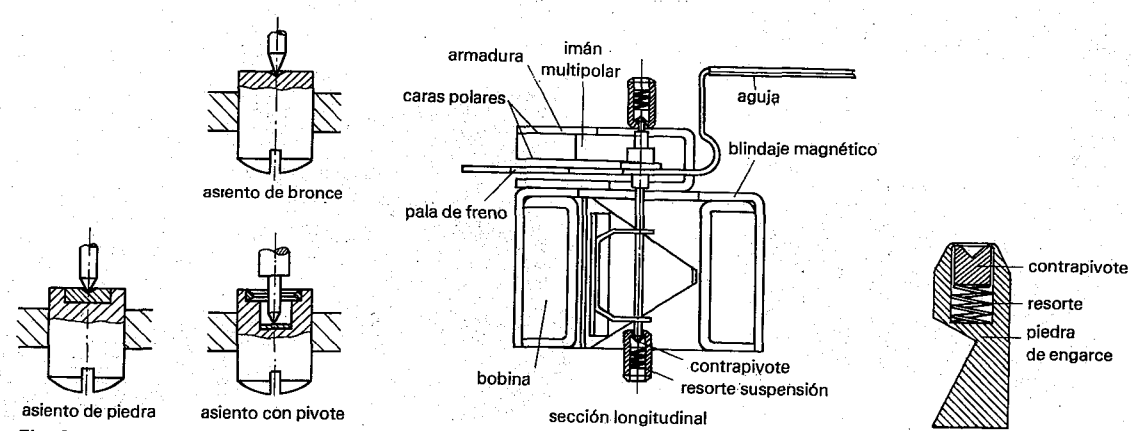


Fig. 2.11 Tipos de apoyo del órgano móvil.

2.6.2 *Apoyo de cojinetes*

En los instrumentos registradores y los destinados a vehículos, los extremos de los ejes, de acero, descansan sobre un cojinete formado por dos piedras, la piedra guía y la de asiento. Esta disposición de montaje les permite soportar esfuerzos en varias direcciones.

2.6.3 *Apoyos de cintas*

Para los instrumentos muy ligeros y sensibles, se ha elegido otro tipo de apoyo llamado suspensión de cinta (fig. 2.12), que consiste en dos cintas delgadas de platino aleado, muy tensas, fijadas a dos extremos fijos a presión.

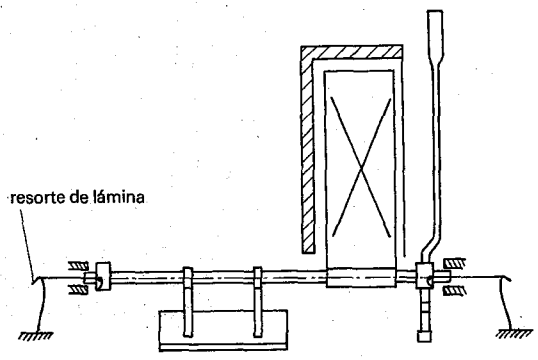


Fig. 2.12 Suspensión de cintas.

2.7 Dispositivos de lectura. Sistemas de lectura

En la lectura de una medición intervienen la *escala* y el *índice*.

2.7.1 *Escala*

Escala de un instrumento de medida es un cuadrante graduado, en el que queda indicada la lectura por la posición del índice. Las escalas (fig. 2.13) pueden ser:

- *Uniformes.* Cuando los intervalos entre divisiones son iguales.
- *Cuadráticas.* Cuando los intervalos marcados son mayores hacia el final de la escala.
- *Ensanchadas.* Si los intervalos son diferentes al principio o final de la escala.
- *Logarítmicas.* Si los intervalos son menores al final de la escala.

En la mayoría de los instrumentos la escala suele estar marcada con pintura negra, sobre fondo blanco; sin embargo, en los vehículos suele ser al contrario ya que así se logra una visualización mejor en la oscuridad. En los aparatos para observación a distancia, las divisiones son gruesas y muy separadas; en los aparatos de precisión, por el contrario, las divisiones son finas y separadas con intervalos próximos al milímetro (fig. 2.14).

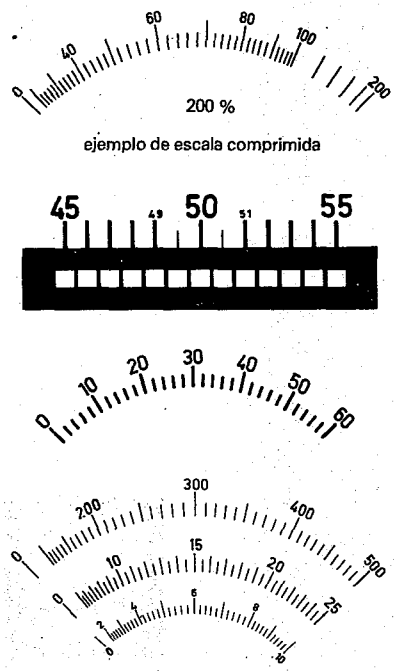
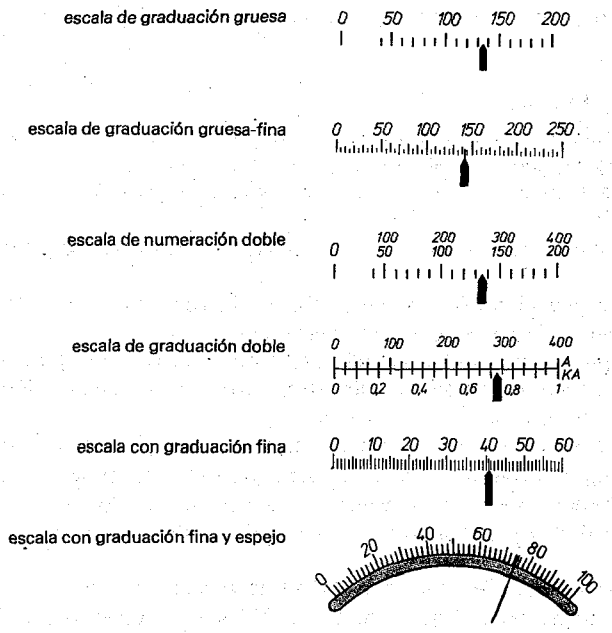


Fig. 2.14 Separación de las divisiones.



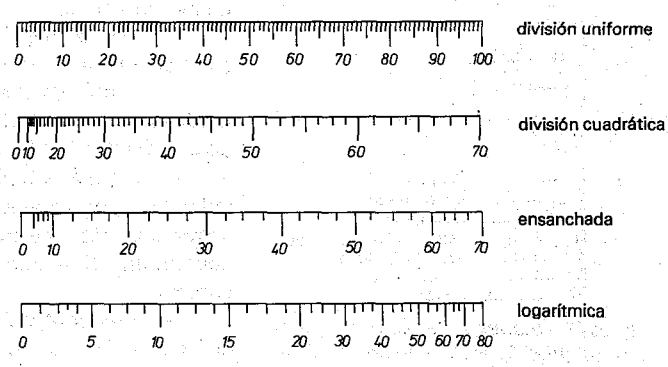


Fig. 2.13 Tipos de escalas.

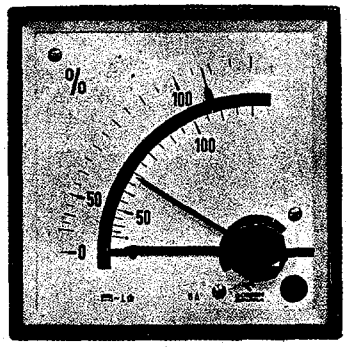


Fig. 2.16 Maxímetro bimetálico con contacto de máxima (Kainos).

2.7.2 *Indice*

Indice es la parte del instrumento que señala el valor de la medición sobre la escala.

Los índices (fig. 2.15) se clasifican en:

— *Indices finos de cuchilla* o *de hilo,* colocados en los aparatos de precisión, con espejo en la escala, para evitar el error de paralaje en la lectura.

— *Indices de varilla* o *de lanza*, colocados en aparatos de cuadro y visibles a distancia.

Todos los aparatos disponen de un tornillo de puesta a cero del índice en reposo. Si se cambia de escala, en el mismo aparato, es conveniente ajustar, de nuevo, la puesta a cero del índice.

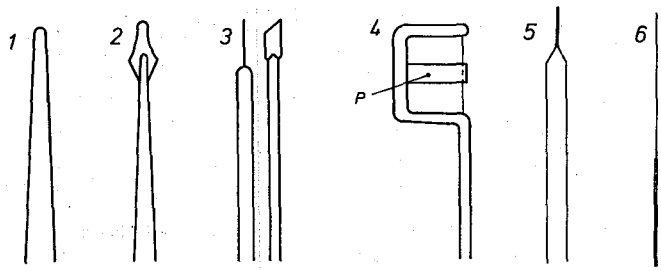
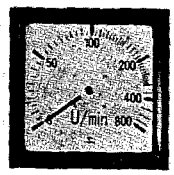


Fig. 2.15 Tipos de índice: 1, de varilla; 2, de lanza; 3, de cuchilla; 4, de hilo (P es un papel blanco); 5, aguja de forma angular; 6, aguja de forma tubular.

2.7.2.1 *Otros tipos de índices*

Cuando interese conocer el valor máximo alcanzado por una magnitud variable se disponen en el aparato dos índices en el mismo eje: uno, normal o principal y otro que es empujado por el normal en el sentido del avance, pero no en el de retroceso, y que queda detenido, por tanto, en el máximo valor. Otro tipo es el indicador de máxima y mínima. El índice, al llegar a una zona de la escala, donde se han colocado contactos especiales, hace sonar una alarma o, simplemente, actúa sobre algún circuito, como se puede apreciar en la figura 2.16.



2.7.2.2 *Sistemas de lectura*

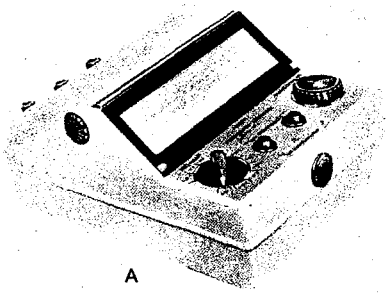
Los sistemas de lectura (fig. 2.17) son:

— *Lectura directa.* Se lee directamente sobre una escala graduada.

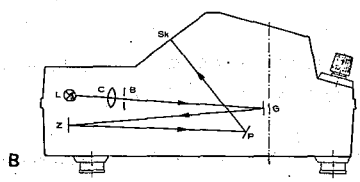
— *Lectura indirecta.* Un rayo luminoso incide sobre un espejo y se refleja en la escala.

2.7.2.3 *Errores de lectura*

Un error importante de lectura es el de paralaje. Este se comete al no observar el índice perpendicularmente al plano de la escala. Se evita el error de paralaje colocando un espejo en el plano de la escala. La lectura correcta se realizará cuando la varilla del índice oculte su propia imagen reflejada en el espejo, pues sólo entonces, la visual será perpendicular al plano de la escala.



A



B

L ..... lámpara
C ..... condensador
B ..... diafragma
G ..... espejo del galvanómetro
Z ..... espejo cilíndrico
P ..... espejo plano
SK ..... escala

Fig. 2.17 Sistemas de lectura: A, lectura directa; B, lectura indirecta (Kainos).

2.8 Vocabulario de aparatos de medida

— *El sistema de medida.* Consiste en los órganos productores del movimiento y en el órgano móvil, cuyo desplazamiento depende del valor de la magnitud que se mide.

— *Instrumento de medida.* Es el conjunto formado por el sistema de medida, la caja del mismo y los accesorios incorporados.

— *Aparato de medida.* Es el instrumento de medida con todos los accesorios incluso los no incorporados.

— *Campo de indicación.* Es el alcance total de la escala. Como el valor máximo a medir suele ser el final de la escala, también se le llama valor final de la escala.

— *Campo de medida.* Comprende solamente aquella parte de la escala que puede medirse con exactitud. Un ejemplo sería el caso de un voltímetro, cuyo campo de indicación abarca desde 0 V a 50 V y el campo de medición desde 5 V a 50 V.

— *Sensibilidad.* Es la relación entre la mínima desviación, que acusa el instrumento indicador, por variación de la magnitud que se mide y el valor que marcaba antes de la desviación. De este modo un voltímetro tendrá la sensibilidad de 1 %, si cuando indica el aparato un voltio, una variación de 0,01 V provoca en el índice una desviación que se puede apreciar.

— *Constante del instrumento.* Es el cociente entre el fondo de escala y el número de divisiones. Así, un voltímetro de campo de indicación de 0 V a 300 V con 150 divisiones, tendrá por constante: k = 300 V/ 150 = 2 V/división.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Recopilar normas de diferentes países sobre símbolos de aparatos.
— Preparar una lista con todos los aparatos que se emplean en un laboratorio eléctrico, indicando sus símbolos y utilización.
— Confeccionar una lista de casas fabricantes de aparatos.

CUESTIONARIO

— ¿Es correcto decir que los aparatos se clasifican en precisos y de cuadro?
— ¿Se podría conocer si un aparato es de precisión fijándose en su escala? ¿Por qué?
— Se va a efectuar una medición con un voltímetro de fondo de escala 150 V cuando el índice, antes de conectarlo señala 8 V. ¿Se puede realizar la medición? ¿Por qué?
— Un aparato, cuyo eje apoya en una piedra dura va a ser trasladado de posición ¿Qué precauciones han de tomarse?
— ¿Es lo mismo campo de indicación que campo de medida de un aparato?
— ¿Qué inconveniente presenta un aparato sin dispositivo de amortiguamiento?
— ¿Cómo se sabe si el error de paralaje, al realizar una medida, es por exceso o por defecto?
— ¿Qué tipos de amortiguamiento se emplean en aparatos de medida?
— ¿Qué precauciones, por la acción de campos magnéticos, se tomarán en aparatos astáticos? ¿Y en los aparatos apantallados?
— ¿Cómo se eligen los apoyos del equipo móvil en un miliamperímetro? ¿Y en un registrador?

BIBLIOGRAFIA

BANDINI, A. *Medidas eléctricas 1/1*, REDE, Barcelona 1967.
Escuela del técnico electricista, Tomo III, Labor, Barcelona 1967.
Manual AEG, 2, Tratado de electrotécnica práctica, Berlín 1967.
UNE, Instituto Nacional de Racionalización y Normalización, Madrid.
Catálogos de casas comerciales. Electromediciones Kainos, S.A., A.E.G., Mathias, Siemens, ICE, SACI.

Tema 3. Sistemas básicos empleados en la construcción de aparatos de medida

OBJETIVOS

— *Saber distinguir los aparatos por su funcionamiento.*
— *Conocer la construcción de los aparatos.*
— *Conocer las aplicaciones de los instrumentos en cada caso concreto.*
— *Conocer el fundamento del instrumento electromagnético de bobina móvil.*
— *Adquirir un perfecto conocimiento del instrumento de hierro móvil.*
— *Estudiar las aplicaciones del instrumento de inducción.*
— *Saber aplicar la teoría del instrumento electrodinámico a medida de potencia.*
— *Idea de otros tipos de instrumentos aplicables a aparatos de medida.*

GUION

— Instrumentos electromagnéticos de bobina móvil.
— Instrumentos electromagnéticos de hierro móvil.
— Instrumentos electrodinámicos.
— Instrumentos térmicos.
— Instrumentos de inducción.
— Otros sistemas de medida.

PUNTOS CLAVE

— Diferenciación entre sistemas de funcionamiento de los instrumentos de medida.
— Saber elegir el instrumento más adecuado para la medida a realizar.
— No dudar en la elección del aparato, según la corriente a utilizar.
— Llegar a conocer los materiales empleados en construcción de aparatos.

EXPOSICION DEL TEMA

3.1 Instrumentos electromagnéticos de bobina móvil

Están basados en la ley de Biot y Savart. Si disponiendo de un campo magnético, producido por un imán norte-sur (fig. 3.1), se hace circular una corriente eléctrica por un

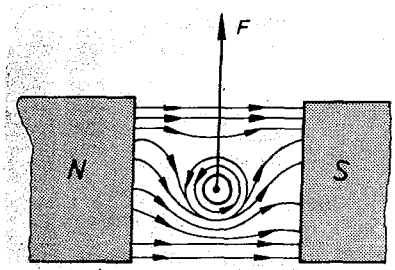


Fig. 3.1 Fundamento del instrumento de bobina móvil.

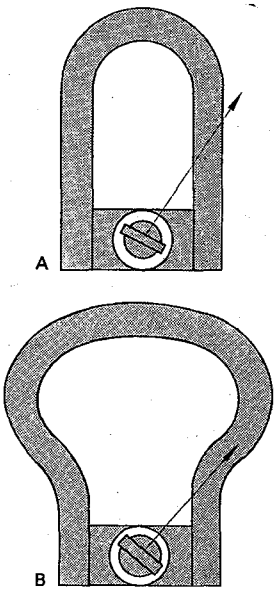


Fig. 3.2 Parte fija del instrumento de imán fijo y bobina móvil: A, tipo imán herradura; B, tipo de frasco.

conductor, que esté bajo la acción del campo, se podrá observar que, en el citado conductor, se produce una fuerza mecánica que tiende a desplazarlo en dirección perpendicular al campo y a la corriente. El sentido del desplazamiento lo indica la regla de la mano izquierda; se determina experimentalmente que el valor de esta fuerza depende del campo magnético (B), de la longitud del conductor (L) y de la corriente (I), siendo, pues:

$$F = B \cdot L \cdot I$$

3.1.1 *Constitución del aparato*

La parte fija del instrumento de medida es un imán permanente de acero aleado (acero al cromo, al wolframio, etc.) (fig. 3.2), terminado en dos expansiones polares de sección cilíndricas. La forma del imán suele ser de herradura o a manera de frasco.

El órgano móvil está formado por un cilindro de hierro dulce al que rodea una bobina, de hilo muy fino de cobre, sobre un armazón de aluminio, y el índice (fig. 3.3).

La fuerza antagónica la producen dos muelles de bronce fosforoso, fijos al eje de giro y a la bobina, que sirven también para la entrada y salida de corriente de la bobina.

El amortiguamiento de este instrumento lo presenta la propia bobina, por creación de una fuerza contra-electromotriz. El frenado se hace por corrientes parásitas sobre el armazón de aluminio.

Los apoyos del eje (de acero) se hacen sobre piedras duras y, en casos especiales, sobre cintas tensas.

3.1.2 *Funcionamiento*

Al circular la corriente a medir por la bobina, que está bajo la acción de un campo magnético, se produce una fuerza en cada conductor de la bobina que da lugar a un par de giro que desplaza al índice. Este par de giro es contrarrestado por el par resistente presentado por los muelles. Cuando ambos son iguales, el índice marca la medida.

El valor de la fuerza motriz depende:

- de la longitud activa de cada conductor, que es constante (L);
- del número de espiras de la bobina, también constante (n);
- del campo magnético, también constante (B);
- y de la corriente que se va a medir, que es la única variable (I).

Así, pues, sería:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot n = K \cdot I$$

Por tanto, se deduce que: la fuerza motriz, o el par de giro, son proporcionales a la corriente, puesto que todos los demás valores son constantes siempre.

La escala, según la proporcionalidad vista, será uniforme en toda su extensión.

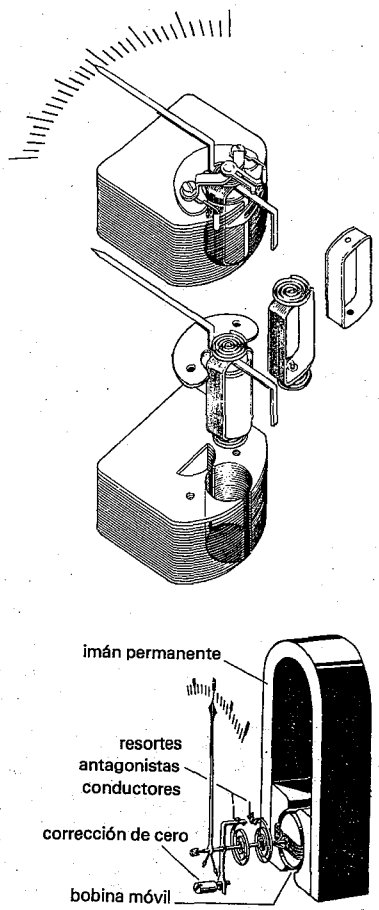


Fig. 3.3 Instrumentos electromagnéticos de bobina móvil.

3.1.3 *Utilización*

Estos instrumentos solamente se pueden utilizar en c.c. por tanto deberá previamente conocerse la polaridad (+ o −) del circuito para poder conectar correctamente el aparato. La polaridad contraria podría originar una avería en la bobina, ya que la parte móvil se desplazaría hacia atrás hasta el tope.

Caso de ocurrir esto, sería suficiente invertir las conexiones que llegan a los bornes del aparato.

Normalmente, el cero de la escala está situado al principio de la misma, aunque también se construyen instrumentos con el cero en el centro de la escala, permitiendo la medida de corrientes en cualquier sentido. Una aplicación (fig. 3.4), sería el circuito de carga y descarga en una batería de acumuladores.

Este tipo de instrumento permite, como máximo, una corriente de 0,1 A (de aquí el nombre de miliamperímetro). Caso de circular intensidades superiores se producirían deformaciones en los muelles por la dilatación térmica con lo que resultarían falseados los resultados. Se pueden conseguir alcances superiores empleando derivadores de corriente (shunts), como se verá más adelante en 5.1.

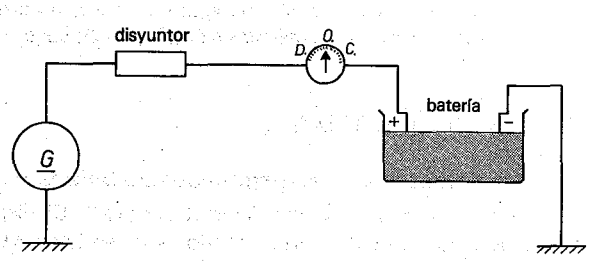


Fig. 3.4 Instrumento indicador de carga y descarga de una batería.

3.1.4 *Características más destacadas de este instrumento*

— Gran precisión en medidas de corriente continua.
— Gran ligereza por tener muy poco peso el órgano móvil.
— Amortiguamiento eficaz, sin necesidad de acoplar ningún dispositivo.
— Conservación permanente de sus constantes de funcionamiento.

Las enormes ventajas de este instrumento han hecho que se amplíe el campo de medidas a c.a., empleando un puente de rectificadores secos, que va situado dentro del propio aparato (fig. 3.5).

Las aplicaciones principales se dirigen a construcción de amperímetros, miliamperímetros, microamperímetros o galvanómetros, milivoltímetros, frecuencímetros, etc. (fig. 3.6).

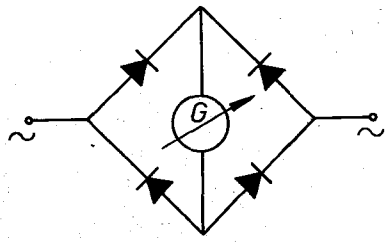


Fig. 3.5 Puente de rectificadores.

3.2 Instrumentos electromagnéticos de hierro móvil

Se fundan en la repulsión entre dos láminas de hierro dulce sometidas a una imanación del mismo sentido (fig. 3.7).

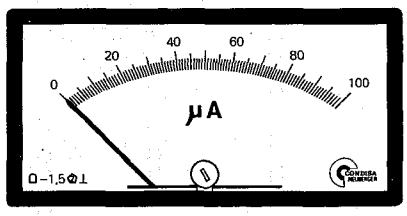


Fig. 3.6 Microamperímetro de bobina móvil.

3.2.1 *Constitución y funcionamiento del aparato*

La parte fija la constituye una bobina, en cuyo interior va alojada y soldada una lámina curvada de hierro dulce.

La parte móvil la forma la segunda lámina de hierro dulce, que va unida al eje de acero y al índice.

En reposo, las dos láminas están casi frente por frente. Al circular una corriente por la bobina, crea un campo magnético que afecta a las dos láminas, magnetizándolas en el mismo sentido, provocando su repulsión y desplazando al índice. La posición de equilibrio se logra por la fuerza antagónica que opone el muelle, montado en el eje.

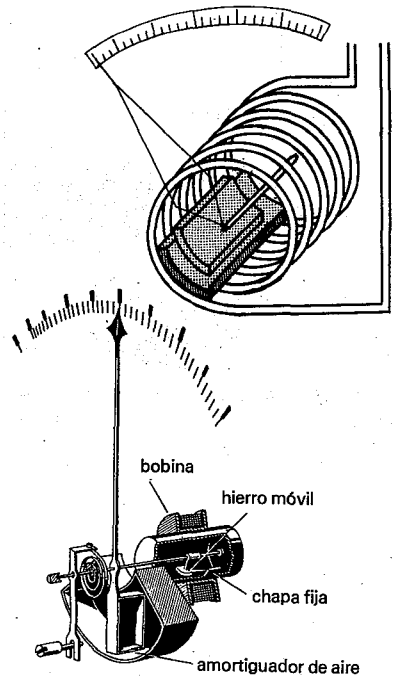


Fig. 3.7 Instrumentos de hierro móvil.

3.2.2 *Utilización*

Este instrumento puede funcionar con c.c. y c.a., puesto que una inversión de la corriente invierte automáticamente el campo magnético en las dos láminas y sigue produciéndose la repulsión entre ellas. En corriente alterna indica valores eficaces.

La fuerza motriz depende del cuadrado de la intensidad; por tanto, la escala es cuadrática. Pero, variando las dimensiones de las láminas, se pueden conseguir escalas prácticamente uniformes.

La suspensión de la parte móvil puede ser de pivotes, cojinetes o cintas tensas.

El amortiguamiento se consigue por el método de la cámara de aire.

Estos instrumentos permiten mediciones hasta más de 300 A, puesto que la intensidad debe atravesar solamente la bobina fija.

3.2.3 *Características más destacadas de estos instrumentos*

— El órgano móvil es muy ligero y por tanto, no ofrece peligro por los golpes o sacudidas mecánicas, que pueda sufrir.
— La temperatura influye muy poco en las mediciones.

Un inconveniente que presenta es la imanación por histéresis, ligada a la frecuencia. También se deben tomar precauciones al actuar cerca de campos magnéticos fuertes, ya que pueden variar el resultado de la medición.

— Actualmente el instrumento electromagnético, por ser sencillo, robusto, seguro y por haberse eliminado defectos de histéresis con materiales especiales, es el aparato más práctico y comercial, especialmente para c.a.

Se construyen amperímetros y voltímetros de hierro móvil (fig. 3.8).

3.3 Instrumentos electrodinámicos

El funcionamiento de estos instrumentos está basado en la regla del flujo máximo.

Esta regla dice que cualquier circuito eléctrico recorrido por una corriente, bajo un campo magnético, se desplazará buscando siempre la posición que abarque el máximo flujo.

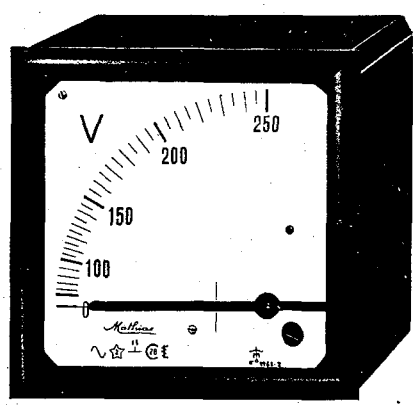
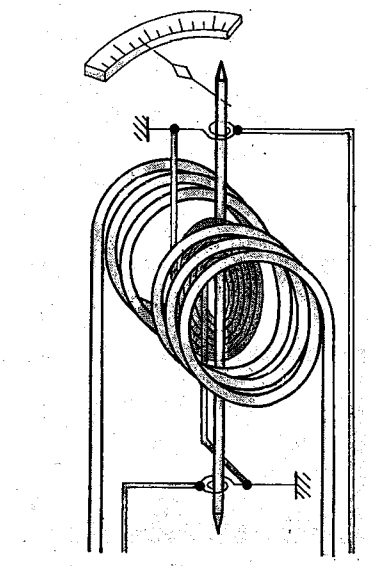


Fig. 3.8 Voltímetro de hierro móvil.

3.3.1 *Constitución y funcionamiento del aparato*

Los instrumentos electrodinámicos están formados por dos bobinas, una fija y otra móvil; en reposo ambas bobinas tienen sus ejes perpendiculares (fig. 3.9).

La bobina fija, al ser atravesada por la corriente, produce un campo magnético que hará desplazarse a la bobina móvil, girando un ángulo en busca del flujo máximo, que corresponda a esa corriente. La bobina móvil lleva consigo el índice, que se desplazará sobre una escala graduada. La entrada y salida de corriente a la bobina móvil tiene lugar por dos muelles en espiral que, a la vez, producen la fuerza antagónica. Los apoyos de la parte móvil se hacen con pivotes sobre piedras duras. El dispositivo de amortiguamiento es por cámara de aire.



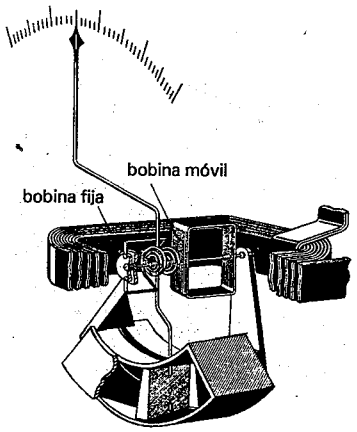


Fig. 3.9 Instrumentos electrodinámicos.

3.3.2 *Utilización*

Los aparatos electrodinámicos funcionan indistintamente en c.c. o c.a., ya que la inversión de la corriente se produce simultáneamente en las dos bobinas y, por tanto, el índice no invierte el sentido.

La bobina móvil puede conectarse en serie con la fija, siendo entonces recorridas por la misma corriente; en este caso la medición del instrumento es proporcional al cuadrado de la intensidad y, por lo tanto, la escala será cuadrática. Se aplica a la construcción de amperímetros y voltímetros.

Se utiliza con mayor frecuencia como vatímetro de c.c. o de c.a. Para ello, se debe conectar la bobina fija en serie con el circuito (bobina amperimétrica) y la bobina móvil en derivación (bobina voltimétrica); en este caso existe proporcionalidad en los desplazamientos del índice; por tanto, la escala es uniforme (fig. 3.10).

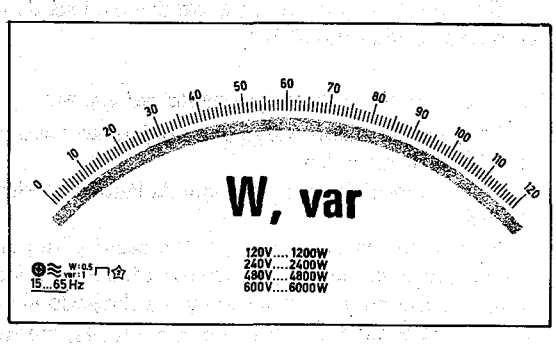


Fig. 3.10 Vatímetro electrodinámico.

3.3.3 *Características más destacadas de estos instrumentos*

Un inconveniente que presentan estos aparatos es el disponer de un campo magnético muy débil, por cuanto el núcleo de la bobina es de aire; pueden producirse por consiguiente resultados erróneos cuando las mediciones se realizan próximas a campos magnéticos exteriores al aparato. Para vencer esta dificultad, se construyen actualmente los instrumentos electrodinámicos con la bobina fija sobre un núcleo de chapa magnética y se llaman instrumentos ferrodinámicos (fig. 3.11).

En este último tipo de instrumentos se producen fuerzas motrices superiores y se adaptan muy bien para instrumentos más pesados, como son los registradores. Este instrumento tiene menor precisión que el electrodinámico, por el aumento considerable de sus pérdidas en el hierro. Estos aparatos indican sus mediciones en valores eficaces.

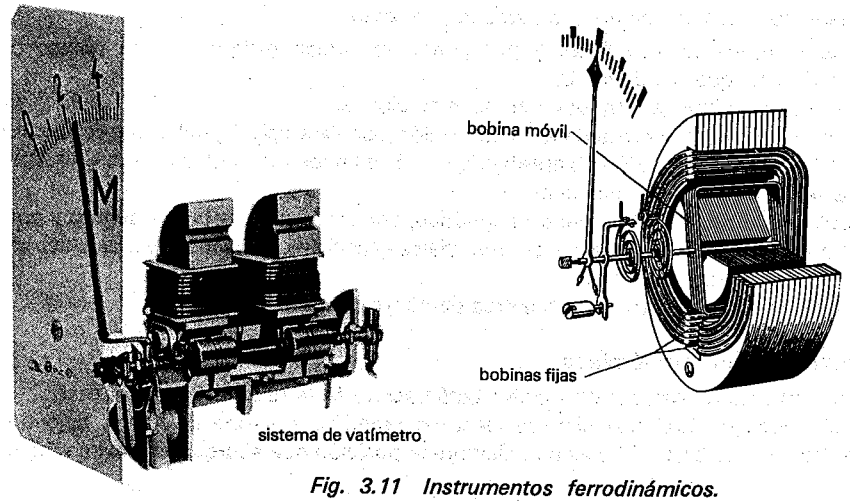


Fig. 3.11 Instrumentos ferrodinámicos.

3.4 **Instrumentos térmicos**

Se basan en el efecto calorífico de la corriente eléctrica o ley de Joule, que dice:

"La energía eléctrica disipada en calor por efecto Joule, en un receptor, es proporcional:

— a la resistencia de ese receptor,
— al cuadrado de la intensidad que lo recorre,
— y al tiempo durante el cual circule corriente".

La fórmula es:

$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

W = energía en julios
R = resistencia en ohmios
I = intensidad en amperios
t = tiempo en segundos

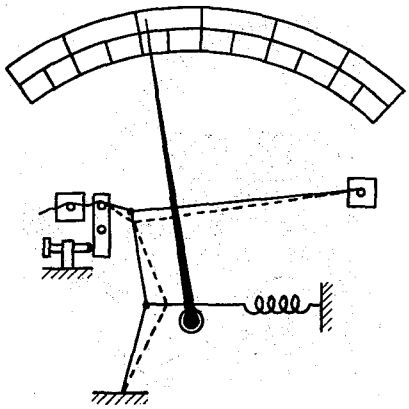
Basándose en esta ley de Joule, se construyen instrumentos de alambre, de termopar y bimetálicos.

3.4.1 *Instrumento de alambre* (fig. 3.12)

Consiste en un hilo muy fino de platino-iridio, resistente a la acción del calor y de gran resistencia a la atracción, que se dilata por el aumento de la temperatura al ser atravesado por la corriente eléctrica.

Como el alargamiento conseguido en el alambre es muy pequeño, se debe amplificar para poder apreciarlo en el índice; para ello, se emplea otro alambre de latón, sujeto por un extremo, al centro del hilo conductor y el otro extremo anclado en el aparato. El centro del hilo de latón va unido a un hilo de seda que, arrollado en una polea, mueve al índice y, por el otro extremo, está enlazado con un muelle que trabaja a tracción.

En realidad, este instrumento presenta serios inconvenientes, como lentitud, consumo etc., que lo hacen desaconsejable.



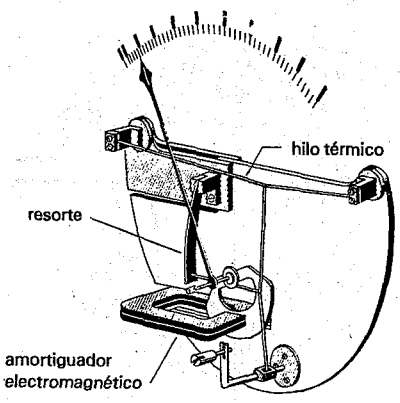


Fig. 3.12 Instrumentos térmicos.

3.4.2 *Instrumento de termopar* (fig. 3.13)

Se basa en la producción de fuerza electromotriz termoeléctrica.

Un termoelemento está formado por la unión de dos metales diferentes, tales como el cobre, el hierro, el platino en unión al constantán, el níquel o el cromo. Al producirse un incremento de temperatura, provocado por el paso de una corriente por una resistencia de caldeo, se origina en el termoelemento una fuerza electromotriz que se mide directamente por medio de un milivoltímetro de bobina móvil (fig. 3.14). La resistencia de caldeo es de constantán, platino o cromo-níquel. El valor de esta fuerza electromotriz alcanza como máximo los 10 mV.

Por ser la energía proporcional al cuadrado de la intensidad, la escala de estos instrumentos debe ser cuadrática. En c.a. indican valores eficaces.

Un inconveniente que presentan es el de no resistir sobrecargas; y una ventaja es su posibilidad de empleo en altas frecuencias.

La aplicación del termopar se enfoca a la fabricación de voltímetros y amperímetros térmicos.

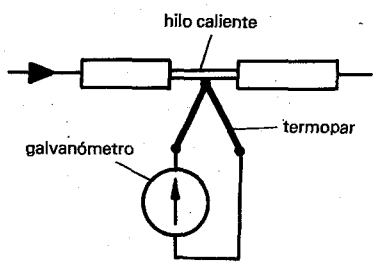


Fig. 3.13 Termopar.

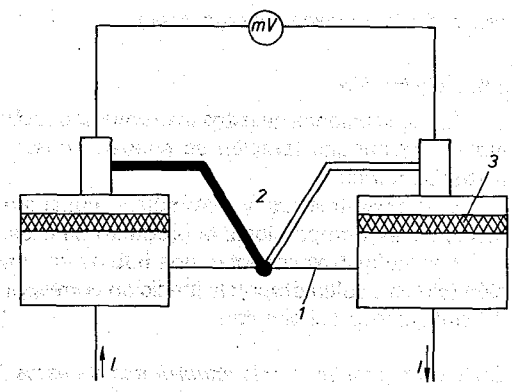


Fig. 3.14 Termoconvertidor: 1, resistencia de caldeo; 2, termoelemento; 3, aislante de mica.

3.4.3 *Instrumentos bimetálicos* (fig. 3.15)

Están basados en la deformación producida por el calor, cuando éste se aplica a un elemento formado por dos metales de diferente coeficiente de dilatación.

El órgano móvil consiste en una espiral bimetálica, formada por dos cintas de diferente coeficiente de dilatación soldadas entre sí, por las que circula la corriente a medir que a la vez las calienta y se deforman haciendo girar al eje, el cual está unido al índice y al extremo interior de la espiral bimetálica. La corriente entra por un extremo de la espiral y sale por un muelle colocado en el eje.

Para compensar las variaciones, por efecto de la temperatura ambiente, va fijada al eje una segunda espiral de compensación, idéntica a la anterior, arrollada en sentido contrario,

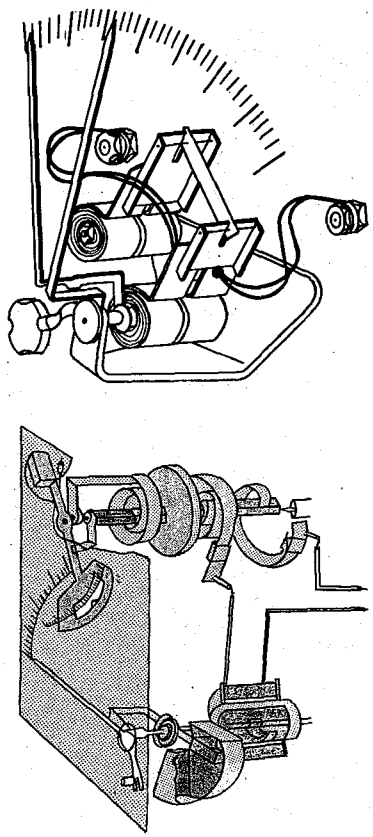


Fig. 3.15 Instrumentos bimetálicos.

por la que no circula corriente alguna. También se coloca un disco (aislante térmico) entre las dos espirales, como se puede apreciar en la figura.

La escala de estos instrumentos también es cuadrática. Soportan fuertes sobrecargas y son adecuados para indicar valores medios, en sitios donde haya fluctuaciones en la red, por tener un tiempo de respuesta muy elevado que oscila desde 8 a 15 minutos.

Su utilización principal es como amperímetros, maxímetros y voltímetros.

3.5 Instrumentos de inducción

Están basados en el principio de inducción electromagnética; por tanto, son exclusivos para corrientes alternas.

3.5.1 *Constitución y funcionamiento del aparato*

Están formados por un disco de aluminio o cobre unido a un eje apoyado en piedras duras; el eje dispone del índice y del muelle antagonista (fig. 3.16).

La parte fija la constituyen dos electroimanes de chapa magnética, cuyas bobinas están recorridas por las corrientes a medir.

Funcionamiento: los campos magnéticos de los electroimanes atraviesan el disco induciendo unas corrientes parásitas que circulan concéntricamente en el disco; la existencia simultánea de un campo magnético fijo y de corrientes en el disco dan lugar a una fuerza que lo pone en movimiento, arrastrando, por tanto, al índice. Al movimiento se le opone el muelle antagonista.

La escala de estos instrumentos es cuadrática.

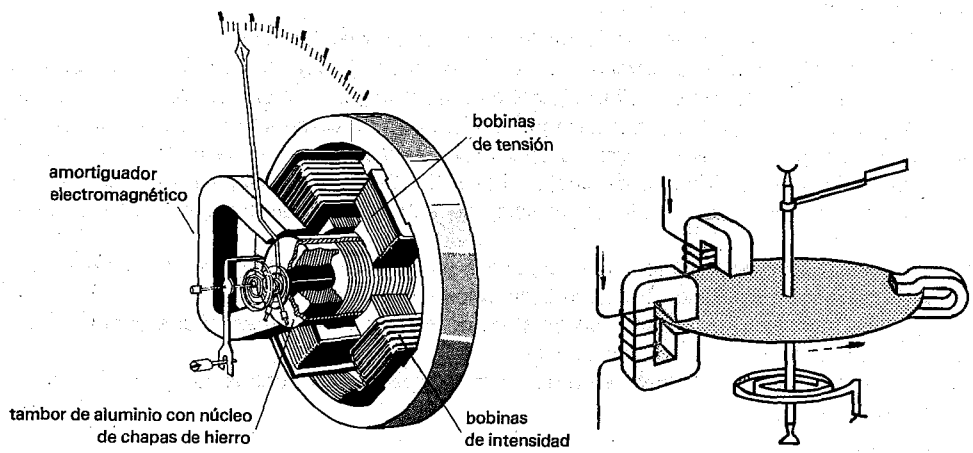


Fig. 3.16 Instrumentos de inducción.

3.5.2 *Utilización*

Las aplicaciones de estos instrumentos están dirigidas fundamentalmente al contador de inducción, aunque también se pueden construir amperímetros, voltímetros, vatímetros y frecuencímetros.

Los amperímetros y voltímetros conectan en serie las dos bobinas; por tanto, su medición será proporcional al producto de ellas.

Los vatímetros conectan una bobina en serie (circuito amperimétrico) y otra en derivación (circuito voltimétrico); la medición corresponde al producto de ambas, que viene a ser la potencia activa del circuito.

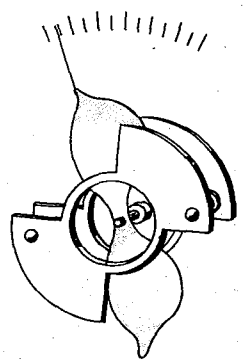


Fig. 3.17 Instrumentos electrostáticos.

3.5.3 *Características más importantes de estos instrumentos*

Son aparatos robustos, soportan bien las sobrecargas y se les debe de añadir un dispositivo de frenado, como puede ser un imán permanente, que induce corrientes de frenado al moverse el disco.

Una característica interesante es que dependen directa y estrictamente de la frecuencia.

3.6 Otros sistemas de medida

Existen otros sistemas de medida de menor importancia.

3.6.1 *Sistemas de medida electrostáticos*

Disponen de electrodos fijos y móviles que se atraen al aplicarles una d.d.p., desplazando un índice. Miden valores eficaces en c.a. y sirven también para c.c. Una aplicación es el voltímetro electrostático (fig. 3.17).

3.6.2 *Sistemas de medida de vibración*

Disponen de órganos vibratorios que actúan por resonancia y solamente sirven para c.a. Los aparatos más usuales son los frecuencímetros (fig. 3.18).

3.6.3 *Sistemas de medida de cocientes*

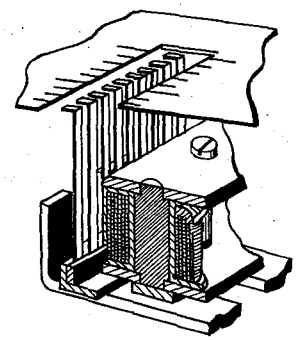
Disponen de dos accesos de corriente o tensión y pueden medir la relación entre dos magnitudes eléctricas. Sirven para c.c. y para c.a. Los aparatos más usuales son los óhmetros y fasímetros.

3.6.4 *Sistemas de medida astáticos*

Normalmente son dos medias bobinas, bobinadas en sentido contrario, por lo que la corriente circula en dirección opuesta, compensando la influencia de campos magnéticos exteriores al aparato. Sirven para c.c. y para c.a.: Su uso se limita al vatímetro electrodinámico.

3.6.5 *Sistemas de medidas apantallados*

Son aparatos protegidos contra campos eléctricos o magnéticos exteriores por medio de pantallas.



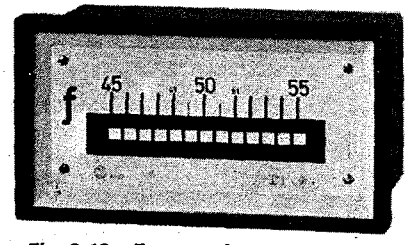


Fig. 3.18 Frecuencímetros.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Recopilar información sobre materiales y su aplicación a la fabricación de aparatos de medida.
— Comparar los cinco tipos de instrumentos de medida más importantes, con sus ventajas e inconvenientes.

CUESTIONARIO

— ¿Se puede medir una corriente alterna con un instrumento electromagnético de bobina móvil?
— ¿Es correcto decir que un amperímetro térmico mide el valor máximo de una c.a.?
— ¿Es igual sistema de medida astático que apantallado?
— ¿Qué aparato se elige para medida de intensidades muy débiles?
— El instrumento electrodinámico y el electromagnético de bobina móvil, ¿en qué se diferencian? ¿Tienen algo en común?
— ¿En qué se distinguen los dos tipos de aparatos electrodinámicos?
— ¿Por qué se elige el disco de un aparato de inducción de aluminio?
— ¿Qué instrumento de medida se emplea para un registrador? ¿Por qué?
— ¿Qué aplicaciones tienen los bimetales en la construcción de aparatos eléctricos?
— ¿Se puede medir la energía consumida por un motor de c.c. con un instrumento electrodinámico? ¿Y con uno de inducción?

BIBLIOGRAFIA

Escuela del técnico electricista, tomo III, Labor, Barcelona 1967.
Manual AEG 2, *Tratado práctico de electrotecnia*, Berlín, 1967.
BANDINI, A., *Medidas eléctricas 1/1,* REDE, Barcelona 1967.
NIARD, J., *Curso de electricidad I,* Toray-Masson, Barcelona 1971.
BIASUTTI, G., *Electricidad,* Científico-Médica, Barcelona 1970.
Catálogos Generales de Aparatos (Electromediciones Kainos, S.A., SACI, AEG, Condisa, Pirelli, Siemens, Mathias).

Tema 4. Errores. Precisión de los aparatos de medida

OBJETIVOS

— *Tener criterio práctico sobre el error en las medidas eléctricas.*
— *Conocer las causas principales de errores.*
— *Saber evaluar los errores al efectuar una práctica.*
— *Conocer los aparatos por su calidad.*
— *Poder conocer la clase de un aparato prácticamente.*
— *Conocer las normas y forma de realizar una verificación de un aparato.*
— *Saber construir las curvas de error de un amperímetro o voltímetro.*
— *Retener las numerosas normas y precauciones a tener en cuenta para realizar mediciones con cierta precisión.*
— *Saber elegir un aparato, por su precisión, para una aplicación determinada.*

GUION

—Generalidades sobre errores.
—Clasificación de errores.
—Errores absolutos y relativos.
—Error relativo, referido al final de la escala.
—Clases de precisión.
—Contrastación de los instrumentos de medida. Diagramas de errores.
—Contrastación de voltímetros.
—Contrastación de amperímetros.

PUNTOS CLAVES

—Conocimiento de las clases de precisión de aparatos.
—Origen de los errores, para evitarlos.
—Saber realizar una contrastación de un amperímetro o voltímetro.
—Entender perfectamente un aparato de medida por sus curvas de error.

EXPOSICION DEL TEMA

4.1 Generalidades sobre errores

Al analizar una medida, siempre se cometen errores, que pueden ser motivados por imprecisión del aparato, por el método empleado o por fallo del operador. Así que el *verdadero* valor de la magnitud que se mide, nunca se conoce con absoluta certeza.

Es conveniente aclarar los significados de algunas palabras empleadas en la técnica de las medidas, tales como:

— *Error,* significa incertidumbre apreciada.
— *Precisión,* significa capacidad de apreciación de un aparato.
— *Exactitud,* proximidad al valor real.

La palabra error, en su uso normal, significa equivocación; sin embargo, aquí se parte de su existencia al realizar la medida y lo importante es averiguar los distintos factores que intervienen en el error final, para intentar disminuirlos.

La diferenciación entre precisión y exactitud es un poco confusa y, por esto, muchas veces se las iguala en significado, aunque no sea correcto. Un ejemplo lo puede aclarar: si con un instrumento de precisión como un galvanómetro que ha sufrido un desajuste (desgaste en las piedras de apoyo), se efectúa una medición, la aguja señalará el número exacto de divisiones; pero, la medida no será exacta, por el fallo del instrumento.

4.2 Clasificación de errores

Los errores cometidos, al efectuar una medición, pueden surgir por muchas causas y, en general, se los agrupa en dos tipos:

— *Sistemáticos,* que se pueden corregir.
— *Accidentales,* que son inevitables.

4.2.1 *Sistemáticos*

Pueden evitarse o corregirse, ya que se deben a diferentes causas conocidas, como instrumentos defectuosos, técnica de medida falsa y fallos del observador; no son constantes, por lo que pueden variar en el transcurso de la medida. Se dividen en diferentes categorías.

4.2.1.1 *Personales*

Los debidos a la habilidad del operador que realiza la medida; por ejemplo incorrecta lectura de los instrumentos, utilización impropia, ajustes incorrectos de los aparatos y otros.

4.2.1.2 *De método*

Los originados cuando el método de medida no es correcto; tales serían los errores despreciados por el desgaste del instrumento, la aplicación de leyes falsas, etc.

4.2.1.3 *Ambientales*

Son los resultantes de las influencias físicas sobre las personas o aparatos empleados, como por ejemplo la temperatura, presión, humedad, etc.

4.2.2 *Accidentales*

No se pueden separar por categorías, ya que son motivados por gran cantidad de causas. Algunos son totalmente desconocidos al efectuar una medición, de modo que no se pueden evitar; por ejemplo, las vibraciones del local, los ruidos, la fatiga del operador, los defectos del aislamiento, las variaciones imprevistas de la f.e.m. de alimentación, etc. Afortunadamente, los errores accidentales tienen muy poca importancia en las medidas eléctricas.

4.2.3 *Normas generales para evitar errores*

— Vigilancia y desconfianza, ante cualquier causa que pueda variar el resultado.
— Sustitución del equipo defectuoso por otro.
— Comprobar que se cumplen todas las condiciones impuestas de teoría, para obtener resultados idénticos a los calculados teóricamente.
— Lectura correcta en cada medición, evitando el error de paralaje.
— En el caso de haber varias escalas, evítese el error de leer en las que no se usan.
— Identificación con el equipo a la hora de transmitir cantidades.
— Uso del instrumento para el fin que estaba concebido.
— Repetición de los cálculos por una segunda y aún tercera persona.
— Comparación del instrumento con otro de más calidad (precisión).
— Controlar periódicamente los instrumentos, revisión de material desgastado.
— Vigilancia de las variaciones de temperatura en aparatos de gran precisión.
— Cuando haya inestabilidad en la red, efectuar las mediciones instantáneamente en los diferentes aparatos por varias personas.
— Antes de realizar la práctica, hacer un cálculo teórico y comprobar luego los resultados.
— Evitar las prisas.
— Anotar los valores medidos directamente y de forma ordenada, en los casilleros previamente preparados.
— Anotar los detalles de todas condiciones y forma de la medición.

4.3 Errores absolutos y relativos

Admitida la existencia del error, es conveniente la evaluación del mismo. Antes, es preciso dar unas definiciones.

4.3.1 *Error absoluto*

Es la diferencia entre el valor leído en el instrumento y el valor real. Según esta definición, sería imposible conocer el error absoluto de una medición, puestó que como anteriormente se ha dicho, el valor real no se puede conocer. Sin embargo, se puede buscar un aparato de gran precisión y realizar con él esa medición; el resultado obtenido por el aparato patrón es muy próximo al valor real, de forma que se puede tomar como medida exacta.

Por consiguiente, el *error absoluto* se hallará por diferencia entre lecturas del aparato a prueba y el patrón.

Así, pues:

$$E_{ab} = V_L - V_r$$

E_{ab} = Error absoluto
V_L = Valor leído
V_r = Valor real

Ejemplo 1.º Si se intercala en serie dos amperímetros, el patrón (A_p) y el de prueba (A_x), en el circuito de la figura 4.1, señalan 6 y 5 amperios respectivamente. Calcular el error absoluto.

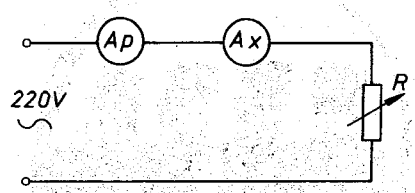


Fig. 4.1 Lectura de amperímetros.

Solución:

$$E_{ab} = V_L - V_r = 5 - 6 = -1\,A$$

Ejemplo 2.º Se conectan en derivación dos voltímetros (fig. 4.2) patrón (V_p) y de prueba (V_x), a una red y se lee en ellos 220 y 230 V respectivamente. ¿Cuál es el error absoluto de la medición?

Solución:

$$E_{ab} = V_L - V_r = 230 - 220 = 10\,V$$

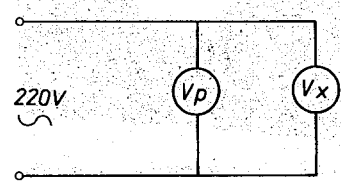


Fig. 4.2 Lectura de voltímetros.

Por los ejemplos, se aprecia enseguida el valor positivo o negativo que puede tener un error absoluto; si es positivo, se llama error por exceso; y si es negativo, error por defecto.

Corrección. Numéricamente es igual al valor del error absoluto, pero de signo contrario.

Corrección = — error absoluto
Valor correcto = Valor falso + corrección.

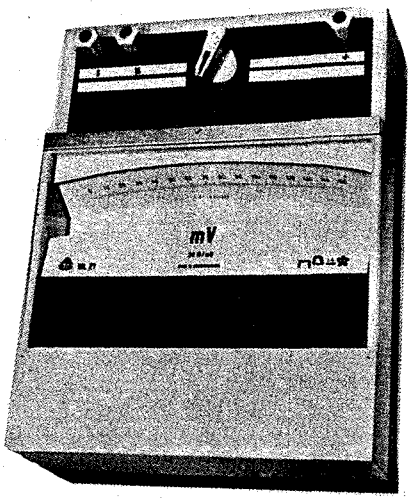


Fig. 4.3 Voltímetro de bobina móvil, clase 0'1.

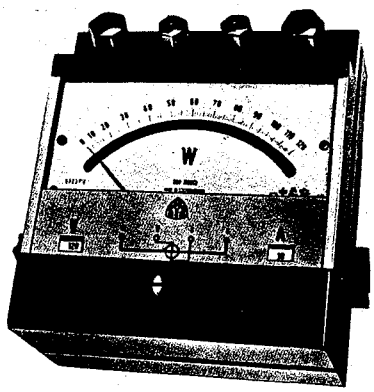


Fig. 4.4A Vatímetro electrodinámico, clase 0'5.

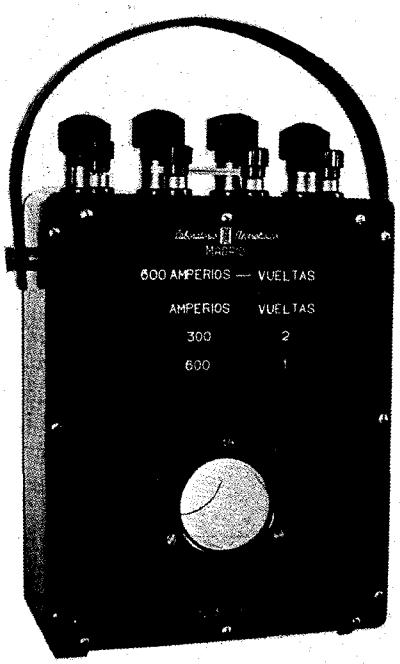


Fig. 4.4B Transformador de medida de intensidad, clase 0'5.

Ejemplo 3.º ¿Cuál sería la corrección a efectuar en los ejemplos anteriores?

Solución:

En el ej. 1.º sería: $c = -E_{ab}$; $c = -(-1) = 1$ A.

En el ej. 2.º sería: $c = -E_{ab}$; $c = -(10) = -10$ V.

y el valor correcto es $230 + (-10) = 220$ V.

El concepto de error absoluto no da una idea concreta del error cometido; así pues, un error de un amperio puede ser muy pequeño en algunas mediciones, como el caso de un motor de gran potencia; o puede ser muy elevado, como lo sería en el caso de un motor de 1/2 de caballo de potencia.

4.3.2 *Error relativo porcentual*

Es el resultado de multiplicar por ciento el cociente entre el error absoluto y el valor real. Así pues:

$$E_r\,\% = \frac{E_{ab}}{V_r} \cdot 100$$

$E_r\,\%$ = Error relativo en tanto por ciento.

Ejemplo 4.º. Calcular los errores relativos correspondientes a los ejemplos 1.º y 2.º

Solución:

En el ejemplo 1.º sería: $E_r\,\% = \frac{-1}{6} \cdot 100 = -16{,}66\,\%$

En el ejemplo 2.º sería: $E_r\,\% = \frac{10}{220} \cdot 100 = 4{,}54\,\%$

Para un mismo error absoluto, el error relativo dependerá de la posición del índice, a lo largo de la escala; así, hacia el final de la escala, el error será menor que al principio, como se puede comprobar en el ejemplo siguiente:

Ejemplo 5.º Se efectúan tres mediciones con dos voltímetros en derivación (patrón y a prueba), obteniéndose los siguientes resultados:

Vot. a prueba: 11, 51 y 141 V.

Vot. patrón: 10, 50 y 140 V.

Se trata de averiguar el error relativo porcentual en las mediciones efectuadas.

Solución:

$E_{ab} = 11 - 10 = +1$ V; $E_{ab} = 51 - 50 = +1$ V; $E_{ab} = 141 - 140 = +1$ V

que corresponden a los errores relativos siguientes:

$$E_r\,\% = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10\,\%\ ;\ E_r\,\% = \frac{1}{50} \cdot 100 = 2\,\%\ ;\ E_r\,\% = \frac{1}{140} \cdot 100 = 0{,}7\,\%$$

Conclusión: En la medida que sea posible, se intentará realizar las mediciones desde la mitad hacia el final de la escala, con objeto de disminuir el error relativo.

4.4 Error relativo referido al final de la escala

En los instrumentos de medida es más usual otra definición de error, que se conoce como *error relativo porcentual referido al valor final del campo de medida de la escala,* y se obtiene multiplicando por ciento el cociente entre el error absoluto y el valor final de la escala del instrumento a prueba.

Este error es:

$$E_{r,\,f.e.}\,\% = \frac{E_{ab}}{V_{f.e.}} \cdot 100$$

$V_{f.e.}$ = Valor final de la escala del aparato a prueba.

Ejemplo 6.º Calcular el error relativo referido al final de la escala del ejemplo anterior, sabiendo que la escala del voltímetro a prueba es de 0 a 150 V.

Solución:

$$E_{r,\,f.\,e.}\,\% = \frac{E_{ab}}{V_{f.\,e.}} \cdot 100 = \frac{1}{150} \cdot 100 = 0{,}66\,\%$$

En este caso las tres medidas darían el mismo resultado.

4.5 Clases de precisión

La clase o categoría de una aparato *es el error absoluto máximo referido al final de la escala y multiplicado por ciento.* El resultado es un número.

$$\text{Clase} = \frac{E_{ab\,máximo}}{V_{f.\,e.}} \cdot 100$$

La clasificación de los instrumentos, por su grado de precisión, da lugar a las siguientes clases:

(0,1), (0,2), (0,5), (1), (1,5), (2,5) y (5).

El uso de estos instrumentos es el siguiente:
Clase (0,1) y (0,2). Instrumentos de gran precisión para investigaciones (fig. 4.3).
Clase (0,5). Instrumentos de precisión para laboratorio (fig. 4.4 A y 4.4 B).
Clase (1). Instrumentos de medida portátiles de c.c. (fig. 4.5).
Clase (1,5). Instrumentos de cuadro y portátiles de c.a. (fig. 4.6).
Clase (2,5) y (5). Instrumentos de cuadro (fig. 4.7).

La identificación de un aparato, por su precisión, se hace observando el número de la clase, rotulado en el cuadrante del interior del aparato.

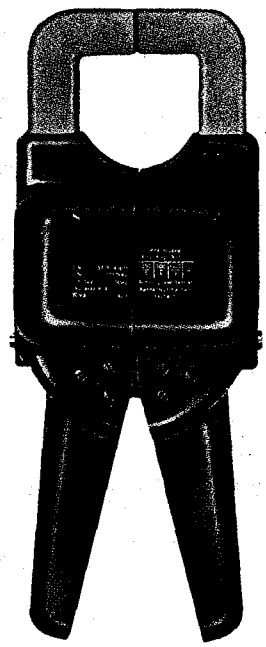


Fig. 4.5 Transformador tenaza, clase 1 (Kainos).

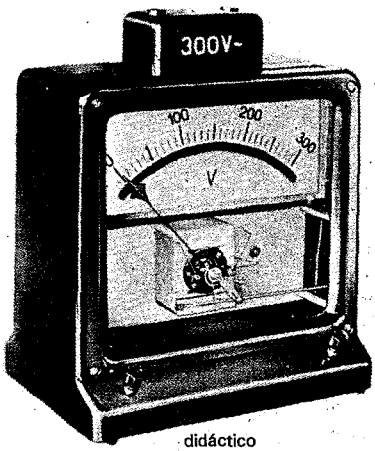
Ejemplo 7.º Averiguar la clase de un amperímetro de escala 0 a 50 A., sabiendo que al compararlo con uno patrón ha dado los siguientes resultados:

Amperímetro a prueba: 20, 30, 45 amperios en tres medidas sucesivas.
Amperímetro patrón: 19,5, 29,5 y 45,5, amperios en tres medidas sucesivas.

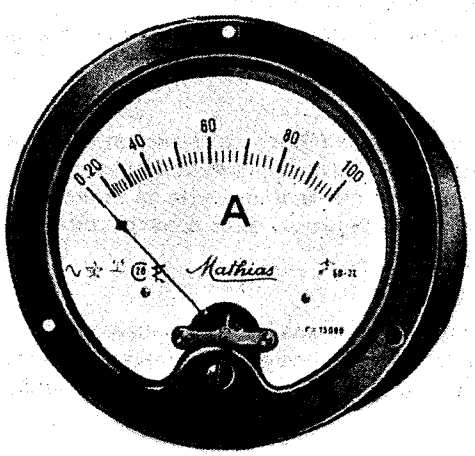
Solución:
En la primera medida: $E_{ab} = 20 - 19{,}5 = 0{,}5$ A.
En la segunda medida: $E_{ab} = 30 - 29{,}25 = 0{,}75$ A.
En la tercera medida: $E_{ab} = 45 - 45{,}5 = -0{,}5$ A.

$$\text{Clase} = \frac{E_{ab\,máx.}}{V_{f.\,e.}} \cdot 100 = \frac{0{,}75}{50} \cdot 100 = 1{,}5$$

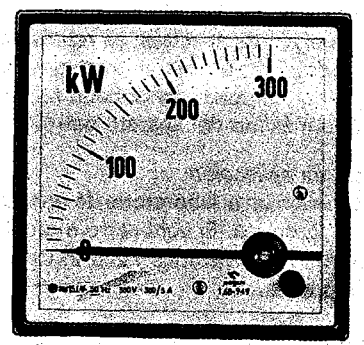
así pues, el amperímetro a prueba es de clase (1,5).



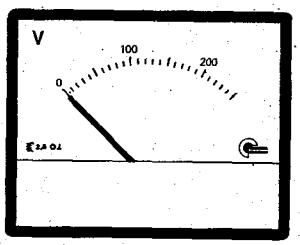
didáctico



amperímetro de hierro móvil, clase 1,5



vatímetro electrodinámico para frecuencias industriales (45 ... 65 Hz), clase 1,5



de cuadro

Fig. 4.6 Aparatos de medida industriales, clase 1'5.

Fig. 4.7 Voltímetros de clase 2'5.

4.6 Contrastación de los instrumentos de medida. Diagramas de errores

Al construir o reparar un instrumento de medida se debe someter a diferentes pruebas.

4.6.1 *Pruebas de control normal*

Como son las comprobaciones de características mecánicas, térmicas, de aislamiento, etcétera.

4.6.2 *Pruebas de verificación*

Que consisten en la comparación con otro aparato de precisión, a lo largo de toda la escala, calculando los errores absolutos, relativos y relativos referidos a fondo de escala, para representarlos en función de la magnitud indicada (leída) por el aparato de precisión.

4.6.3 *Métodos de contrastación*

— *Método directo.* El empleado para contrastar los aparatos de poca precisión (instrumentos de cuadro), comparándolos con los de clase superior (clases 0,1 y 0,2).

— *Método indirecto.* El empleado cuando el aparato a prueba es de precisión (clases 0,2 ó 0,5), recurriendo, entonces, a métodos potenciométricos y de reducción a cero.

4.6.3.1 *Contrastación por método directo*

A continuación se dan las normas y ejemplos de la contrastación basada en el método directo, dejando para cursos superiores el método indirecto.

Para que las deficiencias puedan aparecer con más facilidad, se realizará la contrastación directa para valores crecientes hasta final de la escala y, a continuación, para valores decrecientes hasta el principio de la misma, tomándose la línea media como verdadero valor de contrastación.

Generalmente se suelen emplear como *patrones* los siguientes:

— para c.c., aparatos de bobina móvil;
— para c.c. y c.a., aparatos de tipo electrodinámico;
— para c.a., aparatos de hierro móvil.

4.7 Contrastación de voltímetros (fig. 4.8)

Para verificar o contrastar un voltímetro, por el método directo, se elige un instrumento patrón de clase 0,2 ó 0,5, observando las siguientes normas:

— La conexión de ambos será en paralelo.
— Han de ser ambos aparatos para el mismo tipo de corriente.
— Se escogerán calibres iguales.
— Antes de conectar los instrumentos a la fuente de alimentación se llevarán los índices a cero.
— La lectura de los instrumentos se hará, a la vez, por medio de dos operadores.
— Es conveniente esperar unos minutos, con las agujas a fondo de escala, antes de tomar valores, para alcanzar la temperatura de trabajo.
— Si la zona inicial de la escala no es uniforme, no se contrastará en ella.
— Se efectuarán medidas para aumentos y descensos sucesivos de tensión, calculando la media para cada dos valores correspondientes a una misma lectura del patrón. Las medidas se harán en toda la escala.
— Deberán elegirse puntos de lectura claros, divisiones o mitades.
— Los valores de la tensión pueden tomarse en divisiones o voltios.

Una vez realizada la contrastación, con todos los valores anotados en un casillero, se construirán las curvas de error.

4.7.1 *Curvas de error*

Se representa el *error absoluto, relativo* y *relativo sobre fondo de escala*, en el eje de ordenada; en el eje de abscisas, se representa la *tensión* indicada por el voltímetro patrón.

Entre cada dos puntos contrastados, se considera rectilínea la variación intermedia.

El diagrama completo se obtiene representando la franja del error correspondiente al error absoluto máximo del aparato patrón.

Ejercicio de aplicación:

Contrastación en el laboratorio de un voltímetro de hierro móvil (V_x) con uno patrón (V_p) de clase en 0,2, en c.a. El voltímetro a prueba dispone de 250 divisiones y fondo de escala 250 V; el patrón 250 divisiones y 250 V. Construir las curvas de error y averiguar la clase del voltímetro a prueba.

Solución:

Se conectan los voltímetros, según indica la figura 4.8, actuando sobre el variador de tensión, partiendo de tensión 0 V, hasta alcanzar los 250 V, del patrón. A continuación,

sigue la operación inversa volviendo a 0 V. A cada medida del patrón le corresponde un valor del aparato a prueba, obtenido como media aritmética de las dos mediciones (subida, descenso).

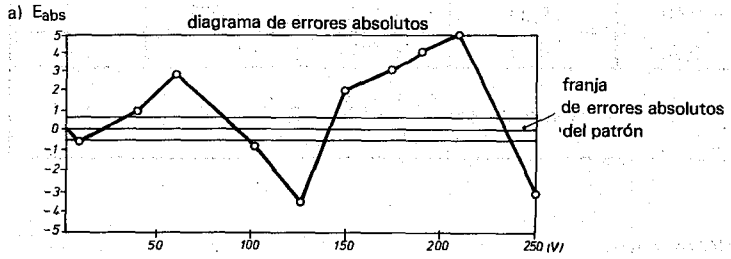
A partir de los valores contrastados se calculan los diferentes tipos de errores, según indica el cuadro 4.9, pasando a continuación a su representación gráfica en tres curvas.

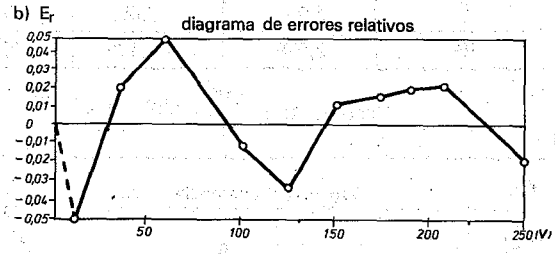
- Diagrama de errores absolutos.
- Diagrama de errores relativos.
- Diagrama de errores relativos, referidos a fondo de escala.

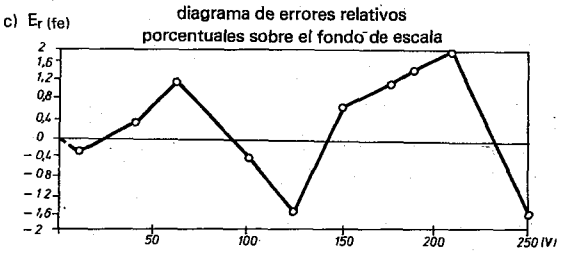
Cuadro 4.9 Contrastación de voltímetros

Voltímetro patrón Vp			*Voltímetro a prueba Vx*					*Errores*		
Constante (V/divis.)	*Lectura (divis.)*	*Voltios*	*Constante (V/divis.)*	*Lectura subida (divis.)*	*Lectura descenso (divis.)*	*Lectura media (divis.)*	*Voltios*	*Absoluto (V)*	*Relativo*	*Relativo sobre fondo E.*
1	10	10	1	9	10	9,5	9,5	− 0,5	− 0,05	− 0,2
1	40	40	1	39	43	41	41	+ 1	+ 0,025	+ 0,4
1	60	60	1	63	63	63	63	+ 3	+ 0,05	+ 1,2
1	100	100	1	99	99	99	99	− 1	− 0,01	− 0,4
1	125	125	1	120	122	121	121	− 4	− 0,032	− 1,6
1	150	150	1	152	152	152	152	+ 2	+ 0,013	+ 0,8
1	175	175	1	176	180	178	179	+ 3	+ 0,017	+ 1,2
1	190	190	1	193	195	194	194	+ 4	+ 0,02	+ 1,6
1	210	210	1	215	215	215	215	+ 5	+ 0,023	+ 2
1	250	250	1	245	247	246	246	− 4	− 0,016	− 1,6

$$\text{Clase} = \frac{\text{E.a.b. máx}}{\text{V. F. E.}} \cdot 100 = \frac{5}{250} \cdot 100 = 2;$$ El voltímetro a prueba es clase 2,5.







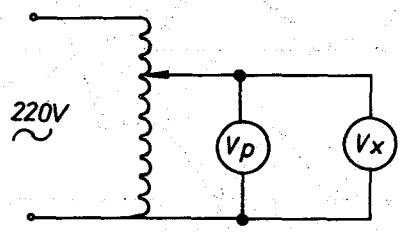


Fig. 4.8 Contrastación de voltímetros.

4.8 Contrastación de amperímetros

La contrastación de un amperímetro, por el método directo, es similar a la del voltímetro; no obstante, hay que tener en cuenta algunas normas específicas de estos instrumentos, como son:

- La conexión de ambos amperímetros se hará en serie (fig. 4.10).
- Se emplearán cables suficientemente gruesos, que permitan el paso de la corriente, sin calentarse demasiado.
- Se realizará un buen apriete en los contactos.

El resto de las normas han sido indicadas en la contrastación de voltímetros.

Ejercicio de aplicación:

Contrastación simultánea en c.a. de dos amperímetros electromagnéticos de hierro móvil (A_x, A_y) con un amperímetro patrón (A_p) de clase 0,2 electromagnético.

El amperímetro a prueba 1.º (A_x) es de clase 1,5 alcance 10 A.

El amperímetro a prueba 2.º (A_y) es de clase 2,5, alcance 10 A.

El amperímetro patrón (A_p) tiene un alcance de 10 A.

Realizar la contrastación tomando 10 valores ascendentes, construyendo las curvas del error absoluto y del relativo; así como, comprobando si es correcta su clase.

Solución:

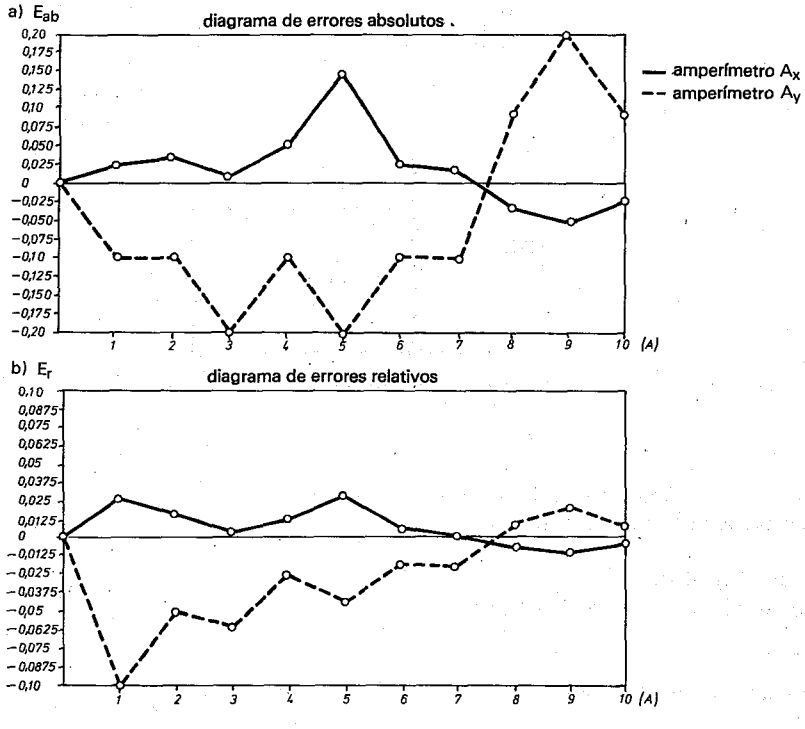
Se conectan los amperímetros, según indica la figura 4.10, pasando, a continuación, a la comprobación de su clase, según indica el cuadro 4.11 y finalmente, a la representación gráfica de las curvas de errores:

a) Diagrama de errores absolutos.

b) Diagrama de errores relativos.

Cuadro 4.11 Contrastación de amperímetros

Amperímetros Patrón Ap	*Amperímetro a prueba Ax*				*Amperímetro a prueba Ay*			
Amperios	*Amperios*	*Errores*			*Amperios*	*Errores*		
		Absoluto (A)	*Relativo*	*R. sobre F.E.*		*Absoluto (A)*	*Relativo*	*R. sobre F.E.*
1	1,025	+ 0,025	+ 0,025	+ 0,025	0,90	− 0,10	− 0,10	− 1
2	2,03	+ 0,03	+ 0,015	+ 0,30	1,90	− 0,10	− 0,05	− 1
3	3,01	+ 0,01	+ 0,003	+ 0,10	2,80	− 0,20	− 0,06	− 2
4	4,05	+ 0,05	+ 0,0125	+ 0,50	3,90	− 0,10	− 0,025	− 1
5	5,15	+ 0,15	+ 0,03	+ 1,50	4,80	− 0,20	− 0,04	− 2
6	6,025	+ 0,025	+ 0,004	+ 0,25	5,90	− 0,10	− 0,016	− 1
7	7,02	+ 0,020	+ 0,0028	+ 0,20	6,90	− 0,10	− 0,014	− 1
8	7,975	− 0,025	− 0,003	− 0,25	8,10	+ 0,10	+ 0,012	+ 1
9	8,95	− 0,050	− 0,0055	− 0,50	9,20	+ 0,20	+ 0,022	+ 2
10	9,975	− 0,025	− 0,0025	− 0,25	10,10	+ 0,10	+ 0,01	+ 1
Clase del 1.º: $\frac{0,15}{10} \cdot 100 = 1,5$					Clase del 2.º: $\frac{0,20}{10} \cdot 100 = 2$; C = 2,5			



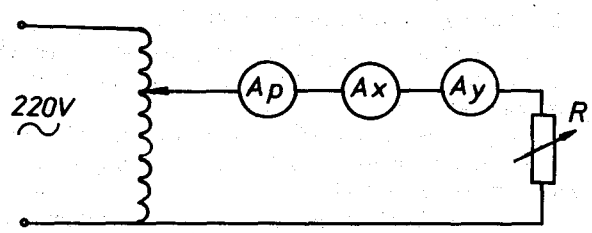


Fig. 4.10 Contrastación de amperímetros.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

—Recopilar información sobre aparatos de medida de clases 0,1 y 0,2

—Confeccionar una lista con los aparatos de medida utilizados en las instalaciones eléctricas en general y clasificarlos por su orden.

CUESTIONARIO

—¿En qué unidades se expresa el error absoluto? ¿Y los errores relativos?

—¿Cuál de las expresiones es más exacta: el error absoluto o el relativo?

—Si al contrastar un amperímetro se obtiene como máximo error relativo referido al fondo de escala el 1,1 %. ¿Cuál será su clase?

—¿Qué es constante de un aparato? ¿Cómo se hallaría la constante de un aparato que dispone de varias escalas?

—¿Cómo se averiguaría la clase de aparato que va a ser instalado en un cuadro de maniobra?

—Un amperímetro portátil de fondo de escala 25 A con 50 divisiones, se contrasta con uno patrón de clase 0,2, obteniéndose las medidas:

A. patrón	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25 A
E. absoluto	0,22	—0,15	0,20	—0,10	—0,18	—0,21	—0,10	—0,08	0,12	0,20 A

Averiguar la clase del instrumento a prueba y construir las curvas de error.

—Sabiendo que un voltímetro de bobina móvil (c.c.), es de clase 0,5 y fondo de escala 300 V. ¿Cuál será su máximo error absoluto? ¿Sería correcta una medida de 102,5 V cuando el patrón indique 100 V?

—Realizar un ejercicio sobre contrastación de un voltímetro de hierro móvil en el laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

BANDINI, A., *Medidas eléctricas 1/1 y 1/2,* REDE, Barcelona 1967.

FRANK, E., *Análisis de medidas eléctricas,* Ediciones del Castillo, Madrid 1969.

Manual AEG 2, *Tratado práctico de electrotecnia,* Berlín 1967.

Catálogos de casas comerciales Electromediciones Kainos, S.A., Mathías, Laboratorio Electrofísico, Condisa.

Tema 5. Medidas de tensiones, intensidades y potencias en corriente continua. Receptores para corriente alterna

OBJETIVOS

—Conocer los aparatos medidores de corrientes.

— Saber utilizar los shunts para aumentar el campo de medida de un instrumento indicador.

— Realizar medidas de tensiones en cualquier circuito.

— Saber evaluar la potencia consumida por receptores conectados a c.c.

— Saber elegir el sistema de conexión de aparatos para disminuir el error en mediciones de potencia.

— Diferenciar los tres tipos de receptores para c.a.

— Estudiar, en c.a., los acoplamientos de los receptores.

GUION

— Medidas de intensidad. Amperímetros.
— Medidas de tensión. Voltímetros.
— Medidas de potencia en c.c.
— Receptores para c.a.
— Acoplamiento de receptores a c.a.
— Circuitos con receptores reales.

PUNTOS CLAVE

— Realizar mediciones de corrientes y tensiones en cualquier circuito eléctrico.
— Estudiar el método más correcto para realizar mediciones con objeto de eliminar errores.
— Conocer los receptores reales y sus acoplamientos en circuitos sometidos a c.a.

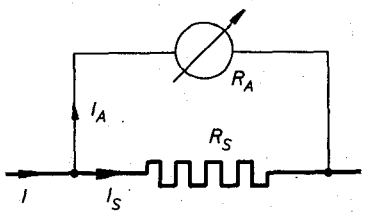


Fig. 5.1 Shunt amperimétrico.

EXPOSICION DEL TEMA

5.1 Medidas de intensidad. Amperímetros

El instrumento de tipo industrial más adecuado para medida de intensidad es el amperímetro. La característica general de este instrumento es su conexión en *serie* en el circuito, por lo que es atravesado por la corriente del circuito, donde se haya intercalado.

Para evitar alteraciones en las medidas que efectúa, se construye con un valor de resistencia interna mínima (del orden de 0,01 a 0,1 ohmios).

5.1.1 *Ampliación del alcance del instrumento. Shunt*

Cuando el alcance del instrumento sea inferior a la corriente a medir, se puede realizar la medida con la ayuda de una resistencia conectada en derivación con el instrumento, llamada *shunt* (fig. 5.1).

El shunt tiene la misión de desviar una parte de la corriente a medir, con objeto de que no circule una intensidad peligrosa para el aparato.

5.1.1.1 *Cálculo*

Según el esquema de la figura 5.1, se tendrá:

$$I = I_A + I_S$$

$$R_S \cdot I_S = R_A \cdot I_A$$

que resultan de aplicar al circuito las leyes de Kirchhoff.

Despejando I_S, en la segunda ecuación, se tiene:

$$I_S = \frac{R_A}{R_S} \cdot I_A$$

que al sustituirlo en la primera, da:

$$I = I_A + \frac{R_A}{R_S} \cdot I_A = I_A \left(1 + \frac{R_A}{R_S}\right)$$

se hace $m = 1 + \frac{R_A}{R_S}$

por tanto $I = I_A \cdot m$

siendo *m*, el poder multiplicador del shunt.

Por consiguiente, para conocer la corriente total será suficiente medir la corriente que circula por el instrumento de medida (I_A) y la constante del aparato (m).

Con objeto de facilitar la lectura, el valor de *m* suele tener los valores de 9, 99, 999, etc., quedando convertida la fórmula entonces en:

$$I = 10 \cdot I_A\,;\; I = 100 \cdot I_A\,;\; I = 1.000 \cdot I_A,\ \text{etc.}$$

5.1.1.2 *Construcción y características*

Normalmente, los shunts se utilizan con instrumentos de bobina móvil (fig. 5.2) o térmicos. Se construyen con varillas o cintas de manganina, soldadas a bloques gruesos de cobre. Hasta 30 A van montados sobre placas de baquelita, por encima de este valor, al aire.

Las características más interesantes son:

— Caídas de tensión normalizadas: **60**, 150, 300 mV.

— Calibres normalizados:

1-1,5-2,5-4-6-10-15-25-30-40-60-80-100-125
150-200-250-300-400-500-600-800-1.000-1.500
2.500-3.000 A.

—Precisión: Clase 0,5

Actualmente se construyen amperímetros con varios alcances, disponiendo de varios shunts, que van alojados en una sola caja, en el interior del aparato.

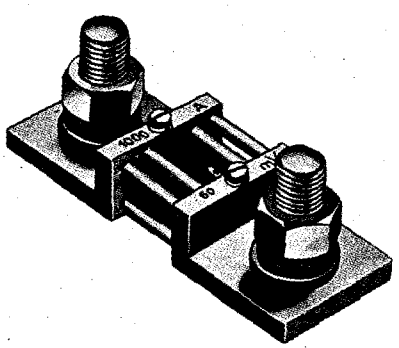


Fig. 5.2 Shunt de 60 mV.

5.1.2 *Utilización*

La medición de la intensidad se hará, una vez seleccionado el alcance del aparato, por aproximación a la corriente que va a circular por él; como norma general, se seleccionará el

alcance mayor, para después disminuirlo hasta que la aguja quede situada de la mitad hacia el final de la escala (fig. 5.3).

Las mediciones de intensidades en c.a. muy elevadas se hacen a través de transformadores de intensidad, que las reducen a valores inferiores.

Para efectuar mediciones de corrientes debilísimas se recurre a los galvanómetros o microamperímetros, por su gran sensibilidad, siendo muy apropiados para indicadores de escalas con cero central. El más usual es el galvanómetro de bobina móvil (párrafo 3.1), basado en la teoría electromagnética del instrumento de bobina móvil.

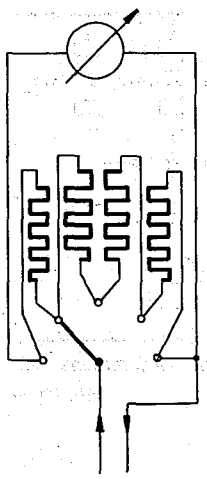


Fig. 5.3 Caja de shunts.

Ejercicios de aplicación

Calcular el shunt, para una caída de tensión de 60 mV, que es necesario conectar con un instrumento de bobina móvil de resistencia 6 ohmios, para realizar mediciones hasta 10 A. (fig. 5.4). Hallar el valor de la resistencia que ofrece el aparato al circuito.

Solución: Aplicando las leyes citadas anteriormente:

$$R_S \cdot I_S = R_A \cdot I_A$$

como el valor de la $R_A = 6\ \Omega$ y la caída de tensión en el instrumento es 60 mv., se tendrá:

$$6\, I_A = 60\ \text{mV} = 0{,}06\ \text{V}$$

$$I_A = \frac{0{,}06}{6} = 0{,}01$$

$$I = m \cdot I_A$$

$$m = \frac{I}{I_A} = \frac{10}{0{,}01} = 1.000$$

$$m = 1 + \frac{R_A}{R_S}; \qquad \frac{R_A}{R_S} = 1.000 - 1 = 999;$$

$$R_S = \frac{R_A}{999} = \frac{6}{999} \cong 0{,}006\ \Omega$$

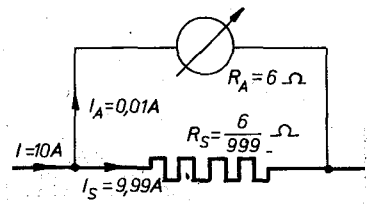


Fig. 5.4 Cálculo de un shunt.

El valor de la resistencia total es la resultante de R_A y R_S en derivación.

$$R_{total} = \frac{R_A \cdot R_S}{R_A + R_S} = \frac{6 \cdot 0{,}006}{6 + 0{,}006} = 0{,}005\,99\ \Omega \cong 0{,}006\ \Omega$$

Comprobación: la caída de tensión por el amperímetro, será:

$$R_{total} \times I = 0{,}006 \cdot 10 = 0{,}06\ \text{V} = 60\ \text{mV}$$

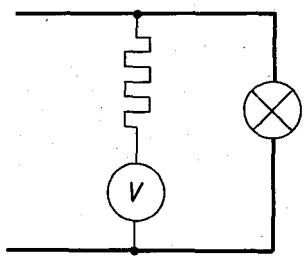


Fig. 5.5 Voltímetro conectado a un circuito.

5.1.3 *Elección del amperímetro*

Los tipos de amperímetros a utilizar, según la corriente, son:

— Para c.c.: electromagnéticos de bobina móvil.

— Para c.a.: electromagnéticos de bobina móvil con rectificador.

— Para c.c. y c.a.: amperímetros electromagnéticos de hierro móvil, electrodinámicos y térmicos.

5.2 Medidas de tensión. Voltímetros

Los instrumentos indicadores de la tensión o d.d.p. son los voltímetros.

El grupo más importante de aparatos indicadores de tensión es el de los voltímetros de tipo amperimétrico, que indican la tensión por medición de una corriente.

El voltímetro se conecta en derivación en el circuito a medir (fig. 5.5). Con el fin de evitar alteraciones en el circuito a medir, es necesario que sea atravesado por una corriente debilísima, consiguiéndose ésta con una gran resistencia interna. Como el valor de la resistencia del instrumento (R_v) es muy pequeño, se conecta en serie una resistencia adicional (R_{ad}), de valor elevado (fig. 5.6), de forma que la tensión a medir sea:

$$\boxed{V = (R_v + R_{ad})\, I}$$

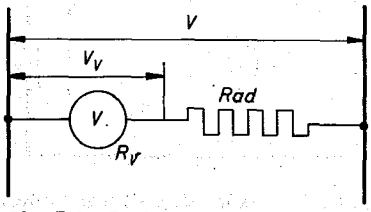


Fig. 5.6 Resistencia adicional de un voltímetro.

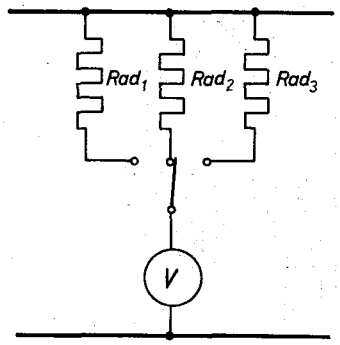


Fig. 5.7 Grupo de resistencias adicionales.

Al ser las resistencias constantes, la tensión es proporcional a la intensidad; de modo que será suficiente medir la intensidad para conocerla; por esto los aparatos son idénticos a los diferentes tipos de amperímetros.

Las resistencias adicionales se construyen de manganina, para evitar variaciones de medición, por efecto de la temperatura.

5.2.1 *Ampliación del alcance del instrumento*

Para conseguir varios alcances con un mismo aparato se disponen varias resistencias adicionales (fig. 5.7).

Existe otro tipo de voltímetro, llamado electrostático, que mide la tensión por la acción de un campo electrostático.

Cuando se han de realizar mediciones de altas tensiones, en c.a., se recurre a los transformadores de tensión, que reducen la AT. a BT.

Ejercicio de aplicación

Un voltímetro de resistencia 100 ohmios y escala de 0 a 20 V se quiere emplear para mediciones de 0 a 100 V,y 0 a 300 V de fondo escala. ¿Se podrá conseguir?

Solución:

Para aumentar el campo de medición se emplearán dos resistencias adicionales R_{ad1} y R_{ad2} como indica la figura 5.8; según la posición del interruptor (1 ó 2) entrará una escala u otra. El cálculo de las resistencias, se realiza aplicando la ley de Ohm al circuito:

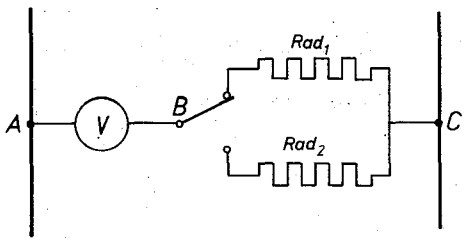


Fig. 5.8 Voltímetro de dos escalas.

$$I = \frac{V_{AB}}{R_{AB}} = \frac{20\,V}{100\,\Omega} = \frac{1}{5}A$$

$$I = \frac{V_{BC}}{R_{BC}} = \frac{(100 - 20)}{R_{ad1}} = \frac{80\,V}{R_{ad1}} = \frac{1}{5}A$$

$$R_{ad1} = \frac{80 \cdot 5}{1} = 400\,\Omega$$

$$I = \frac{(300 - 20)\,V}{R_{ad2}} = \frac{280\,V}{R_{ad2}} = \frac{1}{5}A$$

$$R_{ad2} = \frac{280 \cdot 5}{1} = 1.400\,\Omega$$

Así pues, el instrumento se conectará en serie con las resistencias adicionales de 400 ohmios y 1.400 ohmios, según se realicen mediciones de 100 ó 300 V de fondo de escala.

5.2.2 *Clasificación*

La clasificación de los aparatos por el tipo de corriente (c.c. o c.a.) es idéntica a la hecha en los amperímetros.

5.3 Medidas de potencia en corriente continua

En el estudio de la c.c. se considera que los receptores están constituidos solamente por resistencia óhmica.

La potencia de un circuito eléctrico, conectado a una red de c.c., es el producto de la tensión por la intensidad: $P = V \cdot I$

Por tanto, será suficiente intercalar un amperímetro en serie y un voltímetro en derivación, como indican las figuras 5.9 y 5.10.

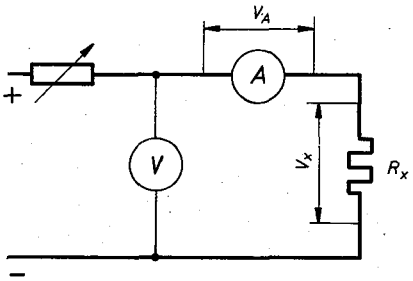


Fig. 5.9 Medida de potencia con voltímetro y amperímetro. Voltímetro en primer lugar.

5.3.1 *Errores en la medida de potencia*

La medida de la potencia absorbida por el receptor R_x no es exactamente la indicada por la fórmula: $P = V \cdot I$, ya que el voltímetro (fig. 5.9) señala la suma de la caída de tensión interior en el amperímetro y la tensión aplicada al receptor: $V = (r_a \cdot I) + (R_x \cdot I)$, de modo que: $R_x \cdot I = V - r_a \cdot I$, y la potencia absorbida por el receptor será:

$$P_x = (R_x \cdot I)\,I = (V - r_a \cdot I)\,I = V \cdot I - r_a \cdot I^2$$

De aquí se deduce la importancia de una resistencia interna del amperímetro mínima, de forma que se pueda despreciar el término $r_a \cdot I$, con lo que resultaría que: $P_x = V \cdot I$

Si en lugar de conectar antes el voltímetro, se conecta el amperímetro también se cometerá error en la medida (fig. 5.10).

El amperímetro señala una intensidad suma de la que absorbe el receptor I_x y la del voltímetro $\frac{V}{R_v}$; de modo que:

$$I = I_x + \frac{V}{R_v}; \quad I_x = I - \frac{V}{R_v}$$

y la potencia absorbida por el receptor será:

$$P_X = V \cdot I_X = V\left(I - \frac{V}{R_V}\right) = V \cdot I - \frac{V^2}{R_V}$$

Se comprende, según la expresión final, la importancia de que la resistencia voltimétrica sea muy elevada, para que pueda despreciarse el término $\frac{V^2}{R_v}$ y se obtenga la potencia:

$$P = V \cdot I$$

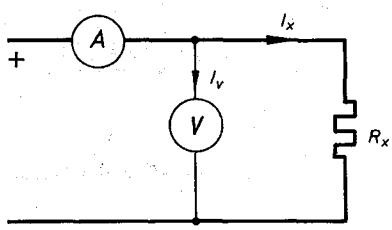


Fig. 5.10 Medida de potencia con voltímetro y amperímetro. Amperímetro en primer lugar.

5.3.2 *Resumen*

Las conclusiones que se pueden deducir son:

— Empleando cualquiera de los dos procedimientos, se indica una potencia superior a la real.

— Cuando la R_x sea muy elevada (altas tensiones), se empleará el circuito de la figura 5.9.

— Cuando la R_x sea pequeña (corrientes elevadas), se empleará el circuito de la figura 5.10.

5.3.3 *Medida con vatímetros*

Como se indicó en el párrafo 3.3, la medida de potencia en c.c. se podía obtener con un solo instrumento, que era el vatímetro electrodinámico, que consta, en esencia, de un circuito amperimétrico y otro voltimétrico, indicando el resultado como producto de ambas magnitudes.

Ejercicio de aplicación:

Interesa conocer la potencia absorbida por dos lámparas de 100 W conectadas a una red de c.c. de 200 V, empleando las dos conexiones posibles en el sistema voltiamperimétrico. El valor de las resistencias del voltímetro y amperímetro son 10 000 y 0,1 ohmios respectivamente.

Solución:

Se conecta el circuito según el esquema de la figura 5.11 y se lee en los aparatos:

$$V = 197\ V; \quad I = 0{,}54\ A$$

por tanto:

$$P = V \cdot I - r_a \cdot I^2 = 197 \cdot 0{,}54 - 0{,}1 \cdot 0{,}54^2 = 106{,}35\ W$$

siendo:

$$r_a \cdot I^2 = 0{,}029\ W$$

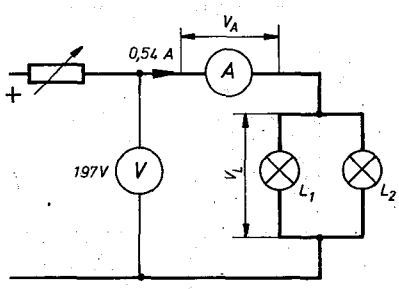


Fig. 5.11 Conexión del voltímetro, antes del amperímetro. Ejercicio práctico.

Se conecta ahora el circuito, según la figura 5.12, y se lee en los aparatos: V = 196,8 V; I = 0,6 A

Potencia con error: $P = V \cdot I = 196{,}8 \cdot 0{,}56 = 110{,}208\ W$

Potencia exacta: $P = V \cdot I - \frac{V^2}{R_v} = 110{,}208 - \frac{196{,}8^2}{1.000} = 106{,}33\ W$

Siendo:

$$\frac{V^2}{R_v} = 3{,}87\ W$$

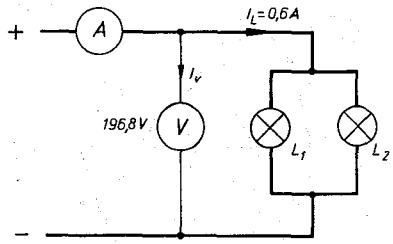


Fig. 5.12 Conexión del voltímetro, después del amperímetro. Ejercicio práctico.

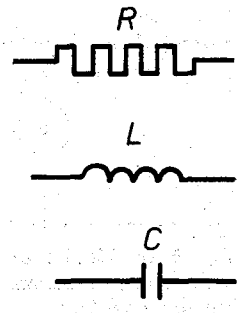


Fig. 5.13 Símbolos de resistencia, bobina y condensador.

Conclusión:

Se debe emplear el primer procedimiento, ya que se puede hacer el cálculo directo $P = V \cdot I$, despreciando el término $r_a \cdot I^2$, cosa que no sucede en el segundo procedimiento.

5.4 Receptores para corriente alterna

Los circuitos recorridos por c.a. pueden contener tres receptores que producen diferentes efectos, como son: *resistencia, inductancia* (bobina) y *capacidad* (condensador) fig. 5.13.

5.4.1 *Circuito resistivo*

Su comportamiento es idéntico a c.c., no existiendo desfase alguno entre la tensión y corriente; por tanto, el factor de potencia (cos φ) es igual a la unidad: cos $\varphi = 1$ (figura 5.14).

Este tipo de receptores absorbe una potencia:

$$P = V \cdot I = (R \cdot I)\, I = R \cdot I^2 \,(W)$$

llamada potencia activa.

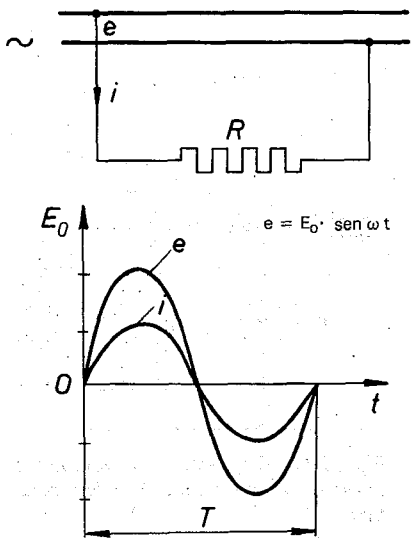


Fig. 5.14 Circuito de R pura.

5.4.2 *Circuito inductivo*

Produce un desfase de 90° de retraso de la corriente, con respecto a la tensión. Así pues, el factor de potencia será: cos $\varphi = 0$.

La representación de este circuito se indica en la figura 5.15. La corriente a través del circuito toma el valor de:

$$I = \frac{V}{X_L}$$

Al término X_L se le llama reactancia inducida o inductancia, y se halla por la expresión:

$$X_L = L \cdot \omega = L \cdot 2\pi f$$

siendo:

X_L = Reactancia en ohmios
L = Coeficiente de autoinducción en henrios
f = Frecuencia en hertzios.

Este receptor absorberá la potencia:

$$P = V \cdot I_r = V \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi = X_L \cdot I \cdot I \cdot 1 = X_L I^2$$

Esta potencia se llama reactiva y, por convenio, se toma como positiva.

5.4.3 *Circuito capacitivo*

Produce un desfase de 90° de adelanto de la corriente, con respecto a la tensión aplicada; así pues, el factor de potencia será cos $\varphi = 0$ (fig. 5.16)

La corriente de carga del condensador se calcula, según la fórmula:

$$I = \frac{V}{X_c}$$

Al término X_c se le llama reactancia capacitativa o capacitancia y se calcula por la expresión:

$$X_c = \frac{1}{C \cdot \omega} = \frac{1}{C \cdot 2\pi f}$$

siendo:

X_c = capacitación en ohmios
C = capacidad en faradios
f = frecuencia en hertzios

El condensador absorbe una potencia:

$$P = V \cdot I_r = X_c \cdot I \cdot I_r = X_c \cdot I \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi = X_c \cdot I^2$$

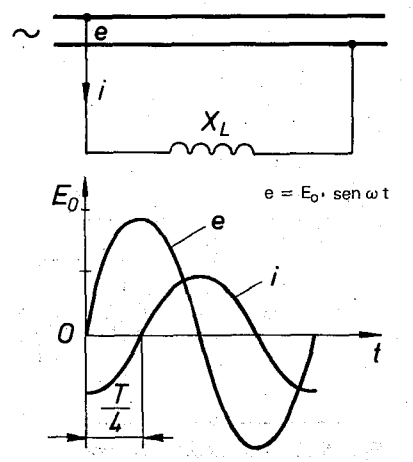


Fig. 5.15 Circuito de inductancia (X_L) pura.

Esta potencia se llama reactiva, y por ser producida por una componente reactiva de efecto opuesto a la bobina, se toma como negativa.

5.4.4 *Resumen*

En c.c. existe el receptor que ofrece resistencia óhmica al paso de la corriente, no habiendo desfase entre la corriente y la tensión aplicada a un circuito.

En c.a. existen tres receptores diferentes, resistencias, inductancias y capacidades. Los primeros no producen desfase entre la corriente y la tensión. Los segundos producen un desfase de 90° eléctricos, en retraso de la corriente a la tensión. Los terceros producen un desfase de 90° en adelanto de la corriente a la tensión.

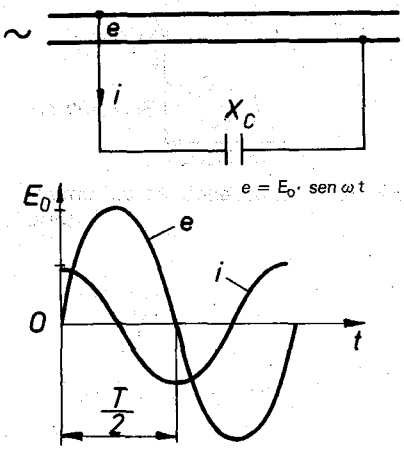


Fig. 5.16 Circuito de capacitancia (X_C) pura.

5.5 Acoplamiento de receptores a c.a.

En general pueden existir dos tipos:

— en serie;

— en derivación.

A su vez, en cada acoplamiento pueden intervenir dos o más receptores diferentes. Se verán a continuación los casos más completos, o sea con todos los receptores.

5.5.1 *Acoplamiento en serie*

Acoplamiento de receptores en serie, que corresponde al circuito óhmico inductivo y capacitativo, como el representado en la figura 5.17.

Al aplicarle una tensión alterna V, dará lugar a la circulación de una I que, a su vez, producirá las caídas de tensión en cada receptor: R I, X_L I y X_c I.

Para el estudio del circuito es necesario conocer cuál de las reactancias (inductiva o capacitiva) es mayor en valor algebraico, dando lugar, pues, a dos casos diferentes. Si el valor de la reactancia inductiva es superior a la capacitiva, el diagrama vectorial sería:

$$\vec{V} = \vec{R\,I} + \overrightarrow{(X_L I - X_c I)} = \vec{R\,I} + \overrightarrow{(X_L - X_c)\,I}$$

Resultando un circuito en el que predomina el efecto inductivo, con un desfase φ entre la corriente y la tensión aplicada.

Como el efecto de la bobina es opuesto al del condensador, se representan ambos por dos vectores opuestos, en la misma dirección. Dando lugar a un triángulo rectángulo en el que:

$$V = \sqrt{(R\,I)^2 + (X_L - X_c)^2\,I^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2} = I \cdot Z$$

$$\boxed{Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2}}$$

donde:

V = Tensión aplicada en voltios
I = Corriente total en amperios
Z = Impedancia o resistencia total ofrecida al circuito.

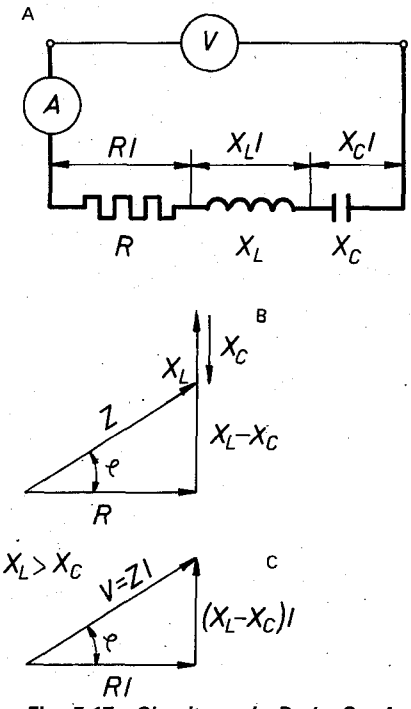


Fig. 5.17 Circuito serie R, L, C.: A, esquema; B, diagrama de impedancias; C, diagrama de tensiones.

El triángulo de impedancia se representa en la figura 5.18, en el que:

$$\boxed{\cos\varphi = \frac{R}{Z}}\;;\;\boxed{\varphi = \operatorname{arc\,cos}\frac{R}{Z}}$$

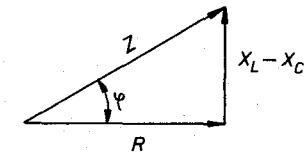


Fig. 5.18 Triángulo de impedancias.

El triángulo de potencias, semejante a los anteriores, se obtiene multiplicando el triángulo de tensiones por la intensidad (fig. 5.19), donde:

$$\boxed{AB = AC \cdot \cos\varphi = V \cdot I \cdot \cos\varphi = R\,I^2 = P_{activa}\,(W)}$$

$$\boxed{BC = AC \cdot \operatorname{sen}\varphi = V \cdot I \cdot \operatorname{sen}\varphi = (X_L - X_c)\,I^2 = P_{reactiva}\,(VAr)}$$

$$\boxed{AC = V \cdot I = P_{aparente}\ \text{(voltamperios)}}$$

$$AC^2 = AB^2 + BC^2;\quad \boxed{(P_{ap})^2 = (P_{act})^2 + (P_{react})^2}$$

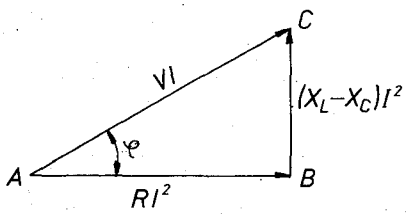


Fig. 5.19 Triángulo de potencias.

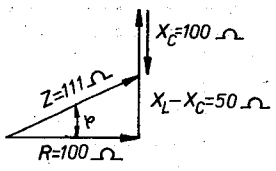


Fig. 5.20 Impedancia en un circuito serie.

Ejercicio de aplicación: Un circuito está formado por una resistencia de 100 Ω, una bobina de 477 mH y un condensador de 32 μF en serie. El circuito está conectado a una red de 220 V y frecuencia de 50 Hz. Calcular: La impedancia ofrecida por el circuito, el factor de potencia y las tres potencias absorbidas de la red.

Solución:

Reactancia inductiva:

$$X_L = \omega \cdot L = 4{,}77 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 50 \cong 150\ \Omega$$

Reactancia capacitativa:

$$X_c = \frac{1}{C \cdot \omega} = \frac{1}{32 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 50} = 100\ \Omega$$

Reactancia total del circuito:

$$X_t = X_L - X_c = 150 - 100 = 50\ \Omega$$

Impedancia del circuito (fig. 5.20):

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{100^2 + 50^2} = 111{,}8\ \Omega$$

Intensidad que recorre el circuito:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{111{,}8} = 1{,}96\ A$$

Desfase entre corriente y tensión:

$\text{Cos}\ \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{110}{111{,}8} = 0{,}89$; al que corresponde un ángulo de 26° 30′ y un sen $\varphi = 0{,}44$

Potencias absorbidas:

P. activa $= V \cdot I \cdot \cos\varphi = 220 \cdot 1{,}96 \cdot 0{,}89 = 387{,}2$ W
P. reactiva $= V \cdot I \cdot \text{sen}\ \varphi = 220 \cdot 1{,}96 \cdot 0{,}44 = 193{,}6$ VAr
P. aparente $= V \cdot I = 220 \cdot 1{,}96 = 432{,}9$ V A

Comprobación:

$$P_{ap} = \sqrt{P_{ac}^2 + P_r^2} = \sqrt{387{,}2^2 + 193{,}6^2} = 432\ \text{V A}$$

Ejercicio de aplicación.

Una resistencia de 10 Ω, una inductancia de 202,6 mH y un condensador de 50 μF están en serie. Se aplica a los extremos del circuito una tensión de 100 V, de frecuencia 50 Hz.

Calcular:

1.° La impedancia del circuito.
2.° La corriente I.
3.° Tensiones en los extremos de los receptores.
4.° La potencia consumida.

Solución:

1.° Reactancia inductiva:

$$X_L = L \cdot \omega = 202{,}6 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 63{,}6\ \Omega$$

Reactancia capacitativa:

$$X_c = \frac{1}{C \cdot \omega} = \frac{1}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 2\pi \cdot 50} = 63{,}6\ \Omega$$

Reactancia total del circuito:

$$X_t = X_L - X_c = 63{,}6 - 63{,}6 = 0$$

Impedancia del circuito:

$$Z = \sqrt{R^2} = R = 10\ \Omega$$

5.5.1.1 *Resonancia serie*

Este ejercicio corresponde a un circuito, funcionando *en resonancia* para lo cual debe cumplirse que $X_L = X_c$, aunque aparentemente se comporta como un circuito puramente resistivo. Se pueden producir tensiones muy elevadas entre los extremos de la inductancia y de la capacidad que vendrían indicadas por los voltímetros de la figura 5.21.

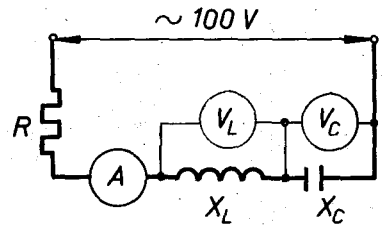


Fig. 5.21 Resonancia serie, si $X_L = X_C$.

2.° Corriente que recorre el circuito:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{10} = 10\ A$$

3.° Cálculo de tensiones que indicarán los voltímetros:

$V_L = X_L \cdot I = 63{,}6 \cdot 10 = 636\ V$
$V_c = X_c \cdot I = 63{,}6 \cdot 10 = 636\ V$
$V_R = R \cdot I = 10 \cdot 10 = 100\ V$

4.° Potencia consumida:

P. activa $= R \cdot I^2 = 10 \cdot 10^2 = 1.000\ W$
P. reactiva $= V \cdot I \cdot \text{sen}\ \varphi = 100 \cdot 10 \cdot 0 = 0$
P. aparente $= V \cdot I = 100 \cdot 10 = 1.000\ V\,A$

Así pues, la potencia aparente es igual a la potencia activa, por no existir potencia reactiva.

5.° Representación gráfica de impedancia y tensiones (fig. 5.22).

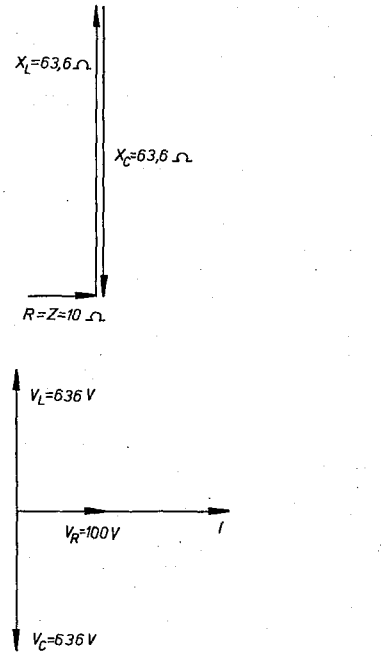


Fig. 5.22 Gráficas de diagrama de impedancias y tensiones.

5.5.2 *Acoplamiento de receptores en paralelo*

Aplicar la tensión alterna senoidal V al circuito de la fig. 5.23. Circularán tres intensidades bajo una tensión común.

La corriente que circula por la rama resistiva será:

$$I_R = \frac{V}{R}$$ en fase con la tensión.

La corriente que circula por la rama inductiva:

$$I_L = \frac{V}{X_L}$$ retrasada 90° de la tensión.

La corriente que circula por la rama capacitativa:

$$I_c = \frac{V}{X_c}$$ adelantada 90° de la tensión.

La corriente total sería:

$$\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C$$

cuya representación vectorial se hace en la figura 5.23

La impedancia del circuito viene dada por:

$$Z = \frac{V}{I}$$

El factor de potencia del circuito se obtiene:

$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I}$$

El cálculo de la potencia se realiza sumando las potencias consumidas por cada derivación. En cada derivación, caso de haber varios receptores en serie, el cálculo de potencias es idéntico al circuito serie.

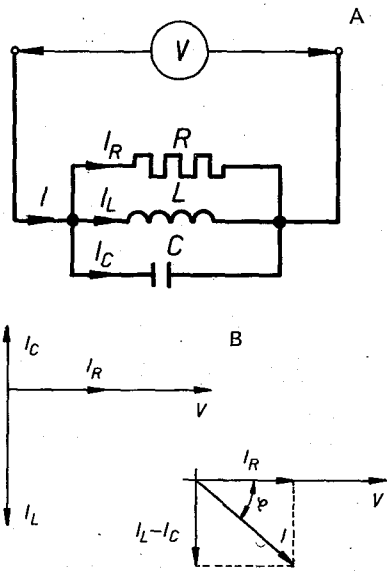


Fig. 5.23 Acoplamiento de receptores en paralelo: A, circuito R, L, C, en paralelo; B, diagramas de corrientes.

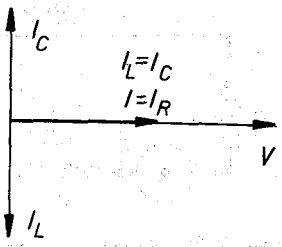


Fig. 5.24 Diagrama de corrientes en resonancia.

5.5.2.1 *Resonancia paralelo*

Como en el circuito serie, el paralelo también entra en *resonancia*, cuando se cumple:

$$X_L = X_c\,;\; L \cdot \omega = \frac{1}{C \cdot \omega}$$

$$\omega^2 L C = 1; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_r; \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

que indica cuál será la frecuencia de resonancia, f_r.

En resonancia se cumple:

$$I_L = \frac{V}{X_L}\,;\; I_c = \frac{V}{X_c}\,;\; \text{por tanto}\quad I_L = I_c$$

Este tipo de resonancia se llama resonancia de corriente (fig. 5.24); con él se pueden alcanzar elevadas intensidades.

Ejercicio de aplicación:

Un circuito derivación consta de dos ramas. En la primera, una bobina de 191 mH en serie con una resistencia de 80 Ω; en la segunda, una bobina de 127 mH en serie con una resistencia de 30 Ω. El circuito se conecta a una red de 200 V y 50 Hz. Calcular:

1.º La impedancia de cada rama.

2.º La corriente total. Diagrama de corrientes.

Solución:

Reactancias:

$$X_1 = L_1 \cdot \omega = 191 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 50 = 60\,\Omega$$
$$X_2 = L_2 \cdot \omega = 127 \cdot 10^{-3} \cdot 2\pi \cdot 50 = 40\,\Omega$$

Impedancias:

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100\,\Omega$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50\,\Omega$$

Corrientes:

$$I_1 = \frac{V}{Z_1} = \frac{200}{100} = 2\,A$$

$$I_2 = \frac{V}{Z_2} = \frac{200}{50} = 4\,A$$

Desfases:

$$\cos\varphi_1 = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{80}{100} = 0{,}8;\; \varphi_1 = 36^\circ\ 52'\,;\; \text{sen}\,\varphi_1 = 0{,}6$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{30}{50} = 0{,}6\,;\; \varphi_2 = 53^\circ\ 7'\,;\; \text{sen}\,\varphi_2 = 0{,}8$$

Corrientes activas:

$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos\varphi_1 = 2 \cdot 0{,}8 = 1{,}6\,A$$
$$I_{a2} = I_2 \cdot \cos\varphi_2 = 4 \cdot 0{,}6 = 2{,}4\,A$$
$$I_{a\,total} = I_{a1} + I_{a2} = 1{,}6 + 2{,}4 = 4\,A$$

Corrientes reactivas:

$$I_{r1} = I_1 \cdot \text{sen}\,\varphi_1 = 2 \cdot 0{,}6 = 1{,}2\,A$$
$$I_{r2} = I_2 \cdot \text{sen}\,\varphi_2 = 4 \cdot 0{,}8 = 3{,}2\,A$$
$$I_{r\,total} = I_{r1} + I_{r2} = 1{,}2 + 3{,}2 = 4{,}4\,A$$

Corriente total:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = \sqrt{4^2 + 4{,}44^2} = 5{,}94\ A$$

$$\cos\varphi = \frac{I_{a\ total}}{I} = \frac{4}{5{,}94} = 0{,}67\ ; \rightarrow \varphi = 47°\ 43'$$

También se puede obtener gráficamente, como indica la figura 5.25.

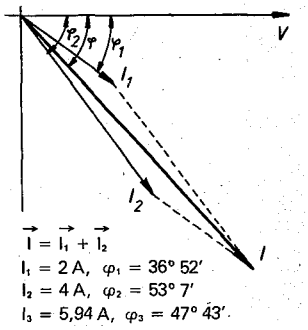


Fig. 5.25 Ejercicio de aplicación. Método gráfico.

5.6 Circuitos con receptores reales

Los estudios realizados anteriormente son teóricos, y, por tanto, no responden al resultado experimental que se obtiene de los laboratorios; por esto se dan a continuación las diferencias existentes entre los receptores reales y los teóricos.

El receptor puramente resistivo (R) es el que carece de inductancia. Prácticamente, se puede conseguir con resistencias puras con formas especiales de arrollamiento; aunque, en resistencias empleadas en la industria, no se toman esas precauciones y, por consiguiente, no son óhmicas puras.

El receptor puramente inductivo no se puede conseguir. Si la bobina es de núcleo aislante son necesarias muchas espiras y, por consiguiente, adquiere un valor de resistencia; caso de bobinar sobre un núcleo magnético, absorbe potencia y deforma la onda senoidal arrastrando un valor de resistencia. Por tanto, una bobina consta de una inductancia pura y una resistencia pura.

El receptor puramente capacitativo, prácticamente se puede conseguir; aunque siempre tiene un valor mínimo de resistencia pura.

Los circuitos industriales presentan un factor de potencia inferior a la unidad; por tanto, predomina el efecto inductivo sobre el capacitativo. En general, se emplea la conexión paralelo, y los receptores más numerosos son bobinas y resistencias.

TEMAS A DESARROLAR POR EL ALUMNO

— Confeccionar una lista de amperímetros y voltímetros empleados en el laboratorio de medidas eléctricas, explicando su funcionamiento, fondo de escala, precisión, etc.

— Buscar información sobre los circuitos eléctricos, de uso industrial conectados a c.a., comprobando que en la mayoría de los casos resultan ser inductivos.

CUESTIONARIO

— Razonar la importancia de construir los amperímetros con resistencias internas muy pequeñas.

— ¿En qué mediciones se emplea el shunt amperimétrico?

— Disponiendo de un amperímetro de fondo de escala 10 A, y $r_i = 0{,}0015$ ohmios, ¿cómo se podrían medir intensidades de 100 ó 200 A?

— ¿Por qué motivo se conecta una resistencia adicional a la bobina voltimétrica? ¿Cómo se realiza la conexión?

— ¿Cómo se construirá un voltímetro con fondo de escala 30, 60, 150, 300 y 600 voltios?

— Averiguar la potencia absorbida por una lámpara a 200 V, si la corriente es 0,5 A, la resistencia amperimétrica 0,1 ohmios y la resistencia voltimétrica 5.000 ohmios. Hacer el cálculo según los dos tipos de conexiones.

— Se conecta una red de 220 V de c.a. y 50 Hz, una bobina cuya resistencia es de 3 ohmios y su coeficiente de autoinducción L = 25 mH. Construir el diagrama de tensiones e intensidades y calcular el factor de potencia.

— Averiguar la capacidad de un condensador que está conectado en serie con una bobina de R = 2 Ω y coeficiente de autoinducción L = 40 mH, estando en resonancia a la frecuencia de 100 Hz. Calcular la potencia absorbida de la red, para frecuencias de 50 y 100 Hz. V_{red} : 100 V.

— Se conectan en derivación a una red de 220 V y 50 Hz las 3 ramas siguientes:

a) Una R = 5 Ω en serie con una bobina de R = 3 Ω y X_L = 4 Ω
b) Una bobina de R = 8 Ω y X_L = 6 Ω
c) Una bobina de R = 6 Ω y X_L = 8 Ω y un condensador de X_c = 4 Ω en serie.

Averiguar:
1.° Diagrama de corrientes
2.° La corriente total
3.° Factor de potencia del circuito.

BIBLIOGRAFIA

BANDINI, A., *Medidas eléctricas 1/1,* REDE, Barcelona 1967.
BIASUTTI G., *Electricidad,* Editorial Científico Médica, Barcelona 1970.
NIARD J., *Curso de electricidad II,* Toray Masson, Barcelona 1971.
Catálogos de casas comerciales (Electromediciones Kainos, S.A.)

Tema 6. Medidas de potencia en corriente alterna

OBJETIVOS

— *Diferenciar los 3 tipos de potencias absorbidas por receptores en c.a.*
— *Conocer el instrumento medidor de potencia alterna.*
— *Resolución de ejercicios sobre cálculo de potencias en circuitos eléctricos reales.*
— *Conocimiento de sistemas trifásicos de tensiones. Distinción entre tensiones simples y compuestas.*
— *Saber elegir las cargas y su modo de conexión a redes trifásicas.*
— *Conocimiento de un sistema trifásico en equilibrio o desequilibrio.*
— *Conocer diversos métodos empleados en la medición de potencias.*

GUION

— Medidas de potencia en c.a. Circuitos monofásicos.
— Sistemas trifásicos de tensiones. Cargas trifásicas.
— Medida de la potencia activa en un sistema trifásico.
— Medida de la potencia reactiva en circuitos trifásicos.

PUNTOS CLAVE

— Diferenciar los receptores para c.a.
— Saber elegir el método adecuado en medidas de potencia eléctrica.
— Identificar los tipos de conexiones en sistemas trifásicos.

EXPOSICION DEL TEMA

6.1 Medidas de potencia en c.a. Circuitos monofásicos

Los receptores conectados a c.a. pueden absorber tres tipos de potencia:
— activa;
— reactiva;
— aparente.

La potencia activa es el producto de la tensión por la corriente por el coseno del ángulo que forman.

$$P_a = V \cdot I_a = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Se expresa en W, kW, o CV y se mide con un vatímetro. Caso de haber varios receptores, la potencia activa total es la suma aritmética de las potencias activas consumidas por cada receptor.

La potencia reactiva es el producto de la tensión por la corriente reactiva:

$$P_r = V \cdot I_r = V \cdot I \cdot \operatorname{sen} \varphi$$

Se expresa en voltamperios reactivos (VAr) o (kVAr), y se mide con vatímetros especiales para reactivos, o varímetros. El signo de la potencia reactiva, que consume un receptor, depende del ángulo φ, siendo en los circuitos inductivos: $\varphi > 0$; sen $\varphi > 0$; $P_r > 0$ y en los circuitos capacitativos: $\varphi < 0$; sen $\varphi < 0$; $P_r < 0$.

En general puede afirmarse que todas las instalaciones consumen potencia reactiva de la red general.

Caso de haber varios receptores, la potencia reactiva total es la suma algebraica de las potencias reactivas consumidas por cada receptor.

La potencia aparente es el producto de la tensión por la corriente total:

$$P = V \cdot I$$

Se expresa en voltamperios (VA) o kilovoltamperios (kVA), y se mide con amperímetro y voltímetro.

El triángulo de potencias resume la clasificación anterior (fig. 6.1), en el que:

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{P} \; ; \; P = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}$$

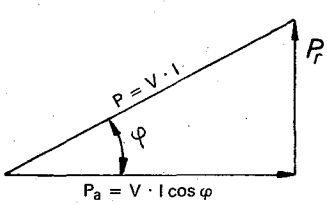


Fig. 6.1 Triángulo de potencias.

6.1.1 *Medida de la potencia activa*

La potencia activa $P_a = V\ I \cos \varphi$ se mide utilizando los vatímetros, bien electrodinámicos o bien de inducción, cuyo principio de funcionamiento quedó explicado en el tema 3.

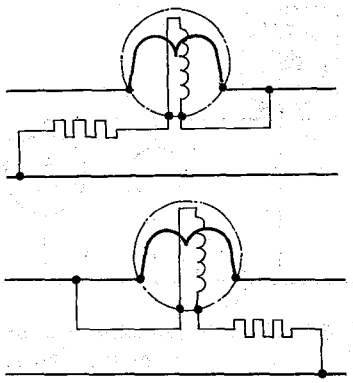
El vatímetro electrodinámico consta de dos circuitos uno amperimétrico, en serie, formado por una bobina fija de pocas espiras hecha con hilo grueso, por la que circula toda la corriente a medir, y otro voltimétrico, en derivación, constituido por muchas espiras de hilo fino y una resistencia adicional de manganina, como indica la figura 6.2. También presenta este aparato el error de consumo estudiado en el método voltiamperimétrico, tanto si se conecta antes como después del circuito amperimétrico. Este aparato debe construirse con un valor de bobina voltimétrica, totalmente resistivo, para no producir desfase entre la tensión y la corriente que circula por dicha bobina.

El alcance de un vatímetro es el producto de los fondos de escalas voltimétrico y amperimétrico; por ejemplo: un vatímetro para 5 A y 240 V, tendrá un alcance de: 5 x 240 = 1.200 W.

Normalmente, los alcances son múltiples (fig. 6.3), variando el circuito voltimétrico por resistencias adicionales y el amperimétrico por puesta en serie o paralelo de dos semibobinas de intensidad.

Una observación muy importante es esta: se debe realizar una conexión común, amperimétrica-voltimétrica, en los dos bornes que lleven el mismo signo, ya sea (+) o (−).

Los vatímetros de inducción se utilizan para cuadros, por su robustez y gran escala, aunque su empleo es bastante inferior a los electrodinámicos.





vatímetro

Fig. 6.2 Esquemas de conexiones del vatímetro.

6.1.2 *Medida de la potencia reactiva*

La potencia reactiva $P_r = VI \operatorname{sen}\varphi$ se mide utilizando un varímetro que viene a ser, en su aspecto constructivo, idéntico al vatímetro. La diferencia principal es el desfase de 90° entre la tensión y corriente voltimétrica, mientras que en el vatímetro electrodinámico están en fase.

Para conseguir esta condición, se emplean bobinas, condensadores y resistencias en serie o paralelo con la bobina voltimétrica (fig. 6.4).

Como en el caso de vatímetros, existen dos tipos: electrodinámicos y de inducción.

Ejercicio de aplicación:

Un generador suministra energía alterna senoidal monofásica a una carga compuesta por:

— Un motor de 500 kW, cos $\varphi = 0{,}8$ y una tensión de 380 V.
— 1.000 lámparas resistivas de 100 W y 380 V.
— Una batería de condensadores que absorben 100 kVA y 380 V.

Sabiendo que la línea que une el generador a la carga tiene una resistencia de 0,02 Ω y una reactancia inductiva de 0,05 Ω: hallar la intensidad que absorbe la carga, su factor de potencia y la tensión que suministra el generador.

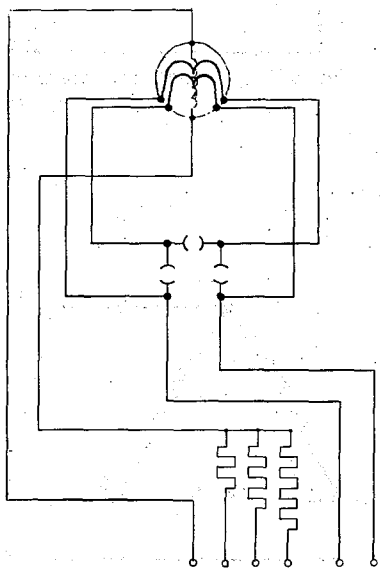


Fig. 6.3 Vatímetro de alcances múltiples.

Solución:

Partiendo del triángulo de potencias, se agrupan los receptores:

Receptores	*cos φ*	*sen φ*	*P. activa*	*P. reactiva*
motor	0,8	0,6	500 kW	375 kVAr
lámparas	1	0	100 kW	0
condensador	0	1	0	−100 kVAr
total	—	—	600 kW	275 kVAr

La potencia aparante: $P = \sqrt{P_a^2 + P_r^2} = \sqrt{600^2 + 275^2} = 660\ \text{kVA}$

El factor de potencia: $\cos\varphi = \dfrac{P_a}{P} = \dfrac{600}{660} = 0{,}909 \Rightarrow \varphi = 24°\,37'$

La corriente absorbida: $P = V \cdot I; \quad I = \dfrac{P}{V} = \dfrac{660 \cdot 1000}{380} = 1737\ \text{A}$

Potencias perdidas en la línea:

$P_a = r_L \cdot I^2 = 0{,}02 \cdot 1737^2 = 60\,343\ \text{W}$
$P_r = X_L \cdot I^2 = 0{,}05 \cdot 1737^2 = 150\,858\ \text{VAr}$

Potencias en bornas del generador:

$P_a = P_a\,(\text{carga}) + P_a\,(\text{Línea}) = 600\,000 + 60\,343 = 660\,343\ \text{W}$
$P_r = P_r\,(\text{carga}) + P_r\,(\text{Línea}) = 275\,000 + 150\,858 = 425\,858\ \text{VAr}$
$P = \sqrt{P_a^2 + P_r^2} = \sqrt{660\,343^2 + 425\,858^2} = 758\,753\ \text{VA} = 758{,}75\ \text{kVA}$

Tensión suministrada por el generador: $P = V \cdot I\,; V = \dfrac{P}{I} = \dfrac{758\,753}{1737} = 436{,}82\ \text{V}$

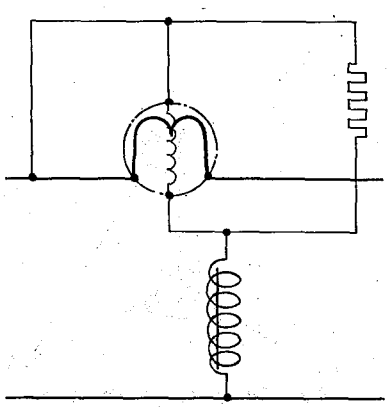


Fig. 6.4 Vatímetro electrodinámico.

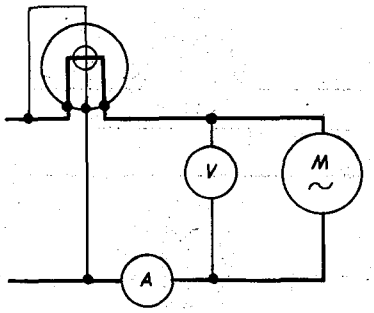


Fig. 6.5 Potencia absorbida por un motor monofásico.

Ejercicio de aplicación

Un motor monofásico se conecta a una red de c.a. 220 V, f = 50 Hz, absorbiendo 4 A. El vatímetro marca 600 W (fig. 6.5). Averiguar la potencia reactiva que absorbe de la red y el factor de potencia:

Solución:

$$P = V \cdot I = 220 \cdot 4 = 880\ VA$$

$$P_r = \sqrt{P^2 - P_a^2} = \sqrt{880^2 - 600^2} = 643{,}7\ VAr$$

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{P} = \frac{600}{880} = 0{,}68 \Rightarrow \varphi = 47°$$

6.2 Sistema trifásico de tensiones. Cargas trifásicas

Un sistema trifásico está constituido por una alimentación de tensión trifásica. Un generador es trifásico, cuando está constituido por 3 generadores monofásicos, que suministran unas tensiones de la misma amplitud y desfasadas 120°. Las tensiones en función del tiempo serán (fig. 6.6):

$$- e_1 = E_0 \cdot \text{sen}\ (\omega t)$$
$$- e_2 = E_0 \cdot \text{sen}\ (\omega t - 120°)$$
$$- e_3 = E_0 \cdot \text{sen}\ (\omega t - 240°)$$

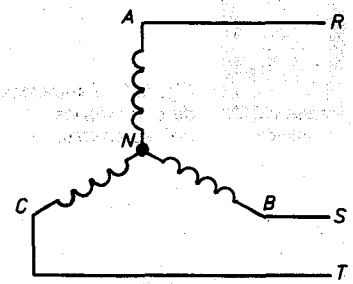


Fig. 6.7 Generador conectado en estrella.

La conexión puede hacerse de dos formas: estrella y triángulo.

En la figura 6.7 se representa un generador en estrella, y en la figura 6.8 un generador en triángulo. A los puntos A,B y C se conecta una línea trifásica que tiene tres hilos, aunque en el caso de conexión en estrella, puede conectarse el cuarto hilo del centro de la estrella llamado neutro.

6.2.1 *Tensiones simples y compuestas*

En una línea trifásica se suele dar siempre el valor eficaz de la tensión entre fases, llamada también compuesta. La tensión entre cada fase y el neutro, se llama tensión simple.

Las tensiones compuestas forman un sistema trifásico:

$$V_{RS},\ V_{ST},\ V_{TR}$$

y las tensiones simples también:

$$V_{RN},\ V_{SN},\ V_{TN}$$

El valor de la tensión compuesta será (fig. 6.9):

$$V_{RS} = 2\,V_{RZ} = 2\,V_{RN} \cdot \cos 30° = 2\,V_{RN} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = V_{RN}\sqrt{3}$$

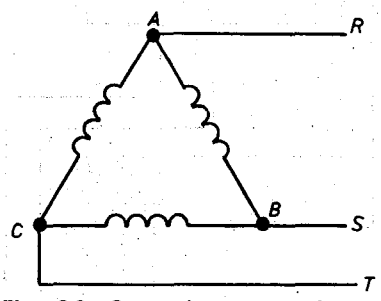


Fig. 6.8 Generador conectado en triángulo.

De modo que la tensión compuesta es $\sqrt{3}$ veces mayor que la simple; un ejemplo serían las tensiones de distribución siguientes:

$$127\ V, \quad 127\sqrt{3} = 220\ V, \quad 220\sqrt{3} = 380\ V$$

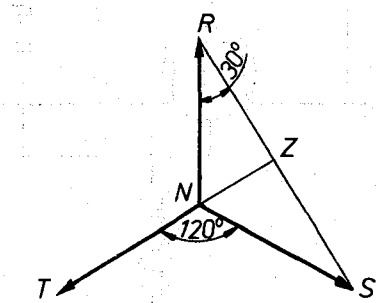


Fig. 6.9 Tensiones simples y compuestas.

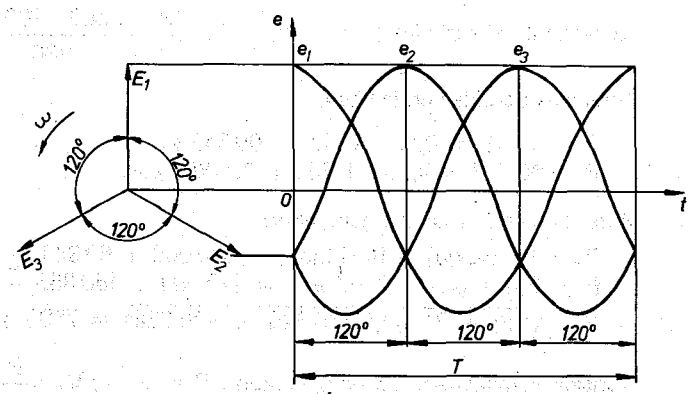
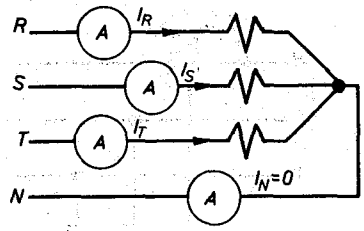


Fig. 6.6 Tensiones trifásicas.

6.2.2 *Cargas trifásicas equilibradas*

Al conectar tres cargas iguales a un sistema trifásico, constituirán una carga trifásica equilibrada, y también se podrán conectar como los generadores, en triángulo o en estrella. En la figura 6.10 se puede observar el montaje de un sistema equilibrado en estrella y su diagrama de corrientes; en este caso, el neutro se puede eliminar.



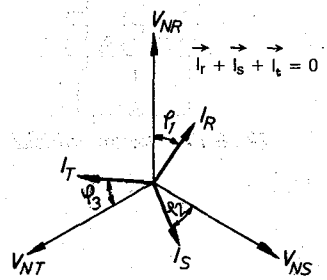


Fig. 6.10 Sistema equilibrado en estrella y su diagrama de corrientes.

6.2.3 *Cargas trifásicas desequilibradas*

Al conectar tres cargas diferentes a un sistema trifásico, originan un desequilibrio, que hace diferentes a las corrientes, produciendo una circulación por el neutro (fig. 6.11). En este ejemplo se suponen todos los conductores resistivos puros.

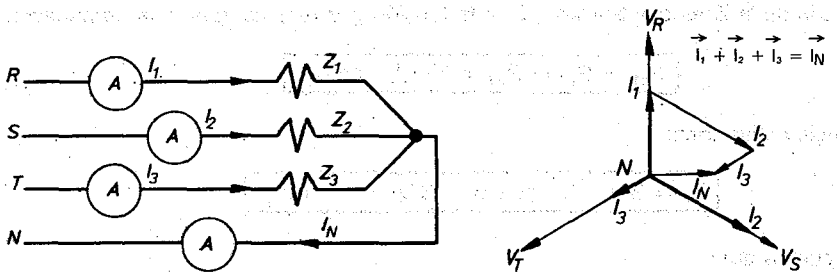


Fig. 6.11 Sistema desequilibrado en estrella con neutro.

6.3 Medida de la potencia activa en un sistema trifásico

Pueden presentarse los casos siguientes:
Sistemas equilibrados: con neutro o sin neutro.
Sistemas desequilibrados: con neutro o sin neutro.

6.3.1 *Sistemas equilibrados en estrella (con neutro o sin él)* (fig. 6.12)

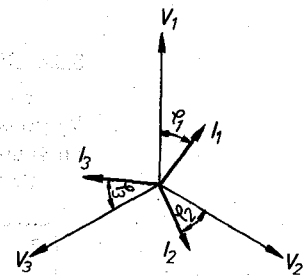
En el cálculo de la potencia activa se verifica que:

$$I_L = I_f = I_{f1} = I_{f2} = I_{f3} \quad ; \quad V_f = V_{f1} = V_{f2} = V_{f3} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_{neutro} = 0$$

siendo:

I_L = corriente de línea
I_f = corriente por fase
V_f = tensión por fase
V_L = tensión de línea



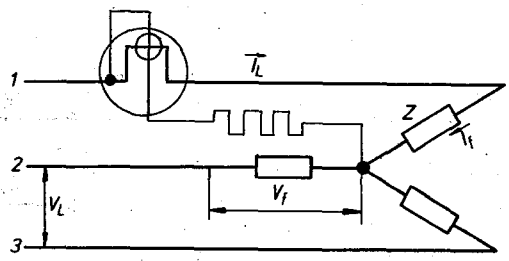


Fig. 6.12 Medida de la potencia en un sistema trifásico equilibrado.

Al ser sistema equilibrado se cumplirá:

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$

Las potencias activas son, pues, iguales:

$$P_{a1} = P_{a2} = P_{a3} = V_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi$$

La potencia activa total:

$$P_a = 3\,V_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi = 3\,V_f \cdot I_L \cdot \cos\varphi$$

Teniendo en cuenta que:

$$V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \; ; \; P_a = 3 \cdot \frac{V_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos\varphi = \sqrt{3}\,V_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi$$

La potencia activa se calcula intercalando un vatímetro monofásico y multiplicando por 3 el resultado.

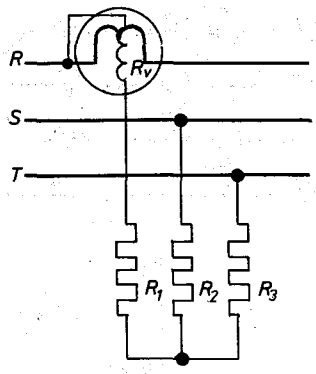


Fig. 6.13 Neutro artificial.

6.3.2 *Sistema equilibrado sin neutro*

En el caso de un sistema equilibrado, sin neutro, se puede obtener éste artificialmente, mediante tres resistencias en estrella; de forma que:

$$R_v + R_1 = R_2 = R_3$$

en el caso de acoplamiento de una resistencia previa R_1 con la bobina voltimétrica R_v (fig. 6.13).

6.3.3 *Sistema equilibrado en triángulo*

En la conexión en triángulo, el cálculo de potencias es el mismo: puesto que la corriente por fase es la de la línea dividida por $\sqrt{3}$, y la tensión por fase es igual a la compuesta:

$$\boxed{P_{a1} = P_{a2} = P_{a3} = V_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi}$$

La potencia activa total:

$$\boxed{P_a = 3\,V_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi = 3\,V_L \cdot I_f \cdot \cos\varphi}$$

teniendo en cuenta que:

$$I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$\boxed{P_a = 3\,V_L \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot \cos\varphi = \sqrt{3}\,V_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi}$$

6.3.4 *Sistemas desequilibrados*

En los sistemas desequilibrados, tanto en estrella como en triángulo, se pueden medir las potencias activas, con tres vatímetros monofásicos y sumarlas; o bien, directamente con un vatímetro trifásico (fig. 6.14).

Con este sistema, el valor de la potencia activa total será:

$$\boxed{\begin{aligned} P_a = P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 + V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 + V_3 \cdot I_3 \cdot \cos\varphi_3 = \\ = W_1 + W_2 + W_3 \end{aligned}}$$

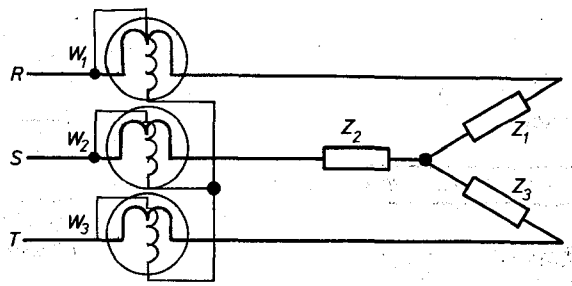


Fig. 6.14 Medidas de potencias en sistemas desequilibrados.

6.3.5 *Método de Arón*

En circuitos trifásicos de cualquier tipo, sin hilo neutro, se emplean dos vatímetros, según la *conexión Arón* (fig. 6.15)

Partiendo de la suma de corrientes en un sistema trifásico, sin neutro:

$$\vec{I_R} + \vec{I_S} + \vec{I_T} = 0\,;\ \vec{I_T} = -\vec{I_R} - \vec{I_S}$$

La potencia instantánea trifásica total es:

$$P_T = i_R \cdot e_R + i_S \cdot e_S + i_T \cdot e_T =$$

$$= e_R \cdot i_R + e_S \cdot i_S - e_T \cdot i_R - e_T \cdot i_S = i_R\,(e_R - e_T) + i_S\,(e_S - e_T) =$$

$$= i_R \cdot e_{RT} + i_S \cdot e_{ST} = W_1 + W_2$$

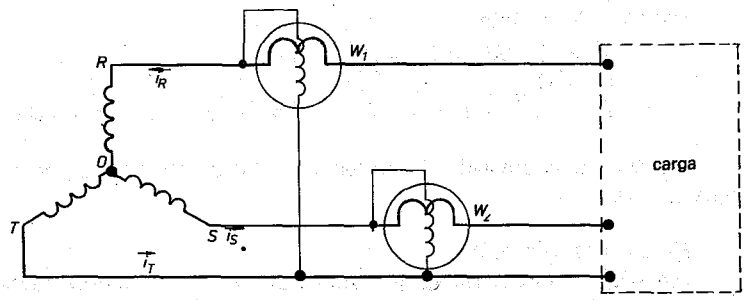


Fig. 6.15 Medida de potencias según conexión Arón.

Es decir, la potencia instantánea trifásica P_t es igual a la suma algebraica de las potencias instantáneas monofásicas $(i_R \cdot e_{RT})$ y $(I_S \cdot e_{ST})$; y, por lo tanto, la suma de lecturas de los dos vatímetros dará la potencia trifásica activa total.

Según sea el factor de potencia de la carga, así será el signo de las potencias; de modo que, si un vatímetro marcara una potencia negativa, se debe invertir su bobina voltimétrica y restar su lectura de la indicada por el otro vatímetro. Se recuerda que la suma de lecturas es siempre algebraica.

6.4 Medida de potencia reactiva en circuitos trifásicos

El valor de la potencia reactiva se toma según la fórmula:

$$P_r = V_1 \cdot I_1 \cdot \text{sen}\,\varphi_1 + V_2 \cdot I_2 \cdot \text{sen}\,\varphi_2 + V_3 \cdot I_3 \cdot \text{sen}\,\varphi_3$$

pudiendo ser positiva o negativa, según sea la carga inductiva o capacitiva; en esto se diferencia de la P. activa, que es siempre positiva. La medida se hace por medio de tres varímetros, uno por cada fase.

La construcción del varímetro, es bastante complicada. Por esto, se recurre a otros sistemas de medición de potencias reactivas, como son la conesión Arón y el método de Righi.

6.4.1 *Método Arón*

La medida de potencia reactiva según la conexión Arón, emplea dos vatímetros, como en el caso de potencia activa, de donde:

$$P_r = \sqrt{3}\,(W_1 - W_2)$$

siendo $W_1 > W_2$ en cargas inductivas, e inversamente en capacitivas.

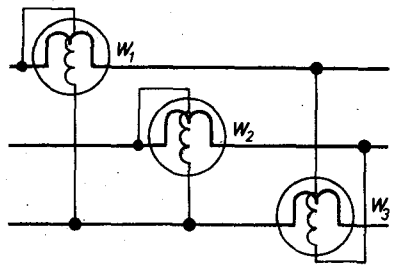


Fig. 6.16 Medida de potencias reactivas.

6.4.2 *Método Righi*

Emplea tres vatímetros normales, cuya conexión se indica en la figura 6.16, obteniéndose como expresión de la potencia reactiva total:

$$P = \frac{W_1 - W_2 + 2W_3}{\sqrt{3}}$$

Ejercicio de aplicación

Medición de la potencia absorbida por tres lámparas incandescentes de 1000 W a 220 V. Conexión de receptores, según un sistema trifásico equilibrado con neutro. Tensión de red 220 V (fig. 6.17).

Solución:

Aparatos a emplear:

1 amperímetro
1 voltímetro
1 vatímetro

Elementos a emplear

3 lámparas de 1.000 W a 220 V

Datos obtenidos

$I_f = I_L = 3{,}55$ A
$I_N = 0$
$V_f = 128$ V ; $V_L = 128\sqrt{3}$ V
W = 455 W
$\cos\varphi = 1$

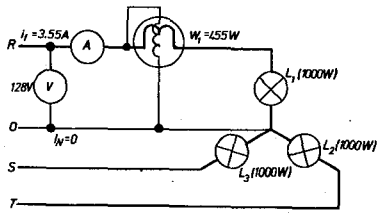


Fig. 6.17 Ejercicio sobre medida de potencias.

Potencia activa total:

$$P_a = 3 \cdot W_1 = 3 \cdot 455 = 1365\,W$$
$$P_r = 0$$
$$P = \sqrt{3}\, V_L \cdot I_L = \sqrt{3} \cdot 128 \cdot \sqrt{3} \cdot 3{,}55 = 1363\,W$$

Prácticamente coinciden las potencias activas y aparentes, por ser receptores resistivos (cos $\varphi = 1$).

Ejercicio de aplicación

Medición de potencias en un sistema trifásico equilibrado sin neutro, con los receptores del ejercicio anterior (fig. 6.18)

Solución:

Aparatos a emplear:

1 vatímetro
1 voltímetro
1 amperímetro

Elementos a emplear:

3 lámparas de 1.000 W a 220 V
2 resistencias de 22 kΩ
1 resistencia de 7 kΩ

Datos obtenidos:

$I_f = I_L = 3{,}55\,A$
$V_f = 128\,V$

$I_N = 0$
$W = 455\,W$

Se obtiene un neutro artificial con la condición: $R_1 = R_2 = R_V + R'$

Potencia activa total $= 3 \cdot W_1 = 3 \cdot 455 = 1365\,W$

$$P_r = 0$$
$$P = \sqrt{3}\, V_L \cdot I_L = \sqrt{3} \cdot 128 \cdot \sqrt{3} \cdot 3{,}55 = 1.363\,W$$

Se llega a la obtención de los mismos resultados que en el ejercicio anterior, puesto que no ha habido variaciones en los receptores.

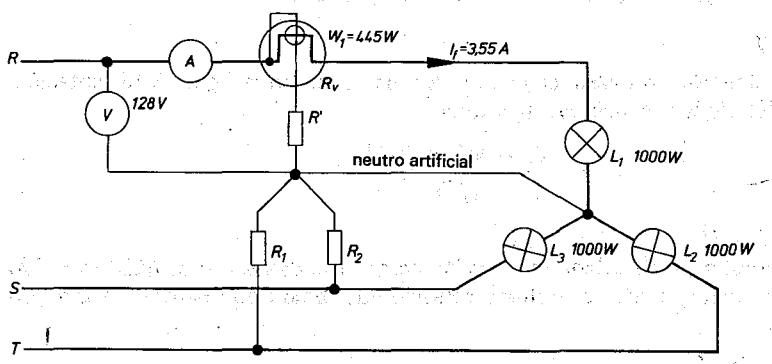


Fig. 6.18 Ejercicio de medida de potencia con neutro artificial.

Ejercicio de aplicación

Mídanse las potencias absorbidas por un motor de c.a. y dos lámparas incandescentes, según sistema desequilibrado con neutro (fig. 6.19).

Hállense la potencia total activa, la intensidad y el desfase total del circuito.

Solución:

Aparatos a emplear:

3 vatímetros
3 amperímetros
3 voltímetros

Elementos a emplear:

1 motor trifásico de 1/3 de CV
1 lámpara incandescente de 1000 W
1 lámpara incandescente de 500 W

Mediciones:

$V_{f_1} = 84\ V$ $\quad I_{f_1} = 2{,}4\ A$ $\quad W_1 = 200\ W$
$V_{f_2} = 161\ V$ $\quad I_{f_2} = 0{,}755\ A$ $\quad W_2 = 105\ W$
$V_{f_3} = 162\ V$ $\quad I_{f_3} = 2{,}3\ A$ $\quad W_3 = 345\ W$

P. activa total $= W_1 + W_2 + W_3 = 200 + 105 + 345 = 650\ W$

$$\cos \varphi_1 = \frac{W_1}{P_1} = \frac{W_1}{V_{f1} \cdot I_{f1}} = \frac{200}{84 \cdot 2{,}4} = 0{,}99;$$ le corresponde a un ángulo: $\varphi_1 = 7° 13'$

$$\cos \varphi_2 = \frac{W_2}{P_2} = \frac{W_2}{V_{f2} \cdot I_{f2}} = \frac{105}{161 \cdot 0{,}755} = 0{,}86;$$ le corresponde a un ángulo: $\varphi_2 = 30° 15'$

$$\cos \varphi_3 = \frac{W_3}{P_3} = \frac{W_3}{V_{f3} \cdot I_{f3}} = \frac{345}{162 \cdot 2{,}3} = 0{,}92;$$ le corresponde a un ángulo $\varphi_3 = 22° 19'$

P. reactiva total $P_{r1} + P_{r2} + P_{r3}$

$P_{r1} = P_{a1} \cdot \text{tg}\ \varphi_1 = 200 \cdot 0{,}1265 = 25{,}3$ VAr (inductivo).
$P_{r2} = P_{a2} \cdot \text{tg}\ \varphi_2 = 105 \cdot 0{,}5828 = 61{,}2$ VAr (inductivo).
$P_{r3} = P_{a3} \cdot \text{tg}\ \varphi_3 = 345 \cdot 0{,}4078 = 140{,}7$ VAr (inductivo).
$P_{r\,total} = 25{,}3 + 61{,}2 + 140{,}7 = 227{,}2$ VAr (inductivo).

Potencia aparente:

$$P = \sqrt{P_a^2 + P_r^2} = \sqrt{650^2 + 227{,}2^2} = 688{,}5\ VA$$

y el factor de potencia:

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{P} = \frac{650}{688{,}5} = 0{,}9439$$

Le corresponde a un desfase: $\varphi = 19° 16'$ (inductivo).

Se puede comprobar gráficamente el cálculo, como indica el diagrama de potencias de la figrua 6.20.

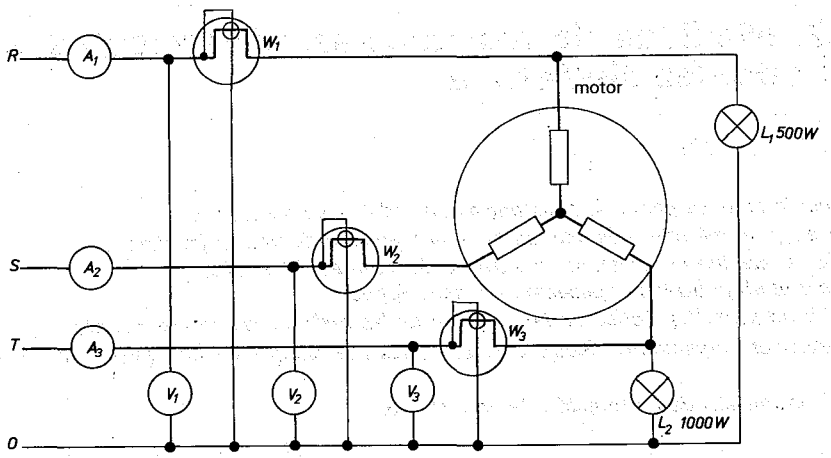


Fig. 6.19 Ejercicio de medidas de potencias en circuitos desequilibrados.

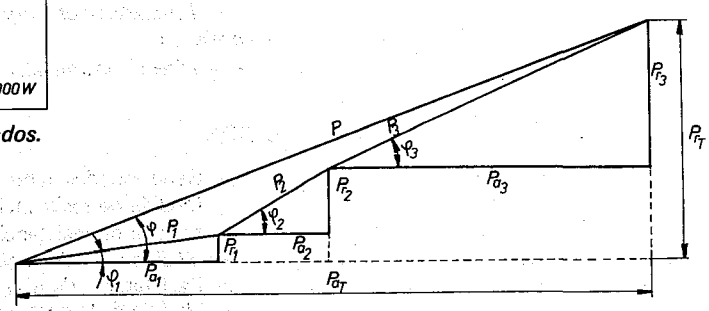


Fig. 6.20 Diagrama de potencias.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Hacer un estudio sobre el consumo de energía eléctrica, partiendo de la potencia, en un país industrializado.

— Recopilar información sobre receptores eléctricos, conectados a redes de energía trifásica, indicando los factores de potencia resultantes en cada uno.

CUESTIONARIO

— En un circuito conectado a c.a., se calculan las potencias activa, reactica y aparente, ¿cuál de ellas es la real? ¿por qué?

— Una instalación moderna de alumbrado consume potencia reactiva, ¿de qué tipo? ¿cómo se puede disminuir?

— ¿Qué ventajas presenta la conexión Arón?

— Un motor trifásico con rotor de anillos rozantes, cuya potencia nominal es de 24,5 CV, necesita una potencia reactiva de 12,87 kVAr. Sabiendo que el rendimiento mecánico es del $\eta =$ 87 % y la tensión de la línea de 380 V determinar:

a) el factor de potencia.
b) la potencia aparente.
c) la intensidad de corriente absorbida.

— En un circuito monofásico de 125 V hay, conectadas en paralelo, 10 lámparas de 125 V y 100 W cada una, y un motor monofásico que absorbe 20 A con cos $\varphi = 0{,}8$. Calcular la intensidad total de la línea de alimentación y el factor de potencia de la misma.

— Un taller, alimentado por una red monofásica de 220 V, 50 Hz, está compuesto de:
  a) un motor monofásico de 5 CV, con un cos $\varphi = 0{,}74$ y $\eta = 0{,}8$
  b) un motor monofásico de 10 CV, con un cos $\varphi = 0{,}76$ y $\eta = 0{,}82$
  c) 20 lámparas de 50 W cada una, dispuestas en paralelo.
— Calcular la corriente absorbida total y cos φ total a plena carga.

— Una línea trifásica de 50 Hz, alimenta una carga equilibrada que absorbe una corriente de 15,7 A. Los vatímetros, según conexión Arón, indican: $P_1 = 1{,}7$ kW y $P_2 = 3{,}45$ kW. Conectando en paralelo, con la carga anterior, una segunda carga equilibrada, los vatímetros señalan ahora: $P'_1 = 2{,}2$ kW y $P'_2 = 4{,}8$ kW. Calcular la tensión de la línea y el factor de potencia de cada una de las cargas.

Respuestas: $V_L = 220$ V · cos $\varphi_1 = 0{,}86$. Y cos $\varphi_2 = 0{,}78$.

BIBLIOGRAFIA

BANDINI A., *Medidas eléctricas 1/1* REDE, Barcelona 1967
BIASSUTTI G., *Electricidad*, Editorial Científico Médica, Barcelona 1971.
Catálogos de casas comerciales.
Trabajos de laboratorio de electricidad.

Tema 7. Medidas de resistencias, aislamientos y rigidez dieléctrica

OBJETIVOS

— *Conocer la extensa gama de resistencias en orden a su magnitud.*
— *Saber elegir el método más adecuado en la medición de una resistencia.*
— *Estudiar el cálculo de resistencias a través de puentes de medida.*
— *Conocer el óhmetro y su aplicación a instalaciones.*
— *Adquirir un sentido práctico en la medición de las resistencias de aislamiento.*
— *Interpretar el Reglamento Electrotécnico, en las mediciones de las resistencias de aislamiento.*
— *Idea de la tensión de perforación de un aislante.*

GUION

— Generalidades sobre medidas de resistencias.
— Medida de resistencias con voltímetro y amperímetro.
— Medida de resistencias por método directo
— Medida de resistencias con instrumento indicador.
— Resistencias de aislamiento en las instalaciones eléctricas.
— Medida de la resistencia de aislamiento de una instalación.
— Rigidez dieléctrica.

PUNTOS CLAVE

- Saber elegir el método más exacto cuando haya de medirse una resistencia.
- Experimentar el Reglamento Electrotécnico, en las pruebas de aislamiento de las instalaciones.
- Comportamiento de los aislantes al someterlos a tensiones elevadas. Rigidez dieléctrica.

EXPOSICION DEL TEMA

7.1 Generalidades sobre medidas de resistencia

Partiendo de la magnitud eléctrica *resistencia* como constante de cada material para lograr su medición ha de recurrirse a una fuente de alimentación (pila, batería). La tensión exterior hará circular una corriente y la resistencia se obtiene por cociente de ambos:

$$R = \frac{V}{I}$$

Puede apreciarse la diferencia existente con relación a las medidas de tensión, intensidades, potencias, etc. ya que con éstas no es necesaria la fuente de alimentación.

7.1.1 *Métodos de medida*

— Método indirecto: con el que se obtiene el valor de la resistencia por comparación con otra conocida.

— Método directo: el que calcula el valor, a través de otras magnitudes (tensión, corriente).

— Por instrumento indicador: que señala el valor directamente, sobre una escala graduada.

7.1.2 *Magnitud de las resistencias más usuales*

Antes de pasar a estudiar los diferentes métodos, es conveniente conocer el orden de magnitud de la resistencias más empleadas en circuitos, máquinas o aparatos eléctricos. Estas son:

— Inducidos de máquinas eléctricas de potencias elevadas, suelen valer: de 0,001 a 0,01 ohmios.

— Resistencias internas de amperímetros, de escobillas y polos auxiliares, entre 0,001 y 0,10 ohmios.

— Bobinados estatóricos de motores pequeños, resistencias de tierra y líneas aéreas; entre 0,10 y 10 ohmios.

— Resistencias de termos eléctricos, planchas, estufas, bobinados de A.T. en transformadores; de 10 a 100 ohmios.

— Resistencias internas voltimétricas adicionales para instrumentos de medida, filamentos de lámparas; de 100 a 1000 ohmios.

— Resistencias internas totales en voltímetros, resistencias de laboratorio; de 100 a 10 000 ohmios.

— Resistencias de aislamiento de máquinas, de instalaciones y lámparas en laboratorio; de 100 000 a 10 000 000 ohmios.

7.2 Medida de resistencias con voltímetro y amperímetro

Un método indirecto de medida de resistencias, de uso común en el laboratorio, es el basado en la ley de Ohm de c.c. Para ello se dispone de una fuente de tensión en la que se inercalan un amperímetro y un voltímetro, dando lugar a dos tipos de conexiones, según se conecte el amperímetro antes o después del voltímetro. Se debe utilizar c.c. para medir con exactitud la resistencia óhmica pura.

7.2.1 *Primer procedimiento* (fig. 7.1)

La medida de la resistencia se deduce de las lecturas del voltímetro y amperímetro, si bien se comete un pequeño error.

$$R = \frac{\text{lectura del voltímetro}}{\text{lectura del amperímetro}}$$

El error cometido se debe a que el amperímetro indica la suma de corrientes, voltimétrica y del receptor.

$$I = I_V + I_R$$

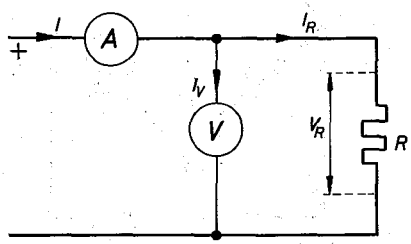


Fig. 7.1 Medida de resistencia con voltímetro y amperímetro.

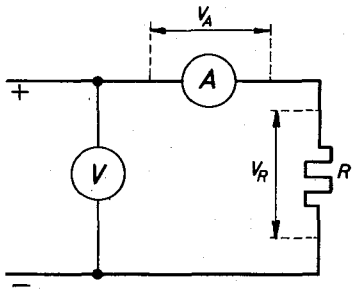


Fig. 7.2 Medida de resistencia con voltímetro y amperímetro.

Se puede corregir el error, hallando el valor de I_R:

$$I_R = I - I_v, \text{ o también } I_R = I - \frac{V}{r_v}$$

de modo que el valor real sería:

$$\boxed{R = \frac{V}{I - \frac{V}{r_v}}}$$

R = resistencia del receptor en ohmios
V = lectura del voltímetro en voltios
I = lectura del amperímetro en A
r_v = resistencia del voltímetro en ohmios

7.2.2 *Segundo procedimiento* (fig. 7.2)

El cálculo puede hacerse como cociente entre lecturas de voltímetro y amperímetro:

$$R = \frac{V}{I}$$

También aquí se comete un error, por indicar el voltímetro la suma de tensiones del receptor y caída de tensión en el amperímetro:

$$V = V_A + V_R$$

Para corregir este error se hallará el verdadero valor de tensión en bornas del receptor:

$$V_R = V - V_A, V_A = r_A \cdot I$$

$$R = \frac{V - V_A}{I} = \frac{V}{I} - \frac{V_A}{I} = \frac{V}{I} - \frac{r_A \cdot I}{I} = \boxed{\frac{V}{I} - r_A}$$

R = resistencia del receptor en ohmios
V = lectura del voltímetro en voltios
I = lectura del amperímetro en amperios
r_A = resistencia del voltímetro en ohmios

En medidas normales se puede despreciar el error de consumo de los aparatos y, como norma general, se empleará el primer caso en la medida de resistencias inferiores a 10 Ω y el segundo, en resistencias de 10 a 10.000 Ω.

Ejercicio de aplicación

La resistencia a 0 °C de una lámpara incandescente de 1000 W y 220 V es de 5Ω, al conectarla a una red de c.c. a 200 V, circula una corriente de 4,5 A. Sabiendo que el filamento es de tungsteno, cuyo coeficiente de temperatura a 0 °C es: $\alpha = 0{,}0042$, averiguar la temperatura alcanzada en el interior de la lámpara en su funcionamiento a 200 V.

Despréciese el error de consumo de aparatos y averíguese la potencia consumida por la lámpara en estas condiciones.

Solución:

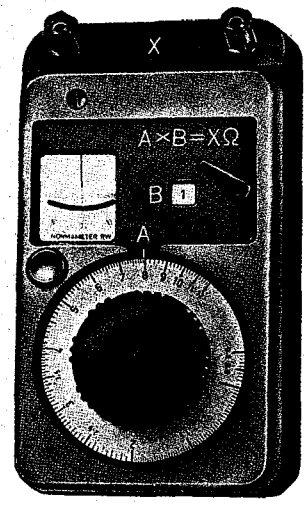
Este ejercicio es aplicación del coeficiente de temperatura, que viene a indicar el aumento de la resistencia eléctrica R en un conductor, cuando lo hace la temperatura. Al disminuir la temperatura, disminuye también la resistencia, y, a temperaturas próximas al cero absoluto (−273,16 °C), la resistencia eléctrica de algunos cuerpos prácticamente, se anula.

La relación entre resistencia y temperatura es:

$$R_C = R_f(1 + \alpha \Delta t); R_C - R_f = R_f \cdot \alpha \cdot \Delta t; \Delta t = \frac{R_C - R_f}{R_f \cdot \alpha}$$

Siendo:

R_C = resistencia en caliente = 44,4 Ω
R_f = resistencia en frío = 5 Ω
α = coeficiente de temperatura = 0,0042
Δt = temperatura final menos la inicial.
t_i = temperatura inicial a 0 °C.



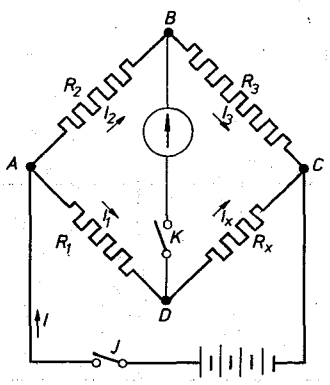


Fig. 7.3 Puente de Wheatstone (Kainos).

La resistencia en caliente será: $R_C = \frac{V}{I} = \frac{200}{4,5} = 44,4\ \Omega$

y la temperatura alcanzada será: $\Delta t = \frac{R_C - R_f}{R_f \cdot \alpha} = \frac{44,4 - 5}{5 \cdot 0,0042} = 1878°$

como: $\Delta t = t_f - t_i = t_f$; de modo que $t_f = 1878°$

Potencia: $P = V \cdot I = 200 \cdot 4,5 = 900\ W$

Se hubiera obtenido un resultado de 1.000 W, como indica el enunciado, de haber conectado a una red de 220 V.

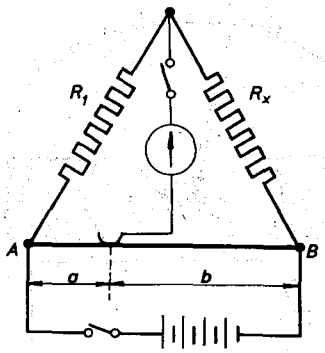


Fig. 7.4 Puente de hilo.

7.3 Medida de resistencias por método directo

Se pueden considerar diferentes tipos de instrumentos, aunque todos ellos se basan en la comparación de caídas de tensión, por el método de reducción a cero, de un galvanómetro (no circulando intensidad por él cuando se efectúa la medida).

7.3.1 *Puente de Wheatstone*

Es el más simple de los métodos (fig. 7.3).

Consta de 4 resistencias formando un cuadrilátero, una de ellas desconocida Rx y las otras conocidas.

Al cerrar el interruptor I se cerrará el circuito, aplicando entre los extremos A y C del circuito una tensión que haría circular las corrientes I_1, I_2, I_3, I_x.

La otra diagonal del cuadrilátero BD comprende un interruptor y un galvanómetro (amperímetro muy sensible con cero central).

Actuando sobre las resistencias R_1, R_2, R_3, se llegará a la condición de equilibrio del puente, que tendrá lugar cuando los nudos B y D estén al mismo potencial, y, por tanto, no circulará corriente, en el instante de oprimir el pulsador K, que se acusará por la posición de la aguja indicando el cero de la escala.

Una vez conseguido el equilibrio, se aplican al puente las leyes de Kirchhoff:

$$I_2 = I_3\ ;\ I_1 = I_x$$

$$R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2\ ;\ R_x \cdot I_x = R_3 \cdot I_3$$

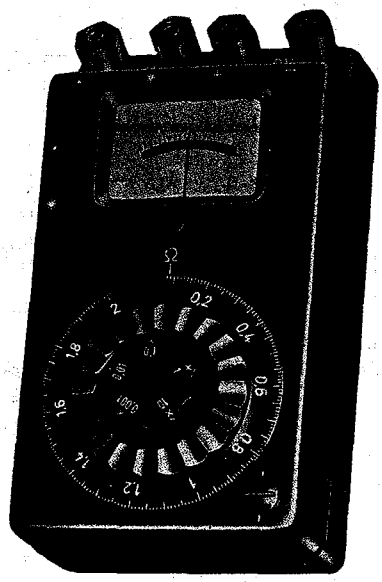
dividiendo las dos últimas expresiones:

$$\frac{R_1 \cdot I_1}{R_x \cdot I_x} = \frac{R_2 \cdot I_2}{R_3 \cdot I_3}\ ;\ \frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}$$

y despejando la incógnita:

$$\boxed{R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3}$$

Fórmula que permite conocer el valor de una resistencia, partiendo de otras tres conocidas. El cociente $\frac{R_1}{R_2}$ suele tomar un valor fijo y el ajustable es R_3



7.3.2 *Puente de hilo*

Es otro dispositivo para medir resistencias hasta 100 Ω (fig. 7.4).

Es similar al puente de Wheatstone, y emplea un hilo calibrado de resistencia muy pequeña, sobre el que se desliza el cursor unido al galvanómetro.

Una vez alcanzado el equilibrio, indicado por el galvanómetro, se calculará el valor de R_x por:

$$\boxed{R_x = \frac{b}{a} \cdot R_1}$$

Siendo *a* y *b* las resistencias del hilo calibrado, que a su vez son proporcionales a la longitud del hilo, de este modo será suficiente colocar una regla graduada, y obtener directamente el cociente *b/a*

El cálculo de la resistencia se obtiene como producto de *b/a* por la constante R_1.

7.3.3 *Doble puente de Thomson*

Es muy útil en las mediciones de resistencias muy pequeñas, siempre inferiores a 1 ohmio (fig. 7.5).

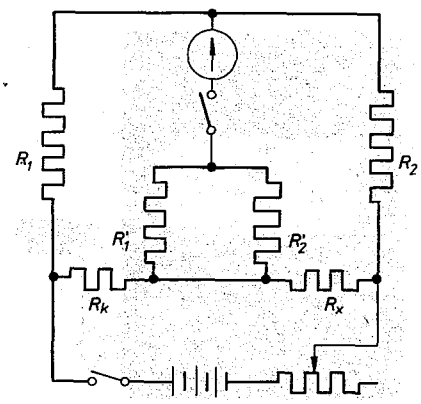


Fig. 7.5 Puente de Thomson (Kainos).

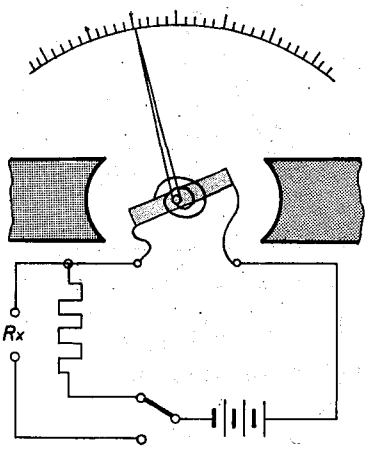


Fig. 7.6 Ohmetro amperimétrico.

Consta de 4 resistencias patrón, R_1, R_2, R_1', R_2', una resistencia calibrada R_k (varilla de manganina) y un galvanómetro.

Está basado en la comparación de las caídas de tensión en la R_k (conocida) y la R_x (desconocida), conectadas en serie.

Cuando el galvanómetro señale el 0 en la escala se cumplirá:

$$R_x = R_k \frac{R_1}{R_2}$$

El cálculo de la R_x se hace multiplicando la R_k (calibrada, y por tanto conocida), por la relación R_1/R_2 (de valor variable).

7.4 Medida de resistencias con instrumento indicador

Cuando se han de efectuar medidas de resistencias elevadas, se recurre al instrumento indicador portátil, señalando, sobre una escala graduada, directamente el valor de la resistencia. Este instrumento se llama óhmetro.

Los óhmetros pueden ser de una bobina o amperimétricos (fig. 7.6), y de dos bobinas cruzadas o electromagnéticos (fig. 7.7).

7.4.1 *Ohmetro amperimétrico*

Consiste en un amperímetro electromagnético de bobina móvil, conectado en serie con la resistencia a medir y alimentado por una pila.

No se debe emplear en medidas de gran precisión; y suele ser de uso común en instrumentos portátiles universales (téster).

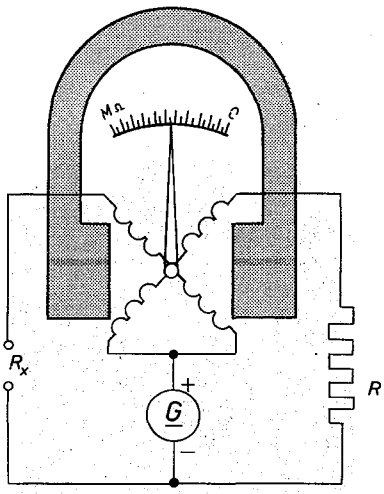


Fig. 7.7 Ohmetro de bobinas cruzadas.

7.4.2 *Ohmetro de bobinas cruzadas* (fig. 7.7)

Consta de un imán permanente que produce un campo magnético, en cuyo interior pueden girar las dos bobinas unidas entre sí, formando un ángulo de 90°.

Una de las dos bobinas está conectada en serie a una resistencia de valor elevado conocida (R) y la otra bobina está unida en serie a la resistencia desconocida (R_x).

En la mayoría de los casos la tensión es suministrada por una pila o un generador de manivela (megger) (fig. 7.8). Actualmente, estos instrumentos se alimentan directamente a la red de c.a. 220 V consiguiéndose, con rectificadores, la fuente de tensión en c.c.

Las bobinas son recorridas por dos corrientes, dependientes del valor de las resistencias de los circuitos que atraviesan. Cada bobina se desplazará buscando el máximo flujo, que sucederá cuando el eje de la bobina esté en la misma dirección del campo inductor. El índice del óhmetro girará sobre una escala, un ángulo proporcional al efecto resultante entre los dos pares de sentidos contrarios creados en las bobinas, hasta encontrar la posición de equilibrio, ya que no dispone del muelle antagonista. Si no pasa corriente por las bobinas, la posición de la aguja es indiferente, pudiendo ocupar cualquier lugar de la escala.

El valor indicado por el instrumento sobre la escala depende del valor de la resistencia desconocida; normalmente, la escala dispone del 0 en la derecha y la de infinito, en la izquierda.

Se debe añadir que el valor de R_x es independiente de la tensión generada. Su aplicación está extendida en el campo de instalaciones eléctricas, resistencias de aislamiento y resistencias de tierras.

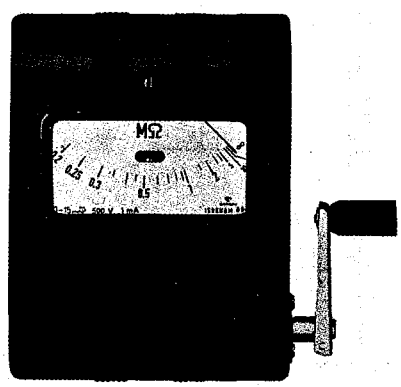


Fig. 7.8 Medidor de aislamientos (Kainos).

7.5 Resistencias de aislamiento en las instalaciones eléctricas

Para realizar mediciones de resistencias de aislamiento en instalaciones eléctricas ha de procurarse un buen aislamiento entre el dispositivo medidor y la tierra.

Todas las instalaciones eléctricas están unidas entre sí y con tierra a través de materiales aislantes: aisladores, cajas de empalme, etc. Como no existen aislantes perfectos, al quedar sometidos a una d.d.p. entre ellos y los conductores, siempre habrá corrientes de circulación, llamadas corrientes de fuga.

La resistencia de aislamiento se obtiene como cociente entre la tensión y la corriente de fuga. Cuanto más larga sea la instalación, mayores serán las corrientes de fuga y por tanto menor será la resistencia de aislamiento.

El valor de la resistencia es variable, ya que depende de otros factores, como humedad, temperatura, etc. admitiéndose una variación en el resultado de un 10 %.

Un aislamiento defectuoso puede provocar un cortocircuito, y éste, un incendio; por esta causa se han dado normas rigurosas sobre las pruebas de aislamientos que deben realizarse en cualquier instalación que vaya a estar bajo tensión.

En general, las normas de aislamiento se refieren a la medición de la resistencia de aislamiento, entre la instalación y tierra, y entre conductores.

Una norma general, que se ha de cumplir antes de poner en servicio una nueva instalación conectándola a la red, es que presente una resistencia global de aislamiento con respecto a tierra de (1000 U) ohmios, como mínimo, siendo U la tensión máxima de servicio expresada en voltios; con un mínimo de 250.000 ohmios.

Para cada tipo de instalación, como líneas telefónicas, circuitos de refrigeración, máquinas, transformadores, etc., existen normas específicas.

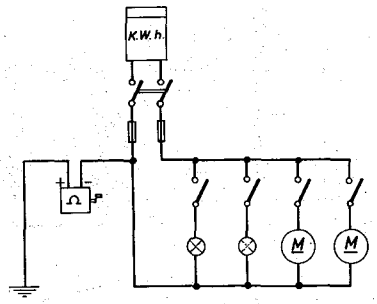


Fig. 7.9 Medida de la resistencia de aislamiento de una instalación.

7.6 Medida de resistencia de aislamiento de una instalación

Normalmente se realizan las medidas con el óhmetro de bobinas cruzadas. Se pueden realizar tres pruebas diferentes:

a) Medida de resistencia de aislamiento global de la instalación con respecto a tierra.
b) Medida de la resistencia de aislamiento de cada conductor con respecto a tierra.
c) Medida de la resistencia de aislamiento de dos conductores entre sí.

7.6.1 *Medida del aislamiento entre la instalación y tierra* (fig. 7.9)

La medida, para línea bifilar, se debe realizar separada totalmente de la red (se abre el interruptor general o los fusibles), dejando conectados todos los receptores que comprenda la instalación (lámparas, motores, calentadores, estufas, etc.).

A continuación se conecta el terminal positivo del óhmetro a una buena toma de tierra (en su defecto puede servir la tubería de conducción de agua) y el negativo, a uno cualquiera de los conductores de la instalación.

Finalmente, se gira la manivela del óhmetro a una velocidad de unas dos vueltas por segundo y se mide la resistencia. Si la resistencia es igual o superior a las exigidas por las normas vigentes, se considera que la instalación está suficientemente aislada y se pasa a realizar la prueba *C*.

Caso de obtener valores de resistencia inferiores a las dadas por las normas habrá de buscarse qué parte de conductor no está aislada correctamente, realizando para ello la prueba *b*.

7.6.2 *Medida del aislamiento entre cada conductor y tierra*

Se realiza según las normas dadas para el óhmetro en *a*, aunque se deben quitar las lámparas, desconectar todos los receptores y cerrar todos los interruptores de la instalación. El terminal negativo se conectará a cada conductor de la instalación, hasta averiguar en qué parte del circuito está el defecto, y para ello se deberán desconectar los circuitos derivados en las cajas de derivación, hasta encontrar finalmente la parte de conductor con defecto en el aislamiento con respecto a tierra.

7.6.3 *Medida del aislamiento entre conductores*

Se realiza según las normas dadas para la prueba *b*, con la única diferencia de conectar los dos terminales del óhmetro a los dos conductores de la instalación.

El procedimiento empleado en todas las pruebas es el mismo para cualquier instalación, tanto si es de c.c. como de c.a. o polifásica, con la condición de separarla de la red, incluido el neutro.

En las pruebas con respecto a tierra, para evitar variaciones del aislamiento por efecto electroquímico, es conveniente conectar a tierra el terminal positivo del generador de c.c.

7.7 Rigidez dieléctrica

En las instalaciones eléctricas intervienen conductores, por los que circula la corriente eléctrica, y aislantes o dieléctricos, que no permiten su paso. Tan importantes son unos como otros, ya que ambos son imprescindibles en cualquier circuito eléctrico.

El aislante perfecto no existe; pero dentro de la gama de sustancias que se aproximan al aislante perfecto están: el vidrio, ebonita, plásticos, azufre, caucho, lacre, porcelana, mica, aire seco, aceites minerales, pyraleno, etc.

Se define la rigidez dieléctrica como la d.d.p. capaz de perforar un aislante determinado.

De modo que, cualquier material aislante, puede ser atravesado por una corriente eléctrica, si se eleva suficientemente la tensión. De aquí se desprende la gran importancia que supondrá conocer el valor de la tensión capaz de perforar un aislante determinado, teniéndolo presente a la hora de aislar una línea, una máquina sometida a A.T., maniobrar un aparato, etc., con objeto de evitar averías, cortocircuitos y, lo que es más importante, accidentes a personas que trabajan en circuitos sometidos a estas tensiones.

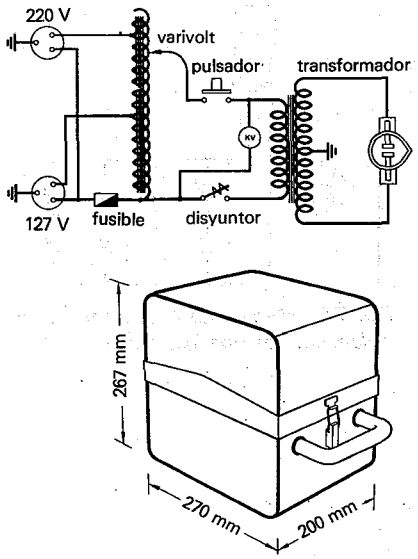


Fig. 7.10 Ensayador portátil de aceite.

7.7.1 *Equipos de ensayo*

La determinación de las tensiones de perforación en los aislantes se consigue con los ensayadores de rigidez dieléctrica (chispómetros), tanto para sólidos como para líquidos.

Los equipos más usuales en laboratorio para ensayos de rigidez dieléctrica de los líquidos (aceite de transformadores, aceite mineral, pyraleno, etc.) constan de un transformador elevador, hasta 50 kV cuyas salidas van conectadas a dos esferas o discos metálicos de cobre, alojadas en un recipiente o vaso. Acompaña al instrumento una tabla que indica la separación entre las esferas, según las normas que se adopten. Para comprobar la rigidez dieléctrica de un aceite, se coloca el aceite en el vaso, hasta que los electrodos quedan cubiertos totalmente por el mismo; se une a tierra la borna que lo indique para evitar accidentes, y finalmente se aumenta la tensión girando el mando del autotransformador hasta que salte la chispa y el voltímetro indique la tensión de perforación. La separación normal suele ser de 3 mm (fig. 7.10).

El ensayador para sólidos es muy parecido al anterior, sólo que las salidas de alta tensión van a parar a dos pistolas aislantes que se aplica en los aislantes a ensayar (fig. 7.11).

En general, la rigidez dieléctrica de los materiales aislantes depende del espesor del aislante, del tiempo de aplicación de la tensión, de la temperatura y del grado de humedad.

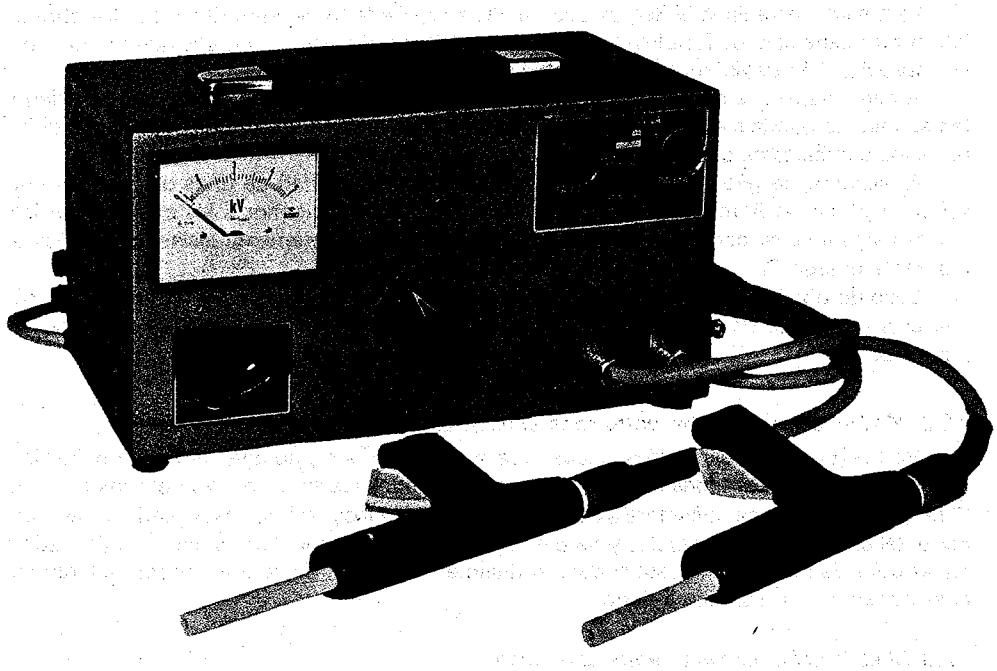


Fig. 7.11 Medidor de la rigidez dieléctrica de sólidos (Kainos).

7.7.2 *Normas para el ensayo de rigidez*

La rigidez dieléctrica de una instalación de baja tensión (B.T), ha de ser tal que, desconectados los aparatos de utilización, resista, durante 1 minuto, una prueba de tensión de 2 U +1000 V a 50 Hz, siendo U la tensión máxima de servicio en voltios y con un mínimo de 1500 V.

Este ensayo se realizará para cada uno de los conductores, incluido el neutro, con relación a tierra, y entre conductores. Durante este ensayo los aparatos de interrupción se pondrán en posición *cerrado* y los fusibles como en servicio normal. Este ensayo no se realizará en instalaciones eléctricas, realizadas en locales que presenten riesgos de incendio o explosión. (Instrucción 017, 2-8 complementaria del Reglamento Electrotécnico para B.T.)

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Comparar las resistencias de las máquinas eléctricas de c.c. con las de c.a., siendo ambas de potencias elevadas.

— Dibujar dos esquemas eléctricos sobre la comprobación del aislamiento en instalaciones de interiores. Explicarlos.

CUESTIONARIO

— ¿Es necesario disponer de una pila en un téster para medida de resistencias?

— ¿Cuál es el fundamento del puente de Wheatstone?

— ¿Se puede medir con un puente de Wheatstone la resistencia de una lámpara, cuando está conectada a una red? ¿Por qué?

— ¿Presenta alguna ventaja el puente de hilo?
— ¿Qué método se debe emplear en mediciones de resistencias muy pequeñas?
— ¿Qué sucedería, si al medir la resistencia del aislamiento de una instalación de B.T. (220 V) diese un valor de 460000 ohmios? ¿y si fuese de 225000 ohmios?
— ¿Afecta, de algún modo, la humedad al aceite de refrigeración de un transformador?
— ¿Se puede disminuir la humedad?
— Comprobar la resistencia de aislamiento de un motor, de un calentador eléctrico y de un frigorífico.
— ¿Por qué no se debe hacer la prueba de rigidez dieléctrica en instalaciones eléctricas de ambientes explosivos?

El coeficiente de temperatura (α) para el cobre es: $1/234{,}5 + t_i$, siendo t_i la temperatura inicial. Averiguar qué temperatura alcanzará un polo de una máquina que tiene arrollada una bobina de cobre, que a 20 °C presenta una resistencia de 30 ohmios, y en caliente, llega a 35 ohmios. Solución: T = 62,4 °C.

BIBLIOGRAFIA

BANDINI A., *Medidas eléctricas,* tomo 1/1, REDE, Barcelona.
BIASUTTI, G., *Electricidad,* Científico-Médica, Barcelona 1970.
Reglamento electrotécnico de Baja Tensión, 1973.
Catálogos de casas comerciales (Electromediciones Kainos, S.A.).

Tema 8. Resistencias de tierra

OBJETIVOS

— *Interpretación del Reglamento Electrotécnico de B.T., en cuanto a seguridad en las instalaciones eléctricas.*
— *Conocer la importancia de las puestas a tierra, tan a menudo exigidas en cualquier circuito eléctrico.*
— *Estudio de las características idóneas de los electrodos enterrados.*
— *Saber elegir las secciones de los diferentes conductores que intervienen en las puestas a tierra.*
— *Explicación de la determinación práctica de una resistencia de tierra.*

GUION

— Introducción.
— Puesta a tierra.
  Tomas de tierra:
  Líneas principales de tierra.
  Derivaciones de las líneas principales de tierra.
  Conductores de protección.
— Mediciones de resistencias de toma de tierra.
  Método para la determinación de la resistencia de tierra.
  Determinación de la resistividad de un terreno.

PUNTOS CLAVE

— Conocer el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, y las Instrucciones Complementarias.
— Función y conocimiento de una buena toma de tierra.
— Idea clara de los factores que intervienen en la determinación de las puestas a tierra.

EXPOSICION DEL TEMA

8.1 Introducción

El reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, que comprende las normas básicas de carácter más general y permanente, aprobado el 20 de septiembre de 1973, tiene por objeto establecer las condiciones y garantías de las instalaciones eléctricas de B.T., en cuanto a seguridad del personal y del material de la instalación, con el fin de evitar averías, incendios y explosiones.

Al mismo tiempo (31 de octubre de 1973), fueron aprobadas las Instrucciones Técnicas Complementarias, denominadas Instrucciones MI BT, que presentan continuas revi-

siones, con objeto de adaptarse al desarrollo y evolución de la técnica. Estas Instrucciones complementarias, concretan y actualizan las condiciones del Reglamento de B.T., determinando:

— Realización física de la instalación (aislada, empotrada, al aire, etc.).

— Características del material a emplear (calidad del cable, material de tomas de corriente, secciones mínimas de conductor, etc.).

— Dispositivos de protección de la instalación (fusibles, interruptores diferenciales automáticos, de tensión, etc.)

— Comprobaciones a efectuar en la instalación, con determinación de valores límites de magnitudes eléctricas importantes.

En cuanto a seguridad personal, la idea general del Reglamento es la de no superar la tensión de 24 V en suelos húmedos (que conducen la corriente) o 50 V en suelos secos (no conductores de corriente); en ambos casos será la tensión existente entre cualquier masa accesible al personal y tierra.

Una vez conocidas las normas generales, se centra el tema en las tomas de tierra y su medición.

8.2 Puesta a tierra

Se denomina *puesta a tierra*, toma de tierra, o simplemente tierra, a un conductor metálico enterrado en el suelo. También se define, según normas UNE, como masa conductora de la tierra, a todo conductor unido a ella por una impedancia muy pequeña, en el que la impedancia sea el cociente de la tensión en los bornes del circuito por la corriente que circula por él.

El objeto de la puesta a tierra, es limitar la tensión que con respecto a tierra pueden presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado. El conjunto de partes metálicas de un aparato que, en condiciones normales, están aisladas de las partes activas, se llama *masa.*

La puesta a tierra se hace sin fusible ni protección alguna, uniendo algunas partes de la instalación, con conductores de secciones adecuadas a los electrodos, enterrados en el suelo, permitiendo así el paso a tierra de las corrientes de defecto o las descargas de origen atmosférico.

Cualquier sistema de puesta a tierra (fig. 8.1) constará de las siguientes partes:

— Tomas de tierra.
— Líneas principales de tierra.
— Derivaciones de las líneas principales de tierra.
— Conductores de protección.

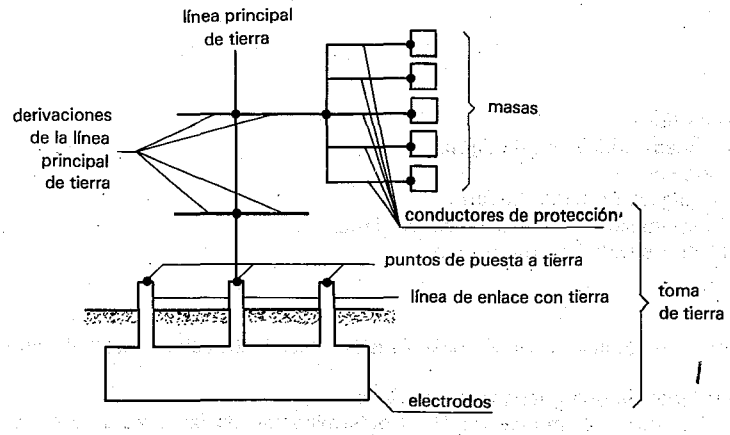


Fig. 8.1 Circuito de puesta a tierra.

8.2.1 *Tomas de tierra*

Las tomas de tierra estarán constituidas, a su vez, por las partes que se enumeran a continuación:

— electrodo;
— línea de enlace con tierra;
— punto de puesta a tierra.

8.2.1.1 *Electrodo*

Es una masa metálica en contacto permanente con el terreno, para facilitar el paso de las corrientes de fuga. Los electrodos pueden ser naturales o artificiales.

Los electrodos naturales están constituidos por conducciones metálicas enterradas, como conducciones de agua, cubiertas de plomo, de cables en redes subterráneas o pilares metálicos, de los edificios que se construyen con estructuras metálicas.

Los electrodos artificiales pueden ser barras, tubos, placas, cables, pletinas u otros perfiles, que a su vez pueden combinarse formando anillos o mallas metálicas. Los metales deben ser inalterables a la acción de la humedad y del terreno como son cobre, hierro galvanizado y fundición de hierro. En general, la sección de un electrodo no debe ser inferior a 1/4 de la sección del conductor que forma la línea principal de tierra.

Las placas metálicas (fig. 8.2) suelen ser de cobre o palastro galvanizado, con un espesor mínimo de 2,5 mm y sección de 0,5 m^2. Se colocan vertical u horizontalmente, con una separación de unos 3 m.

Es más empleado el sistema de toma de tierra, por picas (fig. 8.3), clavadas en el terreno verticalmente. Estas picas suelen ser tubos de acero galvanizado de 25 mm de diámetro exterior mínimo, perfiles de acero dulce galvanizado de 60 mm de lado mínimo y barras de cobre o acero de 14 mm de diámetro mínimo; en todos los tipos, la longitud no será inferior a 2 m. Cuando sean necesarias 2 o más picas, la separación entre ellas será mayor que la longitud de una de ellas, como indica la figura 8.3 b.

Para clavar las picas con más facilidad, la primera va provista de una punta de acero templado y las siguientes se acoplan entre sí, penetrando en el terreno por la acción de golpes de mazas. Normalmente, se señalan en el terreno para su posterior vigilancia y mantenimiento (fig. 8.3c).

También existen otros conductores enterrados horizontalmente (fig. 8.4) que sirven de toma de tierra, como cables de cobre desnudo de 35 mm^2 de sección, pletinas de cobre de 2 mm de espesor (fig. 8.4 a), pletinas de acero galvanizado de 100 mm^2 de sección; cables en forma de bucle de acero galvanizado de 95 mm^2 de sección (mínima) (fig.8.4 b). La profundidad mínima será de 50 cm. Cuando se emplean varias ramificaciones, se obtiene la toma de tierra en estrella, en bucle o en malla (fig. 8.5).

Una buena toma de tierra es la que consigue resistencias de contacto entre los electrodos y la tierra, muy pequeñas; por ejemplo: las tuberías de una distribución de agua, que puede llegar a 0,1 ohmios.

En cuanto a normas para toma de tierra en interiores de viviendas, locales y oficinas, estudiar (MI BT 023).

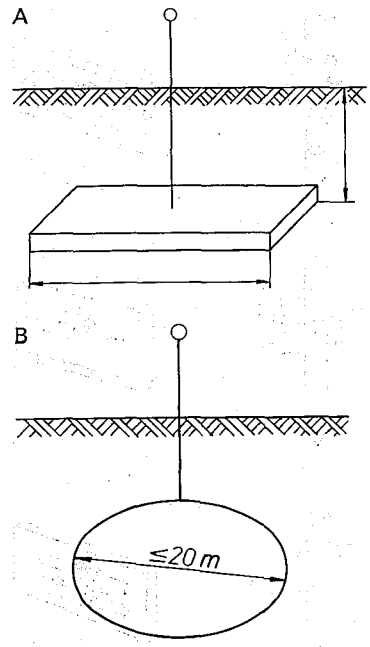


Fig. 8.4 Electrodos artificiales de tomas de tierra: A, de pletina; B, de conductor en bucle.

8.2.1.2 *Líneas de enlace con tierra*

Está formada por los conductores que unen el electrodo, o conjunto de electrodos, con el punto de puesta a tierra. Los conductores de enlace con tierra desnudos en el suelo, se considera que forman parte del electrodo, y deberán ser de cobre u otro metal de alto punto de fusión, con un mínimo de 35 mm^2 en caso de ser cobre, y mayores, si son otros metales.

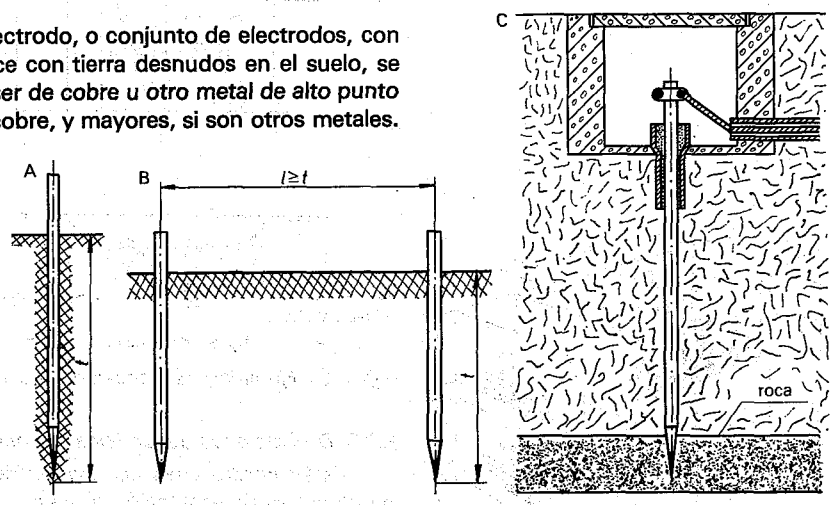


Fig. 8.3 Instalación de las picas de tierra: A, instalación de una pica; B, instalación de dos picas en paralelo; C, instalación de una pica en arqueta de hormigón.

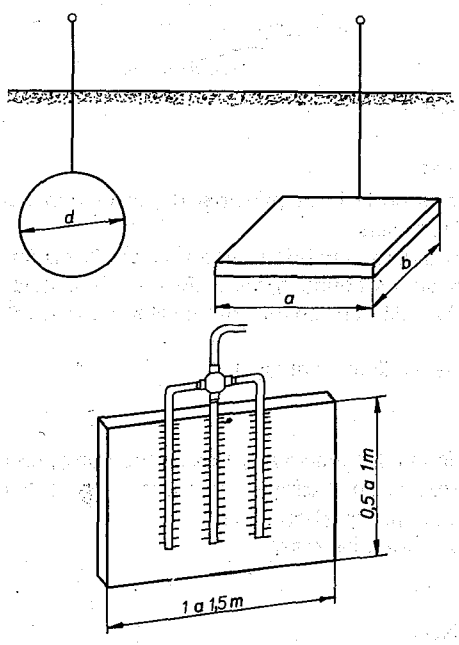


Fig. 8.2 Electrodos en forma de placas.

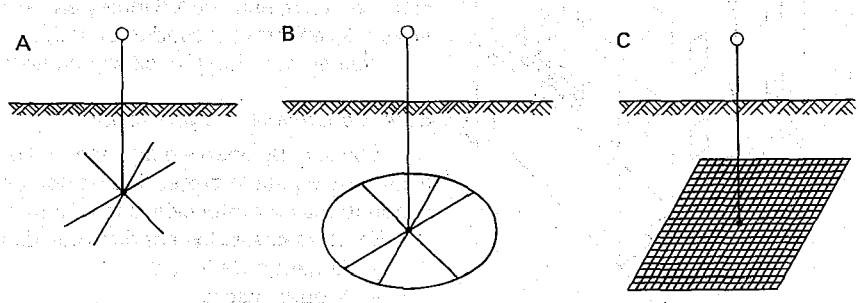


Fig. 8.5 Electrodos con ramificaciones en tomas de tierra: A, en estrella; B, en bucle; C, en malla.

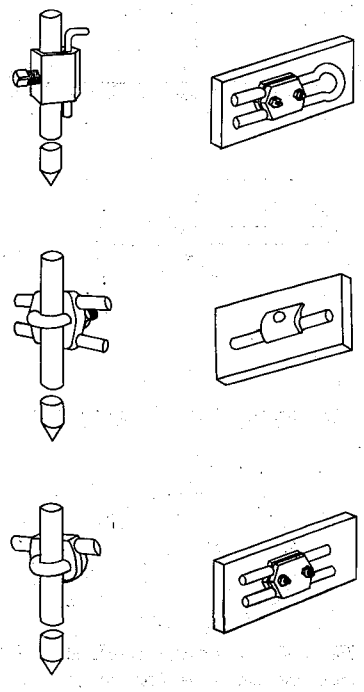


Fig. 8.6 Dispositivos de conexión (grapas, tornillos, remaches, etc.).

8.2.1.3 *Punto de puesta de tierra*

Es un punto situado fuera del suelo que sirve de unión entre la línea de enlace con tierra y la línea principal de tierra.

El número de puntos de puesta a tierra dependerá del tipo de instalación, estando conectados al mismo electrodo o conjunto de electrodos.

El punto de puesta a tierra es un elemento de conexión (grapa, regleta, placa, borne, etc.) que une los conductores de la línea de enlace con la principal de tierra (fig. 8.6).

Está prohibido por el Reglamento (MI BT 039, 8.5) intercalar en circuitos de tierra seccionadores, fusibles o interruptores; solamente se permite disponer de un dispositivo de corte en los puntos de puesta a tierra, de forma que permita medir la resistencia de la toma de tierra.

8.2.2 *Líneas principales de tierra*

Las constituyen los conductores que parten del punto de puesta a tierra y a los cuales se conectan las derivaciones necesarias para la puesta a tierra de las masas, normalmente a través de conductores de protección (fig. 8.7).

Los conductores que constituyen las líneas principales son de cobre u otro metal de alto punto de fusión y sección calculada con amplitud, con un mínimo de 16 mm² de sección en el caso del cobre, o la que tenga la misma conductancia que un conductor de cobre de 16 mm² de sección.

El tendido de los conductores se hace buscando los caminos más cortos y evitando los cambios bruscos de dirección. Se evitará someterlos a esfuerzos mecánicos y estarán protegidos contra la corrosión y desgaste mecánico.

La línea principal de tierra termina en el punto de puesta a tierra, teniendo especial cuidado en hacer la conexión por medio de piezas de empalme adecuadas, asegurando una conexión eficaz. Suelen emplearse tornillos, remaches o soldaduras de alto punto de fusión fig. 8.8).

Si se utiliza como electrodo la conducción de agua, su conexión se realiza por medio de un conductor protegido contra los ataques químicos.

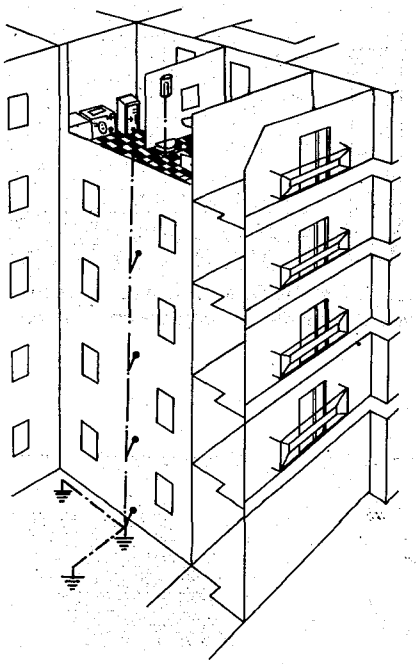


Fig. 8.7 Instalación de puesta a tierra en un edificio de viviendas.

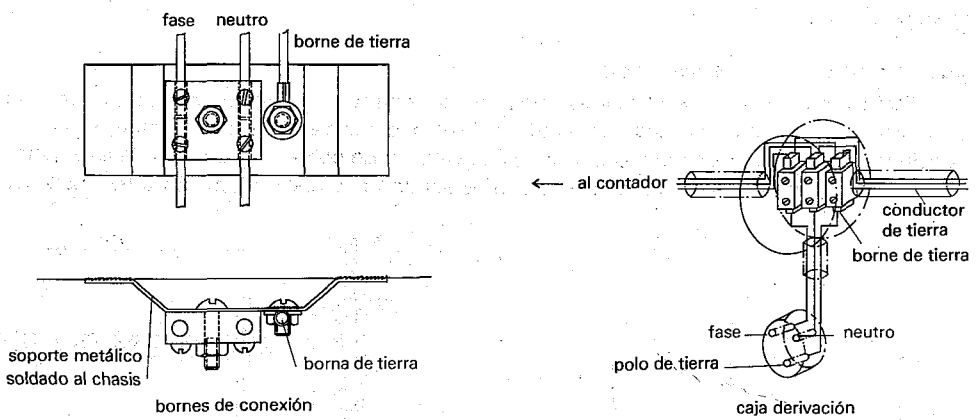


Fig. 8.8 Ejemplos de conexión para puesta a tierra.

8.2.3 *Derivaciones de las líneas principales de tierra*

Están constituidas por los conductores que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o directamente con las masas.

Como en los casos anteriores, serán de cobre u otro metal de elevado punto de fusión.

La sección mínima dependerá de la sección de los conductores activos de la instalación, con un mínimo de 2,5 mm² y en los casos de S > 35 mm² un máximo de S 5/2, siendo S la sección en mm² del conductor activo.

Para su canalización, se siguen las normas de las líneas principales.

8.2.4 *Conductores de protección*

Son los que unen eléctricamente las masas de una instalación a otros conductores, con el fin de asegurar la protección de contactos indirectos. En el circuito de puesta a tierra, los conductores de protección unen las masas a la línea principal de tierra.

En otros casos, los conductores de protección unen las masas:

— Al neutro de la red.
— A otras masas.
— A elementos metálicos distintos de las masas.
— A un relé de protección.

Como norma general, la conexión de las masas y los elementos metálicos al circuito de puesta a tierra, se realiza siempre por derivaciones desde éste, por estar prohibida la conexión serie, según indica el Reglamento de B.T. (MI BT 039).

En la instalación de los conductores de protección se tendrán en cuenta estas normas dictadas por el Reglamento (MI BT 017):

— Las conexiones en estos conductores se harán por empalmes soldados o por piezas de conexión de apriето fabricadas con materiales inoxidables.

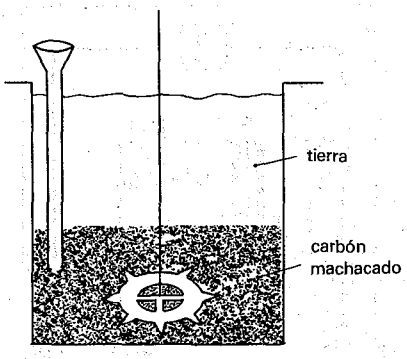
— Su protección es obligatoria en pasos a través de los elementos de la construcción: muros, estructuras, etc.

— Si son conductores desnudos, alejarlos de elementos combustibles.

— No utilizar un conductor de protección común para instalaciones de tensiones nominales diferentes.

— Tomar precauciones para evitar el deterioro de los conductores por efectos electroquímicos, al conexionar metales diferentes.

A continuación se indican las corrientes admisibles que soportan los conductores más empleados en circuitos de tierra (tabla 8.9).



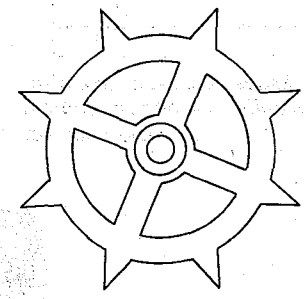


Fig. 8.10 Toma de tierra de pararrayos.

8.3 Mediciones de resistencias de tomas de tierra

La determinación de la resistencia del suelo y de las tomas de tierra tiene gran importancia en el campo de la ingeniería eléctrica, geológica y de comunicaciones.

En las redes de transporte y distribución de energía eléctrica y en las protecciones contra descargas atmosféricas, rayos (fig. 8.10) interesa obtener el más bajo nivel posible de las resistencias de tomas de tierra; se permite, como máximo, de 10 Ω. Con ello se logra una eficaz protección de las instalaciones, seguridad personal y reducción de ruidos de origen atmosférico e inductivo en las instalaciones de comunicaciones.

Una toma de tierra mal hecha, no solamente resulta ineficaz sino que se convierte en peligrosa, en aquellos casos en los que una parte de la instalación se pone en contacto con un conductor cuya d.d.p. con relación a tierra sea elevada.

Entonces todas las masas conectadas quedan sometidas a esa tensión elevada, con los riesgos consiguientes.

La valoración de la resistividad de un terreno puede ser ayuda estimable al proyectar las puestas a tierra de las instalaciones.

Debido a la posibilidad de variación de la resistencia de tierra por influencias químicas, biológicas e hidrológicas, es necesaria la comprobación periódica de las resistencias de tierra; normalmente, la comprobación será anual.

En la actualidad se fabrica una amplia gama de aparatos de medida bien para efectuar mediciones de una sola magnitud bien agrupando varios instrumentos de medida en uno solo: polímetros. Con ellos se logra un notable ahorro de tiempo ya que permiten realizar todas las mediciones que exige el Reglamento Electrotécnico (fig. 8.11).

8.3.1 *Método para la determinación de la resistencia de tierra*

Las medidas de resistencia de tierra han de hacerse con c.a. para evitar las f.e.m. de polarización, debidas a los efectos electrolíticos que tendrían lugar caso de emplear c.c.

La medida de resistencia de tierra está basada en el puente ideado por Behrend, que permite la lectura directa del valor de la medida.

Tabla 8.9 Corriente admisible en los conductores de tierra

Sección en mm²	*Máxima corriente admisible en Amp.*		
	Conductores de Acero	*Conductores de Aluminio*	*Conductores de Cobre*
35	—	200	250
50	100	250	350
70	175	—	—
100	200	—	—
200	300	—	—



mide directamente sin cálculos:
- resistencia en general 0 ..... 1.000 Ω (con pila 1,5 V)
- resistencia de bucle 0 ..... 100 Ω (a 220 V 50 Hz)
- resistencia de tierra 0 ..... 100 Ω (a 220 V 50 Hz)
- resistencia de suelos 0 ..... 5 MΩ (a 220 V 50 Hz)
- resistencias de aisla 0,2 ..... 10 MΩ (a 500 V c.c.)
- tensiones en general 0 ..... 125/220 V.

comprueba directamente, sin cálculos:
- los interruptores diferenciales
- los interruptores con bobina de tensión
- la rigidez dieléctrica a 2 kV, 50 Hz

ejecución:
el equipo está dispuesto dentro de una maleta de dimensiones 400 x 270 x 100 mm y de peso de 4,5 Kg.

Fig. 8.11 Comprobador universal de protecciones en instalaciones de Baja Tensión (Kainos).

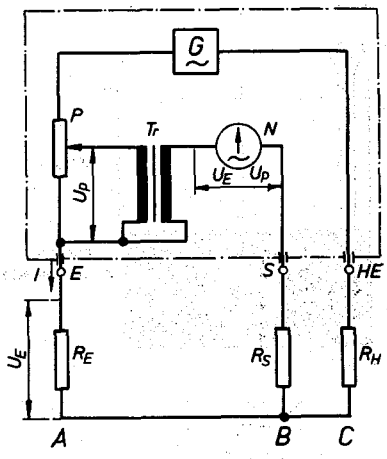
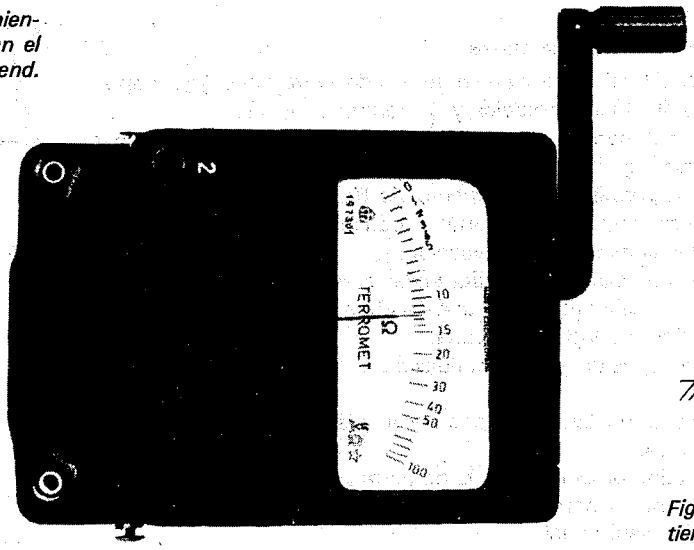


Fig. 8.12 Esquema de funcionamiento de un medidor de tierras según el principio Behrend.

La figura 8.12 representa el principio en que se basa la medida.

Sea E la toma de tierra cuya resistencia R_E quiere determinarse. Se coloca otra toma de tierra auxiliar HE de resistencia R_H a una distancia de unos 20 m y una sonda S de resistencia de puesta a tierra R_S en posición intermedia. Un generador de c.a. *G*, genera la tensión que sirve de fuente para la corriente de medida. Esta corriente circula a través del potenciómetro (reóstato) de medida P, de la toma E y a través de tierra regresa por la tierra auxiliar R_H al generador. La corriente de medida origina en P una caída de tensión U_p, en el primario del transformador T_r de relación de transformación igual a 1, invirtiendo la tensión en el secundario $-U_p$. El galvanómetro N indicará cero (compensación) cuando por actuación sobre P se haya conseguido que $U_E = U_p$, cumpliéndose entonces también que: $R_E \cdot I = R_p \cdot I$ ó $R_E = R_p$, con lo que se lee en el potenciómetro P el valor de la resistencia de toma desconocida R_E.

Mediante diseño especial se consigue aislar la medición de las corrientes parásitas del suelo que pudieran introducir errores en el resultado. En las figuras 8.13 y 8.14 se observan diferentes medidores de resistencias de tierra y el modo de empleo.



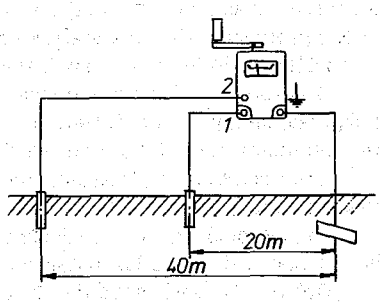


Fig. 8.14 Medidor de resistencia de tierra.

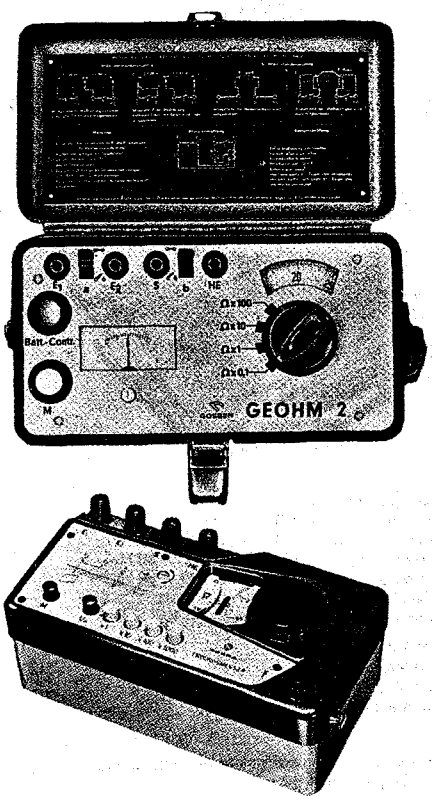


Fig. 8.13 Medidores de resistencias de tierra (Kainos).

8.3.2 *Determinación de la resistividad de un terreno*

Con los aparatos anteriores también se puede medir la resistividad del terreno, entendiéndose por resistividad la resistencia de un cubo de tierra de 1 m de lado, medida entre dos caras paralelas. Esta mediciones se realizan por el procedimiento de los 4 puntos de Wenner (fig. 8.15), que consiste en hincar 4 estacas en línea recta y a la misma distancia entre ellas. La resistividad del terreno ϱ se calcula partiendo de la medida de la resistencia R que indique el aparato, aplicando la fórmula:

$$\varrho = 2\pi \cdot a \cdot R$$

$$\varrho = \Omega \cdot mm^2/m \; ; \; a = \text{metros} \; ; \; R = \Omega$$

En el caso de ser conocido geológicamente el terreno, en el que se van a situar las tomas de tierra, se pueden considerar los siguientes valores medios de resistividad:

NATURALEZA DEL TERRENO	ϱ en $\Omega \cdot m$
pantano, marisma, humus	30
barro, arcilla, terreno de cultivo	100
barro arenoso	150
arena húmeda	200
arena seca	1000
grava húmeda	500
grava seca	1000
suelo pétreo	3000
cemento	50
hormigón (1 parte cemento, 3 de arena)	150
hormigón (1 parte cemento, 5 de arena)	400
hormigón (1 parte cemento, 7 de arena)	500

La resistividad varía de un punto a otro del terreno y también con la profundidad. La resistencia de tierra de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma, y de la resistividad del terreno en el que se sitúe.

En la tabla 8.16 se dan las fórmulas aplicables a diferentes tipos de electrodos para el cálculo aproximado de su resistencia de tierra.

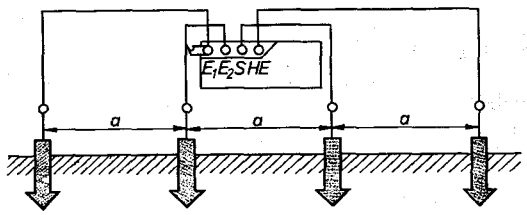


Fig. 8.15 Medición de la resistividad de una capa de terreno por el método de los cuatro puntos de Wenner.

Tabla 8.16 Fórmulas aplicables a electrodos

Electrodo	*Resistencia de tierra en ohmios*
Placa enterrada	$R = 0'8 \frac{\varrho}{P}$
Pica vertical	$R = \frac{\varrho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = \frac{2\varrho}{L}$
ϱ = resistividad del terreno (Ω. m) P = perímetro de la placa (m) L = longitud de la pica o del conductor (m)	

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Resumir las normas generales de seguridad del personal y del material, establecidas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

— Averiguar las relaciones existentes entre las resistencias de tierra y los relés diferenciales.

— Recopilar información de los aparatos comprobadores universales empleados en las instalaciones eléctricas. Construir un gráfico de la corriente de disparo en función de la resistencia de toma de tierra adaptada a una instalación que dispone de relé diferencial.

CUESTIONARIO

— ¿Por qué fueron aprobadas las instrucciones Complementarias de B.T.?

— ¿Qué organismo oficial autoriza el funcionamiento de cualquier instalación eléctrica?

— ¿Por qué se prohibe la utilización de fusible en la puesta a tierra?

—¿Es correcto emplear una resistencia de tierra de 12 ohmios en la instalación de un pararrayos? ¿Por qué?

— ¿Se pueden hacer las conexiones en los electrodos de las tomas de tierra con estaño? ¿Y con plata?

— ¿Se puede utilizar como tierra una conducción pública de agua? ¿Y de calefacción?

— ¿Qué tipo de electrodo es el más utilizado?

— ¿Por qué resulta más peligroso disponer de una mala tierra que carecer de ella?

— ¿Qué tipo de corriente se necesita en la medición de una resistencia de tierra? ¿Por qué?

— ¿De qué factores depende la resistencia de una toma de tierra?

BIBLIOGRAFIA

Reglamento Electrotécnico de B.T. con Instrucciones Complementarias.
Normas UNE.
Información Técnica de Electromediciones Kainos, S.A., CRADY.
Manual de puestas a tierra, CEAC. Barcelona 1973.

Tema 9. Luminotecnia. Medidas de intensidades de iluminación

OBJETIVOS

- *Conocimiento de la naturaleza de la luz y sus características.*
- *Estudio del mecanismo de la visión a través del ojo humano.*
- *Conocer y distinguir las diversas magnitudes fotométricas.*
- *Saber elegir el instrumento adecuado para cada magnitud.*
- *Definición de las unidades más empleadas en Luminotecnia.*
- *Enumerar las fuentes de luz existentes en la actualidad.*
- *Indicar los órdenes de magnitudes fotométricas, desde el punto de vista práctico.*

GUION

- Naturaleza de la luz.
- Color de la luz y curva de distribución espectral.
- Percepción de la luz. Ojo humano.
- Magnitudes empleadas en Luminotecnia:
  Flujo luminoso.
  Intensidad luminosa.
  Nivel de iluminación o iluminancia.
  Luminancia.
- Fuentes de luz.
- Resumen de las principales magnitudes fotométricas y unidades.

PUNTOS CLAVE

- Iniciación al estudio de la Luminotecnia.
- Mediciones de las magnitudes básicas de Luminotecnia.
- Conocer las unidades de las magnitudes anteriores.

EXPOSICION DEL TEMA

9.1 Naturaleza de la luz

La luz es una forma de la energía que se transmite por medio de ondas o radiaciones electromagnéticas que se desplazan en el espacio, a una velocidad de 300.000 Km/sg. y que son capaces de afectar al órgano visual.

Aunque este tema se centra en las radiaciones visibles, es conveniente indicar que entre las infinitas radiaciones electromagnéticas simples, el cuerpo humano es capaz de percibir otros tipos de energía radiante no visible como son: las radiaciones ultravioleta, que se manifiestan por su efecto químico; y las radiaciones infrarrojas que se perciben en forma de calor.

La clasificación de las radiaciones electromagnéticas más utilizada es la que se basa en las *longitudes de onda* (fig. 9.1).

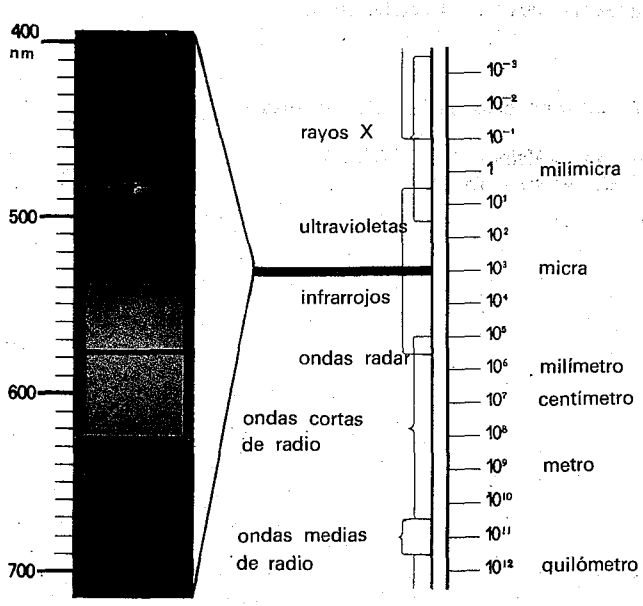


Fig. 9.1 Clasificación de las radiaciones electromagnéticas.

Por longitud de onda de una radiación (fig. 9.2) se entiende la distancia que separa las crestas de dos ondas consecutivas. Se representa por la letra griega λ y se expresa en unidades de longitud.

Frecuencia de una radiación es el número de ciclos completos efectuados por una radiación en un segundo. Se obtiene diviendo la velocidad de la radiación por la longitud de onda.

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

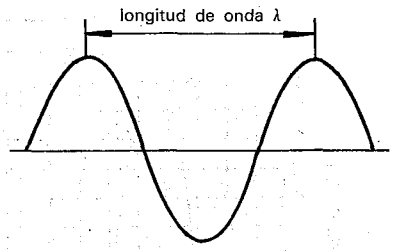


Fig. 9.2 Longitud de onda de una radiación.

La longitud de las ondas electromagnéticas, capaces de impresionar el ojo humano, se encuentran entre 0,0000380 y 0,0000780 cm. Estas longitudes de onda se suelen expresar en unidades de longitud, basadas siempre en el metro, como son:

1 micra (μ)	$= 10^{-6}$ m $= 10^{-4}$ cm
1 milimicra o nanómetro (μm, nm)	$= 10^{-9}$ m $= 10^{-7}$ cm
1 angstrom (Å)	$= 10^{-10}$ m $= 10^{-8}$ cm

9.2 Color de la luz y curva de distribución espectral

La idea que comúnmente se tiene de la luz solar, es la de una luz blanca que se percibe de forma sencilla o única; pero, esto no corresponde a la realidad, pues si se hace que un rayo de esta luz atraviese un prisma triangular de vidrio o de otro material transparente, se observará que dicho rayo, en apariencia blanco, se descompone en una banda continua de colores llamada *espectro luminoso*, que contiene todos los colores del arco iris (fig. 9.3).

Cada color es radiado en una longitud de onda diferente; así pues, el color o la luz coloreada no es más que una radiación luminosa determinada con distinta longitud de onda.

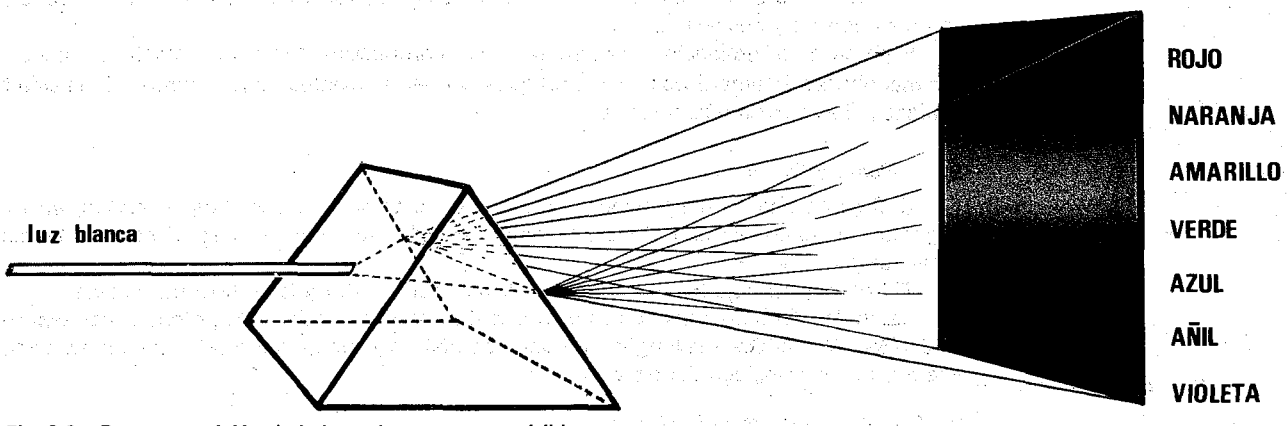


Fig. 9.3 Descomposición de la luz solar y espectro visible.

9.2.1 *Curva de distribución espectral*

Para el estudio y uso de la luz, es necesario conocer la curva de distribución espectral de las diferentes radiaciones que la componen. Normalmente, la representación gráfica se hace en valores relativos de las diferentes intensidades respecto a la intensidad máxima, que se toma como 100 %.

A los espectros que no presentan interrupción, como el de la luz solar o el de una lámpara incandescente (fig. 9.4), se les llama continuos, porque comprenden todas las radiaciones visibles.

Contrariamente, los espectros que presentan interrupciones, como el de la lámpara de vapor de mercurio y las demás lámparas de descarga eléctrica, se llaman *discontinuos*, apareciendo en ellos solamente algunas radiaciones propias del gas o vapor metálico en el que se realiza la descarga (fig. 9.5).

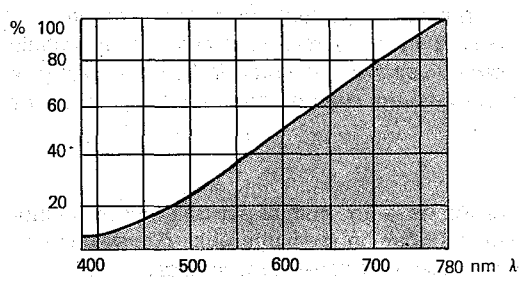


Fig. 9.4 Curva de distribución espectral de una lámpara incandescente.

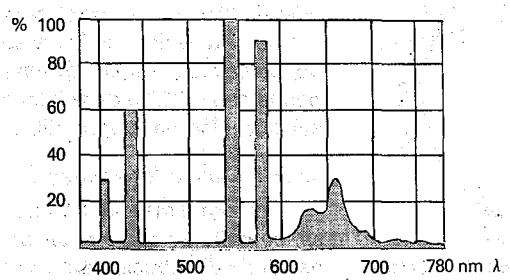


Fig. 9.5 Curva de distribución espectral de una lámpara de vapor de mercurio.

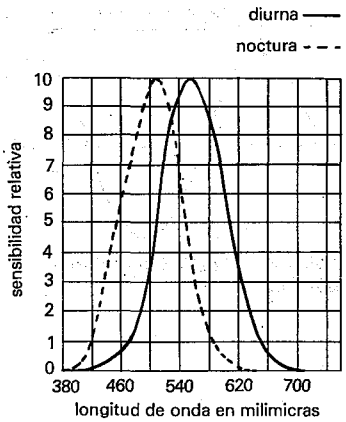


Fig. 9.6 Curva de sensibilidad del ojo humano.

El ojo humano no tiene la misma sensibilidad de percepción para todos los colores del espectro visible, como lo indican las curvas de la figura 9.6, siendo el máximo de sensibilidad para la zona amarillo-verdosa (555 nm) en la visión diurna y el verde-azul (507 nm) en la nocturna. Así pues, la eficacia de un cuerpo luminoso se logrará cuando su radiación máxima se aproxime a la máxima sensibilidad del ojo humano; sin embargo, un cuerpo luminoso que produzca sólo ese tipo de radiaciones (por ejemplo amarillo-verdoso) presentará la máxima eficacia, pero su luz, actuando permanentemente, no es adecuada a la vista y además, los objetos que ilumine no tendrán el mismo color que bajo la acción de la luz solar, por carecer del resto de colores.

9.3 Percepción de la luz. Ojo humano

La radiación visible no se manifiesta como luz, mientras no actúa sobre la vista.

El ojo es el órgano fisiológico que recibe la sensación de luz y es capaz de apreciar las diferencias de brillo e iluminación, siendo esto el fundamento de la visión de los objetos.

Cuando los objetos reciben la luz de un foco, la devuelven parcialmente en todas las direcciones. Al llegar al ojo (fig. 9.7), es controlada automáticamente la luz que entra, por un diafragma llamado iris. El cristalino es una lente convergente de materia elástica que se *acomoda* automáticamente, logrando que la imagen se forme con nitidez en la retina. Esta se halla provista de elementos sensibles (conos y bastoncitos) que generan una serie de impulsos nerviosos que se desplazan a través del nervio óptico hasta la parte posterior del cerebro, donde tienen lugar las sensaciones ópticas.

Si la iluminación es pequeña, la luz que llega a la retina es mínima, dando lugar a una visión deficiente. Por esto para poder ver correctamente, es necesario disponer del nivel de iluminación adecuado para cada lugar de trabajo.

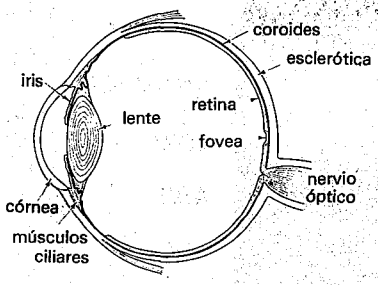


Fig. 9.7 El ojo humano.

9.4 Magnitudes empleadas en Luminotecnia

Luminotecnia es la técnica que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación.

El proceso de iluminación requiere una fuente productora de luz y un objeto a iluminar. Las magnitudes fotométricas más importantes son las siguientes: flujo luminoso, intensidad luminosa, iluminancia y luminancia.

9.4.1 *Flujo luminoso*

El flujo de una fuente luminosa es la cantidad total de luz emitida o radiada, en un segundo, en todas las direcciones. El significado del flujo luminoso es el de la potencia luminosa propia de una fuente.

El símbolo del flujo luminoso viene indicado con la letra griega Φ (fi mayúscula).

La unidad del flujo luminoso es el *lumen* (lm); y, como unidad de potencia, corresponde a 1/680 W emitidos a la longitud de onda de 5500 Å (esta longitud de onda corresponde a la máxima sensibilidad del ojo humano).

9.4.1.1 *Medida del flujo luminoso*

La medición directa del flujo luminoso, aunque difícil de realizar, puede conseguirse en el laboratorio utilizando la esfera de Ulbricht (fig. 9.8), cuya superficie interior es mate y dispone de una abertura para alojar un cristal opaco.

La esfera (b) proporciona, en cualquier punto, la misma iluminación, sin tener en cuenta la posición de la fuente luminosa (a), y de la pantalla (c). La observación del flujo se hace a través de la fotocélula (e), situada junto a la abertura, la cual, a su vez, dispone de una pantalla opaca (d), para evitar que salgan los rayos luminosos.

9.4.2 *Intensidad luminosa*

La intensidad luminosa de una fuente corresponde a la cantidad de luz emitida, en un segundo, y en una determinada dirección.

La intensidad luminosa no se distribuye por igual en el espacio debido a varias causas: las fuentes luminosas no son puntiformes sino que tienen forma de bucles o rejillas, las cuales originan flujos luminosos no uniformes; la forma de la ampolla influye en la desviación de algunos rayos; el casquillo intercepta un sector importante de radiaciones, etc.

La intensidad luminosa se designa con la letra I y su unidad es la *candela* de símbolo *cd, habiéndose elegido internacionalmente como unidad fundamental de Luminotecnia* y se define como "1/60 de la intensidad luminosa por cm^2 del cuerpo negro a la temperatura de solidificación del platino (2042 ° K)".

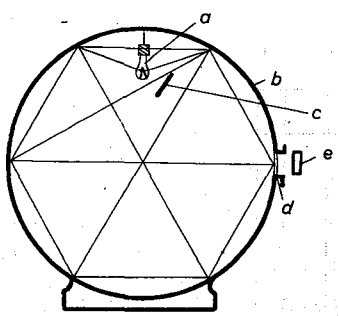


Fig. 9.8 Esfera de Ulbricht.

9.4.2.1 *Curvas fotométricas*

La forma más sencilla de hallar la distribución de la luz emitida por una fuente luminosa, consiste en representar gráficamente dicha distribución mediante unas curvas denominadas de distribución luminosa o curvas fotométricas de intensidades iguales.

Las curvas se obtienen, en el laboratorio, midiendo las diferentes intensidades luminosas, según las diversas direcciones, que parten del centro de la fuente y uniendo los puntos de la misma intensidad. Estos, al ser unidos a la fuente por vectores, darán lugar a la representación de un volumen (fig. 9.9).

Pero, como resulta poco práctico el dibujo tridimensional (volumen), aprovechando la simetría que presenta el volumen respecto al eje *y y'*, será suficiente representar las intensidades luminosas contenidas en un plano vertical, que contenga al citado eje, e, incluso, será suficiente la representación del semiplano vertical (0° a 180°), como indica el gráfico de la lámpara incandescente, representado en la figura 9.9.

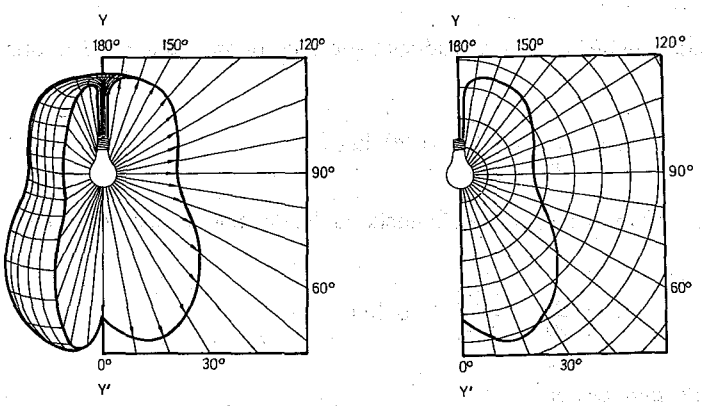


Fig. 9.9 Representación volumétrica y plana del reparto luminoso de una lámpara.

9.4.2.2 *Medida de la intensidad luminosa*

Se realiza con unos aparatos llamados *goniofotómetros*, cuya misión consiste en sostener los aparatos de iluminación (luminarias) y hacerlos girar en distintas posiciones, de forma que el centro de giro coincida con el centro óptico de dichas luminarias (fig. 9.10).

También se puede medir la intensidad luminosa con el banco fotométrico, constituido por una regla graduada sobre la cual se desplazan la fuente luminosa, la fuente patrón y el fotómetro (fig. 9.11).

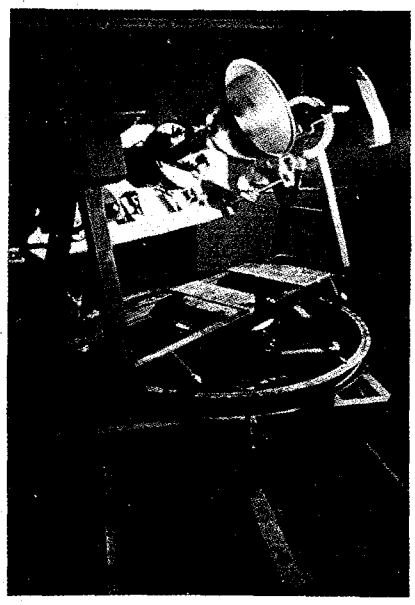


Fig. 9.10 Goniofotómetro para la determinación de las características fotométricas de las luminarias.

9.4.3 *Nivel de iluminación o iluminancia*

Es una magnitud *característica del objeto iluminado*, que indica la cantidad de luz que incide sobre su superficie, al ser iluminado por una fuente de luz.

La iluminancia se representa por la letra *E*, siendo su unidad el *lux* (lx).

El nivel de iluminación conseguido sobre una superficie es directamente proporcional al flujo luminoso Φ que incide sobre ella e inversamente proporcional a la citada superficie.

$$E_m = \frac{\Phi}{S}$$

en la cual:

Φ = Flujo luminoso en lúmenes
S = Superficie iluminada en m^2
E_m = Iluminación media sobre la superficie en lux.

Ejemplo

La iluminación media de una superficie de 4 x 5 m sobre la que incide un flujo luminoso de 6000 lúmenes, será:

$$E_m = \frac{\Phi}{S} = \frac{6.000}{20} = 300 \text{ lux}$$

"El nivel de iluminación, sobre una superficie situada perpendicularmente a la dirección de radiación, es directamente proporcional a la intensidad luminosa del foco (I), e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que la separa del mismo".

La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

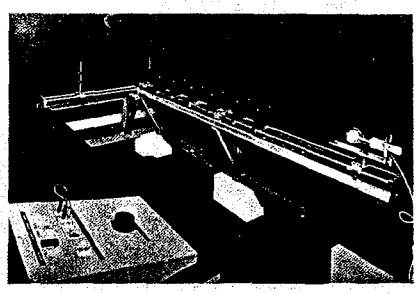


Fig. 9.11 Banco fotométrico.

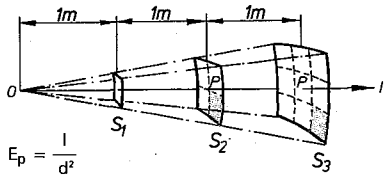


Fig. 9.12 Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

En la cual:

I = Intensidad luminosa en candelas
d = Distancia en metros
E = Nivel de iluminación en lux.

La fórmula anterior se cumple, solamente cuando se trata de una fuente de luz puntiforme; así, pues, en la figura 9.12, la iluminancia calculada correspondería solamente al punto P. No obstante, en alumbrados interiores se puede considerar aceptable la fórmula si se actúa a distancias superiores a cinco veces la máxima dimensión de la luminaria.

Ejemplo

Una intensidad luminosa de 500 candelas producirá sobre un punto situado a 5 m una iluminación de:

$$E = \frac{I}{d^2} = \frac{500}{25} = 20 \text{ lux}$$

Si el punto estuviese a 10 m, o sea, doble distancia, la iluminación en este caso sería de:

$$E = \frac{I}{d^2} = \frac{500}{100} = 5 \text{ lux}$$

9.4.3.1 *Medida del nivel de iluminación*

Se hace con un aparato especial llamado *luxómetro*, el cual dispone de una célula fotoeléctrica, del tipo fotopila, que transforma la luz que incide sobre ella en energía eléctrica. La corriente producida se mide con un microamperímetro calibrado para leer directamente en lux.

Normalmente, los luxómetros disponen de varias escalas, según se conecte una u otra resistencia al circuito de la fotocélula.

Básicamente, constan (fig. 9.13) de un disco de hierro (a), una fina capa de selenio (b) y una lámina metálica transparente de oro o platino (c). Cuando la luz incide sobre el selenio provoca un desprendimiento de electrones que pueden atravesar la película metálica y circular por el circuito, a través del microamperímetro, para regresar al disco de hierro.

En la figura 9.13, está representado un luxómetro, con indicador y célula separados, cuyo alcance de medida está comprendido entre 0 y 6000 lux, en una escala y de 0 a 120000 lux, en la mayor.

También puede apreciarse, en la figura 9.14, un registrador de distribución de intensidad luminosa, constituido por una fotocélula de selenio, con filtro y un registrador. Este aparato se utiliza principalmente para el control de la distribución de la intensidad luminosa de vías públicas, autopistas, carreteras, calles, aeropuertos, etc.

9.4.4 *Luminancia*

Se llama luminancia a la sensación luminosa que, por efecto de la luz, se produce en la retina del ojo, y tiene lugar tanto en una fuente de luz primaria (que emite luz), como en una fuente de luz secundaria (que refleja luz).

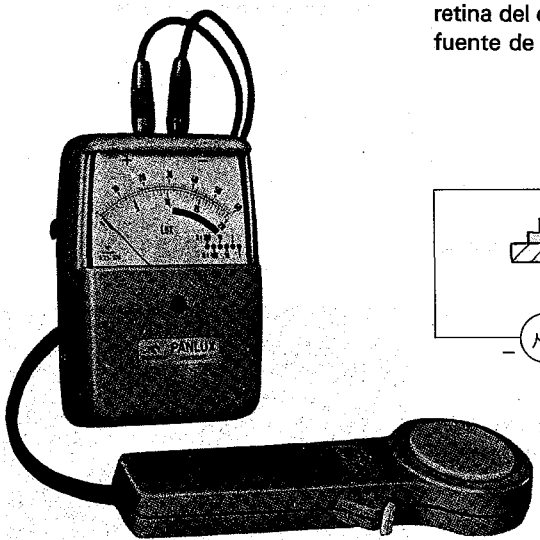


Fig. 9.13 Esquema de una célula fotoeléctrica y vista exterior de un luxómetro (Kainos).

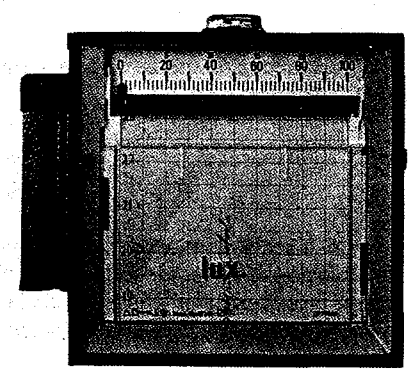


Fig. 9.14 Registrador de distribución de intensidad luminosa (Kainos).

La luminancia *mide el brillo* de los objetos iluminados o fuentes de luz.

La denominación luminancia ha sustituido a las antiguas *brillo* y *densidad de iluminación* y se simboliza con la letra mayúscula *L*.

Si el área se representa en cm^2, la iluminancia se expresa en *candelas/cm²* y si el área se expresa en m^2, la luminancia se expresa en *candelas/m²*.

La luminancia es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente, siendo ésta la proyección de la superficie real sobre un plano perpendicular a la dirección de la mirada. El valor de la superficie aparente se obtiene como producto de la superficie real por el coseno del ángulo que forma la dirección de la mirada con la perpendicular a dicha superficie real (fig. 9.15).

La fórmula que lo expresa es:

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos \Theta}$$

En la que:

I = Intensidad luminosa en candelas
S = Superficie real en cm^2 ó m^2
L = Luminancia en cd/cm^2 o cd/m^2

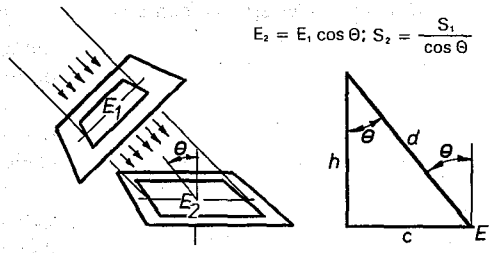


Fig. 9.15 Luminancia de una superficie.

Según esto, la luminancia será máxima, cuando el ojo se encuentre en la perpendicular a la superficie que lo produce.

9.4.4.1 *Deslumbramiento*

Debido a que el ojo ve el brillo, éste tiene una importancia máxima en el fenómeno llamado *deslumbramiento*, producido al tener un brillo demasiado grande el objeto que se observa.

En tal caso, la cantidad de luz que recibe la retina es muy elevada, dando lugar a una especie de *agotamiento* de la retina y originando una ceguera transitoria en el área del brillo.

En el caso de lámparas, cuanto mayor sea su superficie para un mismo flujo, menor será el deslumbramiento, aunque a veces interesa obtener el máximo brillo como en proyecciones cinematográficas, etc.

9.4.4.2 *Medida de luminancia*

Se realiza *por comparación* entre la superficie emisora (primaria o secundaria) y la superficie de un patrón.

También se puede comparar en fotografía, sobre un mismo clisé, las intensidades de impresión recogidas en un lugar a examen y en el laboratorio.

9.5 Fuentes de luz

La luz se produce en varias formas (fig. 9.16), como son:

Combustión. Hasta el año 1879, fecha en que Edison construyó la primera lámpara eléctrica de aplicación práctica.

Incandescencia. Paso de la corriente eléctrica a través de un filamento conductor produciendo la luz.

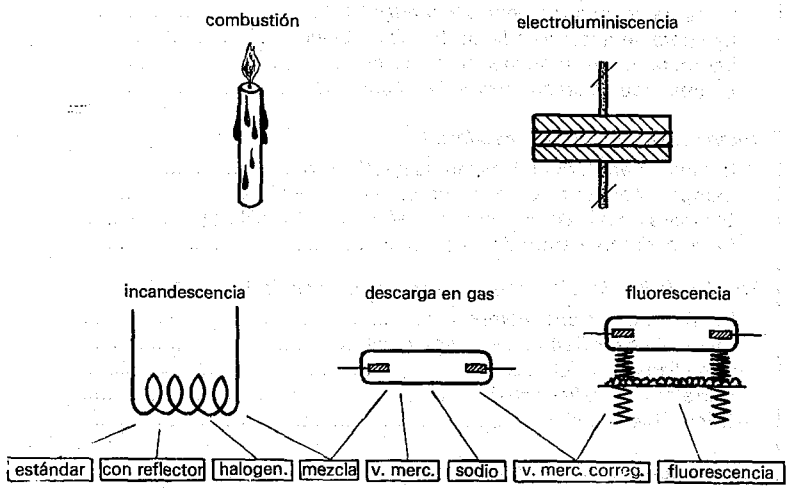


Fig. 9.16 Sistemas de generación de luz.

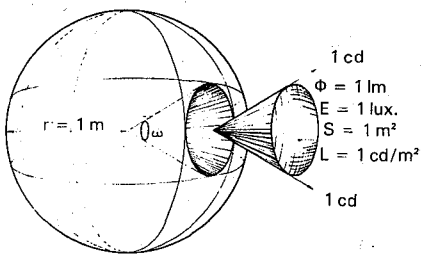


Fig. 9.17 Relación entre las magnitudes empleadas en Luminotecnia.

Descarga a través de un gas. Emisión de radiaciones de determinadas longitudes de onda, producidas por choques de electrones contra los átomos del gas.

Fluorescencia. Producción de luz por incidencia de radiaciones ultravioletas sobre unos polvos fosfóricos situados en la pared interna del tubo.

Electroluminiscencia. En período de investigación.

De todos los mamantiales luminosos que existen para la producción de la luz, los artificiales por medio de energía eléctrica son los que han adquirido el mayor perfeccionamiento y aplicación como indica la clasificación anterior.

9.6 Resumen de las principales magnitudes fotométricas y unidades

Para comprender la relación existente entre todas las magnitudes estudiadas anteriormente, basta imaginar una esfera de 1 m de radio en cuyo centro existe una fuente de luz puntual (fig. 9.17).

Si el flujo luminoso emitido se reparte por igual, en todas las direcciones, y la cantidad de dicho flujo, que incide sobre un área de 1 m² en la superficie de la esfera, es de 1 lumen, el nivel de iluminación de esta superficie será de 1 lux.

La intensidad luminosa de la fuente puntual en la dirección determinada por la recta que une el centro de la esfuera con el centro de la superficie, es una candela; y la iluminación de la fuente primaria, cuando el ojo se encuentre en la perpendicular a esta superficie, es de 1 cd/m²

A continuación se indica en el cuadro 9.18 un resumen de las magnitudes empleadas en Luminotecnia y en la tabla 9.19 los valores normales de estas magnitudes, referidas a casos prácticos.

Cuadro 9.18 Resumen de las principales definiciones y unidades

Magnitud	*Definición*	*Unidad*
Flujo luminoso (Φ)	Cantidad de energía luminosa detectada por el ojo humano medio en un segundo.	Lumen (lm)
Intensidad luminosa (I)	$\frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{ángulo sólido}} = \frac{\Phi}{W}$	Candela (cd)
Nivel de iluminación en una superficie (I luminancia) E_S	$\frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Superficie}} = \frac{\Phi}{S}$	Lux
Nivel de iluminación en un punto E_p	$\frac{\text{Intensidad luminosa x cos } \Theta}{\text{Cuadrado de la distancia}}$	Lux
Luminancia (L)	$\frac{\text{Intensidad luminosa}}{\text{Superficie visible}} = \frac{I}{S \cos \Theta}$	Candela/m² (cd/m²)

Tabla 9.19 Valores normales de las magnitudes fotométricas

Flujos luminosos (lúmenes)	
—Lámpara de incandescencia estándar 40 W.	500 lm
—Lámpara de fluorescencia de 40 W. luz blanca	3.000 lm
—Lámpara de vapor de mercurio 125 W.	5.600 lm
—Lámpara de sodio con óxido de estaño 100 W.	12.500 lm
Intensidades luminosas (candelas)	
—Lámpara para faro de bicicleta (sin reflector)	1 cd
—Lámpara con reflector incorporado (centro del haz)	250 cd
—Lámpara a PAR-64 muy concentradora (centro del haz)	200.000 cd
—Faro marítimo (centro del haz)	2.000.000 cd
Niveles de iluminación (Valores aproximados en lux)	
—Mediodía en verano, campo libre	100.000 lux
—Mediodía en invierno, cielo semi-cubierto	10-20.000 lux
—Luna llena con cielo claro	0,25-0,50 lux
—Carretera de tráfico medio	15 lux
—Oficina bien iluminada	400-1.000 lux
Luminancias (cd/m²)	
—Luna llena	2.500 cd/m²
—Papel blanco a pleno sol	30.000 cd/m²
—Filamento lámpara incandescente	5-10.000.000 cd/m²
—Arco voltaico	160.000.000 cd/m²
—Sol a través de la atmósfera	1.600.000.000 cd/m²

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Confeccionar una lista con las longitudes de onda que correspondan a cada color, resultante de la descomposición de la luz solar.
— Dibujar las curvas de distribución luminosa de 5 lámparas diferentes.
— Dibujar las curvas de distribución espectral a color de 4 lámparas diferentes.

CUESTIONARIO

— Enumerar los 7 colores, perceptibles a simple vista, en que se descompone la luz solar.
— ¿Cuál sería la longitud de onda de la corriente alterna producida por un alternador de cualquier central española?
— ¿Por qué varía la sensibilidad de percepción de colores en el ojo humano?
— ¿Qué parte del ojo humano produce los impulsos nerviosos?
— ¿Quién los transmite al cerebro?
— ¿A qué equivaldría, en un motor eléctrico, el flujo de una fuente luminosa?
— ¿Cuál es la unidad fundamental de Luminotecnia?
— ¿A qué distancia de una fuente de luz, con una intensidad luminosa de 400candelas, se alcanzará un nivel de iluminación de 4 lux?
— Describir dos tipos diferentes de luxómetros.
— Se dispone de tres lámparas: una incandescente con ampolla clara, otra incandescente con ampolla mateada y un tubo fluorescente, todas ellas de 40 W. Razonar el deslumbramiento que producirá cada una.
— En la pregunta anterior, si se define el rendimiento luminoso como el cociente entre el flujo total (lm) y la potencia consumida (W) ¿A qué lámpara le corresponderá el máximo rendimiento? ¿Por qué?

BIBLIOGRAFIA

BANDINI A., *Medidas eléctricas 1/2,* REDE, Barcelona 1967.
Manual OSRAM, *Luminotecnia,* Madrid 1970.
Equipo técnico JOSA (B.J.C.), *Luminotecnia,* Barcelona 1975.
Catálogos de casas comerciales (Electromediciones Kainos, S.A.).

Tema 10. Medidas de frecuencia y del factor de potencia

OBJETIVOS

— *Información sobre las frecuencias de las redes de energía eléctrica en el mundo.*
— *Conocimiento de los aparatos medidores de la frecuencia.*
— *Adquirir una información general sobre los factores de potencia que presentan los receptores industriales.*
— *Conocer métodos para la determinación del factor de potencia en circuitos monofásicos.*
— *Estudiar la determinación de factores de potencia en redes trifásicas.*
— *Conocer la utilización de la tenaza fasimétrica.*

GUION

— Generalidades sobre la medida de frecuencia.
— Frecuencímetro de láminas vibrantes.
— Frecuencímetro de aguja.
— Generalidades sobre el factor de potencia de las instalaciones.
— Medida del factor de potencia en circuitos monofásicos.
— Medida del factor de potencia en circuitos trifásicos.
— Tenaza fasimétrica.

PUNTOS CLAVE

— Medición de la frecuencia de una red de energía eléctrica.
— Conocer diferentes aparatos para averiguar el factor de potencia en cualquier instalación.
— Descripción de un instrumento práctico moderno para la medida del factor de potencia en redes monofásicas.

EXPOSICION DEL TEMA

10.1 Generalidades sobre la medida de frecuencias

Frecuencia de una corriente periódica es el número de veces que se reproduce idénticamente a sí misma en 1 segundo. Su unidad es el Hertzio (Hz), aunque algunas veces se emplea la expresión *ciclos por segundo* en lugar de hertzios.

El orden de magnitud de las frecuencias es el indicado en la tabla 10.1.

Los convenios internacionales fijan el valor de la frecuencia, para redes de energía eléctrica, en 50 Hz, aunque en algunos países se emplean frecuencias diferentes, como en el caso de Estados Unidos y la Marina Francesa, que adoptan 60 Hz. En Aviación, la corriente es de 400 Hz.

Para las grandes frecuencias se utilizan los múltiplos del hertzio:

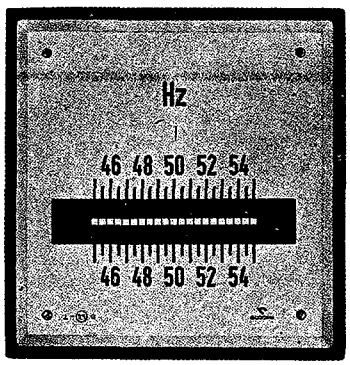
— Kilohertz (kHz) = 10^3 Hz

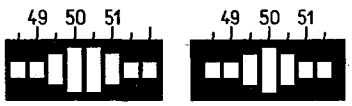
— Megahertz (MHz) = 10^6 Hz

En las redes de energía eléctrica la frecuencia debe permanecer constante y, por ello, los instrumentos que la midan estarán diseñados para ese valor con una variación de un 10 % en más o en menos.

Tabla 10.1 Clasificación de las frecuencias atendiendo a su magnitud

Hz	*Aplicación*	*Resumen aplicaciones*
16 2/3 a 60 50 a 60	Tracción eléctrica ferroviaria. Distribución de luz y fuerza motriz.	aplicaciones industriales
50 a 10^4	Radiodifusión.	telecomunicaciones
50 a 10^6 50 a 3.000 hasta 60	Hornos de inducción. Mandos con corriente alterna. Telegrafía con corriente continua.	aplicaciones industriales
300 a 3.400 380 a 3.220	Telefonía. Telegrafía de frecuencia fónica.	telecomunicaciones
500 a 5.000	Utensilios de alta frecuencia.	aplicaciones industriales
3.000 a $1{,}2.10^4$ 10^4 a 10^{11}	Telefonía de frecuencia portante. Transmisiones de radio.	telecomunicaciones
2.10^4 a 2.10^7	Ultrasonidos.	aplicaciones industriales
$3{,}5.10^4$ a $3{,}75.10^5$	Teléfonos de ondas.	telecomunicaciones
10^5 a 3.10^8	Calentamiento a alta frecuencia.	aplicaciones industriales
145.10^5 a 285.10^5 hasta $5{,}52$ a 10^7	Filodifusión. Transmisiones con doble teléfono.	telecomunicaciones
10^6 a 5.10^7 hasta 5.10^6	Cirugía a la frecuencia. Televisión (estándar 625 líneas).	electromedicina telecomunicaciones
10^6 a 3.10^9 hasta 12.10^6	Terapia de onda corta. Transmisiones con cable coaxial.	electromedicina telecomunicaciones
3.10^{11} a 3.10^{14} 3.10^{14} a 10^{15} 10^{15} a 3.10^{16} 10^{17} a 10^{20} más de 10^{20}	Rayos infrarrojos Luz visible Rayos ultravioletas Rayos X y γ Rayos cósmicos	frecuencias producidas por vibraciones moleculares, atómicas, nucleares o de origen incierto. No pueden obtenerse por procedimientos eléctricos.





indicación: 50,25 Hz indicación: 50 Hz

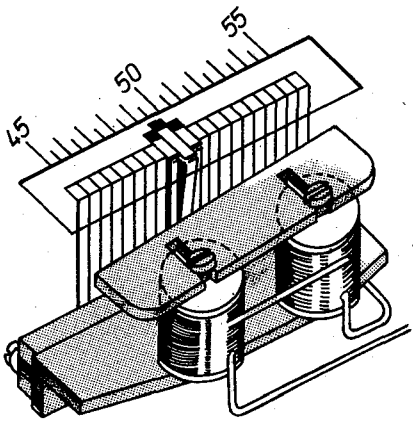


Fig. 10.2 Frecuencímetro de láminas vibrantes (Kainos).

10.2 Frecuencímetro de láminas vibrantes

El instrumento más usual para medir la frecuencia de una corriente alterna es el *frecuencímetro de láminas* (fig. 10.2), que se compone:

— de un electroimán, excitado por la tensión cuya frecuencia se ha de medir, que produce un campo magnético alterno.

— de una serie de láminas metálicas (acero) o lengüetas que tienen cada una su frecuencia propia de vibración y se encuentran dentro del campo magnético creado por el electroimán.

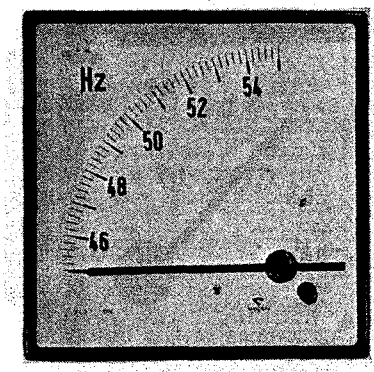
Cuando la frecuencia del campo magnético coincide con el período propio de vibración de alguna lengüeta, ésta entra en resonancia vibrando con mayor amplitud que el resto y

produciendo una marca blanca en la ventanilla, que indica rápidamente el valor de la frecuencia medida.

Debido a que la diferencia entre los períodos de vibración de dos lengüetas vecinas es pequeña (1/2 Hz o 1 Hz), sucede que, además de vibrar la lengüeta propiamente en resonancia, vibran también las vecinas, aunque con menor amplitud.

Cuando la frecuencia a medir tiene un valor comprendido entre los períodos de vibración de dos lengüetas, éstas oscilan con la misma amplitud, indicación de 50,25 Hz de la figura 10.2.

Estos instrumentos tienen un consumo muy reducido, según la tensión normal, entre 1 y 3 VA; son robustos y permiten variaciones de tensiones hasta de un 20 %, sin que la indicación resulte afectada.



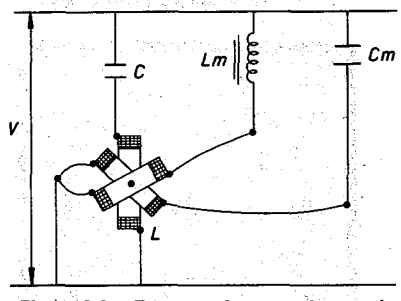


Fig. 10.3 Frecuencímetro de aguja (Kainos).

10.3 Frecuencímetro de aguja

El principio de funcionamiento de estos instrumentos está basado en la resonancia eléctrica de un circuito, conseguida para una determinada frecuencia, que se hace coincidir con la normal de la red, circulando entonces por el circuito resonante una corriente elevada.

Interiormente (fig. 10.3) consta de:

— Una bobina fija, atravesada por una corriente constante.

— Una bobina móvil con dos arrollamientos conectados en serie con un condensador y con una inductancia respectivamente.

Al variar la frecuencia lo hacen las reactancias inductivas y capacitivas en sentido contrario, produciendo el giro de la aguja, solidaria a la bobina móvil.

La forma de la escala es prácticamente lineal. Su consumo varía desde 1,5 VA a 100 voltios, hasta 6 VA para 300 voltios. Se permiten variaciones de tensión del orden del 20 %, sin que se produzcan errores de medida.

Las escalas más usuales son de 45 a 55 Hz, y la clase del instrumento varía desde 0,2 a 0,5.

10.4 Generalidades sobre el factor de potencia de las instalaciones

En corriente alterna los receptores, en general absorben potencia activa V . I cos φ (o potencia real) y potencia reactiva V . I . sen φ. El factor *cos* φ que disminuye las potencias cuando existe desfase entre corriente y tensión, se llama factor de potencia.

El valor del factor de potencia puede estar comprendido entre 0 y 1, y, a su vez resultará de un circuito inductivo o capacitivo.

La mayoría de circuitos industriales funcionan con factores de potencia inferiores a la unidad, por ser predominante el efecto inductivo.

Las instalaciones de alumbrado por lámparas incandescentes presentan el más elevado factor de potencia (cos $\varphi = 1$); el alumbrado por fluorescencia da lugar a factores de potencia muy bajos (cos $\varphi \simeq 0{,}4$).

Las instalaciones de motores eléctricos presentan factores de potencia comprendidos entre 0,8 y 0,3, según funcionen a plena carga o en vacío.

Los transformadores de gran potencia, en vacío y cortocircuito, presentan factores de potencia comprendidos entre 0,05 y 0,3.

10.4.1 *Mejora del factor de potencia*

Como el factor de potencia es casi siempre inductivo su mejora se logrará conectando condensadores en derivación con la red. En las instalaciones trifásicas los condensadores se conectan en estrella o en triángulo.

La mejora del factor de potencia lleva consigo:

— disminución de la pérdida de energía;

— disminución de la caída de tensión.

Actualmente, las instalaciones industriales disponen de baterías de condensadores que actúan automáticamente, según el factor de potencia en cada instante, conectando el número de condensadores que compensen el efecto inductivo del circuito, con lo cual resultan factores de potencia próximos a la unidad.

10.5 Medida del factor de potencia en circuitos monofásicos

En un circuito monofásico el factor de potencia (cos φ) se puede calcular indirectamente como cociente entre la potencia activa y la potencia aparente. La potencia activa está indicada por un vatímetro (fig. 10.4) y la aparente por el producto de lecturas del amperímetro y voltímetro.

$$P_a = P \cdot \cos\varphi = V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{P_a}{V \cdot I}$$

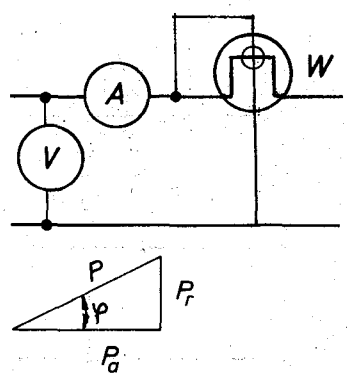
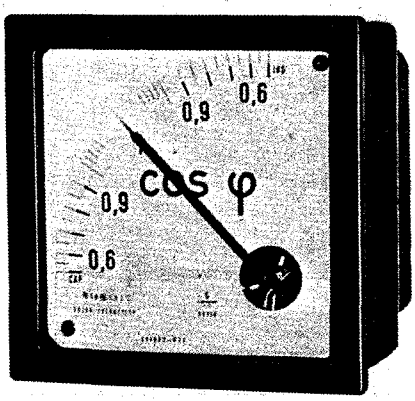


Fig. 10.4 Medición del f.d.p. por método indirecto.



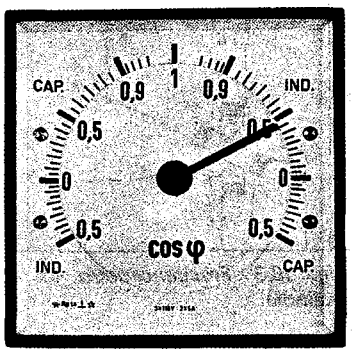


Fig. 10.6 Fasímetro con cos φ =1 central.

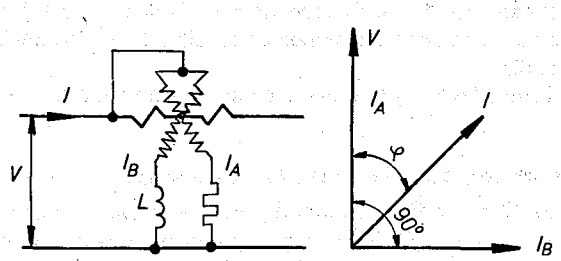
Este método es aplicable en casos de cargas muy desfasadas y resulta erróneo en los factores de potencia próximos a la unidad.

10.5.1 *Fasímetro*

La medición del factor de potencia puede también efectuarse directamente, empleando un aparato llamado *fasímetro*, cuyo sistema de medida es el de bobinas cruzadas (fig. 10.5). La bobina fija se conecta en serie en el circuito, consta de dos secciones, y produce el campo magnético. El órgano móvil está constituido por dos bobinas voltimétricas, que pueden girar libremente en el campo magnético.

A una de las bobinas móviles está conectada en serie una resistencia de valor elevado (R) y a la otra, una inductancia (L), por las que circularán corrientes (I_A, I_B) desfasadas 90°, como indica el diagrama de la figura. El paso de las corrientes por las bobinas origina unos pares de fuerzas, dependientes del factor de potencia, que tienden a hacer girar el órgano en sentidos opuestos hasta encontrar la posición de equilibrio. Esta se consigue al igualarse los pares de fuerzas en las bobinas móviles. Como la desviación del órgano móvil es función del desfase, se puede graduar la escala directamente con los valores del factor de potencia (cos φ).

La escala normal suele ser para cos φ = 1 en el centro, indicando hacia cada extremo valores de factores de potencia inductivos o capacitivos (fig. 10.6).



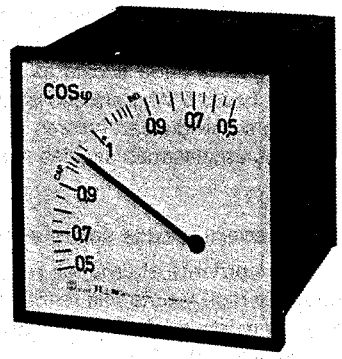


Fig. 10.5 Esquema del fasímetro monofásico.

10.6 Medida del factor de potencia en circuitos trifásicos

Disponiendo de tres fasímetros monofásicos, se obtendrían los desfases φ_1, φ_2, φ_3 entre corrientes y tensiones por fase, que sólo coincidirían en circuitos equilibrados. En el resto de los casos, no podría obtenerse un cos φ único del sistema. Sin embargo, es posible medir, directamente, el factor de potencia con el *fasímetro trifásico* o, indirectamente, por medio de vatímetros.

En los fasímetros para sistemas trifásicos equilibrados, la bobina fija (amperimétrica) se conecta en serie con una fase cualquiera (fig. 10.7) y las dos bobinas móviles voltimetricas, con una elevada resistencia en serie cada una, se conectan en derivación entre la fase que va a la amperimétrica y las otras dos. La construcción de los fasímetros trifásicos es más sencilla que la de los monofásicos, porque la red trifásica proporciona directamente los desfases necesarios entre las bobinas amperimétricas y voltimétricas.

Los fasímetros que indican el factor de potencia de los sistemas trifásicos no equilibrados, disponen de dos bobinas fijas en serie con dos fases y dos bobinas móviles (voltimétricas) entre esas mismas fases y la tercera fase (fig. 10.8).

El sistema de medida indirecto está fundado en el método de Righi de los tres vatímetros, que parte de las potencias activa y reactiva, según se indicó en el párrafo 6.4.

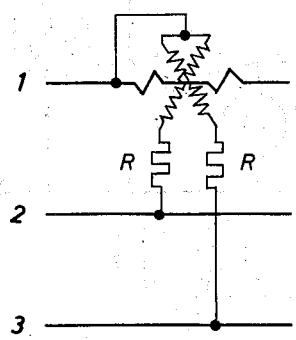
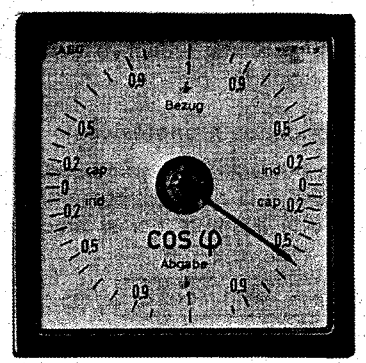


Fig. 10.7 Fasímetro para sistemas trifásicos equilibrados.



fasímetro de cuatro cuadrantes

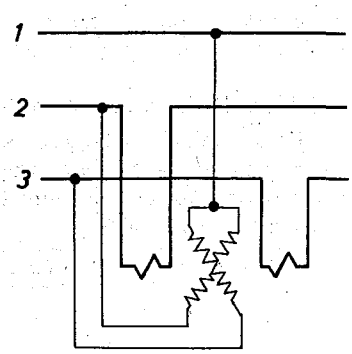


Fig. 10.8 Fasímetros para sistemas trifásicos no equilibrados.

10.7 Tenaza fasimétrica

El avance técnico en el campo de los aparatos de medida eléctricos ha sido muy importante llegándose actualmente a un grado de perfeccionamiento muy elevado. Así pues, las casas constructoras de aparatos presentan una gama variadísima de ellos, atendiendo a su utilización, precisión, aspecto práctico, etc. Es interesante dentro de este tema el estudio del aparato portátil industrial llamado tenaza fasimétrica.

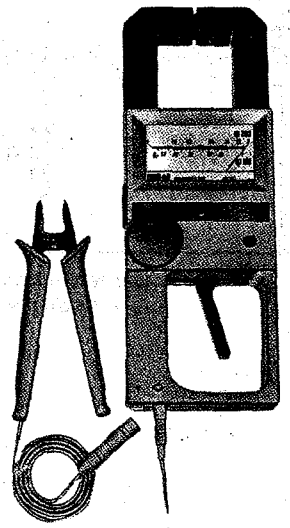
La tenaza (fig. 10.9) sirve para la medición directa del factor de potencia en redes monofásicas, con tensión nominal de 220 V c.a. y con intensidades que pueden variar entre 10 y 1000 A. Al efectuar la medición no es preciso interrumpir el circuito de intensidad ni la corriente que por él circula, debido a que la tenaza tiene incorporado un transformador de intensidad de núcleo magnético partido, que permite rodear el conductor del circuito de intensidad. La tenaza se cierra bajo la acción de un resorte y el circuito magnético queda restablecido a través de superficies muy pulimentadas, que presentan un entrehierro casi despreciable. La tensión de la medida del fasímetro se capta a través de dos conexiones enchufables al aparato y dotadas en su otro extremo de pinzas cocodrilo. La escala tiene dos graduaciones para cos φ y sen φ.

La tenaza dispone de un conmutador de polaridad, para emplear en caso de desviaciones negativas de la aguja.

El carácter de la carga (capacitiva o inductiva) puede averiguarse con la ayuda de un botón pulsador, situado a la izquierda del aparato. Al pulsar el botón, la aguja se desvía en sentido de las flechas *C* o *L*.

Un dispositivo de bloqueo permite efectuar mediciones en lugares de difícil acceso, donde la escala no queda visible para la lectura.

La precisión de este aparato es del 5 % y la frecuencia de trabajo de 50 Hz.



tenazas fasimétricas, tipo PK — 230

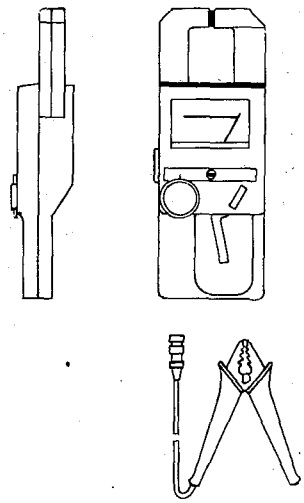


Fig. 10.9 Tenaza fasimétrica (Kainos).

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Hacer una lista de los principales países del mundo, indicando la frecuencia que emplean en las redes de energía eléctrica.

— Hacer un estudio sobre los efectos de un bajo factor de potencia, en las instalaciones industriales. Averiguar qué valores mínimos permite el Reglamento Electrotécnico, y dibujar un circuito real con batería de condensadores para su mejora.

CUESTIONARIO

— ¿Cuál es la frecuencia de una c.c.? ¿Por qué?

— ¿Por qué los instrumentos medidores de frecuencia tienen un campo de escala muy reducido?

— ¿Cómo se conecta un frecuentímetro a una red?

— ¿Conoces algún circuito que posea factor de potencia igual a la unidad?

— ¿Si se conecta una bobina a la red de c.c., absorberá más o menos corriente que en una red de c.a.? ¿Por qué?

— ¿Existe algún motor que pueda mejorar el factor de potencia de una instalación de alumbrado con tubos fluorescentes?

— Se puede mejorar el factor de potencia de un tubo fluorescente? En caso afirmativo, poner ejemplos.

— ¿Qué ventajas presenta el uso de la tenaza fasimétrica?

BIBLIOGRAFIA

BANDINI A., *Medidas eléctricas 1/1* REDE, Barcelona 1967.
BIASUTTI G., *Electricidad,* Editorial Científico Médica, Barcelona 1970.
Catálogos técnicos de casas comerciales. (Electromediciones Kainos, S.A. 1975).

Tema 11. Medidas en corriente alterna de R, L, C. Distintas combinaciones

OBJETIVOS

— *Conocer métodos sencillos para medida de impedancias.*
— *Diferenciar las mediciones, según el tipo de corriente a emplear.*
— *Llegar a conocer métodos muy aproximados, en mediciones de inductancias.*
— *Conocer el método a emplear, en mediciones de capacidades.*
— *Estudiar circuitos mixtos experimentalmente.*

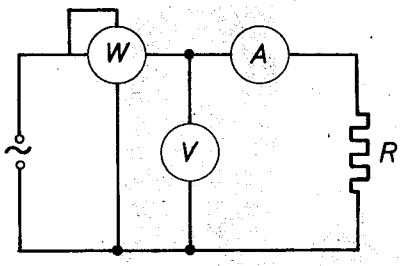


Fig. 11.1 Medida de una resistencia pura en c.a.

GUION

- Medición de resistencias puras, en corriente alterna.
- Medición de inductancias, en corriente alterna.
- Medida de la capacidad de un condensador, en corriente alterna.
- Otros métodos empleados en medidas de inductancias.
- Puente de Shering, para medidas de capacidades.
- Diferentes combinaciones R, L, C, empleadas en mediciones.

PUNTOS CLAVE

- Conocer los métodos industriales empleados en mediciones de impedancias.
- Llegar a conocer los métodos de puentes de corriente alterna para mediciones de inductancias y capacidades.
- Ver la importancia de combinar los receptores R, L, C, para lograr su medición.

EXPOSICION DEL TEMA

11.1 Medición de resistencias puras en corriente alterna

Cualquier resistencia, al ser atravesada por una corriente alterna, da lugar a efectos inductivos de valores mínimos, que pueden despreciarse en la mayoría de las mediciones.

La medición experimental de una resistencia se hace, según indica el esquema de la figura 11.1, siendo necesarios un vatímetro, un voltímetro y un amperímetro; todos, para mediciones de c.a.

Al conectar el circuito a una fuente de c.a. circulará una corriente, produciendo una caída de tensión en la resistencia, que será medida por el voltímetro. El vatímetro medirá la potencia activa consumida por el receptor que se transformará íntegramente en calor. (Pérdidas Joule).

La impedancia tiene el mismo valor que la resistencia:

$$\boxed{Z = R}$$

siendo su valor el cociente entre la tensión y la corriente que indica el amperímetro:

$$R = \frac{V}{I}$$

V (voltios)
I (amperios)
R (ohmios)
P (vatios)

La potencia absorbida es el producto de la tensión por la intensidad:

$$P = V \cdot I = (R \cdot I) \cdot I = R \cdot I^2 = P \text{ activa}$$

de lo cual:

$$\boxed{\cos \varphi = \frac{P}{P_a} = \frac{V \cdot I}{R \cdot I^2} = 1}$$

Se deduce, pues, que una resistencia pura posee un factor de potencia igual a la unidad.

Comparando el comportamiento de una resistencia pura, conectada a corriente continua o corriente alterna, se observa que es idéntico en los dos casos, siempre que en c.a. se empleen los valores eficaces para V e I y el valor medio para P.

Los aparatos térmicos (resistencias puras), se pueden conectar indistintamente en c.a. o c.c., siendo por tanto el receptor que origina menos complicaciones.

Ejercicio de aplicación

Una resistencia absorbe una potencia de 435 W y una corriente de 2 A, cuando está conectada a una red de 220 V de c.a.

Calcular dicha resistencia y su factor de potencia.

Solución:

Aplicando la Ley de Ohm en c.a.:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{220}{2} = 110\,\Omega$$

el factor de potencia será

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{V \cdot I} = \frac{435}{220 \cdot 2} = \frac{435}{440} \cong 1$$

por tanto, el valor de la resistencia coincidirá con la impedancia.

$$R = Z = 110\ \Omega$$

El cálculo exacto sería:

$$\cos \varphi = \frac{435}{440} = 0{,}9886$$

y el valor de la resistencia pura:

$$R = Z \cdot \cos \varphi = 110 \cdot 0{,}9886 = 108{,}75\ \Omega$$

que es ligeramente inferior a 110 Ω, ya que, además de la resistencia, existe una inductancia de valor mínimo.

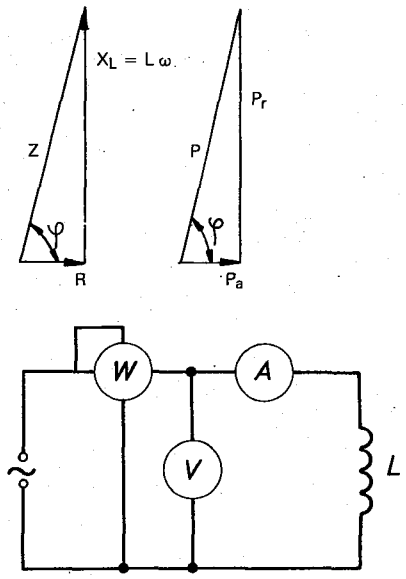


Fig. 11.2 Determinación de la inductancia en c.a.

11.2 Medición de inductancias en corriente alterna

Una bobina es un conductor arrollado alrededor de un núcleo. El núcleo puede ser aislante magnético, como corresponde a las inductancias patrones, o bien conductor magnético; este último caso agrupa a la mayoría de las bobinas con aplicación a circuitos industriales.

Una bobina real tiene, además, resistencia óhmica. Si R es la resistencia de la bobina, se llama factor de calidad *Q* al cociente entre su inductancia y resistencia.

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

La determinación experimental de una inductancia emplea: un vatímetro, un voltímetro y un amperímetro (fig. 11.2).

El *vatímetro indica la potencia consumida por la resistencia y, en caso de tener núcleo* magnético, añade las pérdidas en el hierro.

La impedancia del circuito se obtiene aplicando la ley de Ohm de c.a.:

$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

R = Resistencia pura de la bobina
X_L = *Reactancia inductiva pura*

La potencia absorbida de la red o potencia aparente (P) se calcula:

$$P = V \cdot I = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}$$

P_a = Potencia indicada por el vatímetro
P_r = Potencia consumida por la inductancia

el factor de potencia:

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{P}, \qquad \text{sen } \varphi = \frac{P_r}{P}$$

la inductancia X_L se calculará partiendo de la impedancia y del factor de potencia:

$$X = Z \cdot \text{sen } \varphi$$

El cálculo de la inductancia se ha hecho para una bobina real; en caso de una *inductancia pura*, se simplifica el cálculo anterior igualando a cero el valor de la resistencia pura; resultando el valor de la inductancia, el cociente entre la tensión y la corriente absorbida.

$$X_L = L \cdot \omega = \frac{V}{I}$$

X (ohmios)
V (Voltios)
I (Amperios)

Ejercicio de aplicación

Se conecta una bobina, con núcleo de aire, a una red de 220 V de c.a. El amperímetro señala 0,4 A y el vatímetro 9 W. Averiguar el valor de la inductancia y el factor de calidad de la bobina.

Solución:

Al ser bobina real, se calculará la X_L y R. Partiendo de la impedancia Z:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{220}{0,4} = 550\ \Omega$$

el vatímetro indicará las pérdidas Joule en la resistencia:

$$P_a = R \cdot I^2 = 9\,W\,; \qquad R = \frac{9}{I^2} = \frac{9}{0,4^2} = 56,25\ \Omega$$

y a partir de Z y R se deduce la inductancia X_L:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{550^2 - 56,25^2} = 547,11\ \Omega$$

el factor de calidad Q será:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{547,11}{56,25} = 9,72$$

11.3 Medida de la capacidad de un condensador en corriente alterna

Un condensador es un almacén de carga. Dos superficies conductoras cualesquiera, separadas por un aislante (dieléctrico), forman un condensador.

En un condensador real, además de la capacidad, existe una resistencia de valor mínimo que se puede suponer en serie o paralelo con ella.

Se define en c.a. el factor de pérdida de un condensador como el cociente entre su reactancia y resistencia:

$$\text{tg}\ \delta = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{C \cdot \omega \cdot R}$$

$$\text{siendo}\ \delta = 90° - \varphi$$

$$\varphi = \text{desfase entre}\ V \cdot I$$

dando lugar a que la diferencia de fase φ, entre la tensión y corriente, no sea exactamente 90°.

En los condensadores patrón el factor de pérdida es despreciable. En los condensadores empleados en la industria el factor de pérdida oscila entre 10^{-1} y 10^{-3}.

La medida de una capacidad puede realizarse con amperímetro, voltímetro y frecuencímetro (fig. 11.3).

Suponiendo una capacidad pura, el factor de potencia es nulo y por tanto la potencia que marcaría el vatímetro sería cero; por esto se ha suprimido.

La reactancia capacitiva se puede obtener directamente por la ley de Ohm de c.a.

$$\boxed{Z = X_c = \frac{V}{I}}$$

y, a partir de la reactancia, deducir la capacidad, teniendo en cuenta la frecuencia de la red

$$X_c = \frac{1}{C \cdot \omega}; \qquad C = \frac{1}{X_c \cdot \omega} = \frac{1}{\frac{V}{I} \cdot 2\pi f}$$

luego:

$$\boxed{C = \frac{I}{V \cdot 2\pi f}}$$

V (Voltios)
I (Amperios)
f (Hertzios)
C (Faradios)

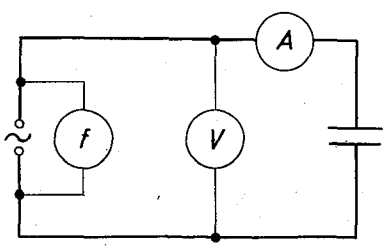


Fig. 11.3 Determinación de la capacidad en c.a.

Ejercicio de aplicación

Averiguar la capacidad de un condensador conectado a una red de 220 V y f = 50 Hz, sabiendo que absorbe 2,2 A.

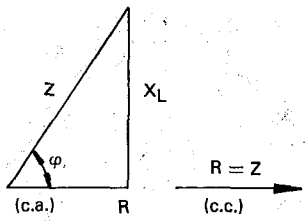
Solución:

$$X_c = \frac{V}{I} = \frac{220}{2{,}2} = 100\ \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{C \cdot \omega},$$

$$C = \frac{1}{X_c \cdot 2\pi f} = \frac{1}{100 \cdot 2\pi f} = 0{,}0000318\ F = 31{,}8\,\mu F$$

(μ F = microfaradios). La capacidad del condensador es 31,8 x 10^{-6} faradios.



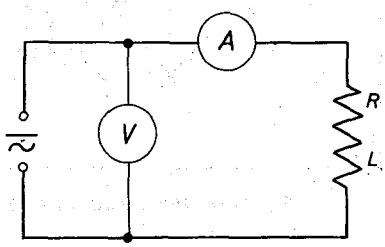


Fig. 11.4 Método de Joubert.

11.4 Otros métodos empleados en medidas de inductancias

Además de los métodos descritos anteriormente, se emplean otros sistemas para la determinación de inductancias, como el método de Joubert y el puente de Maxwell.

11.4.1 *Metodo de Joubert*

Es poco exacto y está basado en la aplicación directa de la ley de Ohm, a un circuito de c.a. y a uno de c.c. (fig. 11.4).

Si se conecta a una fuente de corriente continua, la impedancia se convierte en resistencia y su valor se obtiene por cociente de lecturas de voltímetro y amperímetro:

$$Z = R + X_L; \quad X_L = L\,\omega = L \cdot 2\pi f = L \cdot 2\pi \cdot 0 = 0$$

por tanto Z = R

$$\boxed{R = \frac{V}{I}}$$

Si se une a una fuente de corriente alterna se tendrá:

$$\boxed{Z = \frac{V'}{I'}}$$

Como por otra parte:

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

$$X_L^2 = Z^2 - R^2 \text{ y } X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = L \cdot \omega$$

y el valor de la inductancia:

$$\boxed{L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V'}{I'}\right)^2 - \left(\frac{V}{I}\right)^2}}$$

donde:

f = hertzios.
V y V' = voltios.
I e I' = amperios.
L = henrios.

En este método se cometen diversos errores, pero resulta sencillo y práctico.

11.4.2 *Método del puente de Wien-Maxwell*

Las mediciones de precisión se realizan con conexiones en puente, siendo uno de los más sencillos, derivado del puente de Wheatstone, el de Wien-Maxwel. Se alimenta con corriente alterna y los resultados son independientes de la frecuencia de la red.

El circuito (fig. 11.5) dispone de una resistencia potenciométrica R_1 y R_2, con un contacto móvil que se conecta al galvanómetro. A un lado está conectada la impedancia patrón L_p y una resistencia en serie R_3 y, al otro lado, se conecta la reactancia desconocida X_L, de inductancia L_X y de resistencia R_X obteniéndose las incógnitas:

$$\boxed{R_X = R_3 \frac{R_1}{R_2}} \qquad \boxed{L_X = L_p \cdot \frac{R_1}{R_2}}$$

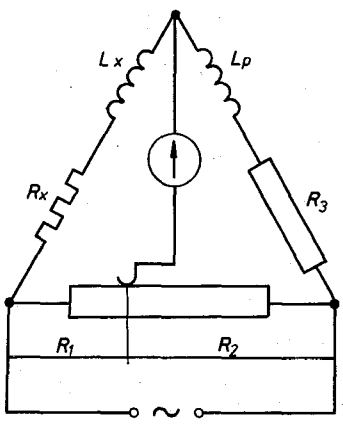


Fig. 11.5 Puente de Wien-Maxwell.

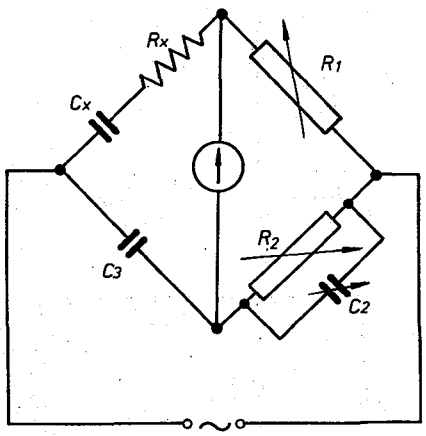


Fig. 11.6 Puente de Shering.

11.5 Puente de Schering para medidas de capacidades

La medición, con cierta exactitud, requiere los métodos de puentes, aunque, en este caso, alimentado por corriente alterna.

La medición de la capacidad C_X, incluye una resistencia R_X en serie, que dará lugar a las pérdidas del condensador, evaluados por el coeficiente δ.

El puente (fig. 11.6) consta de un condensador patrón C_3, un condensador variable C_2 en paralelo con una resistencia variable R_2 y una segunda resistencia variable R_1.

Las ecuaciones que dan las incógnitas, una vez puesto el puente a cero, son:

$$C_X = C_3 \frac{R_1}{R_2} \qquad R_X = R_1 \frac{C_2}{C_3}$$

Se debe indicar que la puesta a cero del puente ofrece alguna dificultad; sobre todo, comparada con los puentes de medición de resistencias.

11.6 Diferentes combinaciones R, L, C, empleadas en mediciones

Existen diversos tipos de métodos sencillos para medida de impedancias que pueden realizarse con aparatos de uso sencillo y corriente en la industria (amperímetros y voltímetros).

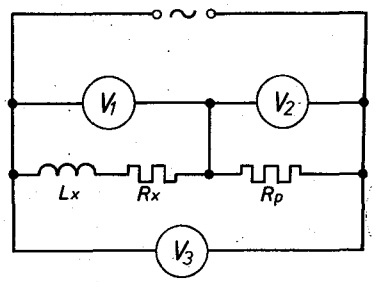


Fig. 11.7 Método de los tres voltímetros.

11.6.1 *Método de los tres voltímetros*

Se trata de calcular los valores de inductancia (L_X) y resistencia (R_X) de una bobina. Se conecta la bobina en serie con una resistencia patrón R_p, a una red de corriente alterna (fig. 11.7). Se colocan tres voltímetros de c.a. que indicarán los valores eficaces V_1, V_2, V_3.

Al ser un circuito serie, la corriente es la misma a lo largo del circuito.

Así pues:

$$I = \frac{V_1}{Z_X} = \frac{V_2}{R_p} = \frac{V_3}{Z_t}$$

$$Z_X = \sqrt{R_X^2 + X_L^2}$$

$$Z_t = \sqrt{(R_X + R_p)^2 + X_L^2}$$

restando las dos ecuaciones

$$(R_X + R_p)^2 + X_L^2 - R_X^2 - X_L^2 = R_p^2 \cdot \frac{V_3^2 - V_1^2}{V_2^2}$$

de donde:

$$R_X^2 + R_p^2 + 2\,R_X \cdot R_p - R_X^2 = R_p^2 \cdot \frac{V_3^2 - V_1^2}{V_2^2}$$

elevando al cuadrado estas expresiones:

$$\frac{V_1^2}{Z_X^2} = \frac{V_2^2}{R_p^2}; \qquad \frac{V_2^2}{R_p^2} = \frac{V_3^2}{Z_t^2}$$

despejando las incógnitas;

$$Z_X^2 = R_p^2 \frac{V_1^2}{V_2^2}; \qquad Z_t^2 = R_p^2 \frac{V_3^2}{V_2^2}$$

$$R_X^2 + X_L^2 = R_p^2 \frac{V_1^2}{V_2^2}; \qquad (R_X + R_p)^2 + X_L^2 = R_p^2 \frac{V_3^2}{V_2^2}$$

y a su vez

$$R_p^2 + 2\,R_X \cdot R_p = R_p^2 \cdot \frac{V_3^2 - V_1^2}{V_2^2}$$

sacando factor común:

$$R_p\,(R_p + 2\,R_X) = R_p \cdot R_p \cdot \frac{V_3^2 - V_1^2}{V_2^2}$$

$$2\,R_X = R_p \left(\frac{V_3^2 - V_1^2}{V_2^2} - 1 \right)$$

y finalmente

$$R_X = \frac{R_p}{2} \cdot \frac{V_3^2 - V_1^2 - V_2^2}{V_2^2}$$

V_1, V_2 y V_3 (Voltios)
R_p (Ohmios)
R_X (Ohmios)

que indica el valor de la R_X en función de las lecturas de los tres voltímetros y la resistencia patrón.

Conociendo R_X, se puede averiguar el valor de la inductancia:

Despejando de la Zx;

$$Z_X = R_p \cdot \frac{V_1}{V_2}$$

y a su vez:

$$Z_X^2 = R_X^2 + X_L^2; \qquad X_L = \sqrt{Z_X^2 - R_X^2}$$

finalmente

$$X_L = L \cdot \omega; \qquad L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

X = (Ohmios)
f = (Hertzios)
L = (Henrios)

Ejercicio de aplicación

Hallar el valor de la bobina (Rx, Lx), conectada en serie con una resistencia patrón de 100 Ω, siendo las indicaciones de los voltímetros, $V_1 = 16$ V, $V_2 = 9{,}4$ V, y $V_3 = 25$ V, al ser conectado el circuito a una red de c.a. de f = 50 Hz.

Solución:

$$R_X = \frac{R_p}{2} \cdot \frac{V_3^2 - V_1^2 - V_2^2}{V_2^2}$$

$$R_X = \frac{110}{2} \cdot \frac{25^2 - 16^2 - 9{,}4^2}{9{,}4^2} = 3{,}17\ \Omega$$

$$Z_X = R_p \cdot \frac{V_1}{V_2} = 110 \cdot \frac{16}{9{,}4} = 170{,}2\ \Omega$$

$$X_L = \sqrt{Z_X^2 - R_X^2} = \sqrt{170{,}2^2 - 3{,}17^2} = 170{,}18\ \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{170{,}18}{2\pi f} = 0{,}541 \text{ henrios}$$

Los resultados del cálculo por medición dan una inductancia de L = 0,541 Henrios y resistencia pura de R = 3,17 Ω.

Puede decirse, a la vista de los resultados, que predomina el efecto inductivo y que es prácticamente despreciable el valor resistivo de la bobina.

11.6.2 *Método de los tres amperímetros*

Se emplea para la medición de inductancias (L_X, R_X).

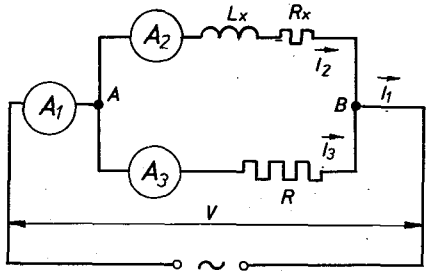
Se conecta una resistencia óhmica (R) en paralelo con la bobina desconocida (R_X, L_X) (fig. 11.8).

Al aplicar una tensión alterna al circuito circulará una corriente I_1, que será indicada por el amperímetro A_1, y en el nudo A, se bifurcará en las corrientes I_2 e I_3 que señalan los amperímetros A_2 y A_3, respectivamente.

Partiendo de las lecturas de los tres amperímetros se calcularán las incógnitas R_X y L_X.

Con las medidas de los amperímetros se construye el triángulo de intensidades del que se deduce:

$$I_1^2 = I_3^2 - I_2^2 - 2 I_2 \cdot I_3 \cdot \cos(180 - \varphi); \qquad \cos\varphi = \frac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{2 I_2 \cdot I_3}$$



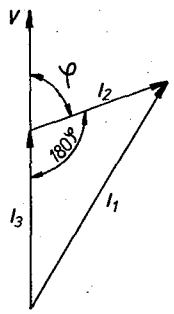


Fig. 11.8 Método de los tres amperímetros.

La impedancia de la bobina desconocida es:

$$Z = \frac{V}{I_2} = \frac{R \cdot I_3}{I_2}$$

la resistencia de la bobina R_X es:

$$R_X = Z \cdot \cos \varphi = \frac{I_3}{I_2} \cdot R \cdot \cos \varphi$$

y sustituyendo el valor de cos φ, se tendrá:

$$R_X = \frac{I_3}{I_2} \cdot R \cdot \frac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{2 I_2 \cdot I_3}$$

$$\boxed{R_X = \frac{R}{2} \cdot \frac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{I_2^2}}$$

la reactancia X_L:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R_X}$$

y la inductancia:

$$\boxed{L_X = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2 \pi f}}$$

donde:

R	(Ohmios)
I_1, I_2 y I_3	(Amperios)
R_X	(Ohmios)
X_L	(Ohmios)
F	(Hertzios)
L_X	(Henrios)

Ejercicio de aplicación

Averiguar la inductancia de una bobina, que se conecta en paralelo con una resistencia patrón de 50 Ω; sabiendo que los amperímetros, A_1, A_2, y A_3, miden 0,57 A, 0,44 A y 0,264 A respectivamente.

Solución:

Se conectan según el esquema de la figura 11.8 y se deducen:

$$R_X = \frac{R}{2} \cdot \frac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{I_2^2} = \frac{50}{2} \cdot \frac{0{,}57^2 - 0{,}44^2 - 0{,}264^2}{0{,}44^2} = 7{,}95 \ \Omega$$

La impedancia:

$$Z = R \frac{I_3}{I_2} = 50 \cdot \frac{0{,}264}{0{,}44} = 30 \ \Omega$$

la reactancia:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R_X^2} = \sqrt{30^2 - 7{,}95^2} = 28{,}92 \ \Omega$$

y la inductancia:

$$L_X = \frac{X_L}{2 \pi f} = \frac{28{,}92}{2 \pi \cdot 50} = 0{,}092 \text{ henrios}$$

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Describir algún otro método empleado en las medidas industriales de impedancias.

— Consultar, en algún texto de medidas eléctricas, el tema de puentes de corriente alterna para medidas de resistencias, bobinas, y condensadores.

CUESTIONARIO

—¿Existen receptores puramente resistivos?

—¿Qué sucede al conectar una bobina muy inductiva a una red de c.a.? y ¿de c.c.?

—¿Existe algún receptor que funcione indistintamente en c.a. o c.c.?

—¿Qué diferencias existen entre bobinas con núcleo aislante o núcleo de hierro?

— Averiguar el factor de calidad de una bobina, sabiendo que, al conectarla a una red de c.c., los aparatos señalan 20 V y 5 A; mientras que en c.a. indican 20 V y 1 A.

—Por el método de los tres voltímetros se obtienen las lecturas, $V_1 = 50$ V, $V_2 = 30$ V, $V_3 = 70$ V, $R_p = 50\ \Omega$ y frecuencia 50 Hz.

Averiguar el factor de calidad de la bobina

—Un condensador de 4 μF se emplea para mejorar el factor de potencia de un tubo fluorescente, conectado a 220 V. Hallar la corriente absorbida por el condensador.

BIBLIOGRAFIA

BANDINI A., *Medidas eléctricas 1/2,* REDE, Barcelona 1967.

NIARD J., *Curso de electricidad II,* Toray Masson, Barcelona 1971.

KARCZ A., *Fundamentos de Metrología Eléctrica I y II,* Marcombo, Barcelona 1975.

Trabajos de laboratorio Eléctrico.

2. Electrodomésticos

Tema 12. Aparatos eléctricos de uso doméstico

OBJETIVOS

- *Conocer la aplicación del extenso campo de aparatos electrodomésticos.*
- *Importancia de la transformación de la energía eléctrica en calorífica.*
- *Diferenciación entre los sistemas de tansmisión de calor.*
- *Conocimiento de las ventajas e inconvenientes de la calefacción eléctrica.*
- *Estudio del sistema de calefacción por radiación.*
- *Saber elegir entre los diferentes sistemas de calentadores de agua.*
- *Conocimiento de los diferentes elementos de que consta una cocina eléctrica.*
- *Estudio del funcionamiento del horno turbotérmico.*
- *Conocer los aparatos electrodomésticos de mayor novedad.*
- *Fundamento del aparato de refrigeración por compresión.*
- *Estudio del acondicionador de aire.*

GUION

- Introducción.
- Efecto calorífico de la corriente eléctrica. Propagación del calor.
- Aparatos de calefacción eléctrica:
  Sistema de calefacción, por convección.
  Sistema de calefacción, por radiación.
- Calentadores eléctricos de agua.
- Cocinas y hornos eléctricos. Campanas purificadoras:
  Elementos de una cocina eléctrica.
  Hornos empotrables.
  Encimeras vitrocerámicas.
  Campanas purificadoras.
- Aparatos de refrigeración:
  Constitución
  Armarios frigoríficos para uso doméstico.
  Acondicionadores de aire.

PUNTOS CLAVE

- Calefacción eléctrica.
- Aparatos electrodomésticos, destinados a la cocción de alimentos.
- Hornos turbotérmicos.
- Estudio de los aparatos de refrigeración.

EXPOSICION DEL TEMA

12.1 Introducción

En el mercado actual, el número y tipos de aparatos electrodomésticos es tan elevado, que sería necesario dedicar a su estudio un texto completo. En el presente tema se trata de explicar los principios en que están basados, y las aplicaciones de algunos de ellos.

Con el fin de que el alumno conozca los electrodomésticos más modernos, se ha consultado a técnicos de diversas empresas, dedicadas a su fabricación.

Se pueden clasificar los aparatos en los siguientes grupos:
- Aparatos de calefacción.
- Calentadores eléctricos de agua.
- Cocinas y hornos eléctricos.
- Aparatos de refrigeración y ventilación.

12.2 Efecto calorífico de la corriente eléctrica. Propagación del calor

El *calor* es una de las numerosas formas en que se manifiesta la energía. La *temperatura* es la propiedad de los cuerpos que hace posible conocer el nivel de calor que tienen los mismos.

12.2.1 *Calor producido por una corriente eléctrica*

El físico Joule descubrió que la producción de calor en un conductor, al ser recorrido por una corriente eléctrica, viene dada por la expresión:

$$\boxed{Q = 0{,}24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t}$$

Q = calor producido en calorías
R = resistencia del conductor en ohmios
I = intensidad que recorre al conductor en amperios
t = tiempo en segundos.

Por otra parte, el trabajo es el producto de la potencia por el tiempo:

$$T = P \cdot t$$

a su vez:

$$P = R \cdot I^2$$

T = trabajo en julios
P = potencia en vatios

de donde:

$$T = P \cdot t = R \cdot I^2 t$$

siendo, por tanto:

$$\boxed{Q = 0{,}24 \cdot T}$$

El calor es directamente proporcional al trabajo eléctrico (energía eléctrica).

Se pueden deducir otras expresiones, que servirán para inmediatas aplicaciones, expresando la potencia en kilovatios, el tiempo en horas y el calor en kilocalorías:

$$1.000 \cdot Q = 0{,}24\,(1.000 \cdot P)\,(3600 \cdot t)$$

$$Q = 0{,}24 \cdot (3600) \cdot P \cdot t = 864 \cdot P \cdot t$$

donde:

Q = calor en kcal.
P = potencia en kW.
t = tiempo en horas.

Por ejemplo, 1 kWh de energía eléctrica produce 864 kcal.

12.2.2 *Propagación del calor*

La propagación del calor, desde el foco calorífico al exterior, se puede hacer de tres formas: conducción, convección y radiación.

El sistema de *conducción* es la transmisión del calor de una partícula a la más próxima, de esta a la siguiente, y así sucesivamente. Este sistema depende de cada material; su capacidad de conducción se expresa por el coeficiente de conductibilidad.

El sistema de *convección* se produce en líquidos o gases en movimiento, que están en contacto con cuerpos calientes. Un factor, a tener muy en cuenta, es la velocidad de circulación del líquido o gas.

La propagación por *radiación* tiene lugar en cualquier cuerpo, cuya temperatura sea mayor que la del ambiente que le rodee; se transmite por radiaciones electromagnéticas de una determinada longitud de onda. La radiación térmica depende de la temperatura del cuerpo radiante y se propaga a la velocidad de la luz.

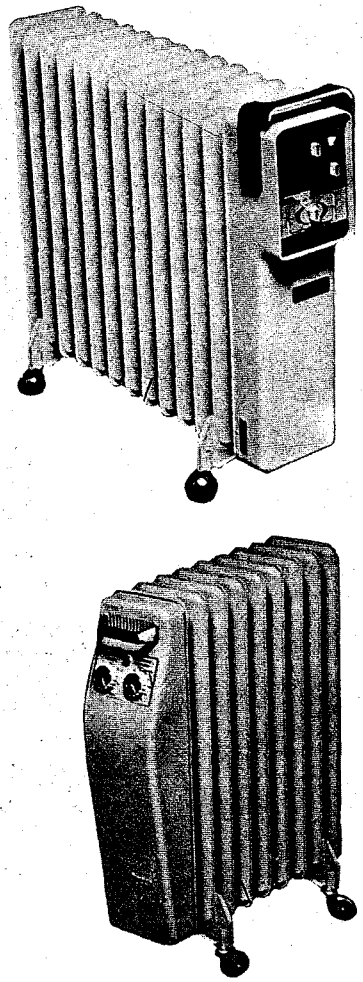


Fig. 12.1 Radiadores de wasser-ol Garza.

12.3 Aparatos de calefacción eléctrica

Son los dispositivos que, basados en la ley de Joule, se destinan a elevar la temperatura de una vivienda o local, hasta lograr un ambiente confortable.

En cualquier aparato térmico, la propagación del calor se hace por los tres sistemas citados, aunque puede hacerse que predomine uno de ellos según sea la construcción del aparato. En la actualidad, se tiende al sistema de calefacción por *radiación*; no obstante, también se utiliza el sistema de *convección*.

Antes de pasar a estudiar los diferentes sistemas eléctricos de calefacción es necesario indicar *cuándo se debe emplear* la calefacción eléctrica, conocidas previamente las ventajas e inconvenientes que presenta su utilización:

Ventajas:

- instalación sencilla, una vez terminada la vivienda;
- mando normal o automático;
- posibilidad de conexión en cualquier momento;
- no produce malos olores;
- no consume oxígeno;
- no produce contaminación en la atmósfera;
- no se estropean las paredes;
- no emplea tuberías por el piso o local;
- no suele tener averías;
- no necesita limpieza en la instalación, etc.

Inconvenientes

A pesar de las numerosas ventajas, la calefacción eléctrica presenta un gran inconveniente: *el precio del kW-hora consumido*. Este inconveniente limita bastante su empleo. No obstante, en numerosas ocasiones será más ventajoso el empleo de aparatos de calefacción eléctrica, por ejemplo, en días fríos de primavera o verano en los que no funcione la calefacción general; cuando interese disponer de calefacción solamente en una habitación; en el caso de no poder realizar las obras que necesite otro sistema de calefacción, etc.

12.3.1 *Sistema de calefacción por convección*

Este sistema es aconsejable para calentamiento de grandes espacios y necesita bastante tiempo para ello.

12.3.1.1 *Estufas*

Están constituidas por una caja de chapa de acero, en cuyo interior se aloja la resistencia de caldeo. El medio trasmisor del calor es el aire, al circular por los canales practicados junto al elemento de caldeo. Los *radiadores* (fig. 12.1) se construyen de forma similar a los empleados en calefacción centralizada, disponiendo, en su parte inferior, de la resistencia de caldeo y llenando el recipiente con agua o aceite.

12.3.1.2 *Ventilador térmico* (fig. 12.2)

Tiene forma similar a una estufa, con la diferencia de que el aire circula rápidamente, por la acción de un ventilador movido por un pequeño motor eléctrico. Este sistema calienta rápidamente el aire de una habitación media. El aire calentado alcanza temperaturas de unos 50 °C.

En el sistema de calor por convección los aparatos disponen de resistencias de caldeo, cuyo consumo varía de 1000 a 2000 W.

12.3.2 *Sistema de calefacción por radiación*

Es el sistema más utilizado en la actualidad, caracterizándose por su rapidez para calentar el ambiente circundante.

Un sistema general de calefacción por radiación, muy moderno, es el *difusor vitrificado* (fig. 12.3): este sistema está constituido por un circuito eléctrico impreso (sustituyendo a la resistencia) sobre una placa de acero con tres capas de porcelana vitrificada a temperaturas elevadas. El calor se transmite a la capa de porcelana, la cual lo envía al exterior, por emisión de ondas electromagnéticas. Este sistema de emisión permite la absorción del calor por los cuerpos sólidos de la habitación, y hace, además, que se refleje, al chocar contra superficies pulidas de cuerpos metálicos o de cristal. Estas ondas se transforman en calor, desde el interior hacia el exterior de los cuerpos.

El circuito eléctrico (fig. 12.4) dispone de un termostato que conectará automáticamente el difusor cuando la temperatura varíe en ± 1 °C sobre el valor fijado.

La instalación suele hacerse en la parte inferior de las paredes, a unos 30 cm, y, preferentemente, debajo de las ventanas (fig. 12.5).

La gama de modelos y sus características, para instalación y montaje, se indican en la tabla 12.6.

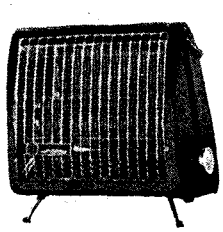


Fig. 12.2 Ventilador térmico Edesa.

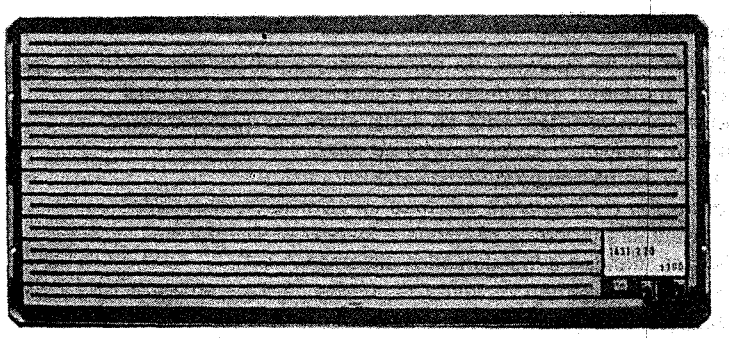


Fig. 12.3 Placa de acero con circuito impreso.

A las ventajas citadas, para los sistemas de calefacción, se pueden añadir en este caso:
- No producir suciedad por convección.
- No enrarecer el ambiente.
- Rapidez en calentar.
- Proporcionar una calefacción homogénea.
- Ser decorativa.

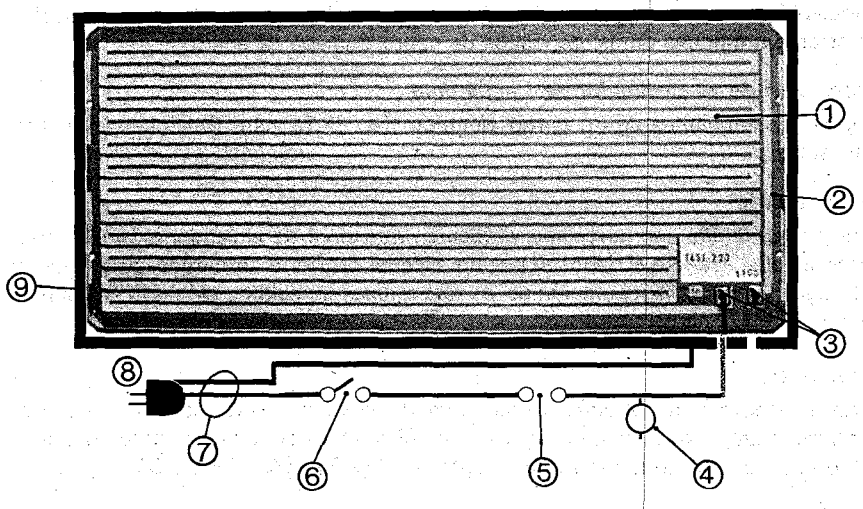


Fig. 12.4 Esquema eléctrico Sol-Thermic: *1, circuito impreso; 2, capa de porcelana vitrificada sobre la placa de acero; 3, terminales soldados al circuito impreso con aleación de plata; 4, piloto señalizador; 5, termostato con membrana de gas; 6, interruptor general; 7, cable trifilar (alimentación y tierra); 8, clavija blindada; 9, chasis.*

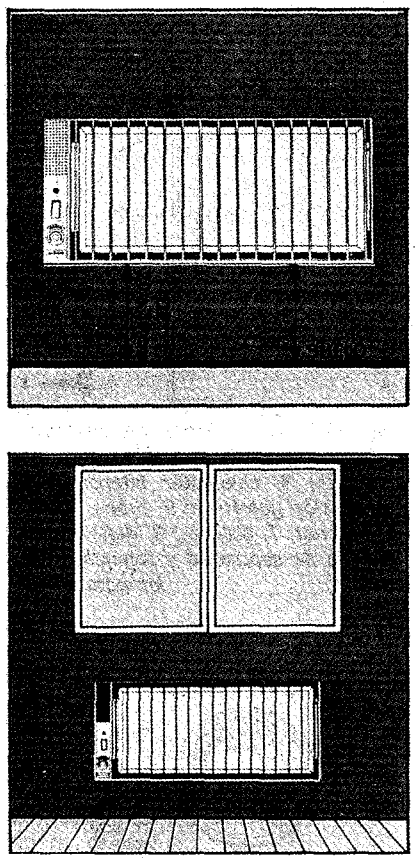


Fig. 12.5 Instalación de la calefacción.

Tabla 12.6 Características de los difusores SOL-THERMIC

Modelos	*Watios*	*Calorías Hora*	*Voltios*	*Amperios*	*Alto cm*	*Largo cm*	*Grueso cm*	*Distancia entre puntos de fijación cm*
Junior A - 1	600	518	125 220	4,8 2,7	42	49	5	23
Junior B - 2	800	691	125 220	6,4 3,6	42	59	5	23
Medium A - 1	1.100	950	125 220	8,8 5	42	92	5	66
Medium B - 2	1.300	1.123	125 220	10,4 5,9	42	102	5	66
Senior A -1	1.600	1.382	220	7,2	42	128	5	102
Senior B - 1	2.000	1.728	220	9	42	128	5	102
Portátil A.	1.000	864	125 220	8 4,5	42	64	7	—
Portátil B.	2.000	1.728	220	9	42	64	7	—

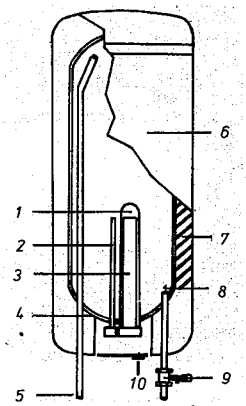


Fig. 12.7 Constitución de un termo eléctrico Bru: *1, funda tubular; 2, termostato; 3, calefactor bitensión; 4, protección galvánica; 5, tubos; 6, vista exterior; 7, aislante; 8, deflector; 9, válvula de seguridad y retención; 10, lámpara piloto.*



Fig. 12.8 Termostato.

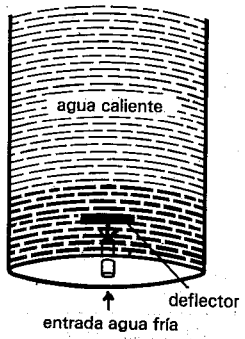


Fig. 12.9 Deflector.

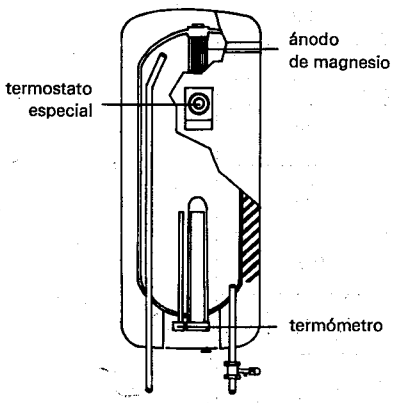


Fig. 12.10 Termo eléctrico especial para funcionamiento con aguas blandas.

12.4 Calentadores eléctricos de agua

Paralelamente al desarrollo de aparatos de calefacción, surge la necesidad de agua caliente en cualquier hogar moderno, para destinarla a limpieza o aseo personal.

Existen varios sistemas para calentamiento de agua, entre los que destacan:

A, *por combustión individual (calentadores de gas).*

B, *por combustión centralizada (agua caliente central).*

C, *por transformación de la energía eléctrica en térmica (termos eléctricos).*

En los edificios de viviendas modernos se tiende a instalar el sistema B.

En las viviendas aisladas, tienden a instalarse los sistemas A y C.

Los calentadores eléctricos presentan las ventajas citadas para los aparatos de calefacción, y, por tanto, tienen un campo de aplicación amplio.

Para la elección de un termo eléctrico habrá de tenerse en cuenta la región y el lugar donde va a instalarse, porque la constitución química del agua varía de unos sitios a otros.

12.4.1 *Tipos de calentadores*

En general, las aguas se agrupan en dos tipos:

— *Aguas blandas*; que dan lugar a oxidación y desgaste de los tubos de conducción y a la formación de depósitos resultantes de la oxidación.

— *Aguas duras*; que depositan sedimentos en el interior de los tubos y depósitos a temperaturas superiores a 60 °C.

Para aguas blandas se emplean depósitos de cobre, o chapa de acero, con protección para la corrosión; para aguas duras, depósitos de cobre o chapa de acero.

12.4.2 *Constitución de un calentador para agua dura*

Las partes constituyentes de un termo eléctrico (fig. 12.7), para funcionamiento con aguas duras, son:

12.4.2.1 *Funda tubular*

Es de acero, protegida con porcelana vitrificada, que sirve de alojamiento al elemento de caldeo (resistencia). Se une al depósito por un sistema de cierre hermético, para impedir la entrada de agua y facilitar la reparación de las resistencias de caldeo, evitando se vacíe el agua del termo.

12.4.2.2 *Termostato*

Controla la temperatura del agua, desconectando el elemento de caldeo, cuando se alcanza la temperatura, a que ha sido regulado, y volviendo a conectar cuando ésta desciende, cumpliendo con la norma del Reglamento de Baja Tensión (MI-BT-33) (fig. 12.8).

12.4.2.3 *Calefactor bitensión*

Está formado por las resistencias de caldeo, preparado para funcionar a c.a. de 125 o 220 V.

12.4.2.4 *Protección galvánica*

Es un revestimiento de cinc, fundido en el interior del depósito, para evitar la corrosión del metal.

12.4.2.5 *Tubos*

Destinados a la entrada y salida del agua. Los tubos se deben sacar por la zona inferior, aún cuando la toma de agua caliente se encuentre en la parte superior.

12.4.2.6 *Vista exterior*

Se cuidará para que ofrezca una línea agradable.

12.4.2.7 *Aislante*

Es el material que evita la pérdida de calor del agua caliente del depósito. Suele emplearse fibra de vidrio.

12.4.2.8 *Deflector*

Es un dispositivo (fig. 12.9), que establece la entrada del agua fría en forma de capas horizontales, que presionan a la masa de agua caliente hacia arriba, donde se encuentra la salida del depósito.

12.4.2.9 *Válvula de seguridad y retención*

Sirve para evitar que la presión interior en el depósito alcance valores peligrosos, por efecto de la temperatura. Si se alcanza el valor regulado (sobre 7 kg/cm²), permite la salida del agua que esté a mayor presión, volviéndose así a la normalidad.

12.4.2.10 *Lámpara piloto*

Permanece encendida cuando la resistencia está conectada.

12.4.3 *Constitución de un calentador para agua blanda*

Los termos construidos para funcionar con aguas agresivas (blandas), además de las características anteriores, disponen de (fig. 12.10):

— *Anodo de magnesio*: para evitar la destrucción del galvanizado por la corrosión de estas aguas.

— *Termómetro:* para saber la temperatura del agua, desde el exterior, en los termos verticales.

— *Termostato*: del tipo bimetálico de doble seguridad, de 20 a 80 °C. Para ello dispone de un limitador térmico, que desconecta la resistencia, si el agua alcanza una temperatura superior a 90 °C.

La capacidad de los termos eléctricos varía, desde 30 a 100 litros, y las potencias, de 750 a 1.500 W.

Normalmente, se construyen los modelos verticales y horizontales, según sea su emplazamiento (fig. 12.11).

En la instalación eléctrica del aparato es aconsejable la puesta a tierra, tal y como indica la figura 12.12.

Una norma general muy importante es: *llenar de agua el depósito del termo antes de conectarlo a la red*, para evitar averías.

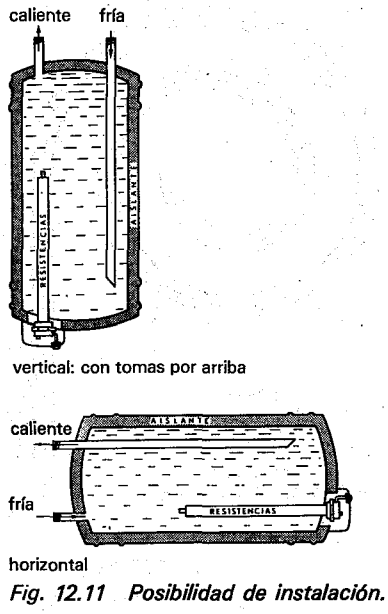


Fig. 12.11 Posibilidad de instalación.

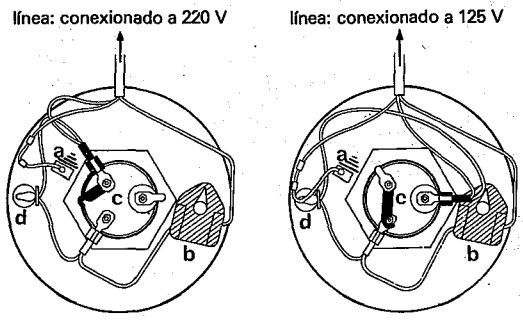


Fig. 12.12 Instalación eléctrica: a, *toma de tierra;* b, *termostato;* c, *calefactor;* d, *lámpara piloto.*

12.5 Cocinas y hornos eléctricos. Campanas purificadoras

El extenso campo de aparatos electrodomésticos comprende aparatos más o menos necesarios, pero con la excepción de los dedicados a la preparación de alimentos.

Para que algunos alimentos puedan ser digeridos por el hombre han de someterse a un tratamiento térmico, que varía de 50 a 300 °C, según el tipo de preparación.

Estas temperaturas se consiguen por combustión (cocinas de gas) o por conversión de la energía eléctrica (efecto Joule). Las cocinas mixtas emplean los dos tipos de calentamiento.

El empleo de energía eléctrica presenta las ventajas de limpieza, regulación exacta de la temperatura, no consumir oxígeno, etc.

12.5.1 *Elementos de una cocina eléctrica*

Las cocinas eléctricas están constituidas por:

— elementos de caldeo (placas de masa y tubulares),
— horno eléctrico,
— termostato,
— conmutador.

12.5.1.1 *Placas de masa*

Son de forma circular, de fundición (fig. 12.13), en cuyo interior se alojan 2 resistencias que permiten tres conexiones.

En la posición 1, las dos resistencias están en serie (mínimo consumo).

En la posición 2, se conecta la resistencia menor (consumo intermedio).

En la posición 3, las dos resistencias están en paralelo (máximo consumo).

La posición se elegirá en función de la temperatura que se pretenda conseguir, por medio de un conmutador.

12.5.1.2 *Placas tubulares*

En forma de espiral (fig. 12.14), en cuyo interior se alojan 2 resistencias, y permiten alcanzar rápidamente el calentamiento previsto. Los esquemas de conexionado son idénticos a las placas de masa.

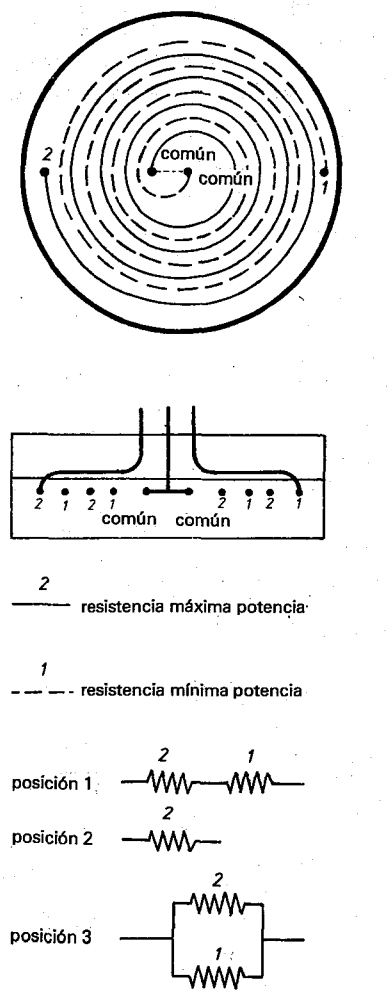
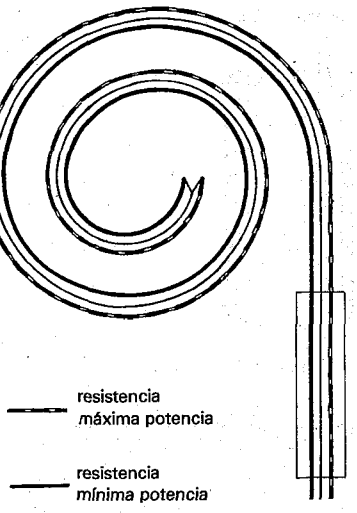


Fig. 12.13 Placas de masa. Conexionado.



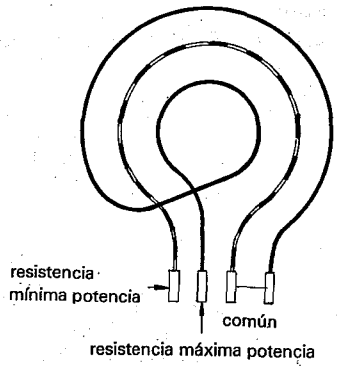


Fig. 12.14 Placas tubulares.

12.5.1.3 *Horno eléctrico*

Es la parte de la cocina destinada a los asados de alimentos. Normalmente se pueden alcanzar los 300 °C, temperatura más que suficiente para estos propósitos.

Dispone de dos resistencias independientes, alojadas, una en la parte inferior y otra, en la parte superior (grill), como puede apreciarse en la figura 12.15, que corresponde a una cocina mixta.

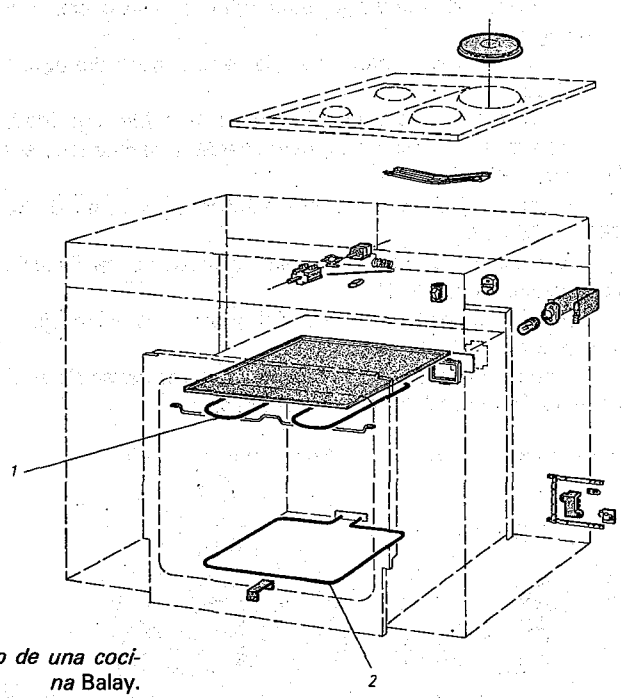


Fig. 12.15 Resistencias del horno de una cocina Balay.

12.5.1.4 *Termostato*

Es un conmutador accionado por variaciones de la temperatura (fig. 12.16).

Funcionamiento: El bulbo está introducido en el interior del horno, acusando las variaciones de temperatura de su interior. Estas modificaciones de temperatura hacen variar el volumen del líquido que hay en el bulbo, transmitiéndose, a través del tubo capilar hasta la cámara de dilatación. Al presionar sobre la membrana elástica, se empujará al microrruptor y éste abrirá un contacto, cortando la alimentación de las resistencias. Cuando disminuye la temperatura, también lo hace la presión sobre la membrana y el microrruptor ocupa su posición inicial conectando el circuito.

Actuando sobre el tornillo de regulación, se pueden conseguir temperaturas constantes que quedan identificadas por varias posiciones, en el conmutador de mando.

12.5.1.5 *Conmutador*

Selecciona la posición de calentamiento.

En la figura 12.17, se representa el esquema de conmutación para las distintas posiciones de mando, válido para resistencias de horno sin termostato y placas de masa o tubulares.

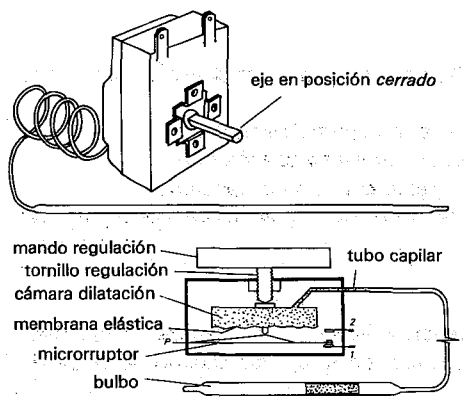


Fig. 12.16 Termostato eléctrico. Constitución.

En la tabla 12.18, se indica el consumo de los elementos de caldeo para cocinas eléctricas.

Cada día aparecen nuevos modelos de cocinas y hornos, de aspecto exterior muy diferente y con útiles avances tecnológicos.

Entre las innovaciones merecen destacarse:

— *los hornos empotrables,*
— *las placas de cocinar de vitrocerámica (encimeras),*
— *las campanas purificadoras.*

12.5.2 *Hornos empotrables*

Se caracterizan por su comodidad, ya que se instalan en alto, alojándose en muebles de cocina o en hogares de fábrica, especialmente diseñados para ello.

Un horno de la máxima novedad es el *turbotérmico*, aparecido recientemente en el mercado (fig. 12.19).

12.5.2.1 *Funcionamiento*

Está basado en la creación de una circulación forzada de aire, en el interior del horno. Esto se consigue mediante un motor-turbina colocado en la parte trasera del horno, como indica la figura 12.20.

La turbina toma el aire de la parte central del horno, a través del deflector-protector, y lo impulsa radialmente, haciéndolo pasar a través de la resistencia circular que rodea la turbina, calentándolo hasta la temperatura seleccionada y saliendo al recinto del horno por los laterales.

Por este procedimiento se consigue una circulación continua de aire, obteniéndose una temperatura uniforme en todo el volumen útil del horno.

12.5.2.2 *Características*

Entre las numerosas ventajas, se puecen citar:

— Rapidez para alcanzar las temperaturas programadas.
— Funcionamiento a temperaturas inferiores al resto de hornos, con la consiguiente disminución de olores.

Tabla 12.18 Consumo de elementos eléctricos de caldeo para cocinas

Modelo	*Elemento*	*Posición 1 (W)*	*Posición 2 (W)*	*Posición 3 (W)*	*Potencia calorífica (K cal/h)*
S-200, 300, 400 Balay	Placa masa, 18 cm, 1.500 W	240	1.200	1.500	1.300
	Placa masa, 14,5 cms, 1.000 W	200	720	1.000	864
	Placa tubular de 1.200 W	300	675	1.200	1.050
	Resistencia horno	400	1.200	1.800	1.600
S-50 y M-416 Balay	Placa tubular de 1.200 W	300	675	1.200	1.050
	Placa masa, 14,5 cm, 1.000 W	200	720	1.000	864
	Resistencia horno S-50	280	750	1.200	1.050
	Placa masa, 18 cm, 1.500 W	240	1.200	1.500	1.300

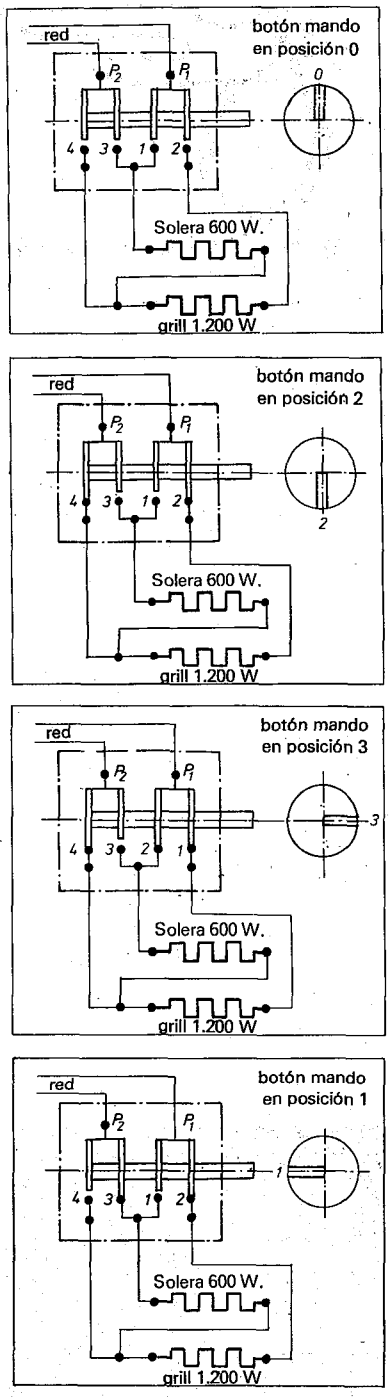


Fig. 12.17 Esquemas de conmutación para cocinas eléctricas Balay.

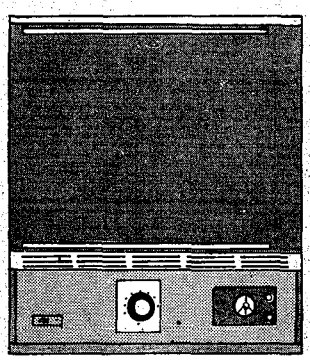


Fig. 12.19 Horno turbotérmico Balay.

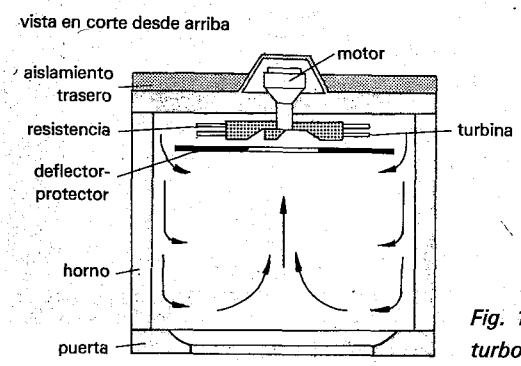


Fig. 12.20 Vista de un horno turbotérmico Balay.

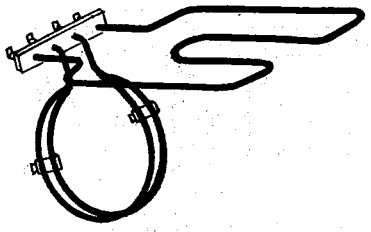


Fig. 12.21 Resistencias de caldeo.

— Disminución de las salpicaduras de grasas, y aumento, por tanto, de limpieza.
— Aumentar el volumen del horno, ya que pueden colocarse alimentos diferentes.
— Disminución de la energía consumida, por proporcionar menores temperaturas.
— Reparto muy uniforme de temperaturas en los alimentos, tanto en su interior como en el exterior.

12.5.2.3 *Utilización*

También dispone de un *reloj programador*, que permite controlar el encendido y apagado, e, incluso, proporcionar una señal acústica después de un tiempo programado. Las *resistencias de caldeo* (fig. 12.21) están situadas en planos perpendiculares, y consumen potencias de 1500 W, la superior, y de 2000 W, la circular. Cuando funciona la resistencia circular también lo hace la turbina, mientras que la superior solamente está destinada a gratinar.

El *termostato* es del tipo de bulbo con 10 posiciones y admite una temperatura máxima de 310 °C.

12.5.3 *Encimera vitrocerámica*

Esta placa de cocinar se construye con un material vitrocerámico (fig. 12.22), que reúne las siguientes características:

— Excelente poder de transmisión de rayos infrarrojos en sentido ascendente.
— Los focos de calor están centrados en las zonas de cocción, de modo que, fuera de ellos, la placa está a baja temperatura. La identificación de la zona de cocción se hace por medio de cuatro grabados, en forma de soles.
— Gran resistencia de la placa a los golpes y a los productos químicos de limpieza.
— Superficie de utilización totalmente plana.

Está dotado de 2 focos de calor, de 1600 W (1); y otros 2, de 1200 W (2). También dispone de un selector que gradúa las temperaturas (4) y de 4 pilotos indicadores de cada foco (3).

Una vez alcanzada la temperatura seleccionada, se mantiene automáticamente por la acción de un termostato especial.

Una recomendación muy útil es utilizar recipientes de fondo plano y diámetro suficiente, para cubrir toda la superficie de cocción.

La tensión de funcionamiento es de 220 V y su potencial total de 5600 W, para lo que hacen falta secciones mínimas de 6,3 mm².

12.5.4 *Campanas purificadoras*

Tienen enorme aplicación en las cocinas con el fin de eliminar los humos, olores y grasas (fig. 12.23).

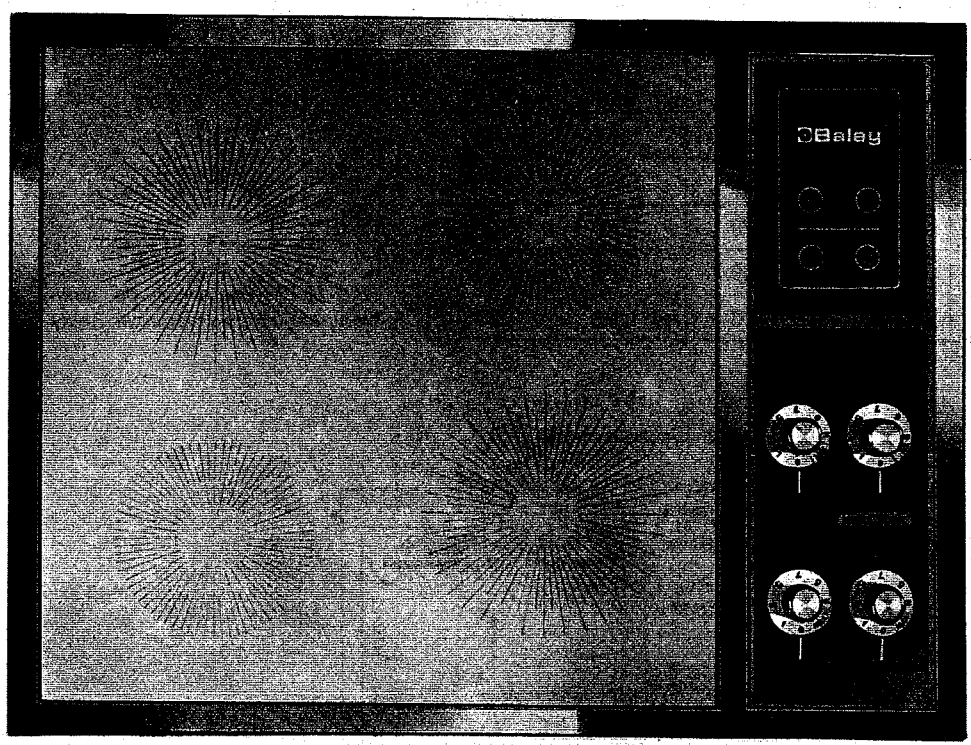


Fig. 12.22 Placa de cocinar de vitrocerámica Balay.

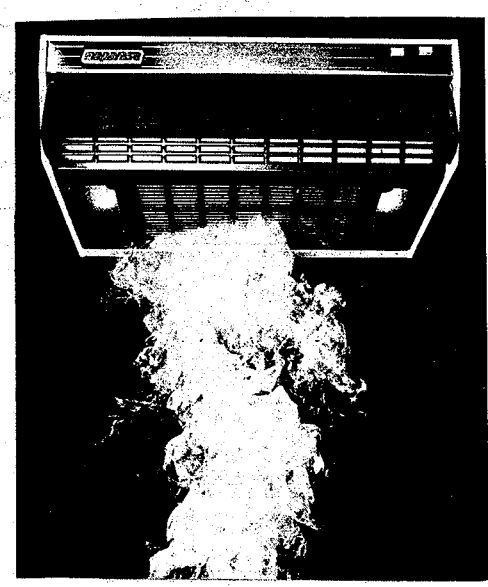


Fig. 12.23 Campana purificadora de humos (Mepamsa).

Están dotadas de una potente turbina, de dos o tres velocidades, que absorbe directamente los vapores y gases de la cocción, reteniendo las partículas y las grasas con un sistema especial de *filtros*.

La instalación eléctrica comprende un motor y una lámpara de alumbrado de potencia, con un consumo total de unos 200 W.

La campana puede acoplarse a la salida de chimenea y, en caso de que no haya salida exterior, se debe utilizar un filtro especial de carbono activado.

En la figura 12.24, se indica la forma de instalación y la circulación del humo, adecuada a cada tipo de cocina.

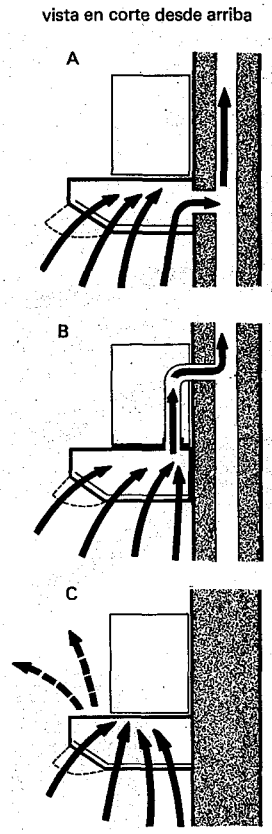


Fig. 12.24 Instalación de la campana purificadora: A, salida directa hacia atrás en una chimenea de aire; B, salida hacia atrás directamente o hacia arriba, a través del muro; C, recirculación a través del filtro de carbono activado.

12.6 Aparatos de refrigeración

Refrigeración significa extracción del calor. Para conseguir que un cuerpo adquiera temperaturas inferiores a la del medio ambiente que le rodea se recurre al empleo de los aparatos de refrigeración.

La refrigeración está basada en la *absorción de calor que se produce al evaporarse un líquido*; puede servir de ejemplo el cántaro de arcilla, destinado a conservar el agua fresca. Parte del agua se filtra por las paredes porosas y se evapora hacia el exterior. Para la evaporación es necesario el calor; éste se absorbe del interior, quedando el agua un poco más fresca.

12.6.1 *Constitución*

Un aparato de refrigeración dispone de un recipiente cerrado (evaporador) por el que circula un líquido, que se evapora al absorber el calor del medio que le rodea (chapa del evaporador, aire, etc.).

Existen dos tipos de refrigeradores, según produzcan el frío por *compresión* o *absorción*.

El sistema frigorífico a compresión (fig. 12.25) dispone de un *compresor*, accionado por un motor eléctrico, que aspira del evaporador al refrigerante en estado gaseoso y lo envía al condensador. En el *condensador*, el refrigerante se licua y cede el calor al exterior, a través de las aletas de refrigeración. Continúa el refrigerante su marcha a través del *órgano de estrangulación*, con objeto de disminuir la presión que llega del condensador; para ello, se emplea un tubo capilar largo y delgado, arrollado en forma de bobina. Finalmente, el líquido refrigerante llega al *evaporador*, donde se evapora absorbiendo el calor del medio a enfriar. El ciclo se mantiene, mientras esté funcionando el *motor eléctrico*, que será conectado automáticamente en función de la temperatura, por medio del *termostato*.

Los aparatos de refrigeración se clasifican en dos grupos:

— Armarios frigoríficos eléctricos, para uso doméstico (frigoríficos).
— Acondicionadores de aire.

12.6.2 *Armarios frigoríficos para uso doméstico*

Son los armarios frigoríficos de una capacidad y una distribución apropiada para aplicaciones domésticas, que enfrían por un dispositivo consumidor de energía eléctrica, y que

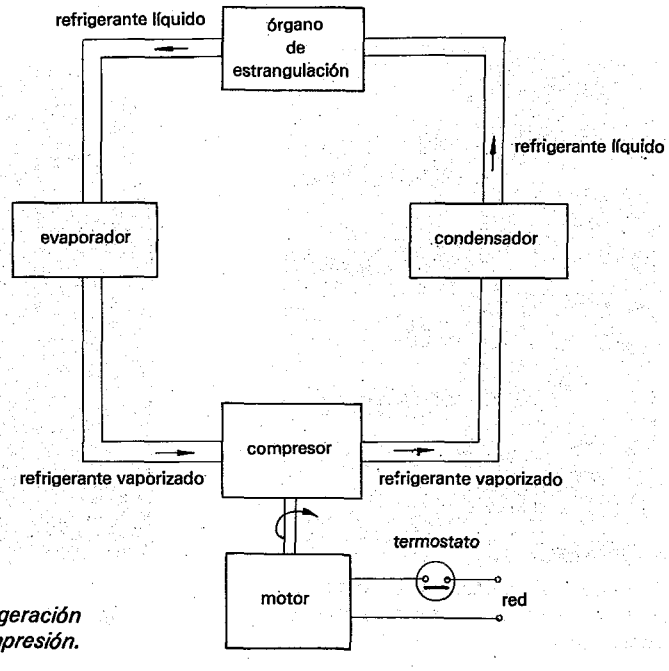
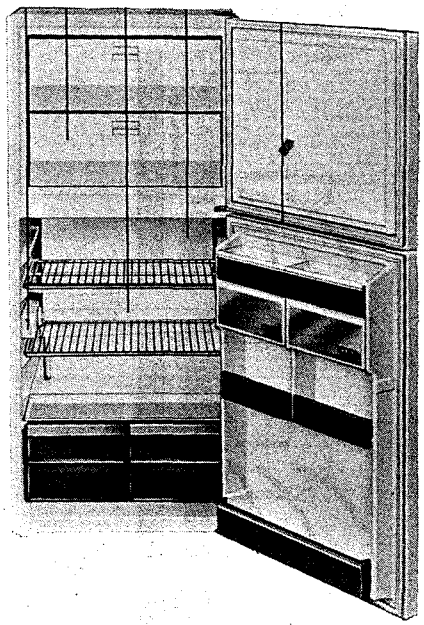


Fig. 12.25 Circuito de refrigeración de un grupo a compresión.



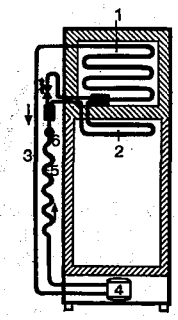


Fig. 12.26 Circuito agente refrigerante en el frigorífico-congelador combinado (AEG): 1, compartimiento congelador (temperatura por debajo de 0 °C); 2, compartimiento frigorífico (temperatura por encima de 0 °C); 3, tubo de aspiración; 4, compresor, 5, condensador; 6, tubo capilar.

poseen uno o más compartimientos, destinados a la conservación de alimentos. Disponen además de un compartimiento, al menos a temperatura superior a 0 °C.

Los frigoríficos modernos (fig. 12.26) producen el frío por compresión a través de un grupo hermético, y comprenden tres compartimentos.

12.6.2.1 *Compartimento para alimentos frescos*

Se destina a la conservación de alimentos no congelados, para lo cual dispone de bandejas, parrillas, botellero, etc. En el interior de este compartimento se mantiene la temperatura por encima de 0°C.

12.6.2.2 *Compartimento de bajas temperaturas*

Se subdivide en:

— compartimento dedicado a producir hielo y

— compartimento para el almacenado de corta, media y larga duración de alimentos congelados.

El compartimento de corta duración (fig. 12.27) se identifica por una estrella * y alcanza una temperatura igual o inferior a —6 °C. El correspondiente a dos estrellas (**) alcanza temperaturas de —12 °C y el de larga duración se identifica por tres estrellas (***) y alcanza la temperatrua de —18 °C (fig. 12.28).

12.6.2.3 *Compartimento congelador*

Está destinado a congelar alimentos y alcanza temperaturas de hasta —30 °C (figura 12.24).

12.6.2.4 *Descongelación*

Los alimentos almacenados en el frigorífico y el aire, que entra al abrirse la puerta del frigorífico, contienen *humedad*, que se deposita en el evaporador en forma de escarcha. Una formación muy fuerte de escarcha disminuye el rendimiento del frigorífico, y es necesario realizar la *descongelación*.

Puede ser: manual, semiautomática y automática. La descongelación y evaporación de los frigoríficos modernos es totalmente automática; se aprovecha el tiempo de paro del motor para descongelar la capa de escarcha formada, el agua de descongelación pasa a un pequeño recipiente próximo al compresor, donde se evapora por acción del calor del mismo.

El consumo de un frigorífico varía de 110 a 180 W, según el tamaño y tipo de compartimentos.

12.6.3 *Acondicionadores de aire*

La climatización total de una vivienda requiere, además de la calefacción, de una eficaz refrigeración. Ambas cosas pueden conseguirse con un mismo aparato, llamado *acondicionador de aire* (fig. 12.29).

El acondicionador de aire es aparato que enfría con un grupo refrigerante el aire o lo calienta, con elementos de caldeo (resistencias).

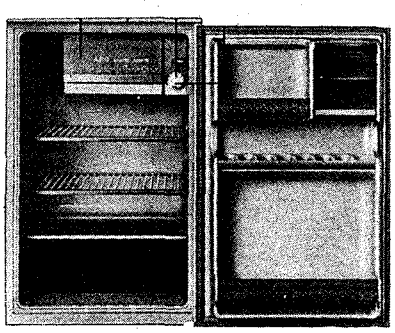


Fig. 12.27 Frigorífico con compartimiento congelador de una estrella (AEG).

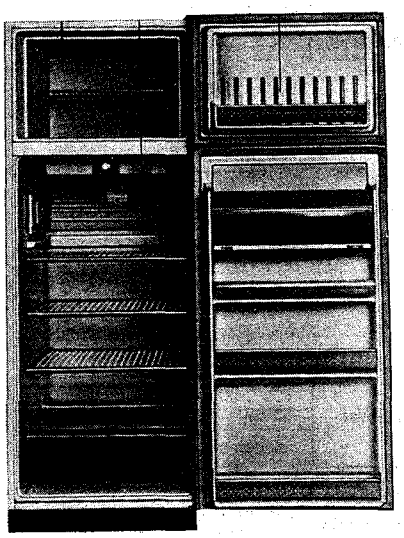


Fig. 12.28 Frigorífico automático con compartimiento congelador de tres estrellas (AEG).

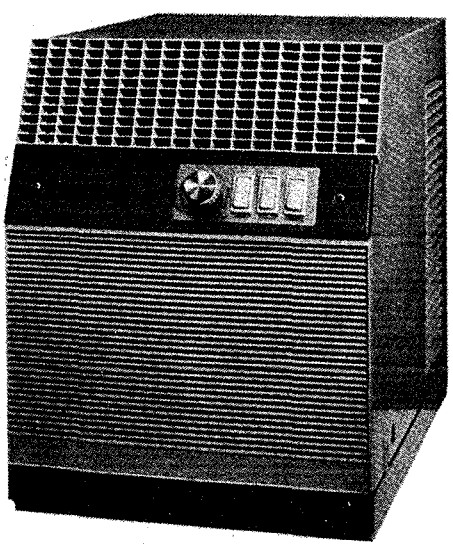


Fig. 12.29 Acondicionador de aire (Airwell).

12.6.3.1 *Instalación*

Aunque existen diferentes tipos de aparatos, se instala preferentemente el de condensación por aire. Es necesario, para su funcionamiento, que esté en contacto con el aire exterior de la habitación (oficina, dormitorio, salón). La instalación de estos aparatos suele hacerse en los muros o en las ventanas (fig. 12.30).

Para salvar el inconveniente que, en algunos casos, presenta la instalación, se fabrican acondicionadores de aire separados en dos unidades (fig. 12.31). La *unidad de tratamiento* de aire se coloca en cualquier parte de la habitación (suelo, empotrada en un mueble, etc.) y la *unidad de condensación* en la terraza, ventana o muro exterior. La unión entre las dos unidades se realiza por medio de tubos de conexión de unos 4 m.

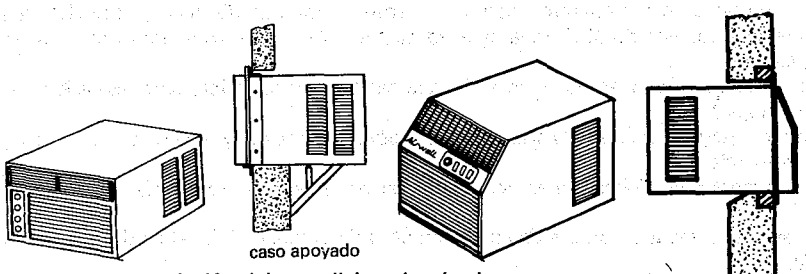


Fig. 12.30 Instalación del acondicionador de aire, en muro.

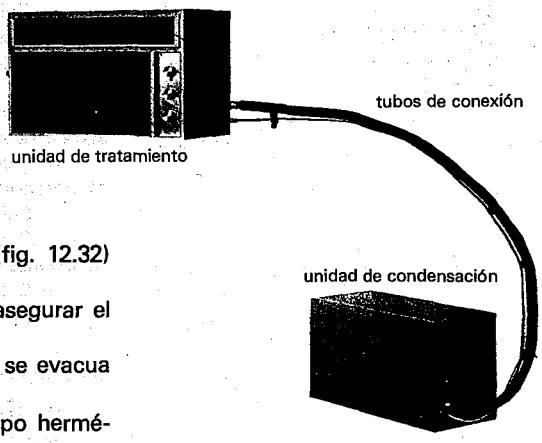


Fig. 12.31 Unidades de tratamiento y condensación (Airwell).

12.6.3.2 *Constitución*

Los elementos que constituyen el sistema de refrigeración y calefacción (fig. 12.32) son:

— *Evaporador*, construido con tubos de cobre y aletas de aluminio para asegurar el enfriamiento y deshidratación del aire.

— *Condensador*, a base de tubos de cobre y aletas de aluminio, por donde se evacua el calor al exterior.

— *Compresor*, accionado por un motor eléctrico, con el que forma un grupo hermético.

— *Filtro frigorífico.*

— *Bandeja de desagüe*, para eliminar el agua del evaporador.

— *Resistencia*, para funcionamiento con aparato calefactor.

— *Motor ventilador*, para ventilación del condensador.

— *Ventilador turbina*, para renovación del aire tratado.

— *Filtro de aire*, para filtrar y purificar el aire del exterior. Se debe limpiar periódicamente para evitar un funcionamiento anómalo del aparato.

— *Placa de mandos*, situada en la parte frontal del aparato (fig. 12.33).

— *Tapa de conexiones*, accesible sin necesidad de desmontar.

— *Desagüe*, para enviar al exterior el agua recogida en la bandeja de desagüe.

— *Cables de conexiones*, para alimentación a red del aparato (fig. 12.31).

— *Tubos de conexión*, para conectar las dos unidades citadas anteriormente.

— *Regleta de conexiones.*

Como datos de interés, se citan, a continuación, los correspondientes a un acondicionador de este tipo:

Potencia frigorífica: 2450 frigorías/hora.
Caudal de aire tratado: 550 m^3/hora.
Potencia absorbida en frío: 1.380 W.
Calefacción eléctrica: 2.000 W.
Dimensiones (ancho x alto x largo): (648 x 427 x 327 mm) Unidad de tratamiento.
(677 x 397 x 310 mm) Unidad de condensación.
Peso de las dos unidades: 67 Kg.

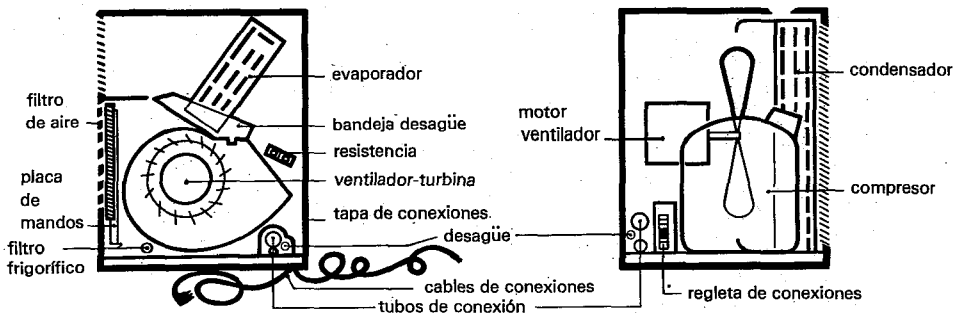
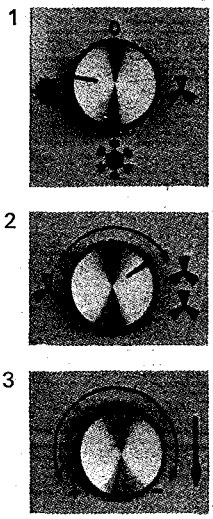


Fig. 12.32 Elementos constituyentes de un acondicionador de aire.



1. conmutador de marcha:
parado 0 ventilación frío calor
2. ventilación: reducida normal
3. termostato

Fig. 12.33 Placa de mandos.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Confeccionar una lista de aparatos electrodomésticos, incluyendo también los destinados a limpieza, aseo, belleza, higiene, planchadoras, etc., indicando su consumo aproximado en vatios.

— Desarrollo y utilización de los electrodomésticos hasta nuestros días.

— Electrodomésticos del futuro.

— Aire acondicionado en una vivienda.

CUESTIONARIO

— ¿Qué cantidad de calor produce un radiador de 1.500 W, durante las 24 horas del día, si funciona a intervalos de 10 minutos marcha y 20 minutos paro?

— Averiguar el consumo del aparato anterior, durante un mes de 30 días, y el recibo que facturará la compañía suministradora, si en la casa se dispone de 4 receptores idénticos. Precio del kW-hora: 4 pesetas.

— ¿Por qué en los modernos edificios no se instala calefacción eléctrica, para las viviendas, si ofrece tantas ventajas?

— Relacionar, de mayor a menor, los aparatos electrodomésticos de que se dispone en casa, con arreglo a su potencia.

— ¿Qué precauciones se deben tener en cuenta, al encargar un termo eléctrico? ¿Y al instalarlo?

— Calcular las diferentes resistencias de cada elemento de la tabla 12.2, sabiendo que van a instalarse a 220 V.

— ¿Qué ventajas presenta el horno turbotérmico? ¿Cuánto tiempo hace que se encuentra en el mercado?

— Funcionamiento de la encimera vitrocerámica.

— Poner ejemplos sencillos, donde se produzca el sistema de refrigeración por evaporación de un líquido.

— Explicar el funcionamiento de un frigorífico moderno.

— ¿Dónde y cómo se instalan los acondicionadores de aire?

BIBLIOGRAFIA

WARSCHKO-HUSSLEIN, *Aparatos electrodomésticos,* Editorial Gustavo Gili, Barcelona 1965.
Información técnica de la fábrica de electrodomésticos BALAY.
Catálogos de casas comerciales.

3. Líneas de distribución

Tema 13. Líneas de distribución en baja tensión, líneas de enlace

OBJETIVOS

— *Conocimiento de los diversos sistemas de producción de energía eléctrica.*
— *Adquirir nociones generales sobre el montaje y tipos de líneas de distribución en baja tensión.*
— *Saber elegir entre líneas de distribución aéreas o subterráneas.*
— *Conocer las partes constituyentes de una instalación de enlace.*
— *Conocer las normas de realización de acometidas.*
— *Conocer las normas actuales sobre instalación de contadores.*
— *Adquirir una idea sobre el montaje de instalaciones interiores.*

GUION

— Generalidades sobre la producción y el transporte de la energía eléctrica.
— Redes de distribución.
— Redes de distribución aéreas y subterráneas.
— Instalaciones de enlace:
  Acometida.
  Caja general de protección.
  Línea repartidora.
  Derivaciones individuales.
  Contadores.
  Contadores individuales.
  Contadores centralizados.
  Dispositivos privados de mando y protección.
— Instalaciones interiores.

PUNTOS CLAVE

— Diferenciación entre redes de distribución aéreas y subterráneas.
— Conocimiento detallado de cada parte de una instalación de enlace.
— Normas sobre instalaciones interiores.

EXPOSICION DEL TEMA

13.1 Generalidades sobre la producción y el transporte de la energía eléctrica

La energía eléctrica se *produce* en las centrales eléctricas (hidroeléctrica, térmica, nuclear, eólica, heliotérmica, maremotriz y olamotriz) partiendo de las energías (hidráulica, térmica de combustión, nuclear, del viento, térmica del sol, de las mareas y de las olas), respectivamente.

A partir de la central, la energía eléctrica se *transporta* a gran distancia a través de las líneas aéreas de A.T., hasta las proximidades a los lugares de consumo (ciudades, grandes industrias, etc.), donde se reduce la tensión por sucesivas transformaciones (subestación).

De la subestación de transformación parte la *red de distribución*, que transporta la energía eléctrica a las instalaciones de enlace. Las *instalaciones de enlace* están unidas a las *instalaciones interiores* de los abonados.

En el presente tema se dan las normas que, sobre esta materia, dictan el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y las normas UNE.

13.2 **Redes de distribución**

Es el conjunto de conductores con todos sus accesorios, sus elementos de sujeción, protección, etc., que une una fuente de energía o una fuente de alimentación de energía con las instalaciones interiores y con los receptores.

La red de distribución puede ser pública o privada.

13.2.1 *Red pública*

Es la que se destina al suministro de energía eléctrica en Baja Tensión para varios usuarios. Puede pertenecer a una empresa de distribución de energía o ser de propiedad particular.

13.2.2 *Red privada*

Es la destinada a la distribución de energía eléctrica en Baja Tensión a los locales o emplazamientos de un único usuario. La red privada parte de una central propia o de una red de distribución pública.

La red de distribución (fig. 13.1) se subdivide en *primaria* y *secundaria*.

13.2.3 *Red primaria*

Conecta la subestación transformadora con la caseta de distribución, a través de redes de media tensión (500 a 30000 V).

13.2.4 *Red secundaria*

Conecta la caseta transformadora con las acometidas, a través de redes de baja tensión (125, 220, 380 V).

Por el esquema de montaje, se clasifican en:

13.2.5 *Redes de distribución abiertas*

Reciben la corriente por un solo lado. También se llaman redes radiales.

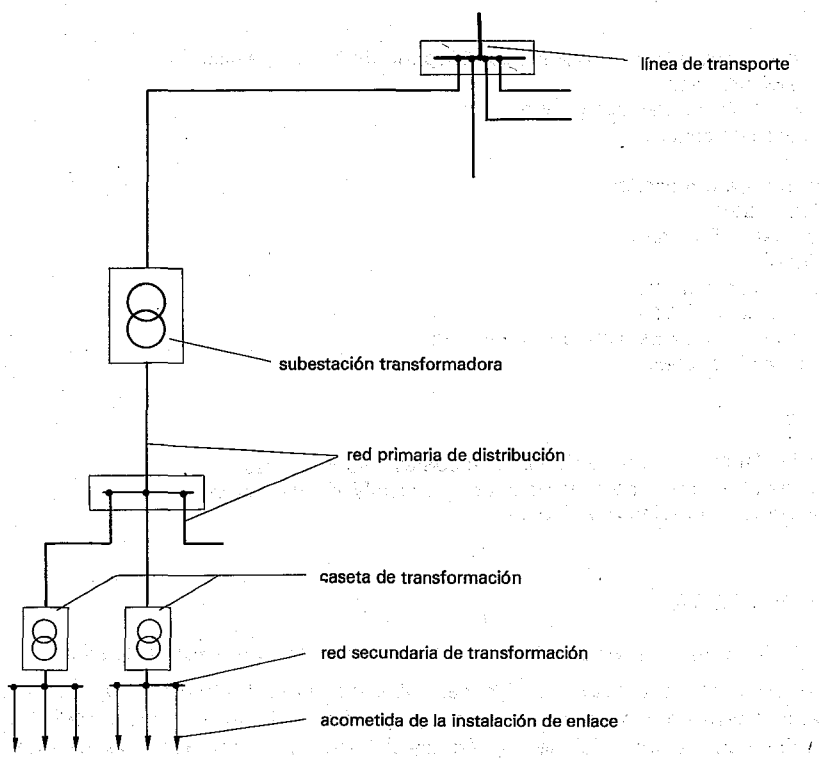


Fig. 13.1 Esquema eléctrico de redes de distribución.

13.2.6 *Redes de distribución cerradas*

Reciben corriente por más de un lado. A este tipo pertenencen las redes malladas y en bucle.

13.3 Redes de distribución aérea y subterránea

La distribución de la energía puede hacerse por línea aérea y por línea subterránea.

13.3.1 *Red aérea*

Los conductores se mantienen por encima del suelo, por medio generalmente de aisladores y soportes apropiados.

Presenta la ventaja de un montaje más económico y el inconveniente de un mayor gasto de mantenimiento. Este tipo de línea es idónea para líneas de transporte.

13.3.2 *Red subterránea*

Los conductores están situados por debajo del suelo. Presentan el inconveniente de un elevado coste de instalación, aunque, posteriormente, precise de escasos cuidados de mantenimiento. El montaje de este tipo de línea es muy adecuado para grandes ciudades, edificaciones modernas, etc.

En la figura 13.2, se representa una red tendida sobre fachada que continúa en red subterránea.

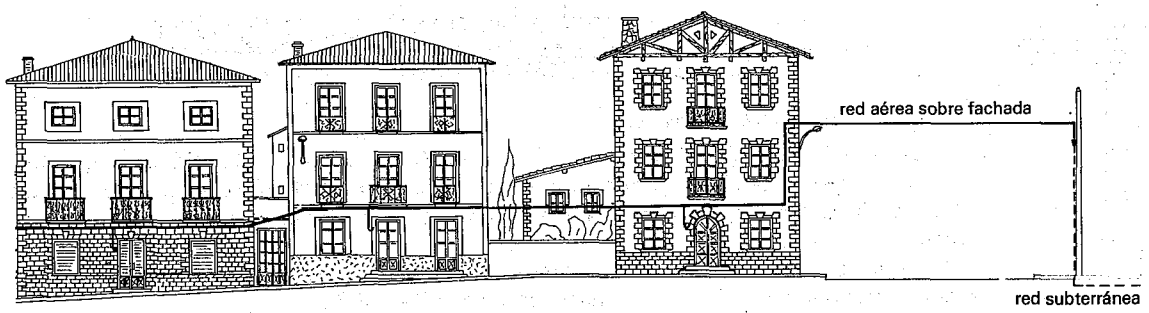


Fig. 13.2 Red aérea y subterránea.

13.4 Instalaciones de enlace

Las instalaciones que enlazan la red de distribución pública y la instalación del abonado se hacen siguiendo el esquema de la figura 13.3, según dispone el Reglamento de B.T. y las recomendaciones de UNESA.

Observando el esquema pueden distinguirse las siguientes partes:

- acometida;
- caja general de protección de la línea repartidora;
- línea repartidora;
- centralización de contadores;
- fusible de seguridad;
- derivación individual;
- contador;
- interruptor automático;
- instalación interior.

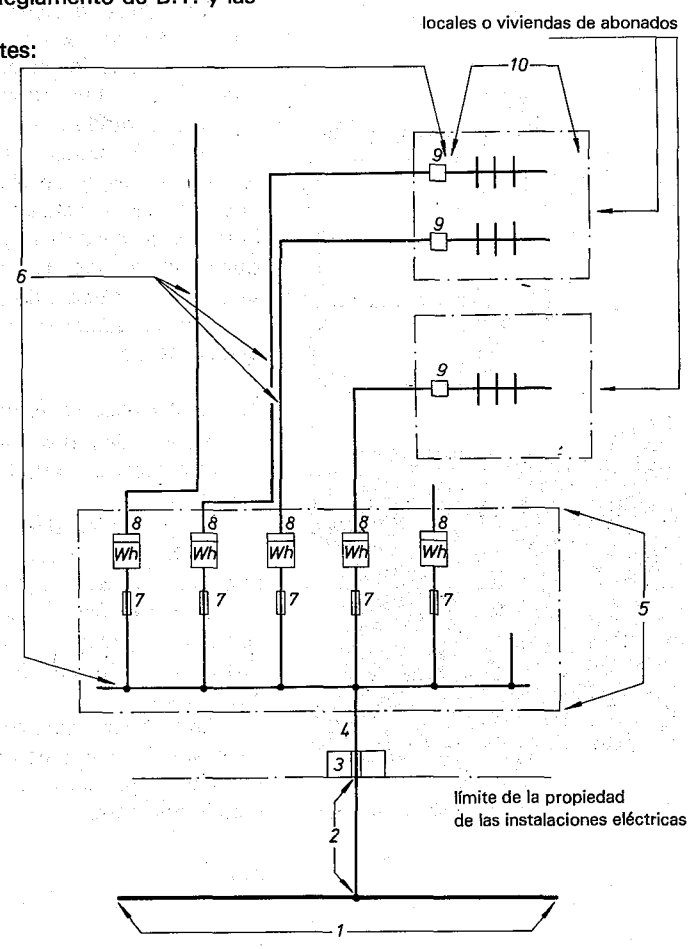


Fig. 13.3 Instalación de enlace con centralización de contadores: 1, red de distribución; 2, acometida; 3, caja general de protección de la línea repartidora; 4, línea repartidora; 5, centralización de contadores; 6, derivación individual; 7, fusible de seguridad; 8, contador; 9, interruptor automático; 10, instalación interior.

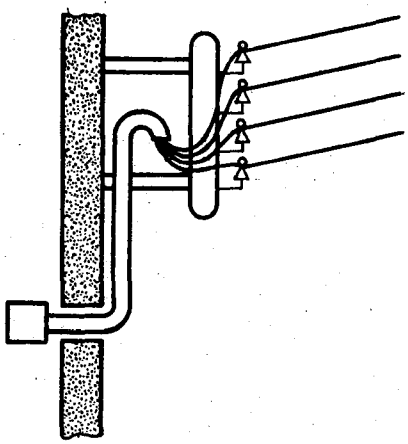


Fig. 13.4 Acometida aérea.

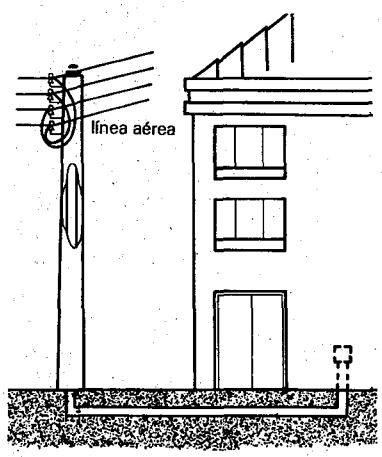
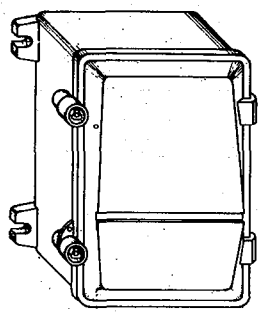


Fig. 13.6 Acometida subterránea procedente de línea aérea.



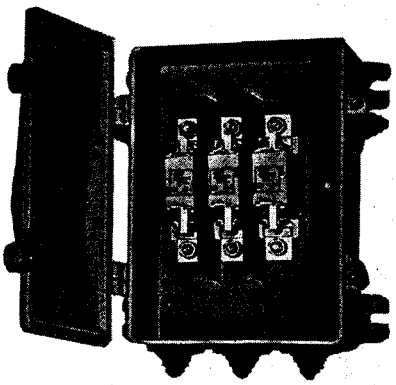


Fig. 13.7 Caja general de protección.

13.4.1 *Acometida*

Es la parte de la instalación comprendida entre la red de distribución pública y la caja general de protección. Normalmente, se instala una sola acometida por edificio y es propiedad de la compañía distribuidora.

Las acometidas pueden ser aéreas (fig. 13.4) cuando sus conductores se mantienen por encima del suelo, mediante aisladores adecuados, y subterráneas, en el caso de alojarse por debajo del suelo (fig. 13.5). También se realizan acometidas subterráneas a líneas aéreas, como la indicada en la figura 13.6, donde la bajada se realiza por el interior de un poste.

En todos los casos, los conductores se aíslan hasta llegar a la caja general de protección.

Tanto el número de conductores, como su naturaleza, los fijan las empresas distribuidoras.

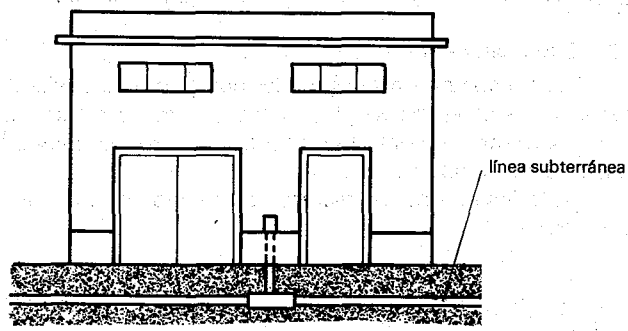


Fig. 13.5 Acometida subterránea.

13.4.2 *Caja general de protección*

Es la caja que aloja los elementos de protección de las líneas repartidoras (fig. 13.7).

Normalmente se sitúan próximas a la red general de distribución, separándose de las restantes instalaciones, como gas, teléfono, etc. Un lugar muy empleado es la fachada del inmueble.

La entrada de los cables de acometida se realiza, a través de tubo aislante o tubo de acero, procurando que los cierres sean herméticos (fig. 13.8).

En el interior de la caja se disponen cortacircuitos fusibles, en todos los conductores de fase, con elevado poder de corte. También se coloca un borne de conexión para el neutro, y, si la caja es metálica, un borne para la puesta a tierra.

13.4.3 *Línea repartidora*

Es la línea instalada verticalmente, en el interior de un edificio de varias plantas, y de la cual se derivan conexiones para distintos pisos.

Cuando la instalación de enlace se hace para un solo abonado (edificios públicos, industrias, etc.) no existe la línea repartidora, ya que la caja de protección se enlaza directamente al contador.

En las instalaciones de enlace, en edificios para viviendas, se tiende a la centralización de contadores, y, en ellos, la línea repartidora enlaza la caja general de protección con el local donde se instalen los contadores. De la línea repartidora se toman las conexiones hasta los fusibles de seguridad de cada derivación individual. Todas las derivaciones individuales son independientes entre sí y se instalan con tubos y cajas diferentes. Es conveniente que la instalación de estas líneas repartidoras se haga por lugares de uso común.

Los conductores de este tipo de líneas pueden instalarse bajo tubo o en canalizaciones prefabricadas.

13.4.4 *Derivaciones individuales*

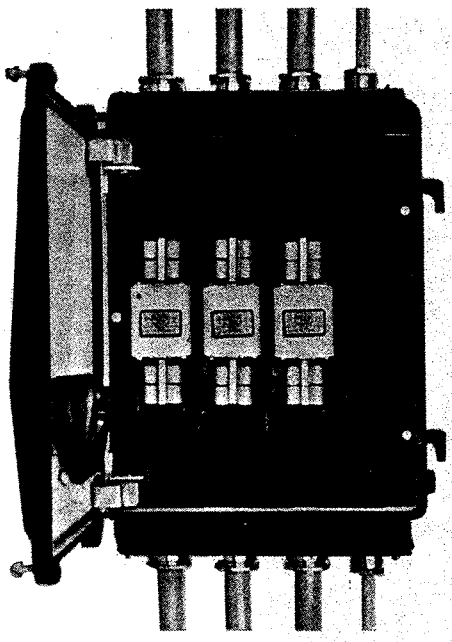
En edificios, destinados a viviendas o concentración de industrias, la derivación individual enlaza el contador con el cuadro de distribución de la vivienda o local de cada abonado.

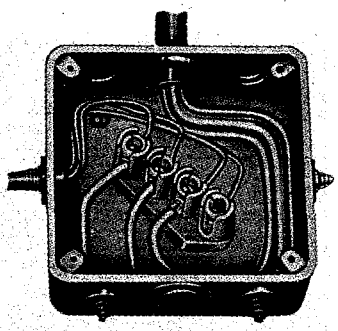
No puede instalarse un neutro común para varios abonados.

Se ha de procurar que la instalación se haga por sitios accesibles, y, si es posible, en un hueco de 30 x 30 cm, practicado en la caja de la escalera, con salidas para todas las plantas.

En los edificios destinados a viviendas, el diámetro mínimo del tubo que aloje a los conductores de una derivación individual será de 23 mm, mientras que, en edificios destinados a concentración de industrias, se instalará un mínimo de dos tubos, de 29 mm por abonado.

En edificios destinados a un solo abonado, no existen derivaciones individuales, ya que se enlaza directamente de la caja general de protección al contador y de éste al dispositivo privado de protección. En la figura 13.9 puede apreciarse una derivación, con su caja correspondiente.





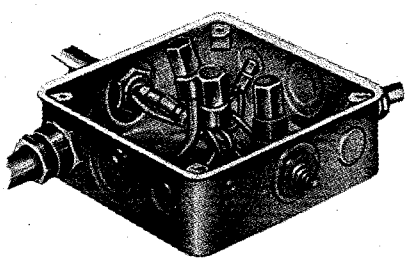
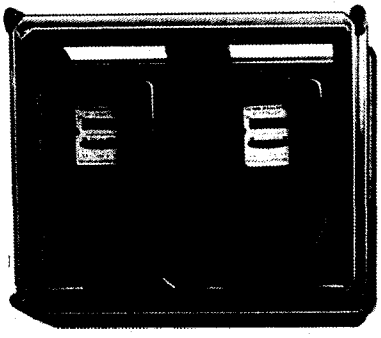


Fig. 13.9 Cajas de derivación.

Fig. 13.8 Caja general de protección con entradas y salidas por tubos.



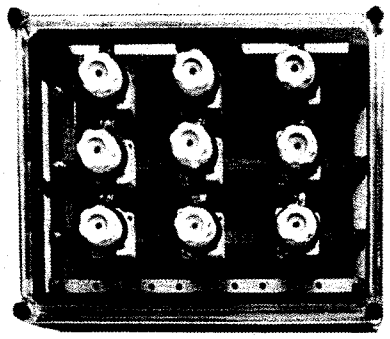


Fig. 13.10 Fusibles de protección de contadores.

13.4.5 *Contadores*

En cada uno de los hilos de fase, que van al contador, se colocan fusibles de seguridad (fig. 13.10), precintados por la compañía distribuidora. Este tipo de fusibles puede suprimirse cuando haya un solo abonado, ya que entonces el contador estará protegido por los fusibles de la caja general de protección.

Los contadores se apoyan sobre bases de materiales no inflamables y se disponen de dos formas:

— contadores individuales,
— contadores centralizados.

13.4.5.1 *Contadores individuales*

La instalación en forma individual, se hace próxima a la puerta de entrada del local, a una altura comprendida entre 1,50 y 1,80 m, y accesible por los lados (fig. 13.11).

En las electrificaciones rurales, obras, etc., pueden instalarse en el interior de cajas estancas, apoyadas sobre postes.

La instalación se hará siempre sobre pared, pero no sobre tabiques. Los fusibles de seguridad pueden instalarse sobre las bases, que sirven de fijación al contador.

Las dimensiones y forma de las bases se eligen por las empresas distribuidoras; pero, sea cual fuere su forma y tamaño, deben permitir colocar cajas o cubiertas precintadas, que permitan la lectura de las cifras del contador e impidan al abonado su acceso al interior del aparato para provocar un fraude sobre el consumo.

El abonado es el responsable directo del quebrantamiento de los precintos que acompañan al contador, cuando éste se instala dentro de la vivienda. Si el contador se instala fuera, la responsabilidad recae sobre el propietario del edificio.

13.4.5.2 *Contadores centralizados*

En las actuales edificaciones, tanto si se destinan a viviendas, como a comercio o industria, la instalación de contadores se centraliza en un solo punto (fig. 13.12).

El local empleado debe estar en un lugar de fácil y libre acceso, como es la zona próxima a la portería. Es aconsejable realizar la instalación de contadores en un recinto dedicado exclusivamente a ello. Nunca se puede emplear otro local que aloje otras instalaciones del edificio como, contadores de agua, calderas de calefacción, maquinaria de ascensores, etc.

Los contadores pueden instalarse a una altura sobre el suelo, comprendida entre 0,5 y 1,80 m. Entre la parte más saliente del contador y la pared opuesta debe haber una separación mínima de 1,10 m.

Los contadores se protegerán, para evitar cualquier manipulación en ellos y se instalarán, de forma que tengan un acceso cómodo a la lectura.

Cada fusible de seguridad y contador deben coincidir con el piso o local del abonado a que pertenecen.

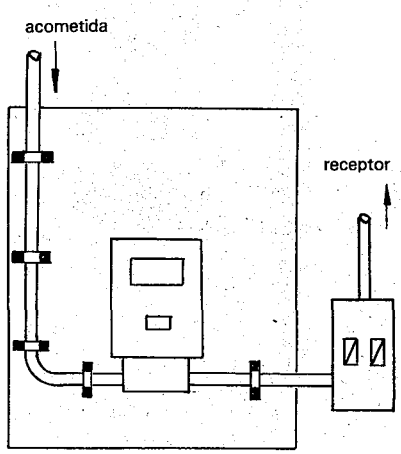


Fig. 13.11 Instalación de un contador monofásico.

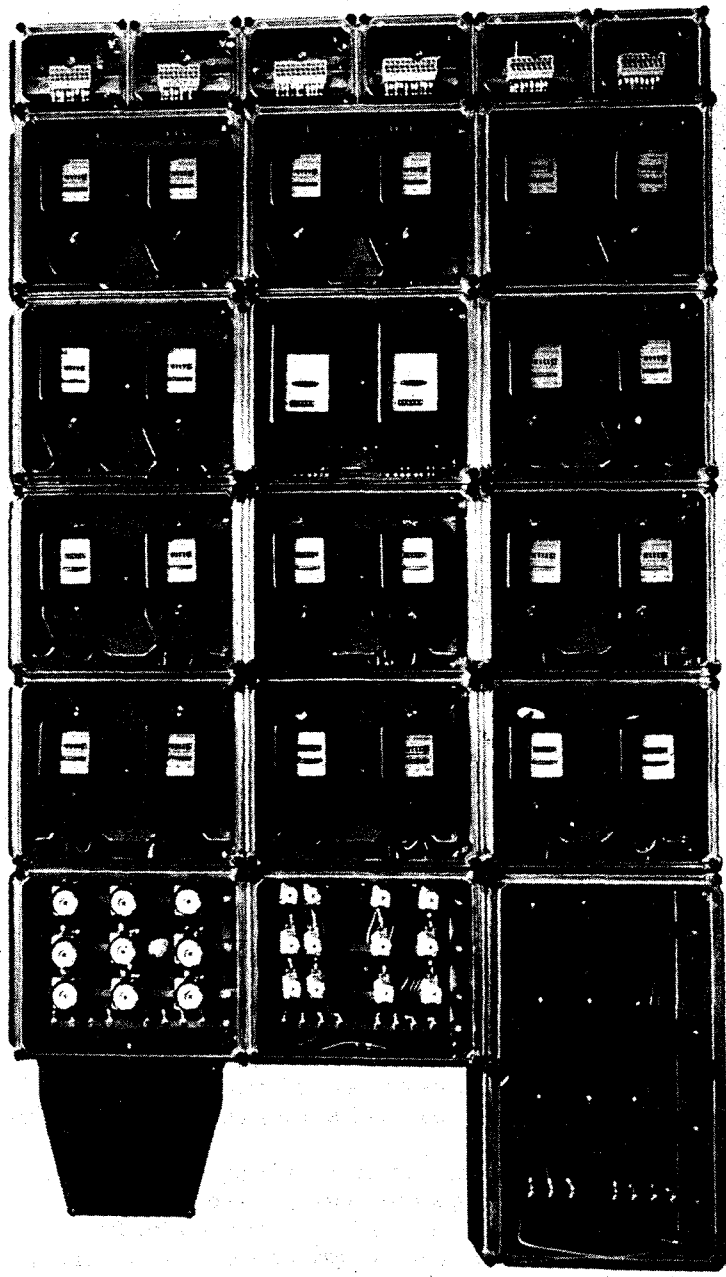


Fig. 13.12 Instalación de contadores centralizados.



Fig. 13.13 Interruptor automático diferencial.

13.4.6 *Dispositivos privados de mando y protección*

En el local o vivienda del abonado se debe instalar un cuadro de distribución, lo más cercano posible al punto de entrada.

En el cuadro de distribución se instalará un interruptor general automático, con protección contra sobrecargas y cortacircuitos, y un interruptor diferencial para protección contra contactos indirectos (fig. 13.13).

Las normas generales sobre las instalaciones interiores vienen dadas por el Reglamento de B.T. en la Instrucción BT-017. En ella se detalla lo relacionado con los conductores, su naturaleza, secciones, corrientes admisibles, etc.

13.5 **Instalaciones interiores**

Son las que unen las instalaciones de enlace con los receptores. Normalmente se separan los circuitos de fuerza y alumbrado (fig. 13.14).

Los conductores empleados en este tipo de instalaciones son de cobre o aluminio y, a partir de 16 mm^2 se emplean cables.

El montaje de las instalaciones se hará de forma que exista una interdependencia, para que, en caso de avería, afecte solamente a una parte de la instalación, y quede funcionando el resto de la misma; por ejemplo, un piso, una planta, un ascensor, etc.

También es muy importante, en la instalación, buscar un reparto equilibrado entre los conductores de red para evitar funcionamientos anómalos de los receptores. Las instalaciones eléctricas, próximas a otro tipo de instalaciones (conducción de agua, calefacción, aire caliente, humo, etc.), deben estar separadas un mínimo de 3 cm, para evitar posibles averías; por ejemplo, excesivo calentamiento del conductor, contacto eléctrico entre la instalación y los tubos metálicos de conducción, etc.

El estudio completo de normas de instalaciones figura en el Reglamento de Baja Tensión, Instrucciones Complementarias, números 17 a 30.

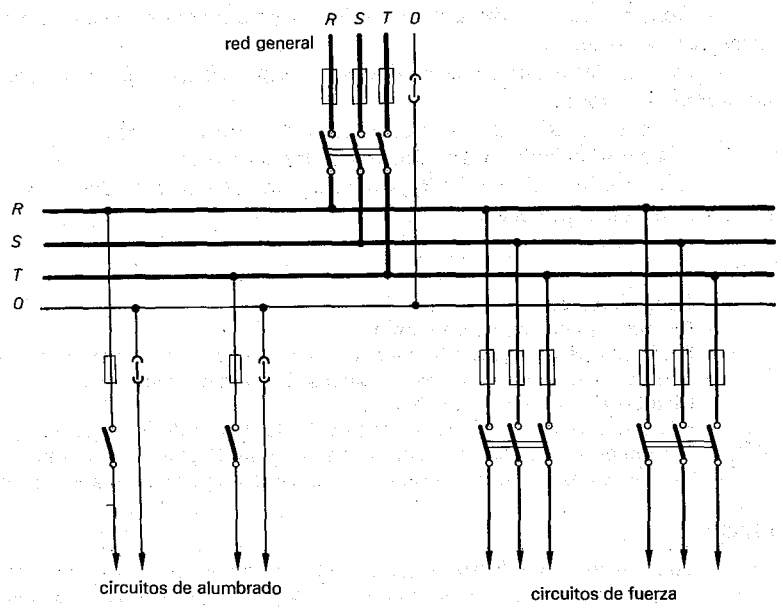


Fig. 13.14 Instalación interior de gran potencia.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Dibujar y explicar los esquemas correspondientes a redes de distribución, radiales y en malla.

— Normas actuales sobre la centralización de contadores. Ejemplos de instalaciones con unidades prefabricadas.

CUESTIONARIO

— A escala industrial ¿cuáles son los sistemas de producción de energía eléctrica empleados actualmente?

— Representar el esquema eléctrico de la instalación de un receptor conectado a una red, siguiendo hasta la central eléctrica.

— ¿Cuándo es aconsejable el montaje de redes de distribución subterráneas? ¿y aéreas?

— ¿A quién corresponde realizar una acometida de una instalación de enlace?

— ¿Por dónde debe instalarse una línea repartidora? Hacer un esquema sobre un edificio de 8 plantas, con 5 viviendas, por planta.

— Representar una instalación de 4 contadores centralizados en tableros individuales.

— Representar una instalación de 5 contadores centralizados, sobre un mismo tablero.

— Cuando un abonado realice obras de construcción, y haya de modificar la posición de los contadores, ¿a quién deberá solicitar la correspondiente autorización?

— Dibujar el cuadro de distribución, correspondiente a un edificio de 4 plantas, con 2 viviendas por planta.

BIBLIOGRAFIA

Normas UNE.

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Complementarias, Ministerio de Industria, Madrid 1973.

Instalaciones de Baja Tensión, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1974.

Catálogos de casas comerciales (INASA, CRADY).

Tema 14. Cálculo de secciones de conductores de líneas de distribución

OBJETIVOS

— *Utilización de las redes de distribución de corriente continua.*

— *Conocer los diferentes factores que intervienen en el cálculo de la sección del conductor.*

— *Conocer las ventajas e inconvenientes de emplear secciones de conductores calculadas con amplitud.*

— *Deducir las fórmulas generales para calcular las secciones de redes de distribución en corriente continua.*

— *Conocer los sistemas de distribución por corriente alterna.*

— *Aplicar el cálculo de secciones a casos prácticos.*

— *Conocer las Normas del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión sobre el cálculo de secciones de conductores.*

GUION

— Generalidades.
— Distribución por corriente continua.
  Factores a tener en cuenta, en el cálculo de una línea de corriente continua.
  Cálculo de la sección en líneas bifilares de corriente continua.
— Distribución por corriente alterna.
  Factores a tener en cuenta en el cálculo de una línea de corriente alterna.
  Cálculo de la sección en líneas de distribución de corriente alterna.
— Normas vigentes sobre secciones mínimas a emplear en instalaciones de Baja Tensión.

PUNTOS CLAVE

— Conocer todos los factores que intervengan en el cálculo de secciones.
— Aplicar las fórmulas generales de cálculo de secciones a casos prácticos.
— Conocimiento y diferenciación de los sistemas de distribución según la corriente a utilizar.

EXPOSICION DEL TEMA

14.1 Generalidades

La distribución de la energía eléctrica se hace por medio de líneas de corriente continua y por líneas de corriente alterna, utilizando conductores de cobre o aluminio.

Las tensiones normales de servicio son:

110, 220, 440, 600, 750, 1500 y 3000 V, para corriente continua.

127, 220, 380, 500, 3000, 6000, 10000 V, para corriente alterna.

A continuación se explica el cálculo de la sección de los conductores, empleados en los diferentes sistemas de distribución de la energía eléctrica.

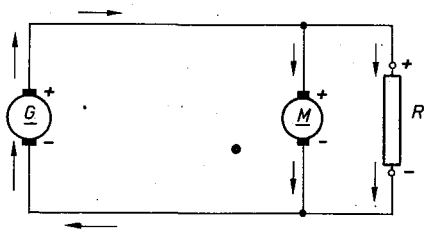


Fig. 14.1 Sistema bifilar en corriente continua.

14.2 Distribución por corriente continua

Este sistema limita su utilización a redes de tracción eléctrica, en alguna aplicación electroquímica, circuitos de emergencia alimentados por acumuladores, y, en general, en los lugares donde no pueda utilizarse la corriente alterna.

En corriente continua se emplean dos sistemas de distribución:

Sistema bifilar. Dispone de un conductor de ida hacia los receptores y de un conductor de vuelta al generador (fig. 14.1).

Sistema trifilar. Añade al sistema bifilar el tercer conductor de ida y vuelta (fig. 14.2).

El cálculo de la sección de los conductores se referirá al sistema bifilar, por ser el más sencillo, a la vez que dará pie a estudiar sistemas más complejos.

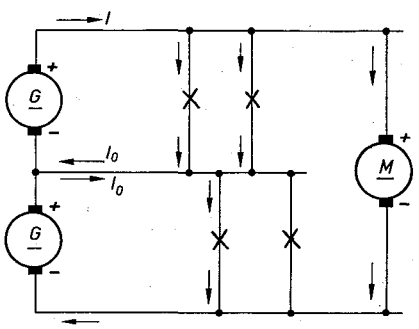


Fig. 14.2 Sistema trifilar en corriente continua.

14.2.1 *Factores a tener en cuenta en el cálculo de una línea de corriente continua*

El cálculo de la sección de los conductores está ligado a los siguientes factores:

— Su resistencia mecánica.
— El calentamiento.
— La caída de tensión.

14.2.1.1 *Resistencia mecánica*

Indica si el conductor puede soportar los esfuerzos de tipo mecánico a que está sometido; se expresa en Kg/mm². Por ejemplo: un conductor de cobre presenta una carga de rotura de 40 Kg/mm², mientras que en uno de aluminio, es de 20 Kg/mm².

14.2.1.2 *Calentamiento*

Es consecuencia del efecto Joule:

$$Q = 0{,}24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

donde:

Q = cantidad de calor alcanzado en calorías
R = resistencia del conductor en ohmios
I = corriente en amperios
t = tiempo en segundos.

Al calentarse los conductores, también lo hacen los aislantes, con el consiguiente peligro, para valores de temperaturas muy elevados.

A su vez:

$$R = \varrho \frac{L}{S}$$

R = resistencia del conductor en ohmios
ϱ = resistividad del conductor en Ω mm²/m
L = longitud del conductor en metros
S = sección del conductor en milímetros cuadrados.

de donde:

$$Q = 0{,}24 \cdot \varrho \cdot \frac{L}{S} \cdot I^2 \cdot t = 0{,}24 \cdot \varrho \cdot L \cdot t \cdot \frac{I^2}{S}$$

Como el producto 0,24 ϱ . L. t es constante para cada material, por serlo todos sus términos, quedará:

$$Q = K \cdot \frac{I^2}{S}$$

Siendo $K = 0{,}24 \cdot \varrho \cdot L \cdot t$

De forma que, el calor producido en un conductor eléctrico es proporcional al *cuadrado de la intensidad* e inversamente proporcional a la sección del conductor.

Como la intensidad es una constante para cada receptor, resultará:

$$Q = K_1 \cdot \frac{1}{S}$$

siendo $K_1 = K \cdot I^2$

De donde para disminuir la temperatura alcanzada por el efecto Joule, en un conductor se debe aumentar la sección.

14.2.1.3 *Caída de tensión*

Indica la caída de tensión que tiene lugar en cualquier conductor de resistencia *r*, al ser atravesado por la corriente *I*.

En la figura 14.3, se representa una línea bifilar de corriente continua, en la que se produce la caída de tensión:

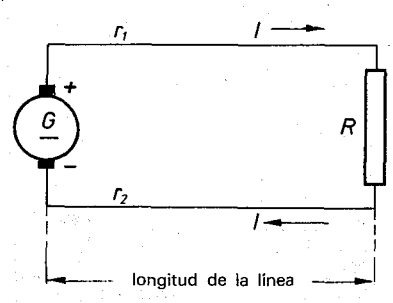
$$V_L = r_t \cdot I$$

donde:

V_L = caída de tensión de la línea en voltios
r_t = resistencia total de los conductores de la línea en ohmios
I = intensidad que circula por los conductores en amperios.

Resumiendo el estudio de los tres factores, se llega a la conclusión de que el cálculo de la línea depende de la *sección* de sus conductores, ya que: a mayor sección, menor calentamiento, menor caída de tensión y mayor seguridad mecánica.

El problema que plantea una sección elevada es el *aumento de peso* de la línea y, principalmente, del presupuesto *económico.*



r_1 = resistencia del conductor de ida
r_2 = resistencia del conductor de vuelta
$r_t = r_1 + r_2$

$V_L = r_t \cdot I$

Fig. 14.3 Caída de tensión en un sistema bifilar.

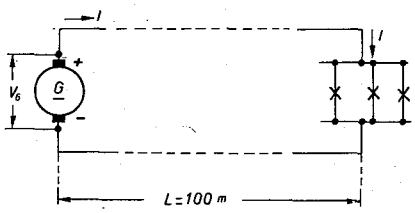


Fig. 14.4 Ejercicio de aplicación.

En el cálculo de la sección, se deberán tener en cuenta *todos los factores* y, de acuerdo con las características que proporcione el fabricante de conductores, buscar la solución más económica.

Los máximos valores de caídas de tensión, permisibles en las instalaciones, vienen fijados por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Ejercicio de aplicación

Un generador (fig. 14.4) alimenta un conjunto de receptores que absorben 8 kW a 200 V, a través de una línea bifilar de corriente continua. La longitud de la línea es de 100 m; la resistividad del conductor es 0,017 Ω mm²/m, y la sección 10 mm². Hallar la tensión en bornas del generador.

Solución:

La tensión en bornas del generador V_G, será:

$$V_G = 200 + V_L$$

donde:

V_L = caída de tensión de la línea en voltios.

A su vez, la caída de tensión V_L será:

$$V_L = r_t \cdot I = \left(\varrho \frac{L}{S}\right) \cdot I$$

Siendo L (longitud total de la línea) = 200 m, ya que hay dos conductores de 100 m.

La intensidad que absorben los conductores será:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{8000}{200} = 40\ A$$

y, sustituyendo los valores:

$$V_L = \left(\varrho \frac{L}{S}\right) \cdot I = 0{,}017 \cdot \frac{200}{10} \cdot 40 = 13{,}6\ V$$

y la tensión V_G:

$$V_G = 200 + V_L = 200 + 13{,}6 = 213{,}6\ V$$

14.2.2 *Cálculo de la sección en líneas bifilares de corriente continua.*

Partiendo de los datos, se puede calcular la sección, aplicando las leyes elementales de electricidad.

En la figura 14.5, se representa el esquema de una línea bifilar de corriente continua, con los datos representados por letras.

La caída de tensión en toda la línea será:

$$V_L = r_t \cdot I = \varrho \cdot \frac{L_t}{S} \cdot I$$

donde:

V_L = caída de tensión en voltios
ϱ = resistividad del conductor en Ω mm²/m
L_t = longitud de los conductores en metros
S = sección del conductor en mm²
I = intensidad en amperios.

Como la línea está formada por 2 conductores, se cumple:

$$L_t = 2 \cdot L$$

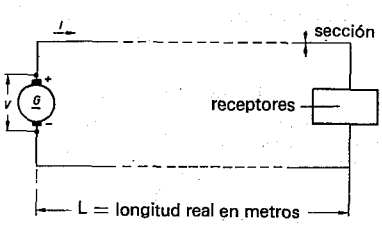


Fig. 14.5 Esquema de línea bifilar con los datos generales.

donde L = longitud real en metros.

Sustituyendo en la fórmula inicial:

$$V_L = \varrho \cdot \frac{2L \cdot I}{S}$$

despejando la sección:

$$S = \frac{2\varrho \cdot L \cdot I}{V_L}$$

Normalmente, la caída de tensión se expresa en tanto por ciento de la tensión, al principio de línea:

$$V_L = \frac{V_L\,\% \cdot V}{100}$$

siendo:

$V_L\,\%$ = caída de tensión en %
V = tensión al principio de línea.

al sustituir, quedará:

$$S = \frac{\frac{2 \cdot \varrho \cdot L \cdot I}{V_L\,\% \cdot V}}{100} = \frac{200 \cdot \varrho \cdot L \cdot I}{V_L\,\% \cdot V}$$

expresada en mm^2.

Que puede emplearse también, si se parte de la potencia de los receptores

$$S = \frac{200 \cdot \varrho \cdot L \cdot \frac{P}{V}}{V_L\,\% \cdot V} = \frac{200 \cdot \varrho \cdot L \cdot P}{V_L\,\% \cdot V^2}$$

donde, P = potencia en vatios.

14.2.2.1 *Resumen*

Las fórmulas generales, a emplear en el cálculo de secciones, son:

a) $\boxed{S = \frac{200 \cdot \varrho \cdot L \cdot I}{V_L\,\% \cdot V}}$ y b) $\boxed{S = \frac{200 \cdot \varrho \cdot L \cdot P}{V_L\,\% \cdot V^2}}$

Ejercicio de aplicación:

Se dispone de una línea bifilar de cobre (fig. 14.6) de $\varrho = 0{,}017\ \Omega\ mm^2/m$, de 50 m de longitud, para alimentar un motor de corriente continua de P = 8 CV, y $\eta = 80\,\%$, y un conjunto de 20 lámparas de 100 W. Se admite una caída de tensión del 4 %. La tensión, al principio de línea, es 225 V. Calcular la sección del conductor.

Solución:

El cálculo de la sección se obtiene aplicando la fórmula b). Para ello se ha de calcular la potencia que absorbe el motor de la red.

$$\eta = \frac{P_u}{P_{ab}};\ P_{ab} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{8}{0{,}8} = 10\ CV$$

$$P_{absorbida} = 10\,CV = 10 \cdot 736 = 7360\ W.$$

La potencia total absorbida por los receptores es:

$$P_t = P_{Lámparas} + P_{Motor} = (20 \cdot 100) + 7360 = 9360\ W.$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la fórmula, queda:

$$S = \frac{200 \cdot \varrho \cdot L \cdot P}{V_L\,\% \cdot V^2} = \frac{200 \cdot 0{,}017 \cdot 50 \cdot 9360}{4 \cdot 225^2} = 7{,}85\ mm^2$$

Al no estar normalizada, esta dimensión se debe tomar la sección inmediata superior.

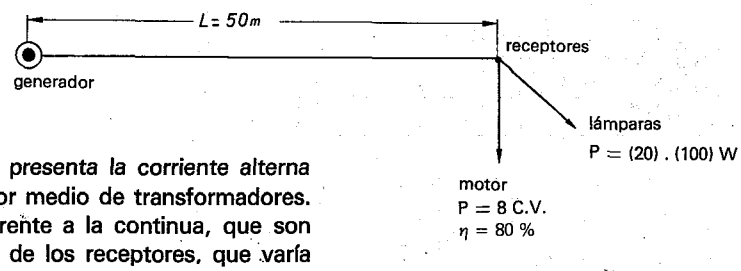


Fig. 14.6 Ejercicio de aplicación.

14.3 Distribución por corriente alterna

Es el sistema más difundido, debido a las ventajas que presenta la corriente alterna sobre la continua, de poderse transformar adecuadamente por medio de transformadores.

En la corriente alterna aparecen dos términos nuevos frente a la continua, que son *frecuencia,* cuyo valor se fija en 50 Hz y *factor de potencia* de los receptores, que varía entre +1 y − 1.

Los sistemas de distribución más empleados son dos:

— Sistema de distribución por corriente alterna monofásica.

— Sistema de distribución por corriente alterna trifásica.

El estudio detallado de líneas de corriente alterna, que es bastante complejo, principalmente para altas tensiones, se hará en cursos posteriores.

14.3.1 *Factores a tener en cuenta en el cálculo de una línea de corriente alterna.*

Para el cálculo de líneas de distribución en Baja Tensión, se toman en cuenta los siguientes factores:

— *La resistencia mecánica.*

— *El calentamiento.*

— *La caída de tensión.*

— *Tipo de receptores* (resistencia, inductancia, capacidad).

Los *dos primeros factores,* son similares a los de corriente continua.

Los dos últimos factores están relacionados entre sí, y difieren sobre los de corriente continua en el caso de receptores inductivos o capacitivos. Para resolver estos últimos casos es necesario emplear diagramas vectoriales.

14.3.2 *Cálculo de la sección en líneas de distribución de corriente alterna*

A partir de los datos generales, se obtienen las fórmulas a utilizar en el cálculo de secciones en líneas monofásicas y trifásicas.

14.3.2.1 *Líneas monofásicas con carga óhmica*

La primera fórmula obtenida en corriente continua

$$S = \frac{2 \cdot \varrho \cdot L \cdot I}{V_L}$$

se emplea para corriente alterna monofásica con carga óhmica pura.

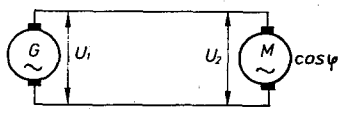


Fig. 14.7 Sistema de distribución monofásica.

14.3.2.2 *Líneas monofásicas, con cargas inductivas*

Interviene el factor de potencia (fig. 14.7) y la sección será:

$$S = \frac{2 \cdot \varrho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{V_L} \quad \text{o bien} \quad S = \frac{2 \cdot \varrho \cdot L \cdot P \cdot \cos\varphi}{V_L \cdot V}$$

14.3.2.3 *Líneas trifásicas*

Interviene el término $\sqrt{3}$, como relación entre tensión compuesta y simple, o bien entre corrientes, según sea un sistema en estrella (fig. 14.8) o en triángulo (fig. 14.9). La sección es:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \varrho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{V_L}$$

Para cargas inducticas.

1.° *Ejercicio de aplicación*

Determinar la sección de la línea monofásica, representada en la figura 14.10, permitiéndose una caída de tensión máxima del 4 %. La línea es de cobre $\varrho = 0{,}0175\ \Omega\ mm^2/m$, tiene una longitud de 100 m, y alimenta un motor monofásico de 5 CV, cos $\varphi = 0{,}8$ y $\eta =$ 82 %. La tensión al principio de la línea es 225 V.

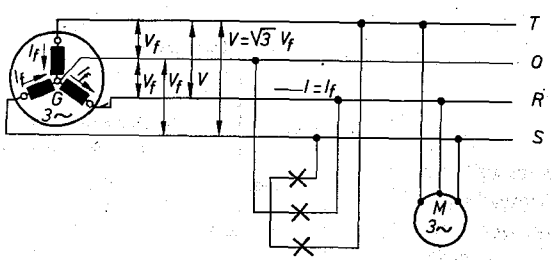


Fig. 14.8 Sistema de distribución trifásica en estrella.

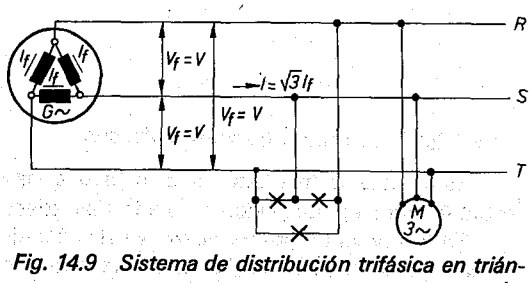


Fig. 14.9 Sistema de distribución trifásica en triángulo.

Solución:

La pérdida de tensión en la línea es:

$$V_L = \frac{4}{100} \cdot 225 = 9\,V$$

La potencia absorbida por el motor es:

$$P_{ab} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{5}{0{,}82} = 6\,CV$$

$$P_{absorbida} = 6\,CV = 6 \cdot 736 = 4416\,W$$

sustituyendo estos valores en la expresión general.

$$S = \frac{2 \cdot \varrho \cdot L \cdot P \cdot \cos\varphi}{V_L \cdot V} = \frac{2 \cdot 0{,}0175 \cdot 100 \cdot 4416 \cdot 0{,}8}{9 \cdot 225} = 6{,}10\ mm^2$$

Si esta sección no está normalizada, se elige la sección comercial superior más próxima.

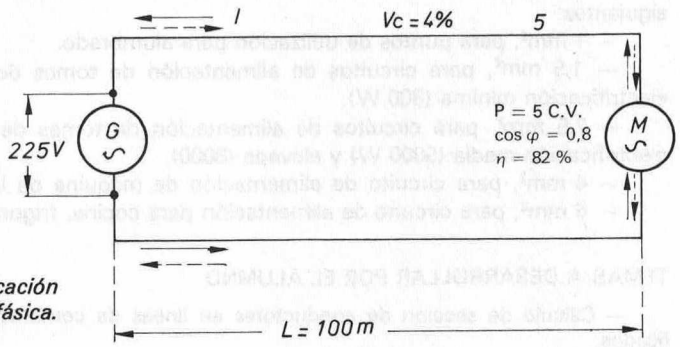


Fig. 14.10 Ejercicio de aplicación a línea monofásica.

2.° *Ejercicio de aplicación*

Determinar la sección de los conductores de una línea trifásica en triángulo, (fig. 14.11), de 200 m de longitud, construida con hilo de cobre de resistividad, $\varrho = 0{,}017\ \Omega\ mm^2/m$. Esta línea alimenta una bomba de riego movida por un motor trifásico de 25 CV, $\cos\varphi = 0{,}81$ y $\eta = 89\ \%$. La tensión de servicio es de 230 V, y se admite una caída máxima del 3 %.

Solución:

La corriente absorbida por el motor es:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{25 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}89} = 67\,A$$

La caída de tensión aproximada puede tomarse como:

$$V_L = \frac{3}{100} \cdot 220 = 6{,}6\,V$$

y sustituyendo los valores en la expresión general:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \varrho \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{V_L} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0{,}017 \cdot 200 \cdot 67 \cdot 0{,}81}{6{,}6} = 48{,}42\ mm^2$$

Se elige la sección comercial superior más próxima a la calculada.

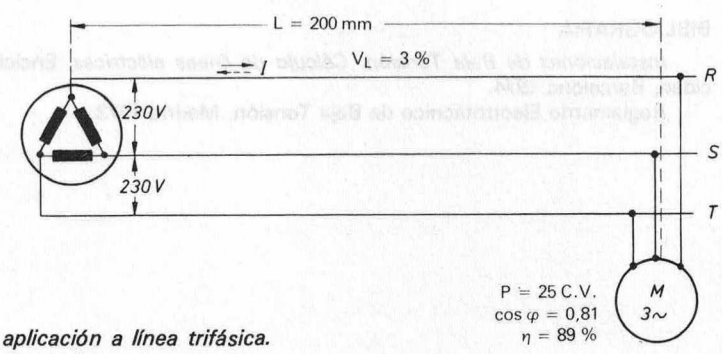


Fig. 14.11 Ejercicio de aplicación a línea trifásica.

14.3.3 *Resumen*

De todos los sistemas que se emplean en la distribución de la energía eléctrica, el más rentable económicamente es el que emplea red *trifásica con neutro*; por esto es el más empleado.

14.4 Normas vigentes sobre secciones mínimas a emplear en instalaciones de baja tensión

El conductor *neutro*, en redes de distribución, será como mínimo:

— en las redes monofásicas o bifilares: igual que la del conductor de fase;

— en las redes trifásicas: igual a los conductores de fase hasta secciones de 10 mm^2, en el caso del cobre, y 16 mm^2, en el caso del aluminio. Para secciones superiores, la mitad de la sección de los conductores de fase.

Los valores máximos de caídas de tensión permisibles son:

— Desde las cajas de acometida hasta los contadores de 1,5 %.

— Desde los contadores a los receptores del 1,5 %.

Por tanto, la caída de tensión total, desde la acometida de la red pública al punto de utilización del receptor, será como máximo del 3 %.

En las instalaciones interiores, las *secciones mínimas* de los conductores serán las siguientes:

— 1 mm^2, para puntos de utilización para alumbrado.

— 1,5 mm^2, para circuitos de alimentación de tomas de corriente en viviendas de electrificación mínima (300 W).

— 2,5 mm^2, para circuitos de alimentación de tomas de corriente en viviendas de electrificación media (5000 W) y elevada (8000).

— 4 mm^2, para circuito de alimentación de máquina de lavar y calentador de agua.

— 6 mm^2, para circuito de alimentación para cocina, frigorífico y secador.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Cálculo de sección de conductores en líneas de corriente continua con finales ramificados.

— Estudiar el procedimiento a seguir sobre cálculo de secciones en líneas monofásicas abiertas, con cargas inductivas separadas.

CUESTIONARIO

— ¿Cuáles son las tensiones más normales de utilización en las redes de distribución de Baja Tensión?

— ¿Cuáles son los conductores más empleados en líneas de distribución? Señalar sus principales características.

— Hacer un estudio comparativo entre el cobre y el aluminio, bajo el punto de vista de conductores eléctricos.

— ¿Qué inconvenientes presenta el utilizar conductores de secciones inferiores a las mínimas? ¿Y si son superiores?

— Fijándose en el ejercicio de la figura 14.4, si solamente se admite como caída de tensión en la línea el 3 %. ¿Qué nueva sección debería corresponder al conductor?

— ¿Qué sistema de distribución se emplea primordialmente? ¿Por qué?

— Si en el cálculo de una línea se obtienen secciones, que dan lugar a una caída de tensión, superiores a las dictadas por el Reglamento, ¿qué se debe hacer? Se parte de que las fórmulas utilizadas sobre el cálculo de secciones han sido correctas.

— Calcular la sección de una línea bifilar de cobre ($\varrho = 0{,}017\ \Omega\ mm^2/m$) de 30 m de longitud, que alimenta un motor de 2 CV y $\eta = 82$ %. La tensión al principio de la línea es 200 V y se admite una caída de tensión del 2 %.

— Una línea trifásica conectada en triángulo, alimenta un motor trifásico de 10 CV, $\eta =$ 85 %, y $\cos \varphi = 0{,}85$, situado a 70 m. Sabiendo que la tensión de servicio es de 220 V y la caída de tensión admitida es del 3 %, calcular la sección del conductor en cobre y en aluminio.

BIBLIOGRAFIA

Instalaciones de Baja Tensión. Cálculo de líneas eléctricas, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1974.

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Madrid 1973.

Tema 15. Aparatos de maniobra y protección en baja tensión. Dispositivos automáticos

OBJETIVOS

- *Conocer los aparatos de mando en las instalaciones eléctricas.*
- *Diferenciación entre los aparatos de maniobra en baja tensión.*
- *Conocer los tipos más usuales de interruptores.*
- *Comprender el funcionamiento y utilidad del disyuntor.*
- *Necesidad de los aparatos de protección.*
- *Diferenciar los aparatos por su grado de protección.*
- *Distinguir los tipos de fusibles más interesantes.*
- *Conocimiento de la protección magnetotérmica.*
- *Saber el funcionamiento del interruptor diferencial.*

GUION

- Tipos de instalación:
  Aparatos de maniobra para instalaciones de baja tensión.
  Aparatos de maniobra manuales.
  Aparatos de maniobra automáticos.
- Aparatos de protección.
  Cortacircuitos fusibles.
  Interruptores automáticos.
  Interruptor diferencial.
- Protección en una vivienda.

PUNTOS CLAVE

- Conocer los principales aparatos de maniobra, empleados en las instalaciones eléctricas.
- Importancia de los elementos de protección.
- Utilización del interruptor automático.
- Importancia de la protección de personas contra los contactos indirectos.

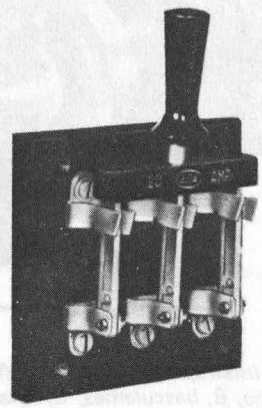


Fig. 15.1 Interruptor manual.

EXPOSICION DEL TEMA

El control y la seguridad de una distribución de la energía eléctrica necesita de aparatos y dispositivos, que actúan en función de las magnitudes eléctricas: *tensión, intensidad y potencia.*

15.1 Tipos de instalación

Según sea la magnitud de la tensión de servicio, se distinguen dos tipos de instalaciones:

- *para baja tensión,*
- *para media y alta tensión.*

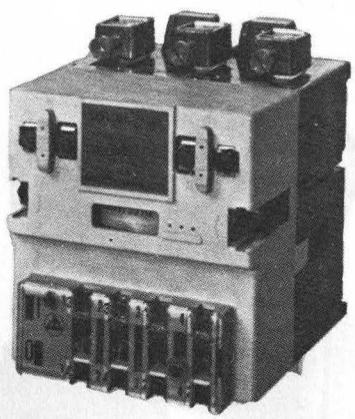
En este tema, se explican los aparatos de maniobra y protección correspondientes a instalaciones de baja tensión.

15.1.1 *Aparatos de maniobra para instalaciones de baja tensión*

Una primera clasificación de estos aparatos, los separa en dos tipos:

Manuales: Son los que necesitan de una persona para su accionamiento; un ejemplo de este tipo es el interruptor manual (fig. 15.1).

Automáticos: Son los accionados por sí mismos, después de recibir estímulo externo, que alcance un valor determinado. Un aparato automático es el contactor (fig. 15.2).



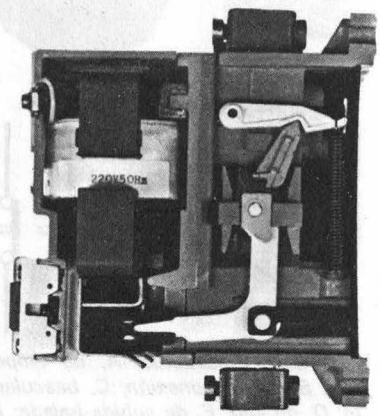


Fig. 15.2 Contactor.

15.1.1.1 *Aparatos de maniobra manuales*

Los aparatos de maniobra manuales más corrientes se pueden subdividir:

- *aparatos con poder de corte;*
- *aparatos sin poder de corte.*

1. *Interruptor manual*

Es un dispositivo, con cierto poder de corte, que cierra o abre un circuito de carga. Dos son las principales condiciones de un buen interruptor:

— Que las secciones de las piezas en contacto, se dimensionen de forma que permitan el paso de corriente, sin producir calentamientos excesivos.

— Que, al abrirse el circuito, la chispa se apague rápidamente y no llegue a formar arco, ya que quemaría los contactos. Para lograr esta condición, la separación de contactos debe hacerse rápidamente. Sólo se emplea en circuitos sometidos a bajas tensiones.

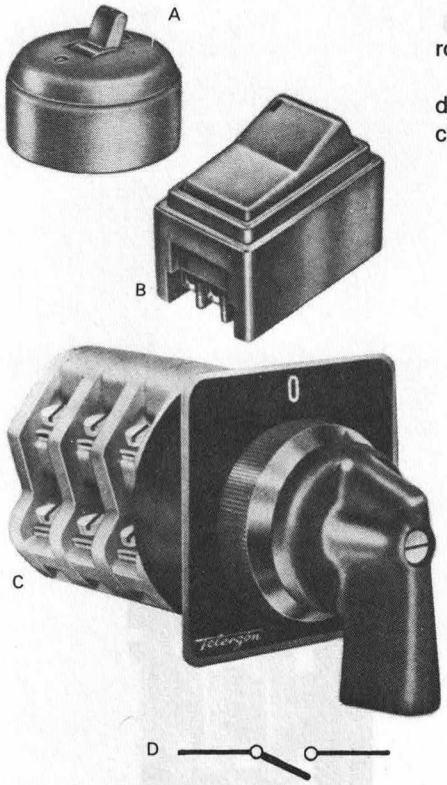


Fig. 15.3 Interruptores manuales: A, de superficie; B, basculantes; C, rotativo; D, símbolo del interruptor.

Se fabrican numerosos tipos de interruptor manual; cabe señalar los basculantes, rotativos, etc. (fig. 15.3).

Para intensidades nominales muy elevadas, hay que dotar al interruptor de un sistema de apertura brusca, para evitar el cebado del arco, que tiende a producirse al abrir el circuito.

La figura 15.4 representa modelos de interruptor.

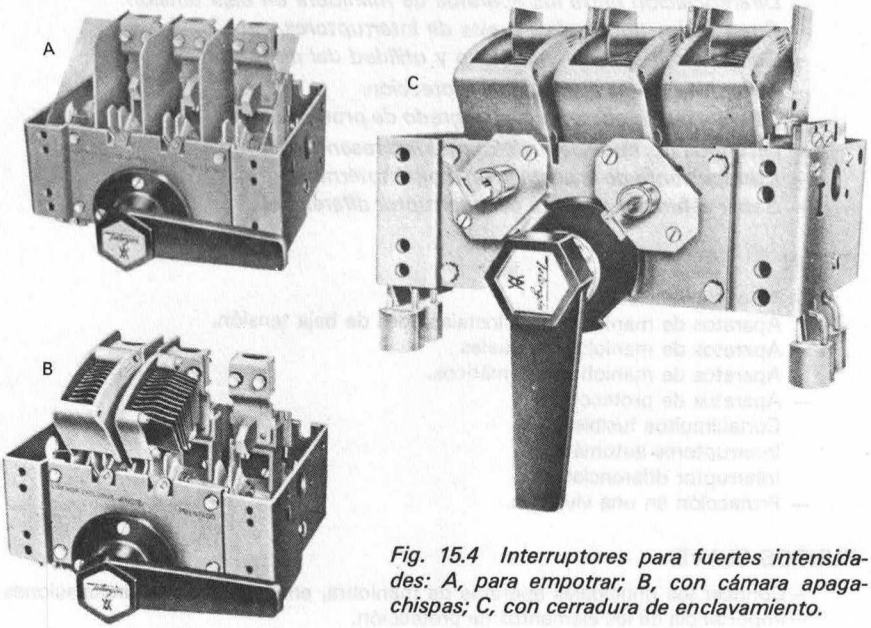


Fig. 15.4 Interruptores para fuertes intensidades: A, para empotrar; B, con cámara apagachispas; C, con cerradura de enclavamiento.

2. *Pulsador*

Es un aparato de maniobra con poder de corte que, a diferencia del interruptor, solamente cerrará o abrirá circuitos, mientras esté actuando sobre él una fuerza. Al dejar de actuar la fuerza, recupera su posición de reposo, por la acción de un muelle. La figura 15.5 representa modelos de pulsadores.

3. *Seccionador*

De los aparatos de maniobra, sin poder de corte, el más utilizado es el *seccionador* (fig. 15.6), que abre y cierra circuitos en vacío (no circulando intensidad).

Función principal del seccionador es la de aislar una parte de la instalación eléctrica de la red de alimentación, para proceder a las reparaciones, mantenimiento, etc. Debe estar calculado para que en su funcionamiento normal, soporte el paso de las corrientes nominales del circuito donde se instalan.

Actualmente se tiende a agrupar en un solo aparato el seccionador y los fusibles, como indica la figura 15.7.

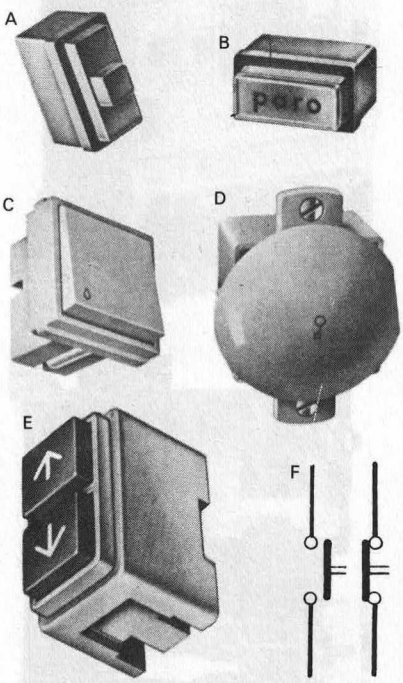


Fig. 15.5 Pulsadores: A, de empotrar; B, de desconexión; C, basculante; D, de lujo; E, de subida-bajada; F, símbolos.

15.1.1.2 *Aparatos de maniobra automáticos*

Los aparatos de maniobra automáticos son dispositivos diseñados para abrir o cerrar circuitos de corriente, en función de los valores que adquieran ciertas magnitudes físicas como, temperatura, presión, espacio, tiempo, etc. (fig. 15.8).

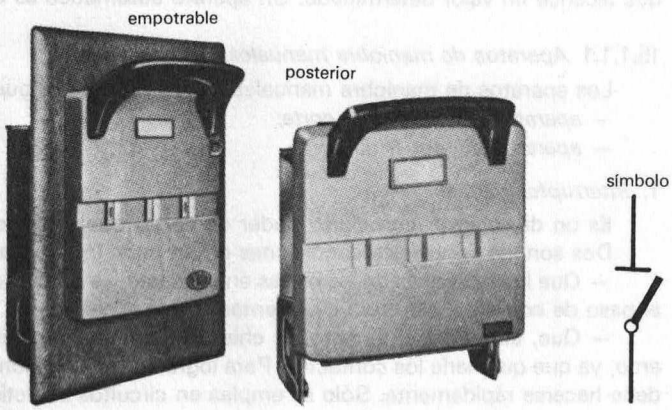


Fig. 15.6 Seccionador trifásico.

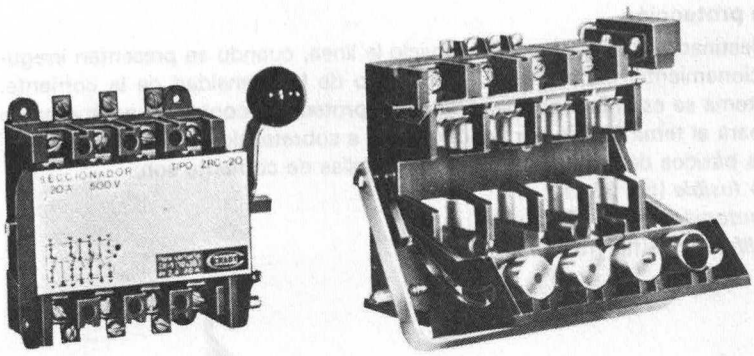
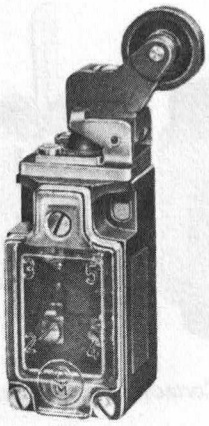
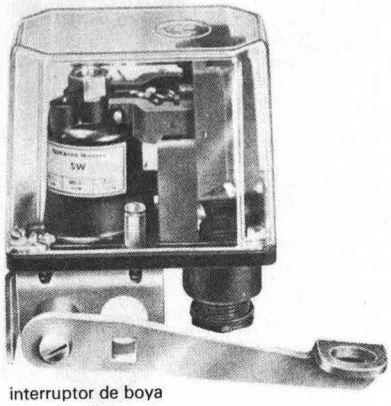


Fig. 15.7 Seccionadores con fusibles incorporados.



final de carrera



interruptor de boya

Fig. 15.8 Interruptores de accionamiento automático.

1. *Interruptor automático*

El aparato de maniobra automático más utilizado, en instalaciones eléctricas de baja tensión, es el interruptor automático o *disyuntor*. Su misión es la de abrir circuitos de corriente, bajo condiciones anormales, aunque también puede utilizarse como simple interruptor. La desconexión del disyuntor tiene lugar por sobretensión, disminución de tensión, sobrecargas y cortocircuitos. En la figura 15.9, se puede observar la constitución interna de un interruptor, que actúa por disminución de tensión, sobrecarga y cortocircuito.

Al producirse cualquiera de las anomalías citadas, se desconecta el aparato y basta accionarlo manualmente, para recuperar el estado normal; claro está que, si la anomalía no se ha corregido, volverá a desconectarse.

Los interruptores automáticos se denominan: unipolar, unipolar con neutro, bipolar, tetrapolar y tetrapolar con neutro (fig. 15.10).

Las principales características del interruptor automático son:

— capacidad de maniobra, que indica el mínimo número de maniobras que pueden realizar, por ejemplo 20000;

— poder de corte, que indica la corriente máxima que puede interumpir, expresada normalmente en kilo-amperios; por ejemplo 5 kA.

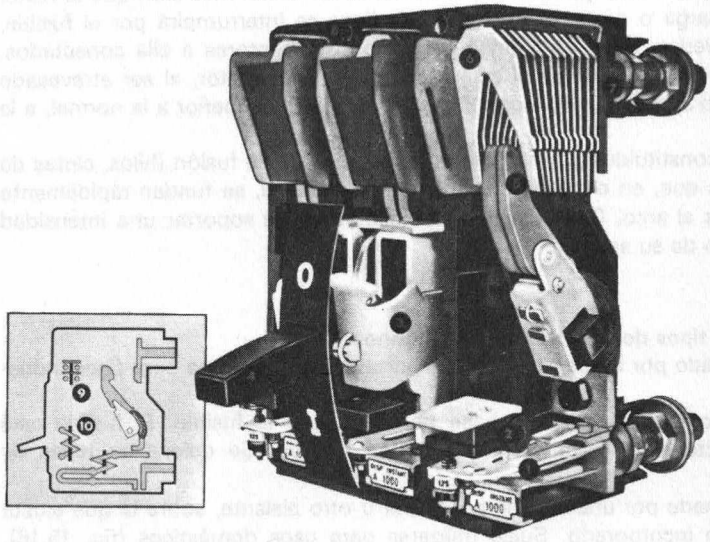


Fig. 15.9 Constitución interior de un interruptor automático (Metrón): *1, relé magneto-térmico; 2, palanca de apertura sobre eje común; 3, mecanismo de mando brusco a la conexión y desconexión; 4, palanca de mando con señalización* conectado, desconectado manual *o* desconectado automático *(por acción de los relés); 5, contacto móvil protegido con material anti-arco; 6, cámara de extinción; 7, contacto fijo protegido con material anti-arco; 8, caja aislante de gran resistencia mecánica y baja higroscopicidad; 9, contactos auxiliares; 10, relé de mínima tensión o relé de disparo.*

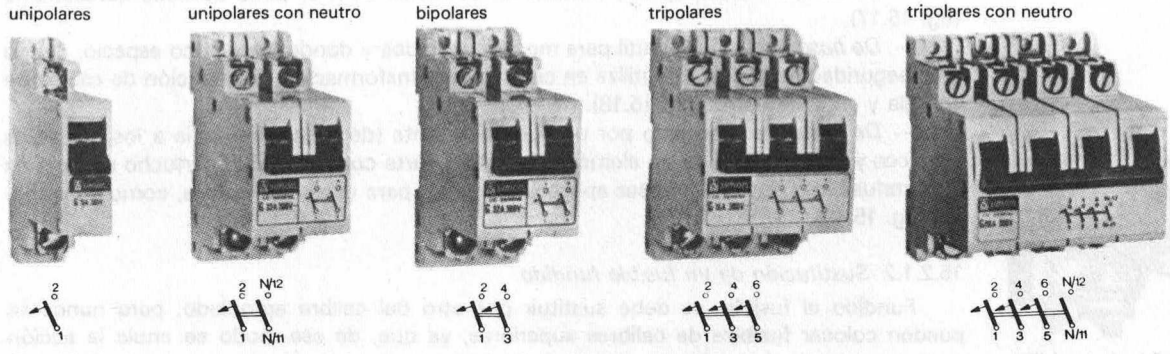


Fig. 15.10 Interruptores automáticos magnetotérmicos (Simón).

15.2 Aparatos de protección

Son aparatos destinados a poner fuera de servicio la línea, cuando se presentan irregularidades en el funcionamiento, bien sea de la tensión o de la intensidad de la corriente.

En el presente tema se estudian los dispositivos de protección contra las anomalías de corriente, dejando para el tema 17, los correspondientes a sobretensiones.

Los dispositivos básicos de protección contra anomalías de corriente son:

— *cortacircuito fusible* (fig. 15.11);
— *interruptor automático* (fig. 15.12);
— *interruptor diferencial* (fig. 15.13).

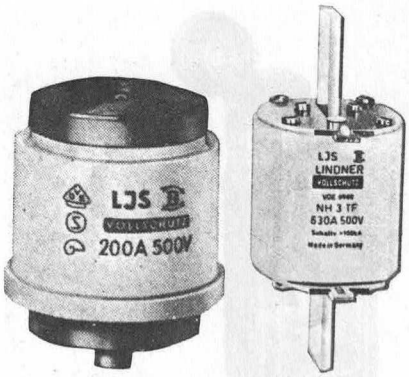


Fig. 15.11 Cortacircuitos fusibles.

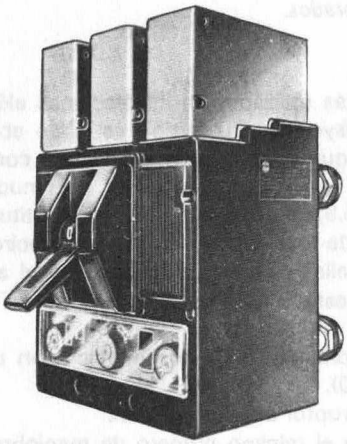


Fig. 15.13 Interruptor diferencial.



Fig. 15.12 Interruptor automático.

15.2.1 *Cortacircuito fusible*

Fusible es la parte de la línea, que deliberadamente, se ha hecho más débil que el resto. En caso de una sobrecarga o de un cortocircuito, la línea se interrumpirá por el fusible, evitando así posibles averías, tanto en la línea como en los receptores a ella conectados.

Su funcionamiento está basado en el calentamiento del conductor, al ser atravesado por una corriente (efecto Joule), dando lugar, cuando ésta es muy superior a la normal, a la ruptura del fusible.

Los fusibles están constituidos por materiales de bajo punto de fusión (hilos, cintas de plomo, plata, etc.), para que, en el caso de una ligera sobrecarga, se fundan rápidamente sin dar lugar a provocar el arco. Cada fusible está calibrado para soportar una intensidad determinada, en función de su sección.

15.2.1.1 *Clasificación*

Existen numerosos tipos de fusibles; he aquí algunos:

— *De tapón.* Formado por el fusible y la base portafusible. Se utiliza para fines industriales (fig. 15.14).

— *De cuchillas.* Constituido por una base portafusible y el fusible. El fusible está formado por el conductor y el aislante que extinguirá el arco. Se coloca en redes de distribución (fig. 15.15).

— *De petaca.* Formado por una caja de porcelana u otro aislante, sobre la que ajusta una tapa con el fusible incorporado. Suele utilizarse para usos domésticos (fig. 15.16).

— *De clavija.* Para adaptarlo a bases empotradas. Es muy poco utilizado actualmente (fig. 15.17).

— *De base vertical.* Muy útil para montajes rápidos y donde haya poco espacio, dando gran seguridad mecánica. Se utiliza en centros de transformación, distribución de cables de energía y en la industria (fig. 15.18).

— *De cartucho.* Formado por un cuerpo aislante (de gran resistencia a los esfuerzos térmicos y dinámicos) y de un elemento fusible o parte conductora. El cartucho se aloja en el portafusibles. Tiene numerosas aplicaciones tanto para usos domésticos, como industriales (fig. 15.19).

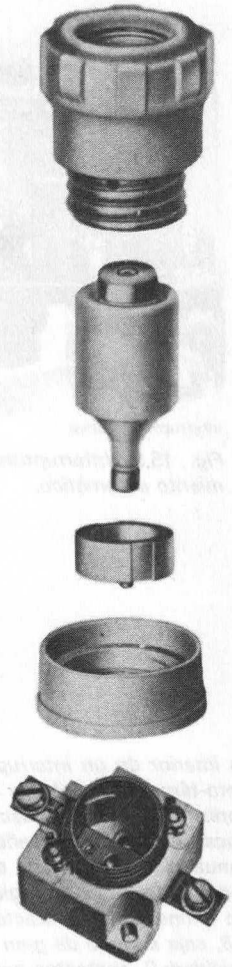


Fig. 15.14 Fusible de tapón.

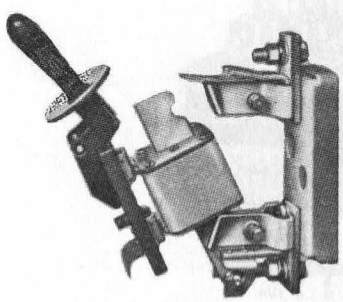


Fig. 15.15 Fusible de cuchillas.

15.2.1.2 *Sustitución de un fusible fundido*

Fundido el fusible, se debe sustituir por otro del calibre apropiado, pero nunca se pueden colocar fusibles de calibres superiores, ya que, de ese modo se anula la acción protectora sobre el circuito donde esté instalado.

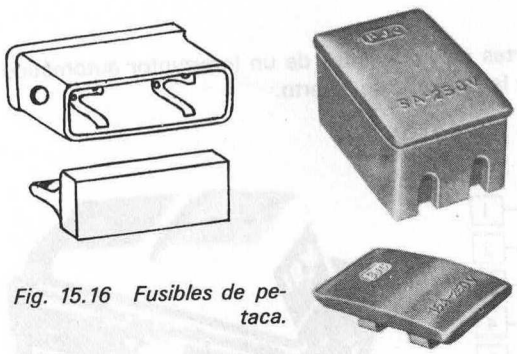


Fig. 15.16 Fusibles de peteca.

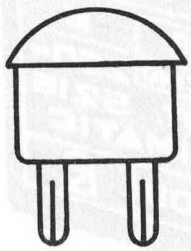


Fig. 15.17 Fusible de clavija.

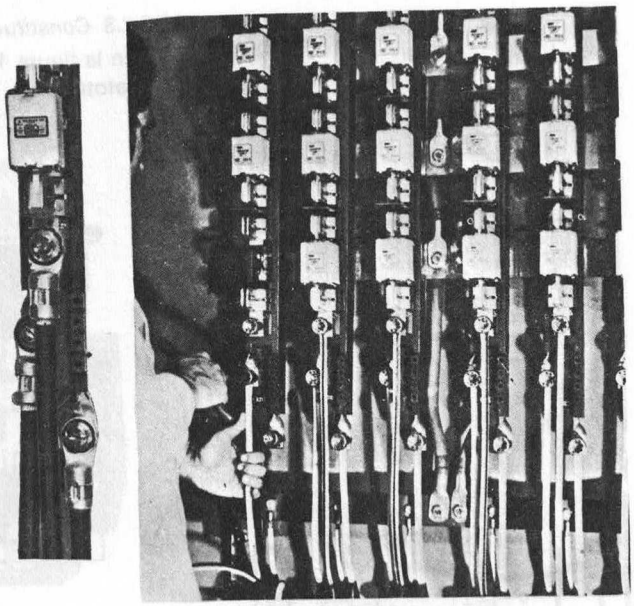


Fig. 15.18 Fusibles de bases verticales.

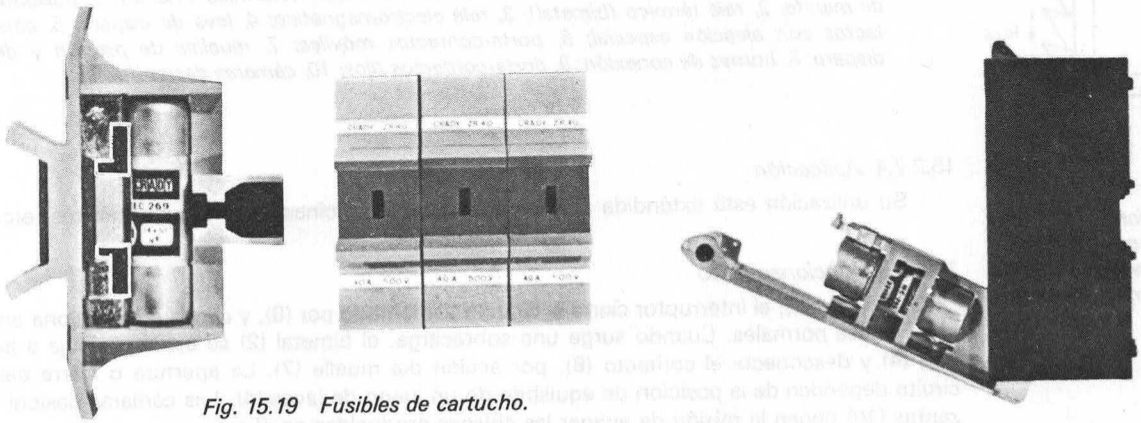


Fig. 15.19 Fusibles de cartucho.

15.2.2 *Interruptor automático*

Tiene este aparto, ya explicado, algunos detalles complementarios como aparato de protección.

15.2.2.1 *Clasificación*

La protección puede ser: *térmica, magnética* y *magnetotérmica.*

1. *Protección térmica*

Se consigue por una lámina bimetálica, que por acción de sobrecargas se deforma. Su movimiento actúa sobre los contactos y desconecta la instalación.

2. *Protección magnética*

Actúa cuando circula por una bobina una intensidad muy superior a la nominal, produciendo la atracción de una pieza metálica que, a su vez desplaza los contactos y produce la apertura del circuito.

3. *Protección magnetotérmica*

Es la protección más eficaz, que abarca los dos tipos de anomalías: *sobrecarga continuada* (consumo constante de una intensidad superior a la nominal) y *cortocircuito* (unión de dos puntos sometidos a diferencia de potencial, a través de un conductor de resistencia muy pequeña).

15.2.2.2 *Ventajas sobre el fusible*

Una ventaja muy importante del interruptor automático sobre el fusible, es la recuperación automática al cesar la avería.

El fusible una vez fundido, no es recuperable y se debe sustituir por otro.

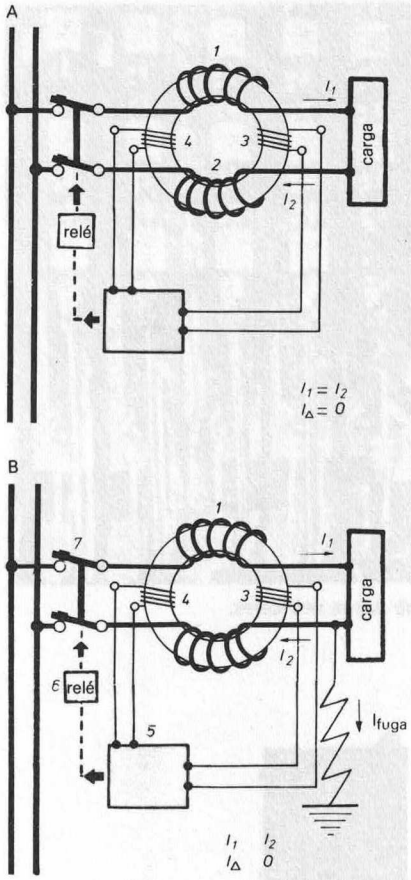


Fig. 15.21 Funcionamiento del relé diferencial: A, condiciones normales (no dispara); *B, con una derivación a tierra* (sí dispara).

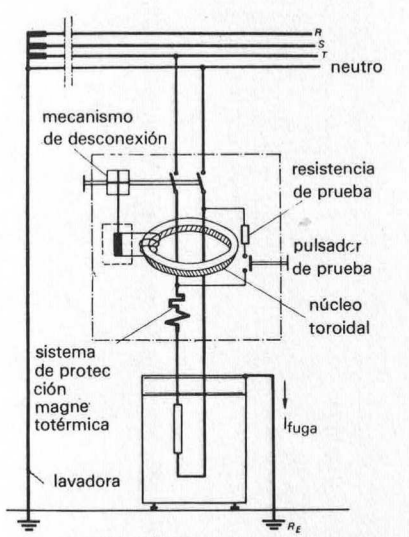


Fig. 15.22 Aplicación del relé diferencial.

15.2.2.3 *Constitución*

En la figura 15.20, se aprecian las partes constituyentes de un interruptor automático magnetotérmico, de volumen reducido, en la posición de abierto.

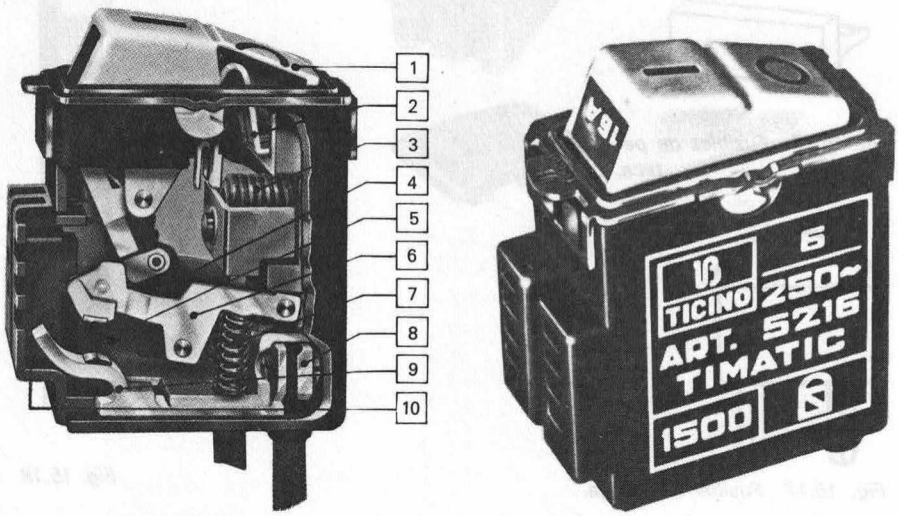


Fig. 15.20 Constitución y vista exterior de un relé magnetotérmico (Ticino): *1, pulsador de mando; 2, relé térmico (bimetal); 3, relé electromagnético; 4, leva de disparo; 5, contactos con aleación especial; 6, porta-contactos móviles; 7, muelles de presión y de disparo; 8, bornes de conexión; 9, porta-contactos fijos; 10, cámaras desionizantes.*

15.2.2.4 *Aplicación*

Su utilización está extendida a viviendas, tiendas, oficinas, laboratorios, talleres, etc.

15.2.2.5 *Funcionamiento*

Al pulsar (1), el interruptor cierra el circuito alimentado por (8), y el circuito funciona en condiciones normales. Cuando surge una sobrecarga, el bimetal (2) se curva, empuja a la leva (4) y desconecta el contacto (6), por acción del muelle (7). La apertura o cierre del ciruito dependen de la posición de equilibrio de un juego de levas (4). Las cámaras desionizantes (10) tienen la misión de apagar las chispas producidas en el arco.

Si en lugar de sobrecarga surge un cortocircuito, actúa la bobina (3), desplazando a la leva (4) y se repite el proceso anterior.

15.2.3 *Interruptor diferencial*

Es un aparato que proporciona la protección contra defectos de aislamiento.

15.2.3.1 *Constitución*

Dispone de un circuito magnético, en forma toroidal (fig. 15.21), sobre el que se bobinan los conductores de fases (1, 2) de la instalación. Un bobinado de hilo fino (3,4) arrollado sobre el núcleo acusa la corriente de fuga a tierra, provocando la apertura del interruptor.

15.2.3.2 *Funcionamiento*

En condiciones normales la corriente de entrada es igual a la de salida y, por tanto, al ser nula la diferencia, no actuará el diferencial (fig. 15.21.a). Solamente cuando la corriente de entrada sea la diferente a la de salida, y esta diferencia adquiera un valor superior a 30 mA, actuará el bobinado de hilo fino produciendo la desconexión del interruptor de la red (fig. 15.21.b).

15.2.3.3 *Instalación*

Puede conectarse entre dos fases o una fase y neutro (bipolar). También entre tres fases o dos fases y neutro (tripolar), y entre tres fases y neutro (tetrapolar). La figura 15.22, representa el esquema de funcionamiento de un relé magnetotérmico diferencial, conectado entre fase y neutro, como dispositivo de protección de una lavadora automática,

en la que se produce una derivación a tierra, y lo hace disparar. Puede observarse, que dispone de un pulsador de prueba, que sirve para comprobar el estado de funcionamiento del aparato, ya que, al pulsar, se hace pasar una corriente por una fase, pero no por el neutro, y por tanto debe dispararse.

15.3 Protección en una vivienda

Finalmente, como ejercicio de aplicación sobre los sistemas de protección, véase la figura 15.23, que representa el plano de una vivienda con grado de *electrificación media* (5000 W), provista de cocina eléctrica, armario frigorífico, lavadora, calentador y otros aparatos de uso doméstico.

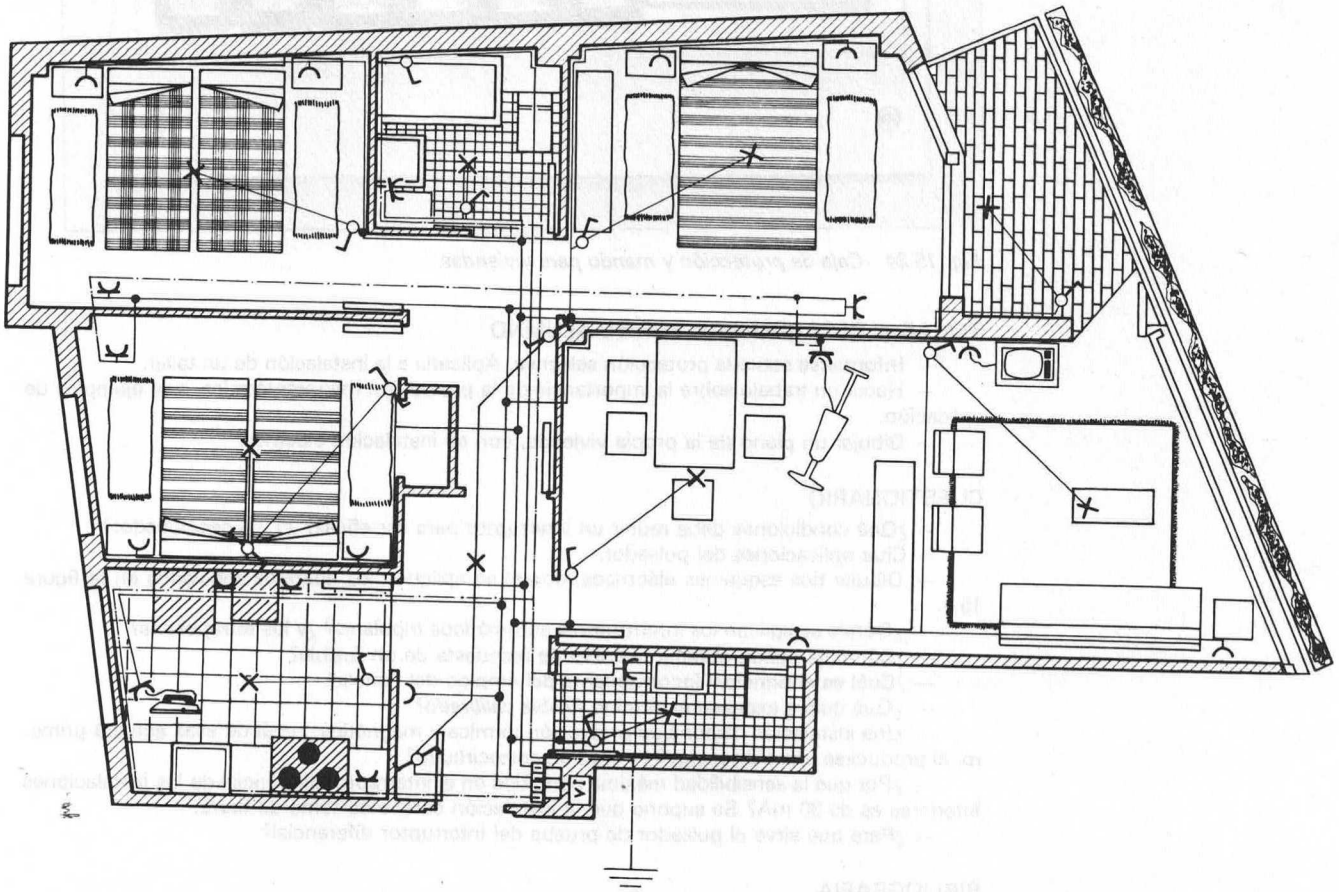


Fig. 15.23 Protección en una vivienda (material utilizado: Crady).

Los aparatos de maniobra y protección instalados son:

1 interruptor automático diferencial tetrapolar, a la entrada de la vivienda.

4 interruptores automáticos magnétidos, para protección de la instalación.

De cada interruptor automático parten los distintos circuitos a los lugares de utilización para instalar:

1 interruptor tetrapolar para la cocina eléctrica.

1 interruptor bipolar para el alumbrado y bases de alumbrado.

1 interruptor bipolar para los enchufes de los demás servicios.

1 interruptor bipolar para la lavadora y el calentador eléctrico.

Se dispone también de un conductor de protección para la puesta a tierra, que permitirá que la sensibilidad del diferencial sea de 650 mA.

Si no existe puesta a tierra, la sensibilidad del diferencial debe ser de 30 mA.

El montaje de los aparatos de mando y protección se debe hacer sobre cajas aislantes, como indica la figura 15.24.

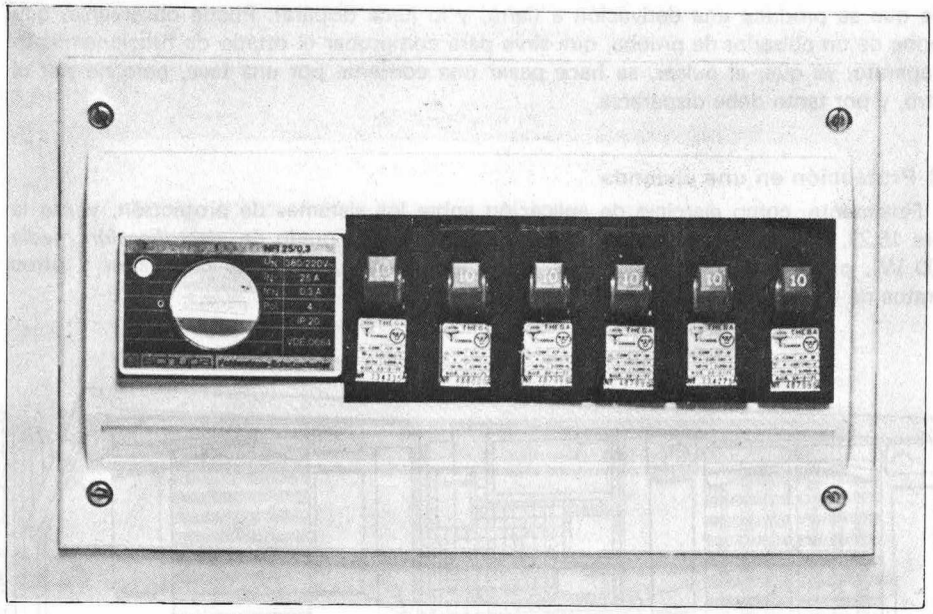


Fig. 15.24 Caja de protección y mando para viviendas.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Informarse sobre la protección selectiva. Aplicarla a la instalación de un taller.

— Hacer un trabajo sobre la importancia de la protección magnetotérmica, con ejemplos de aplicación.

— Dibujar un plano de la propia vivienda, con su instalación eléctrica.

CUESTIONARIO

— ¿Qué condiciones debe reunir un interruptor para ser eficaz? ¿Y un seccionador?

— Citar aplicaciones del pulsador.

— Dibujar dos esquemas eléctricos, donde se apliquen los aparatos señalados en la figura 15.8.

— ¿Dónde se aplican los interruptores automáticos tripolares? ¿y los tetrapolares?

— ¿Cómo se puede obtener la curva de respuesta de un fusible?

— ¿Cuál es el principal inconveniente del empleo del fusible?

— ¿Qué quiere expresar el término *fusible calibrado*?

— Una instalación dispone de protección térmica y magnética, ¿cuál de ellas actuará primero, al producirse una sobrecarga? ¿y si es un cortocircuito?

— ¿Por qué la sensibilidad máxima permitida en el interruptor diferencial de las instalaciones interiores es de 30 mA? Se supone que la instalación carece de toma de tierra.

— ¿Para qué sirve el pulsador de prueba del interruptor diferencial?

BIBLIOGRAFIA

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Madrid 1973.
Catálogos técnicos de casas comerciales.

Tema 16. Nociones sobre las líneas de distribución en media y alta tensión

OBJETIVOS

— *Descripción de las diferentes tensiones a emplear en redes de distribución.*

— *Conocer las normas exigidas a las tensiones de las redes de distribución.*

— *Interpretar los esquemas correspondientes a subestaciones transformadoras.*

— *Conocer los tipos de redes más utilizados.*

— *Idea de la forma de realización de redes de distribución para alimentación de complejos industriales.*

— *Importancia del aluminio en los conductores de líneas eléctricas.*

— *Conocer la constitución de los cables empleados en redes de distribución.*

GUION

- Introducción.
- Utilización de las redes de distribución.
- Origen de las redes de distribución primarias.
- Tipos de redes de distribución primarias:
  Redes de distribución radiales.
  Redes de distribución malladas.
- Nociones sobre casetas de transformación.
- Conductores utilizados en el montaje de redes de distribución.
- Justificación del empleo de altas tensiones.

PUNTOS CLAVE

- Importancia y justificación del transporte de la energía en A.T.
- Diferenciación de las principales redes de distribución primarias.
- Gama de conductores empleados en el montaje de líneas eléctricas.

EXPOSICION DEL TEMA

16.1 Introducción

La distribudión de la energía eléctrica se hace por medio de las redes primarias en *media tensión*, desde la subestación transformadora a las casetas de transformación.

A partir de aquí, surgen las redes secundarias, que transportarán la energía en baja tensión hasta los abonados (fig. 16.1).

En los centros de consumo, que absorben gran potencia (ciudades sanitarias, grandes edificios, concentración de industrias, etc.), la energía eléctrica llega directamente, a través de redes primarias de media tensión (6 a 45 kV).

El motivo de emplear medias tensiones es la búsqueda de economía en la línea y la disminución de pérdidas, puesto que disminuye considerablemente la sección de los conductores.

Mayor economía en la línea se lograría empleando alta tensión, pero los peligros que surgirían, al atravesar ciudades o poblaciones, impiden su utilización.

Se dan a continuación unas nociones sobre la distribución en redes que emplean tensiones intermedias entre baja y alta tensión. En todos los sistemas se emplea corriente alterna trifásica.

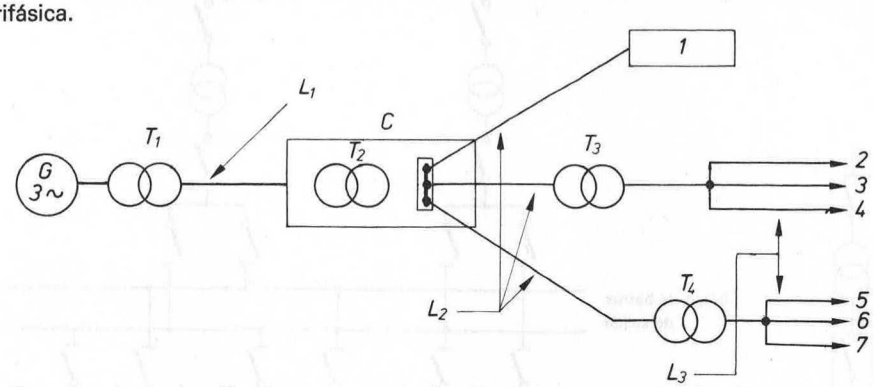


Fig. 16.1 Esquema de producción, transporte y distribución de la energía eléctrica: G, altenador; T_1, transformador elevador de A.T; L_1, línea de A.T; C, subestación transformadora; T_2, transformador reductor de A.T; L_2, líneas primarias de distribución; T_3, T_4, transformadores de distribución; 1, centro consumidor de gran potencia; L_3, líneas secundarias de distribución; 2, 3 ... 7, alimentación al consumidor a B.T.

16.2 Utilización de las redes de distribución

Las redes de distribución tienen la misión de realizar la alimentación de los receptores de los abonados, en unas determinadas condiciones de estabilidad de tensión, según las normas exigidas por los Reglamentos.

Se admite como máximo una variación del ± 5 % en la tensión, a la entrada del local o vivienda del consumidor.

16.3 Origen de las redes de distribución primarias

Las redes de distribución tienen su origen en los secundarios de los transformadores, alojados en las subestaciones transformadoras.

Según el tipo de subestación transformadora, así serán las líneas primarias. Entre los diversos tipos de montajes se presentan, a continuación, algunos de los más utilizados actualmente.

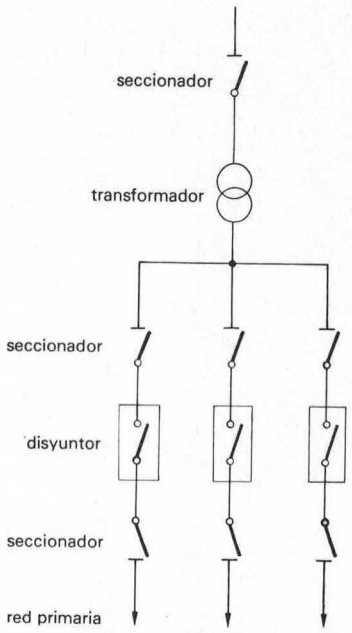


Fig. 16.2 Esquema de una subestación transformadora con tres redes primarias.

16.3.1 *Subestación con un transformador*

La figura 16.2, representa el esquema correspondiente a una subestación transformadora, de la que parten varias redes primarias, protegidas por disyuntores. Como aparatos de maniobra se emplean los seccionadores.

16.3.2 *Subestación con varios transformadores*

También puede haber transferencia de energía de unas redes a otras, a través de un disyuntor, como indica la figura 16.3.

En los núcleos urbanos importantes se emplean subestaciones transformadoras, que disponen de varios transformadores; éstos son alimentados por varias líneas, como indica la figura 16.4, que representa el esquema correspondiente a una subestación de 3 transformadores, alimentada por dos líneas. Las 4 redes primarias están conectadas a un juego de barras, ofreciendo la posibilidad de disponer de tensión en cualquiera de ellas, aunque solamente estuviese en servicio un transformador y una línea de alimentación.

Este último sistema de transformación y distribución de la energía, ofrece, además, la ventaja de facilitar el mantenimiento de la subestación, por permitir la desconexión parcial de sus elementos.

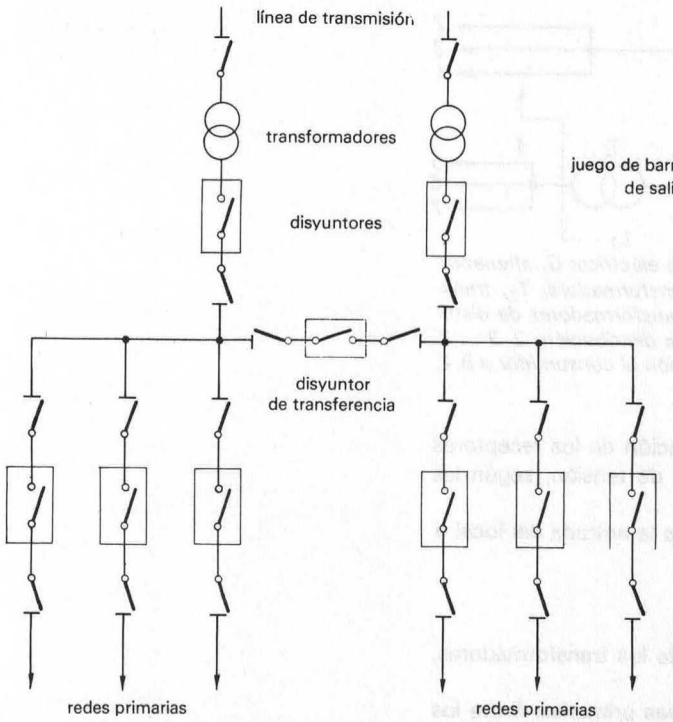


Fig. 16.3 Esquema de una subestación transformadora con disyuntor de trasferencia.

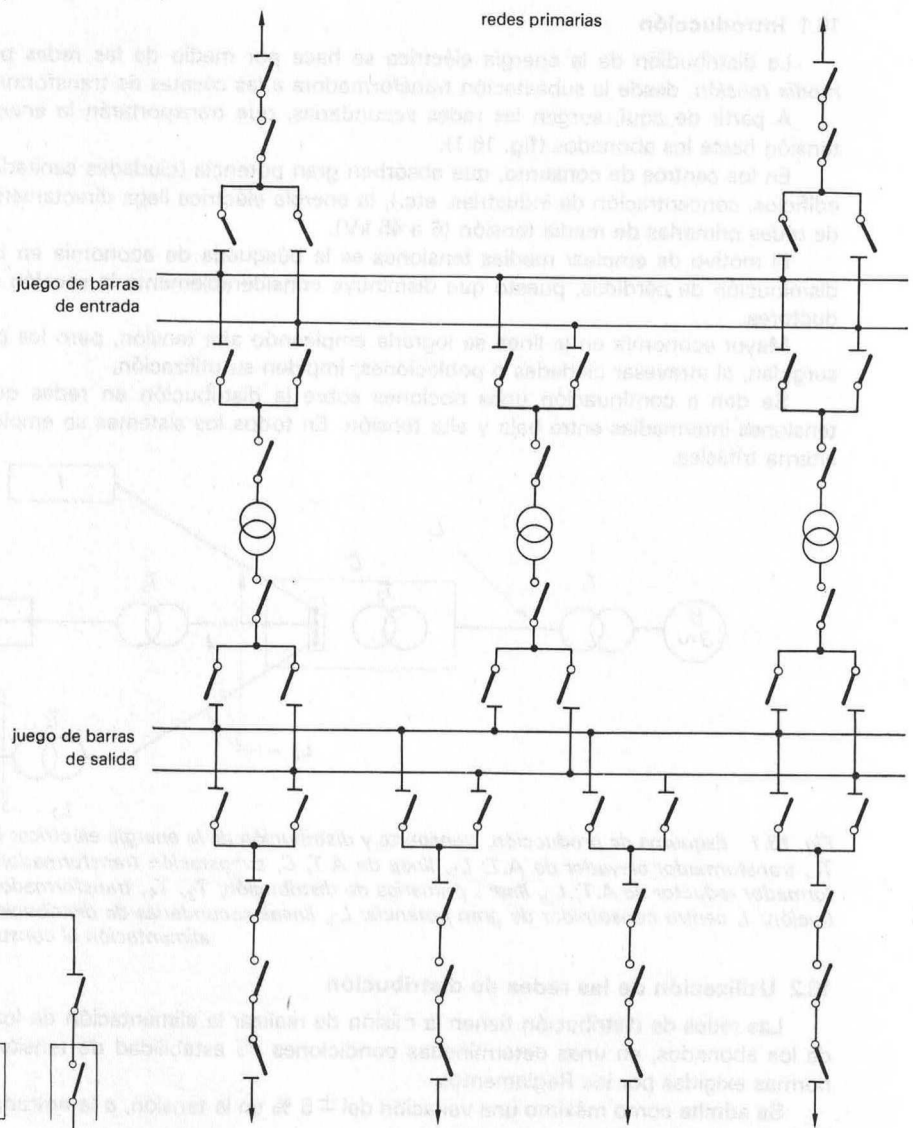


Fig. 16.4 Esquema de una subestación transformadora con juego de barras a la entrada y salida.

16.4 Tipos de redes de distribución primarias

En general, las redes de distribución primarias, pueden ser aéreas y subterráneas. Actualmente, se tiende al montaje de redes subterráneas puesto que, en las ciudades con gran densidad de edificios, resulta más cómodo y menos peligroso (fig. 16.5).

Atendiendo a la instalación, las redes primarias pueden ser:

- *Radiales.*
- *Malladas.*

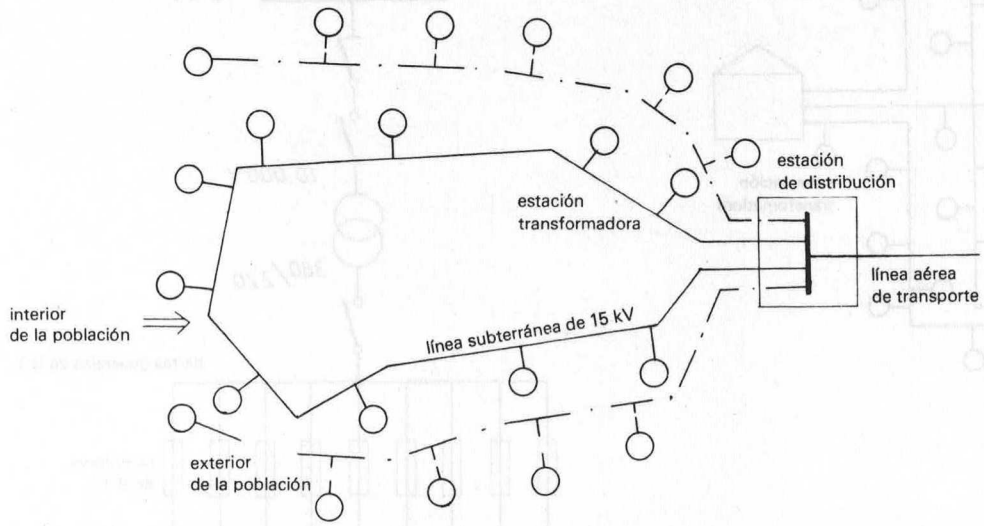


Fig. 16.5 Esquema de red de distribución primaria subterránea.

16.4.1 *Redes de distribución radiales*

Las *redes radiales* son de uso muy generalizado. Disponen de un punto de alimentación (subestación transformadora) que alimenta a las diversas ramificaciones laterales, las cuales a su vez, alimentan los primarios de los transformadores, situados en las casetas de transformación (fig. 16.6).

La sección de los conductores es decreciente hacia el punto de consumo y muy sencilla; pero, presenta el inconveniente de una caída de tensión considerable.

Un sistema de distribución, que disminuye considerablemente el problema de la caída de tensión, es el que dispone de *alimentadores de secciones elevadas* hasta puntos próximos a las cargas (centros de distribución) (fig. 16.7). De estos alimentadores, también llamados *feeders,* parten las diferentes ramificaciones con destino a las casetas transformadoras.

Otra ventaja a considerar en este tipo de redes con feeders, es la posibilidad de realizar interconexiones entre ellos, cuando alguno quede fuera de servicio, puesto que están dimensionados para soportar elevadas intensidades.

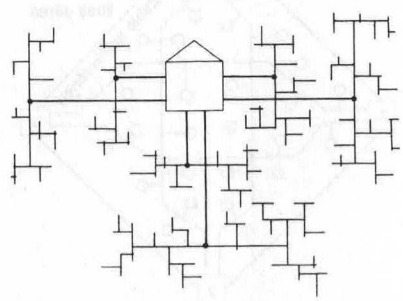


Fig. 16.6 Esquema de una red primaria radial.

16.4.2 *Redes de distribución malladas*

Las redes malladas, muy difundidas también dan lugar a una distribución de energía que parte de varias subestaciones transformadoras, situadas en las proximidades de los centros de carga (fig. 16.8); todas las salidas de los transformadores están unidas por alimentadores primarios de amplia sección.

Los alimentadores suministran directamente la energía a las casetas transformadoras, por medio de las correspondientes ramificaciones.

Una ventaja, muy importante, de la red mallada, es la posibilidad de interconexión entre las diferentes subestaciones por el lado de salida; puede funcionar el conjunto de receptores, aunque quede fuera de servicio una subestación.

También es interesante este tipo de red, bajo el punto de vista de pérdidas de energía y caídas de tensión, puesto que, al disponer de amplias secciones y trayectos cortos, aquellas disminuyen considerablemente.

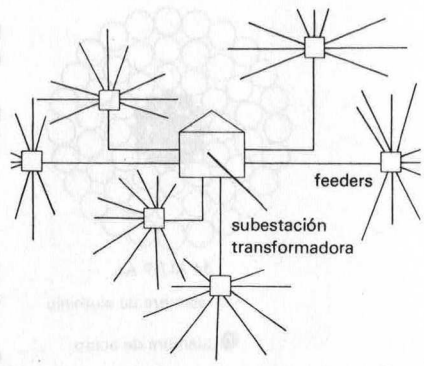


Fig. 16.7 Esquema de una red primaria radial con feeders.

Ejercicio de aplicación:

Distribución de la energía eléctrica a una gran zona industrial.

Solución:

Dado que una zona industrial necesita de una alimentación muy segura, y una tensión constante, hay que realizar una instalación que tome la energía de varios puntos y a la máxima tensión posible.

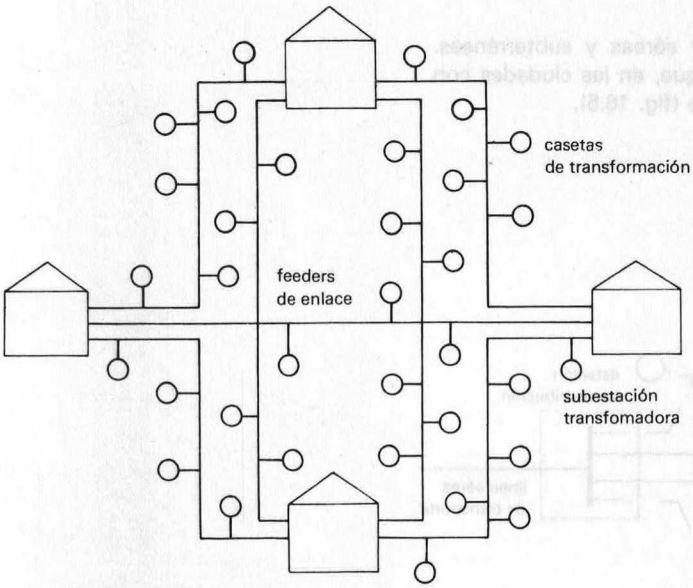


Fig. 16.8 Esquema de una red mallada.

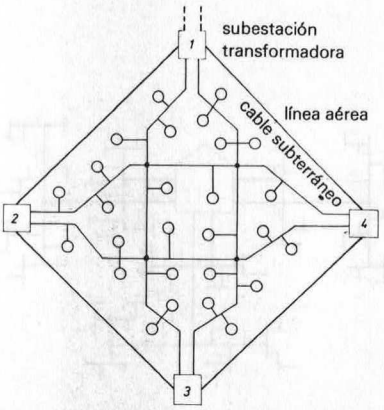


Fig. 16.9 Esquema del ejercicio de aplicación sobre redes de distribución.

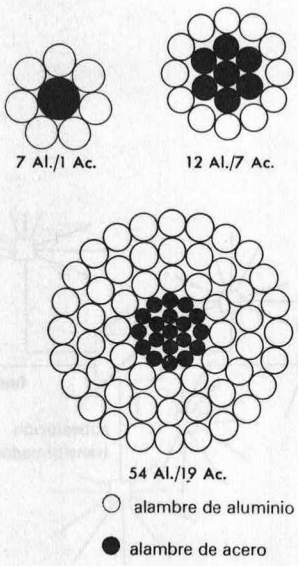


Fig. 16.11 Cables aluminio-acero, Inasa.

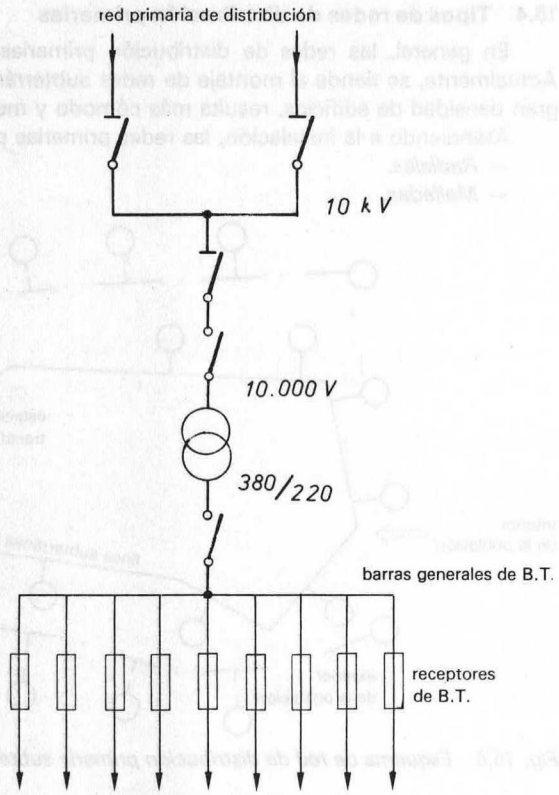


Fig. 16.10 Esquema de la instalación de una caseta transformadora.

El empleo de redes de alta tensión disminuye la sección de los conductores, la caída de tensión y, por tanto, el gasto de instalación.

La figura 16.9 representa el esquema correspondiente a una distribución de energía en una zona industrial, que se explica a continuación.

La energía se recibe por dos líneas, a muy alta tensión (220 kV), que alimentan 4 subestaciones transformadoras. En las subestaciones se reduce la tensión a 15 kV, por medio de transformadores reductores, y se distribuye por cables subterráneos hasta los puntos de consumo.

Finalmente, se reduce de nuevo la tensión a 220/380 V, que es la tensión de alimentación de los receptores.

En el caso de fallo en una línea de alta tensión, no se verá afectado el normal funcionamiento de los receptores, puesto que reciben la alimentación de la segunda red, por estar interconectadas las redes aéreas y las de distribución.

16.5 Nociones sobre casetas de transformación

Reciben el nombre de casetas transformadoras, los lugares destinados al alojamiento de los transformadores de distribución, que convierten la tensión procedente de la red primaria (superiores a 6 kV en baja tensión (220/380 V).

La figura 16.10 representa el esquema de una caseta transformadora, que recibe energía por dos líneas y proporciona redes para alumbrado y fuerza de los receptores de los abonados.

Las casetas transformadoras suelen ser aéreas en zonas rurales, y subterráneas en núcleos urbanos.

16.6 Conductores utilizados en el montaje de redes de distribución

Los conductores más utilizados son el cobre, el aluminio y el acero.

El montaje de líneas eléctricas, a base de conductores de aluminio, se realiza desde el año 1900, en que se empezó a producir a escala industrial por medio de la electrólisis de la alúmina.

Un inconveniente del aluminio es su débil resistencia mecánica a la tracción, con el consiguiente peligro de rotura al instalarse apoyado en tramos largos. Este obstáculo se ha superado con los conductores de *aluminio-acero*, que llevan acero en la parte central y aluminio en derredor (fig. 16.11).

Aunque el conductor más empleado, en general, es el *cobre*, en las líneas de transporte y siempre que la sección sea superior a 35 mm², resulta más ventajosa la utilización del aluminio, que disminuye el peso y el coste.

16.6.1 *Cable*

Es un conductor compuesto de siete o más alambres de aluminio y acero galvanizado, cableados en capas concéntricas. El alambre o alambres centrales son de acero y las capas exteriores, de aluminio.

16.6.1.1 *Diámetro del cable*

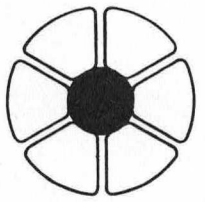
Es la media aritmética de dos medidas tomadas en ángulo recto sobre la misma sección. Se distinguen dos tipos de cables, según que el diámetro de los hilos de acero sea idéntico, o no, al diámetro de los hilos de aluminio.

16.6.1.2 *Sentido del cableado*

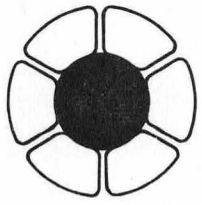
Puede ser a derecha o a izquierda. Cuando el conductor está formado sólo por cables de aluminio y consta de más de una capa, las capas sucesivas se deben cablear en sentidos contrarios.

16.6.2 *Cable comprimido*

Un conductor empleado en líneas de media y baja tensión es el *cable comprimido* (fig. 16.12), formado por 6 hilos de aluminio de sección sectorial, y un hilo central de acero, de sección circular, cuyo conjunto es de sección circular.



Relación $\frac{Al}{Ac} = \frac{6}{1}$



Relación $\frac{Al}{Ac} = \frac{4}{1}$

Fig. 16.12 Cable aluminio - acero comprimido, Inasa.

16.6.3 *Constitución de un cable*

Un cable puede ser instalado tanto en líneas aéreas como en líneas subterráneas (fig. 16.13), pero tiene mayor aplicación en líneas subterráneas. Está constituido por uno o varios conductores de aluminio, aislados entre sí y cableados helicoidalmente ①; sobre ellos se fija, por extrusión, una capa de aislante (cloruro de polivinilo o PVC) de relleno ②, y se recubre con una capa de PVC, que hace de cubierta ④. Si el cable lleva armadura metálica (cables subterráneos), ésta se coloca entre las dos capas del aislante PVC ③.

Un cable idóneo para líneas aéreas sobre aisladores es el representado en la figura 16.14; consta de varios hilos de aluminio, sobre los que se fija una fina capa de cloruro de polivinilo plastificado, que los protege e impermeabiliza.

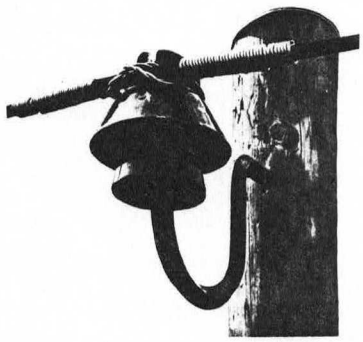


Fig. 16.14 Cable para líneas aéreas sobre aisladores (Inasa).

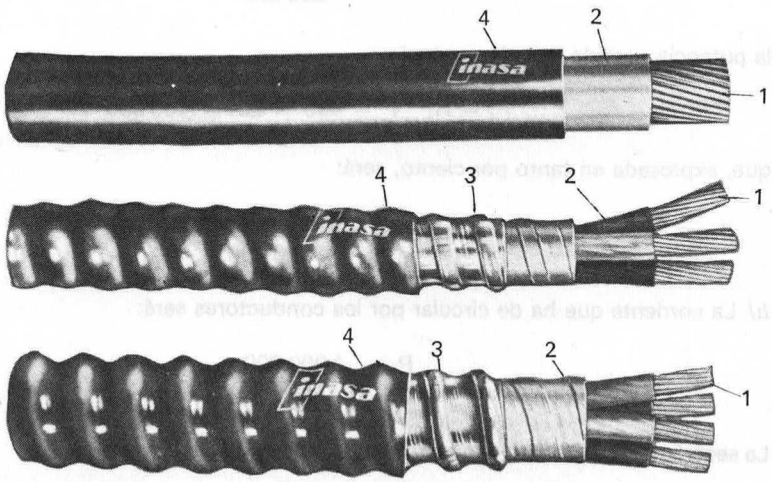


Fig. 16.13 Cables para instalaciones aéreas o subterráneas (Inasa): a, *1 conductor;* b, *3 conductores;* c, *4 conductores (tres fases y neutro).*

16.7 Justificación del empleo de altas tensiones

A lo largo del tema se insite en la necesidad de realizar el transporte de energía a alta tensión, porque ofrece condiciones más ventajosas.

Para justificar esta norma, basta realizar un ejercicio sobre el cálculo de la sección de una línea en alta y en baja tensión, comparando posteriormente los resultados.

Para facilitar el cálculo, es preferible tomar una línea de corriente continua, aunque las conclusiones pueden aplicarse, igualmente, a las líneas de corriente alterna.

Ejercicio:

Se trata de calcular la sección de los conductores, caída de tensión y potencia perdida (efecto Joule), de una línea bifilar que alimenta una población de unos 6000 habitantes, a una distancia de 50 Km. La potencia a transportar es 4000 kW. Realizar el cálculo, en los casos siguientes:

a) en alta tensión; 200 000 V
b) en baja tensión; 400 V
c) manteniendo una caída de tensión del 2 %

Solución:

a) La corriente que ha de circular por los conductores es:

$$I = \frac{P}{V};$$

$$I = \frac{4\,000\,000\ W}{200\,000\ V} = 20\ A$$

Si el conductor trabaja con densidad de corriente $\delta = 4\ A/mm^2$, la sección será:

$$S = \frac{I}{\delta} = \frac{20}{4} = 5\ mm^2$$

Si el conductor tiene una resistividad de $\varrho = 0{,}02\ \Omega \frac{mm^2}{m}$ la longitud del conductor total será: $2 \times 50\ Km = 100\ Km = 100\,000\ m$, y la resistencia de la línea:

$$R_L = \varrho \frac{L}{S} = 0{,}02 \cdot \frac{(100\,000)}{5} = 400\ \Omega$$

La caída de tensión será de:

$$u_L = R_L \cdot I = 400 \cdot 10 = 4000\ V$$

que, expresada en tanto por ciento:

$$u_L\ \% = \frac{(4000) \cdot 100}{200\,000} = 2\ \%$$

la potencia perdida por efecto Joule:

$$P_j = R_L \cdot I^2 = 400 \times 20^2 = 160\,000\ W$$

que, expresada en tanto por ciento, será:

$$P_j\ \% = \frac{(160\,000) \cdot 100}{4\,000\,000} = 4\ \%$$

b) La corriente que ha de circular por los conductores será:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{4\,000\,000}{400} = 10\,000\ A$$

La sección del conductor, supuesta la misma densidad de corriente, será:

$$S = \frac{I}{\delta} = \frac{10\,000}{4} = 2500\ mm^2$$

La resistencia de la línea:

$$R = \frac{L}{S} = 0{,}02 \cdot \frac{(100\,000)}{2500} = 0{,}8\ \Omega$$

La caída de tensión:

$$u_L = R_L \cdot I = 0{,}8 \cdot (10\,000) = 8000\ V$$

De donde resulta que es imposible realizar el transporte, porque la caída de tensión es superior a la tensión nominal.

c) En el caso de transporte a alta tensión, para $u_L = 2\,\%$ se obtiene una sección de 5 mm^2.

En el caso de transporte a 400 V:

$$u_L = \frac{2}{100} \cdot 400 = 8\,V$$

para que en la línea haya una caída de tensión de 8 V, la resistencia será:

$$R_L = \frac{u_L}{I} = \frac{8}{10\,000} = \frac{0{,}8}{1000}\,\Omega$$

que corresponde a una sección de conductor:

$$R = \varrho\frac{L}{S};\ S = \varrho\frac{L}{S} = 0{,}02 \cdot \frac{(100\,000)}{\frac{0{,}8}{1000}} = 2{,}5 \cdot 10^6\,mm^2 = 2{,}5\,m^2$$

con lo que resulta una sección ridículamente grande y antieconómica.

Resumen: ***El transporte se debe realizar a muy alta tensión.***

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Informarse sobre la realización de una línea eléctrica de distribución que alimente un núcleo industrial. Tipo de línea: subterránea.

— Representar un red mallada, explicándola posteriormente.

— Representar varios tipos de casetas transformadoras, explicando su esquema de funcionamiento.

CUESTIONARIO

— ¿Cuál es el motivo de suprimir las redes secundarias de distribución en la alimentación de puntos de gran consumo? Poner ejemplos donde se emplee este tipo de distribución.

— ¿Qué inconvenientes lleva consigo una caída de tensión en la línea de distribución superior al 5%?

— ¿De dónde reciben la alimentación de energía eléctrica las subestaciones transformadoras? ¿y las casetas transformadoras?

— Explicar dos tipos de redes de distribución radiales.

— ¿Qué son los feeders?

— ¿Qué ventajas e inconvenientes presenta la distribución por redes radiales? ¿y las redes malladas?

— En el ejercicio de aplicación de la figura 16.9 ¿presentará dificultades el empleo de la línea a tan elevada tensión? ¿Será permisible?

— Qué problemas presentaría una línea de transporte de muy alta tensión con cables de aluminio?

— ¿Cuál de las tres líneas aéreas de alta tensión ofrece mayor seguridad? ¿por qué?

a) construida con cable de aluminio.
b) construida con cable de cobre.
c) construida con cable de aluminio-acero.

— Realizar el ejercicio 16-6, empleando conductores de cobre y aluminio con coeficientes de resistividad de 0,0178 y 0,0303 $\Omega\frac{mm^2}{m}$ respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

Instalaciones de baja tensión. Cálculo de líneas, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1974.

Catálogos técnicos de casas comerciales.

Tema 17. Aparatos de maniobra y protección en media y alta tensión

OBJETIVOS

- *Conocimiento de los principales aparatos de maniobra empleados en alta tensión.*
- *Diferenciación entre seccionadores e interruptores.*
- *Conocimiento del interruptor automático o disyuntor.*
- *Conocer los tipos principales de seccionadores.*
- *Conocer los principales tipos de interruptores.*
- *Idea de fusibles cortacircuitos en alta tensión.*
- *Conocer los sistemas fundamentales de protección de redes contra sobretensiones.*

GUION

- Generalidades sobre los aparatos de maniobra.
  Seccionadores.
  Interruptores.
- Disyuntores.
- Cortacircuitos de alta tensión.
- Origen de las sobretensiones.
  Tipos de protecciones contra las sobretensiones.

PUNTOS CLAVE

- Saber elegir el interruptor, seccionador y disyuntor.
- Necesidad de protección por fusibles.
- Protección de líneas mediante puestas a tierra y pararrayos.

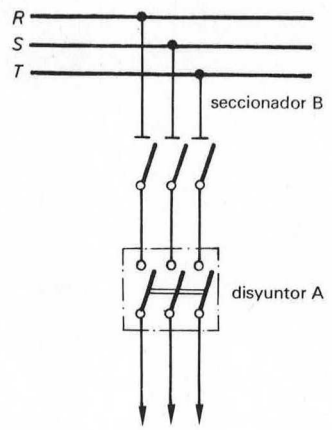


Fig. 17.1 Instalación del seccionador.

EXPOSICION DEL TEMA

17.1 Generalidades sobre los aparatos de maniobra

Los aparatos de maniobra, en media y alta tensión, tienen por misión conectar o desconectar un cirtuito bajo tensiones elevadas, con los correspondientes problemas que ello ocasiona (sobretensión).

En el presente tema se estudian aparatos que aseguran la continuidad o discontinuidad de la línea, como son:

- los seccionadores;
- los interruptores;
- los disyuntores.

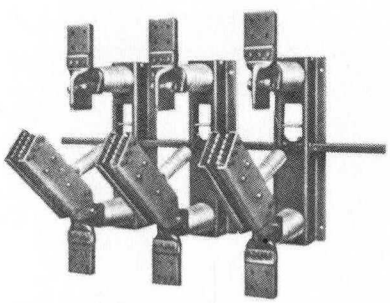


Fig. 17.2 Constitución de un seccionador.

17.1.1 *Seccionadores*

Son aparatos destinados a abrir o cerrar un circuito en vacío. No poseen ningún dispositivo de corte del arco, salvo el caso de llevar incorporado algún tipo de disyuntor.

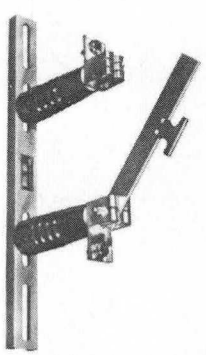


Fig. 17.3 Seccionador de cuchillas giratorias unipolar.

17.1.1.1 *Instalación*

Se colocan al principio de la red y antes de los disyuntores (fig. 17.1), y así aseguran la interrupción de la línea, al estar abierto.

17.1.1.2 *Constitución*

Los seccionadores están constituidos por varios polos principales soportados por aisladores, un mecanismo de mando y de un chasis (soporte), como representa la figura 17.2.

Su construcción ofrece gran resistencia mecánica, que le permite soportar las elevadas corrientes de cortocircuito.

17.1.1.3 *Aplicación*

Se utilizan para tensiones medias y altas, hasta 420 kV. La intensidad nominal puede variar de 40 a 6400 A.

17.1.1.4 *Tipos de seccionadores*

Entre la extensa gama de seccionadores, se señalan los siguientes:

- *de cuchillas giratorias;*
- *de cuchillas deslizantes;*
- *de columnas giratorias;*
- *pantógrafos.*

1. *Seccionador de cuchillas giratorias* (fig. 17.3)

Consta de dos aisladores, uno superior, que soporta el contacto fijo, y el inferior, que soporta la cuchilla (contacto móvil).

La cuchilla, al ser accionada se incrusta en el contacto fijo, produciendo el cierre del circuito, después de seguir una trayectoria circular. La figura 17.4, representa un seccionador tripolar, de funcionamiento idéntico al anterior.

2. *Seccionador de cuchillas deslizantes* (fig. 17.5)

Está constituido por tres aisladores. El contacto móvil está sujeto por dos aisladores, para repartir el esfuerzo y evitar ser arrancado; el tercer aislador sirve de soporte al contacto fijo.

Este tipo de seccionador es idóneo para emplearlo en celdas de transformación de profundidad limitada.

3. *Seccionador de columnas giratorias* (fig. 17.6)

Está compuesto por dos columnas extremas fijas y la central giratoria; esta última, al girar, cierra o abre el circuito mediante la barra, que lleva en su parte superior, haciendo de contacto móvil.

4. *Seccionador pantógrafo* (fig. 17.7)

Está formado por una sola columna, cuyo extremo superior tiene un aislador, en el cual se encuentra el pantógrafo, que se desliza sobre el conductor.

Ofrece la ventaja de ocupar reducido espacio, y se aplica en tracción eléctrica.

17.1.2 *Interruptores*

Son aparatos más perfeccionados que el seccionador, puesto que poseen un cierto poder de corte; pueden cortar la corriente de plena carga a la tensión nominal.

17.1.2.1 *Constitución*

Están constituidos por uno o varios polos principales (con dispositivo de corte del arco que aparece en la apertura del circuito, sometido a tensiones elevadas), un órgano de mando y un chasis que soporta el conjunto (fig. 17.8).

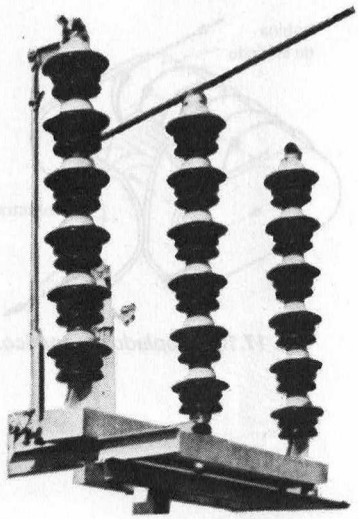


Fig. 17.6 Seccionador de columnas giratorias.

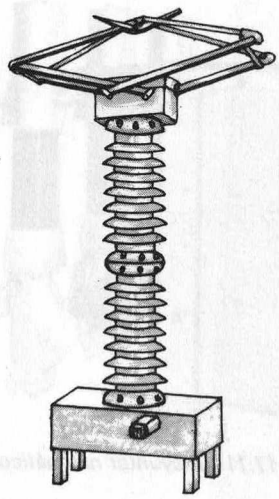


Fig. 17.7 Seccionador pantógrafo.

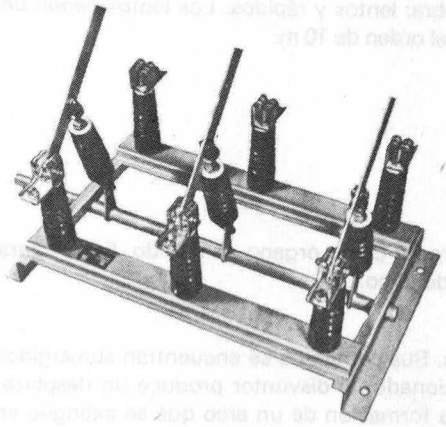


Fig. 17.4 Seccionador de cuchillas giratorias tripolar.

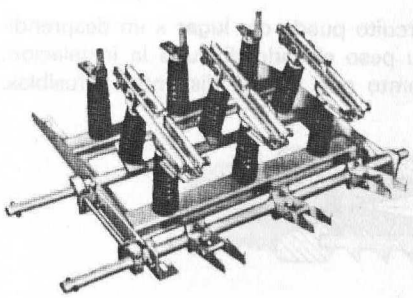


Fig. 17.5 Seccionador de cuchillas deslizantes.

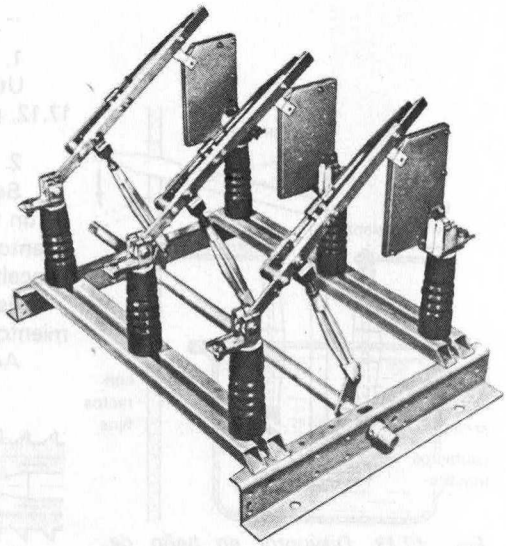


Fig. 17.8 Interruptor seccionador.

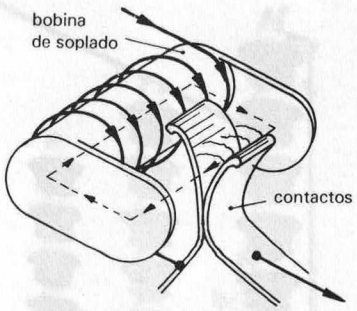


Fig. 17.10 Soplado magnético.

17.1.2.2 *Aplicaciones y ventajas*

Se utilizan para tensiones de 0 a 36 kV. La intensidad llega hasta unos 3000 A para media tensión.

Entre las ventajas del empleo de estos aparatos figuran: gran poder de corte, robustez y sencillo funcionamiento.

17.1.2.3 *Tipos de interruptores*

Atendiendo al modo de corte del arco, pueden distinguirse los siguientes tipos:

— *autoneumáticos;*
— *de soplado magnético.*

1. *Interruptor autoneumático* (fig. 17.9)

Utiliza como elemento para extinguir el arco, el aire comprimido. En la apertura del circuito el aire es lanzado por los aisladores huecos, extinguiendo el arco.

2. *Interruptor de soplado magnético* (fig. 17.10)

Dispone de una bobina, en serie con cada contacto, que produce un flujo, que, a su vez, repele al producido por el arco, logrando su extinción.

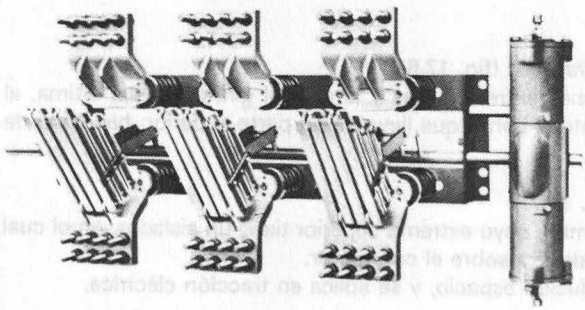


Fig. 17.9 Interruptor autoneumático.

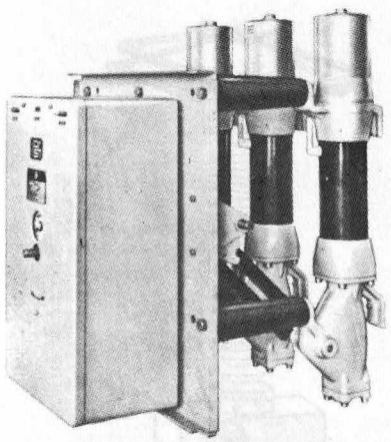


Fig. 17.11 Disyuntor neumático.

17.1.3 *Disyuntores*

Son interruptores automáticos, capaces de producir la apertura de un cortocircuito en carga, por causa de una sobrecarga o de un cortocircuito.

17.1.3.1 *Clasificación*

Los disyuntores se pueden clasificar ya sea atendiendo al principio de corte, ya a los medios de interrupción del arco, ya al tipo de mando, a la forma del soporte, al lugar de utilización, etc.

Atendiendo al tipo de mando pueden ser: eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Desde el punto de vista de rapidez de maniobra: lentos y rápidos. Los lentos tienen un tiempo de respuesta de 60 a 100 m, y los rápidos del orden de 10 m.

17.1.3.2 *Principales tipos de disyuntores*

Son dos:

— *neumático;*
— *de baño de aceite.*

1. *Disyuntor neumático* (fig. 17.11)

Utiliza el aire comprimido para extinguir el arco o como órgano de mando. En la figura 17.12, puede apreciarse el proceso de extinción del arco.

2. *Disyuntor en baño de aceite* (fig. 17.13)

Se utiliza principalmente en corriente alterna. Sus contactos se encuentran sumergidos en un recipiente hermético de aceite. Al ser accionado, el disyuntor produce un desplazamiento de los contactos móviles, dando lugar a la formación de un arco que se extingue en el aceite.

Está sujeto a varios inconvenientes. Un cortocircuito puede dar lugar a un desprendimiento de gases con la consiguiente explosión. Su peso elevado dificulta la instalación.

Actualmente, se tiende a emplear un solo aparato que agrupa disyuntor y fusibles.

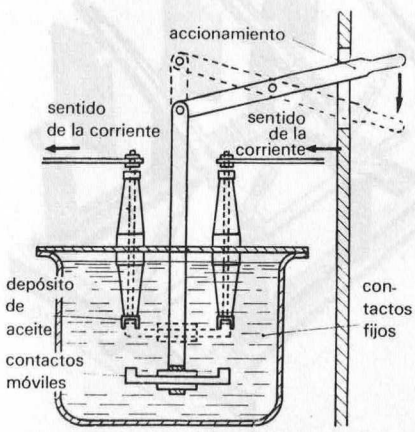


Fig. 17.13 Disyuntor en baño de aceite.

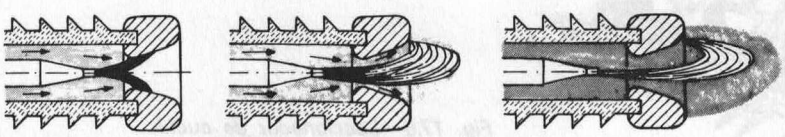


Fig. 17.12 Proceso de extinción del arco.

17.2 Cortacircuitos de alta tensión

Son elementos de protección contra las fuertes sobrecargas. Constan de un elemento conductor, que, en ciertas condiciones, se calienta y funde bajo el efecto de la corriente.

17.2.1 *Constitución*

La figura 17.14, presenta un fusible montado sobre dos aisladores, que disponen de contactos fijos y de un zócalo metálico. El elemento conductor está alojado en un cartucho hueco de baquelita.

17.2.2 *Clasificación*

Entre los diferentes tipos están:

— el cortacircuito al *ácido bórico*, que puede cortar unos 1000 A, bajo tensión de 15000 V. Se emplea para tensiones de 7 a 36 kV.

— el cortacircuito de *gran poder de corte*, previsto para trabajar a tensiones hasta 36 kV, tanto en interior como en exterior. La figura 17.15, presenta las partes más importantes de este tipo de cortacircuito.

— los modelos *especiales*, como el cortacircuito a repetición, formado por una batería de fusibles, montados de tal forma que la fusión de un elemento pone inmediatamente en servicio un segundo elemento, que evita la interrupción del circuito.

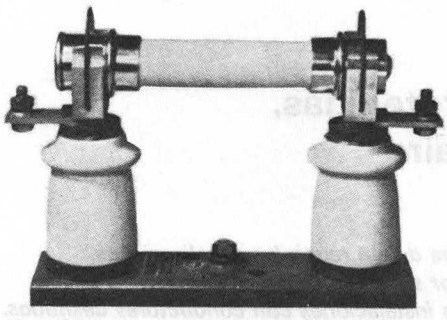


Fig. 17.14 Cortacircuito de alta tensión.

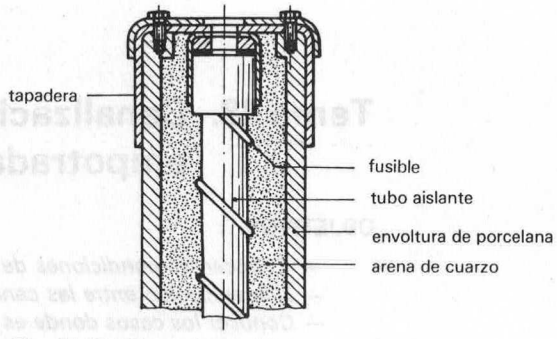


Fig. 17.15 Cortacircuito de gran poder de corte.

17.3 Origen de las sobretensiones

Una sobretensión puede darse por tres causas principales, a saber:

— Por apertura de un circuito en carga, cuando éste es predominantemente inductivo.

— Por descargas atmosféricas directas (rayos).

— Por contacto accidental entre conductores de líneas de alta tensión con otras de baja tensión.

17.3.1 *Tipos de protección contra las sobretensiones*

Los principales son:

17.3.1.1 *Puesta a tierra*

Consistente en poner el neutro a tierra, con conductores de acero galvanizado o de otro metal.

También se ponen a tierra los apoyos metálicos y las armaduras metálicas de la fijación de aisladores.

17.3.1.2 *Pararrayos*

Elemento que une los conductores eléctricos con tierra, para protegerlos de las sobretensiones de origen atmosférico.

De las varias clases de pararrayos existentes, se pueden citar:

1. *Pararrayos de tipo antena* (fig. 17.16)

Que consta de dos conductores doblados en ángulo, entre los cuales salta el arco, por causa de una sobretensión. El arco se extingue por la acción de la corriente de aire ascendente, ya que va aumentando la separación entre los dos conductores.

2. *Pararrayos de resistencia variable*

Que posee como elemento básico el carburo de silicio o carborundo, que tiene la propiedad de disminuir su resistencia al aumentar la tensión, facilitando así el paso a tierra de la descarga por sobretensión.

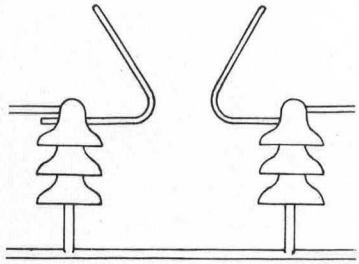


Fig. 17.16 Pararrayos del tipo antena.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Dibujar el esquema de una línea de A.T. con los dispositivos de protección, explicando el cometido de cada uno.

— Recopilar información sobre diferentes tipos de pararrayos, que tengan aplicación en líneas de alta tensión.

CUESTIONARIO

— ¿En qué orden van situados los diferentes aparatos de maniobra?

— ¿Qué aparato de maniobra se elegirá para abrir un circuito en vacío? ¿Y en carga?

— ¿Qué sucede, si se abre un seccionador cuando la línea trabaja a plena carga?

— ¿Qué ventajas presenta el disyuntor sobre el fusible?

— Caso de producirse una sobrecarga importante en una línea, ¿qué aparato de protección actuaría en primer lugar?

— Desde el punto de vista de rapidez de disparo, ¿a qué tipo pertenecería un disyuntor que actuara en 8 milisegundos? ¿Y si actúa en una décima de segundo?

— Explicar el peligro de explosión que se puede presentar en un disyuntor de baño de aceite.

— ¿Qué ventajas presenta el cortacircuito de repetición sobre el normal?

— ¿Dónde suelen emplazarse los pararrayos?

BIBLIOGRAFIA

Catálogos técnicos de casas comerciales (ISODEL).

Tema 18. Canalizaciones protegidas, empotradas y al aire

OBJETIVOS

— *Conocer las condiciones de seguridad que deben reunir las canalizaciones.*

— *Diferenciación entre las canalizaciones por su grado de protección.*

— *Conocer los casos donde es permisible las instalaciones con conductores desnudos.*

— *Indicar las normas sobre instalaciones con conductores aislados sobre aisladores.*

— *Indicar las principales características de los tubos plásticos.*

— *Conocer las normas a seguir en las instalaciones con tubos plásticos.*

— *Conocer las principales características de los tubos de acero* P_g.

— *Idea de las canalizaciones prefabricadas.*

GUION

— Generalidades sobre canalizaciones.

— Condiciones que deben reunir las canalizaciones.

— Clasificación de los sistemas de instalación.

— Canalizaciones con conductores desnudos sobre aisladores.
Canalizaciones con conductores aislados sobre aisladores.

— Canalizaciones con conductores aislados bajo tubos protectores.

— Canalizaciones prefabricadas.

PUNTOS CLAVE

— Diferenciación entre los diversos tipos de canalizaciones.

— Conocer las normas sobre montaje de canalizaciones.

— Conocer las propiedades de los tubos empleados como medio de protección en las instalaciones.

EXPOSICION DEL TEMA

18.1 Generalidades sobre canalizaciones

Se llama *canalización*, al conjunto de uno o varios conductores eléctricos, de los elementos que los fijan y de su protección mecánica, si la hubiere.

Antes de realizar una canalización hay que hacer los cálculos de sección de pérdidas de los conductores, del tipo de los mismos (desnudos o aislados), de la seguridad, y del aislamiento en función de la tensión nominal.

A continuación se describen los diferentes sistemas de realización de instalaciones, atendiendo a las normas dictadas por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

18.2 Condiciones que deben reunir las canalizaciones

Las más generales son:

— Protección *eléctrica* de los conductores entre sí y con respeto al exterior.
— Protección *mecánica*, contra los agentes exteriores.
— Protección *química*, contra la corrosión, humedad, etc.

18.3 Clasificación de los sistemas de instalación

— *Sin protección mecánica*. Agrupa conductores desnudos puestos sobre aisladores y conductores aislados puestos sobre aislador.

— *Con protección mecánica*. Comprende la protección mecánica separada del conductor (tubos) y los conductores aislados con protección mecánica incorporada (armadura metálica) (fig. 18.1).



Fig. 18.1 Conductores con protección mecánica incorporada (Inasa).

18.3.1 *Canalizaciones con conductores desnudos sobre aisladores*

Este tipo de instalaciones (fig. 18.2), es de empleo muy restringido en la actualidad; su instalación se limita a los siguientes casos:

— Cuando van colocados en el interior de canaladuras, envolventes o cajas, totalmente cerradas y reservadas exclusivamente para la instalación de estos conductores.
— En fábricas, talleres u otros locales industriales construidos con materiales incombustibles que no contengan polvo, gases y materias inflamables o explosivos.
— En locales en los que, por sus características no sea posible la conservación del aislamiento de los conductores. Tal ocurre, por ejemplo, en los locales o emplazamientos sometidos a elevadas temperaturas.
— Cuando la tensión no pasa de 24 voltios.

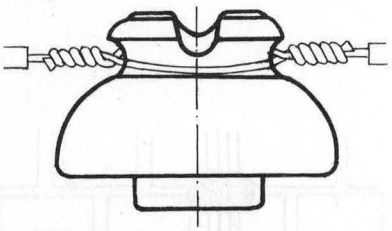


Fig. 18.2 Fijación del conductor desnudo sobre aislador de porcelana.

18.3.2 *Canalizaciones con conductores aislados sobre aisladores*

Este tipo de canalizaciones se utiliza únicamente cuando los conductores no están expuestos a deterioros por riesgo mecánico; se deben situar, como mínimo, a 2,5 m sobre el suelo.

La instalación se hace de forma que los conductores no puedan ponerse en contacto entre sí, o con paredes próximas.

Las derivaciones se deben realizar con proximidad a los soportes de canalización, aislando los empalmes a base de varias capas de cinta aislante.

La figura 18.3 presenta un soporte con aisladores, correspondiente a una línea de distribución aérea.

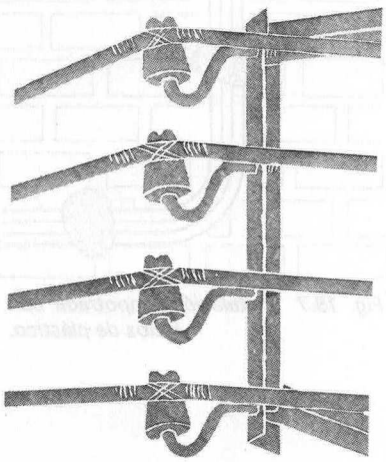


Fig. 18.3 Canalización de conductores aislados apoyados sobre aisladores.

18.3.3 *Canalizaciones con conductores aislados bajo tubos protectores*

Este tipo de canalización puede colocarse directamente sobre paredes o techos, en montaje superficial o empotrada en los mismos.

Se eligen los tubos, en cada caso, teniendo en cuenta las acciones a que han de estar sometidos, las condiciones de su puesta en obra y las características del local donde se realice la instalación.

Los tipos de tubos más utilizados son:

— *tubo Bergmann;*
— *tubo de plástico;*
— *tubo de acero.*

18.3.3.1 *Instalaciones con tubo Bergmann*

Están constituidas por un tubo exterior de chapa y un tubo interior de papel, impregnado de alquitrán (fig. 18.4).

Se colocan en el exterior de las paredes con bridas de sujeción.

Normalmente, se suministran tubos de unos 3 m de longitud, con los accesorios correspondientes para curvas, derivaciones, etc.

Actualmente, el tubo Bergmann es poco utilizado; se sustituye por tubos de plástico.

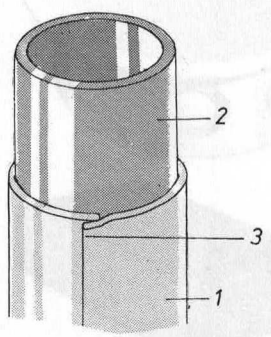


Fig. 18.4 Tubo bergmann: 1, chapa de hierro; 2, tubo de papel impregnado; 3, costura.

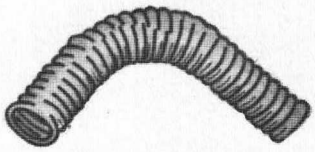


Fig. 18.5 Tubo de plástico flexible.



Fig. 18.6 Tubo de plástico rígido.

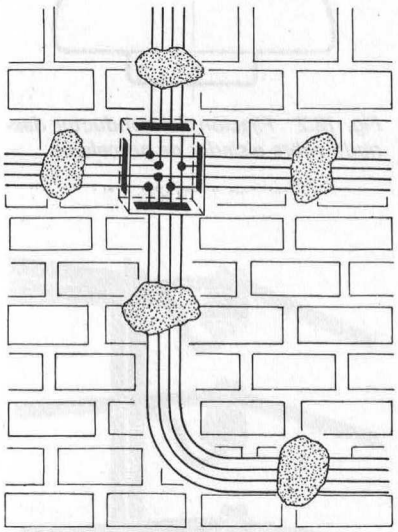
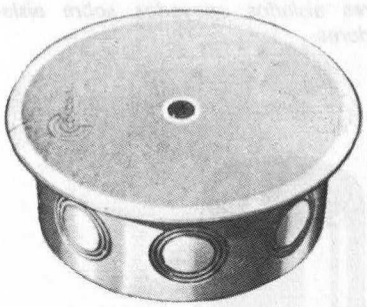


Fig. 18.7 Instalación empotrada con tubos de plástico.



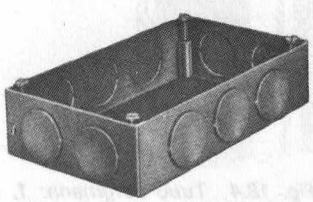


Fig. 18.8 Cajas para instalaciones empotradas.

18.3.3.2 *Instalaciones con tubo de plástico*

Es característico de los tubos de plástico:

— *ser buenos aislantes;*
— *facilitar el montaje;*
— *ser económicos.*

Se construyen en dos tipos:

1. *Tubos flexibles*

Para las instalaciones empotradas (fig. 18.5).

2. *Tubos rígidos, compuestos*

De polietileno o cloruro de polivinilo (fig. 18.6); son estancos, no propagan la llama y se utilizan en montajes superficiales.

Este tipo de tubo de plástico debe soportar, como mínimo, temperaturas de 60 °C.

El diámettro interior de los tubos de plástico, según el Reglamento es: 9, 11, 13, 16, 21, 23, 29, 36 y 48 mm.

18.3.3.2.1 *Normas generales*

Las normas de ejecución de canalizaciones, bajo tubos de plástico son:

— Buscar un trazado de direcciones horizontales o verticales.
— Procurar curvas suficientemente amplias para no dificultar el paso de los conductores.
— Colocar los registros en sitios accesibles.
— Realizar las conexiones de los conductores en cajas apropiadas aislantes.

18.3.3.2.2 *Normas particulares para instalaciones empotradas*

— Efectuar el montaje de los tubos, sujetándolos con yeso, antes de realizar el enlucido de las paredes (fig. 18.7).

— Alojar las cajas de conexión y registros, enrasados con la superficie exterior de la pared (fig. 18.8).

18.3.3.2.3 *Normas particulares para montajes superficiales*

— Fijación de los tubos a las paredes o techos, por medio de bridas o abrazaderas, protegidas contra la corrosión y separadas, como mínimo, 0,80 m en los tubos rígidos. Según el tipo de pared (madera, ladrillo, hormigón o estructuras metálicas) se utilizarán diferentes tipos de apoyo (fig. 18.9).

Normalmente, las abrazaderas se fijan sobre clavos de cabeza roscada (fig. 18.10). La fijación de los clavos sobre materiales muy duros (hormigón duro o hierro), necesita del martillo clavador (fig. 18.11).

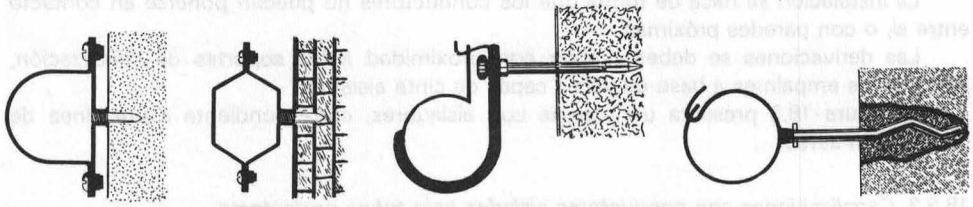


Fig. 18.9 Ejemplos de aplicación con diferentes tipos de abrazaderas.

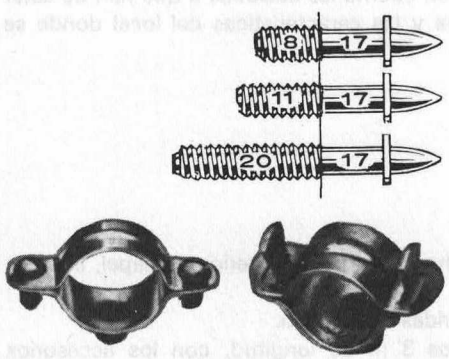


Fig. 18.10 Clavos de cabeza roscada y abrazaderas.

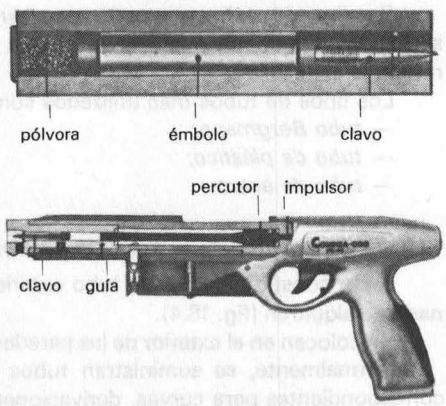


Fig. 18.11 Martillo clavador (Condisa).

— Colocación de los tubos, adaptándolos a la superficie sobre la que se instalan, curvándolos o empleando los accesorios necesarios (curvas, tes, codos, manguitos, etc.).

El curvado de los tubos de plástico rígidos se suele realizar en caliente, aunque también puede hacerse en frío. Para el curvado en caliente se emplea la lámpara de gas (fig. 18.12), que proporciona el calor necesario para poder deformar el tubo. Se facilita el curvado colocando en el interior del tubo un muelle de acero, provisto de un tirante, para facilitar su extracción, una vez realizado el trabajo (fig. 18.13).

— La instalación de los tubos debe hacerse a una altura mínima de 2,5 m sobre el suelo, para evitar daños mecánicos.

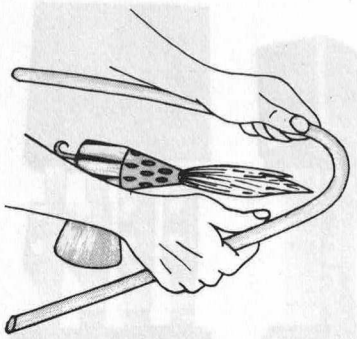


Fig. 18.12 Calentamiento del tubo.

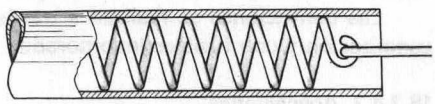


Fig. 18.13 Muelle de acero para el doblado de tubos.

18.3.3.3 *Instalaciones con tubos de acero*

Este tipo de instalaciones se emplea tanto en montajes salientes como empotrados. Los tubos son estancos, no propagan el fuego, y tienen gran resistencia mecánica y a la intemperie.

Por sus características, se suelen emplear en lugares húmedos, en ambientes sometidos a temperatura elevada y de atmósfera corrosiva.

Por su elevado precio y la dificultad de montaje, que exige personal especializado, se utilizan solamente en casos especiales.

Normalmente, los tubos de acero tienen una longitud de 3 m, y están roscados por los extremos, para poder hacer las prolongaciones o empalmes necesarios.

La fijación de los tubos de acero es similar a la de los tubos de plástico rígidos. Para realizar el montaje de estas instalaciones es necesario emplear mordazas, limas, sierras, terrajas, curvadores, etc.

Los accesorios más utilizados son: codos, tes, manguitos de unión, casquillos roscados, prensaestopas, botellas, bridas, etc. (fig. 18.14).

La figura 18.15, presenta una instalación en tubo de acero, con diferentes derivaciones.



Fig. 18.14 Accesorios para tubos de acero p_g (BJC).

18.3.4 *Canalizaciones prefabricadas*

Este tipo de canalización tiende a imponerse cada día más en usos industriales (fábricas, talleres, etc.).

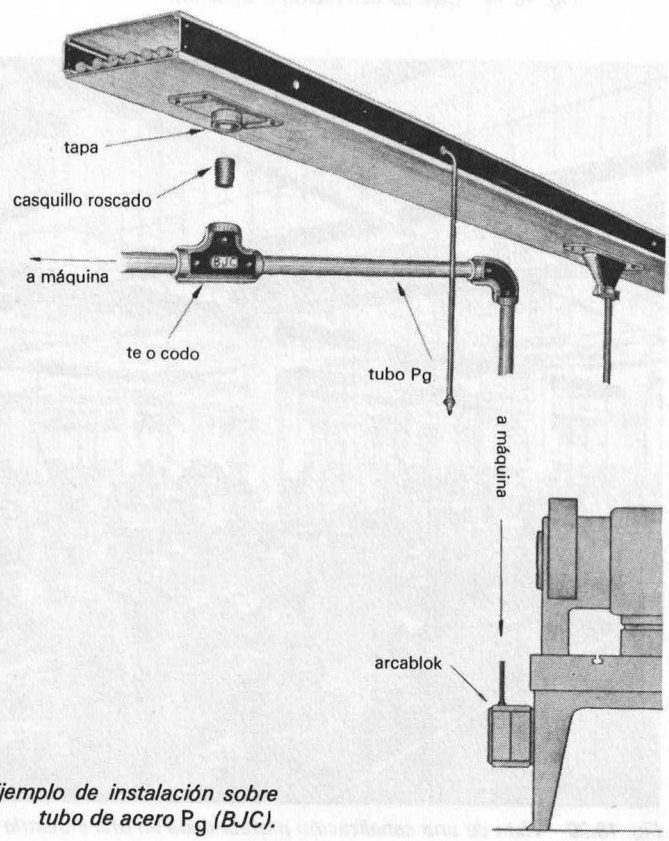


Fig. 18.15 Ejemplo de instalación sobre tubo de acero P_g (BJC).

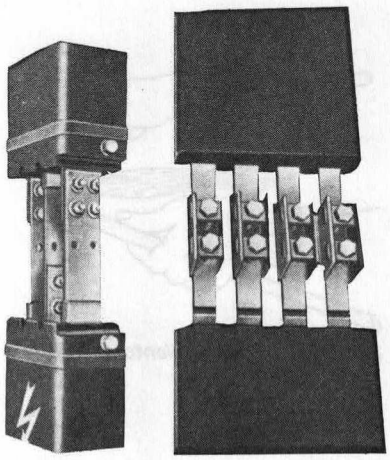


Fig. 18.17 Unión de pletinas (Retorar).

18.3.4.1 *Constitución*

El elemento conductor está constituido por pletinas de cobre, contenidas en una envoltura metálica y sostenidas, a distancia conveniente, por aisladores fijados sobre perfiles (fig. 18.16).

La longitud normal de cada tramo es de 3 m, y la unión de cada uno de ellos se hace por superposición, uniendo las pletinas de la misma fase con tornillos (fig. 18.17).

18.3.4.2 *Instalación*

La conexión de la línea de alimentación con la canalización prefabricada se realiza por medio de una caja, como indica la figura 18.18.

Las derivaciones se realizan a través de cajas de derivación, sujetas por tornillos a la canalización y con fusibles incorporados (fig. 18.19).

18.3.4.3 *Aplicaciones*

Un ejemplo de este tipo de canalizaciones, correspondiente a una industria mecánica, puede verse en la figura 18.20.

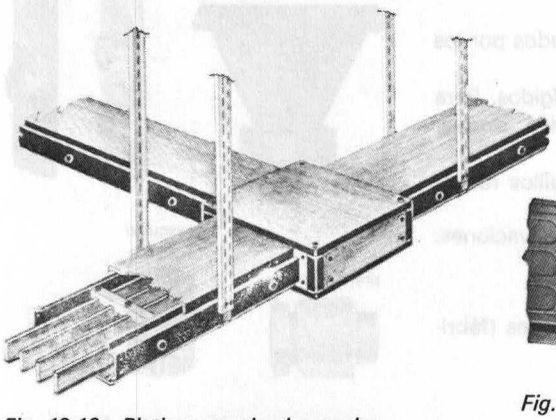


Fig. 18.16 Pletinas empleadas en las canalizaciones (BJC).

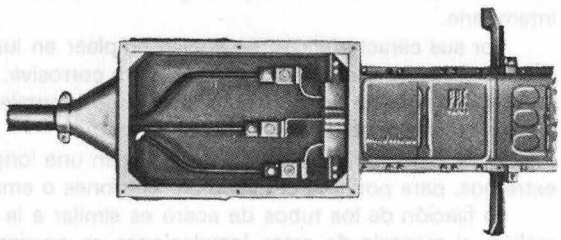


Fig. 18.18 Caja de alimentación (Pogliano).



Fig. 18.19 Caja de derivación (Pogliano).



Fig. 18.20 Vista de una canalización prefabricada en una industria (Pogliano).

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Explicar cómo se realizaría una canalización empotrada con tubo de plástico flexible en una vivienda con electrificación media (5000 W), dibujando el esquema de la instalación y material necesario.

— Comprobar los diversos tipos de canalizaciones, explicando las ventajas e inconvenientes resultantes.

CUESTIONARIO

— ¿Cuáles son las mínimas condiciones de seguridad que debe reunir cualquier tipo de canalizaciones?

— ¿En qué tipo de instalaciones se utilizan preferentemente los conductores con protección mecánica incorporada? ¿por qué?

— Ventajas e inconvenientes de las canalizaciones con conductores desnudos.

— ¿Cómo se eligen los diversos tipos de tubo protector?

— ¿Cuáles son las causas que han hecho abandonar las canalizaciones con tubo Bergmann?

— ¿Cuál es el tipo de canalización utilizado preferentemente para viviendas? ¿por qué?

— ¿Cómo se realiza el montaje de una canalización con tubo de plástico sobre paredes de ladrillo? ¿ y en muros de hormigón? ¿y sobre vigas de hierro?

— Cuáles son las ventajas e inconvenientes de las canalizaciones con tubos de acero P_g. Ejemplos de aplicación.

— Comparar la canalización prefabricada frente a la canalización bajo tubo protector, enumerando las ventajas de la primera sobre la segunda.

BIBLIOGRAFIA

Instalaciones de Baja Tensión, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1974.
Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, Madrid 1973.
Catálogos técnicos de casas comerciales.

4. Montaje de instalación de motores

Tema 19. Aparatos de maniobra y dispositivos automáticos. Aparatos de protección

OBJETIVOS

- *Conocimiento de los aparatos de mando manuales.*
- *Estudio del contactor.*
- *Saber elegir un contactor.*
- *Conocimiento sobre los dispositivos automáticos.*
- *Estudio de los diferentes aparatos auxiliares del contactor.*
- *Conocimiento de las causas de averías por sobrecargas.*
- *Estudio de los diferentes sistemas de protección.*

GUION

- Introducción.
- Aparatos de mando y señalización de accionamiento manual.
- Dispositivos automáticos.
- Estudio del contactor.
- Aparatos auxiliares de mando por accionamiento automático:
  Relés de tiempo.
  Termostatos.
  Presostatos.
  Finales de carrera.
  Programadores.
- Aparatos de protección del motor eléctrico:
  Relés térmicos.
  Relés electromagnéticos.
  Relés diferenciales.
  Fusibles.

PUNTOS CLAVE

- Funcionamiento del contactor.
- Aparatos o dispositivos auxiliares del contactor.
- Protección magneto-térmica-diferencial.

EXPOSICION DEL TEMA

19.1 Introducción

El consumo siempre creciente de la energía eléctrica, lleva aparejado el desarrollo de los aparatos y dispositivos necesarios para su maniobra y control.

Por otra parte, el avance industrial de los últimos años ha implantado la *automatización* en las fases del trabajo, para lo cual se necesitan aparatos de mando de alta precisión.

En el presente tema, se estudian los aparatos y dispositivos necesarios para el mando y control de los motores eléctricos, así como los aparatos de protección necesarios. Es necesario agrupar los aparatos citados en dos categorías: aparatos manuales y dispositivos automáticos.

19.2 Aparatos de mando y señalización de accionamiento manual

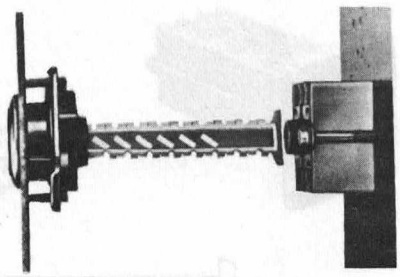
Son todos aquellos dispositivos que actúan a voluntad del operario. Entre los más importantes figuran pulsadores, conmutadores, combinadores y seccionadores.

Estos pequeños aparatos son los principales elementos de construcción de cualquier instalación eléctrica que funcione con seguridad. Suelen estar centralizados y situados en la parte más visible de la máquina, por lo que resulta interesante su tamaño y su aspecto exterior.

19.2.1 *Pulsadores*

Hay muy variados tipos de pulsadores:

- Pulsador rasante, que impide maniobras involuntarias (fig. 19.1).
- Pulsador saliente, de accionamiento más cómodo (fig. 19.2).
- Pulsador de seta, muy accesible para situaciones de emergencia (fig. 19.3).
- Pulsador de llave, para aplicaciones de gran responsabilidad (fig. 19.4).
- Pulsador doble, parada-marcha, idóneo para motores (fig. 19.5).
- Pulsador múltiple, para centralización de pulsadores (fig. 19.6).
- Pulsadores luminosos, para observación de maniobras a distancia (fig. 19.7).



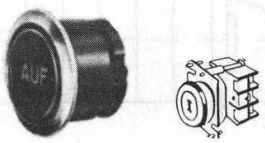


Fig. 19.1 Pulsador rasante.

19.2.2 *Conmutador*

Está compuesto de distintos elementos de conexión, de un órgano de accionamiento y del mecanismo de enclavamiento que asegure las diferentes posiciones de mando.

Los selectores (rotativos) actúan por un movimiento giratorio; su construcción es la de un conmutador de levas, que puede disponer de múltiples contactos. El selector es muy adecuado para el arranque manual estrella-triángulo de los motores trifásicos, con posibilidad de inversión de giro.

En la figura 19.8, pueden observarse varios tipos de conmutadores giratorios.

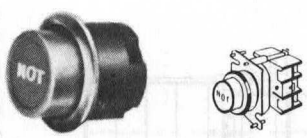


Fig. 19.2 Pulsador saliente.

19.2.3 *Combinadores*

Son aparatos de contactos múltiples, accionados por una palanca, que hace girar un árbol de contactos. La posición del eje hará que el árbol actúe sobre unos u otros circuitos, permitiendo combinaciones múltiples.

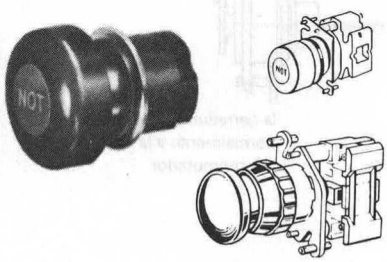
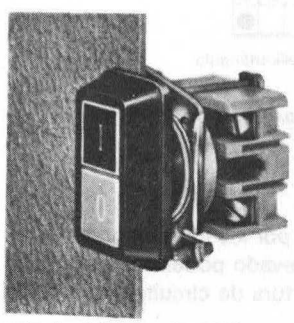
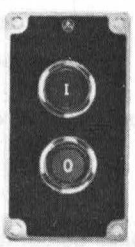


Fig. 19.3 Pulsadores de seta.



pulsador doble, parada-marcha



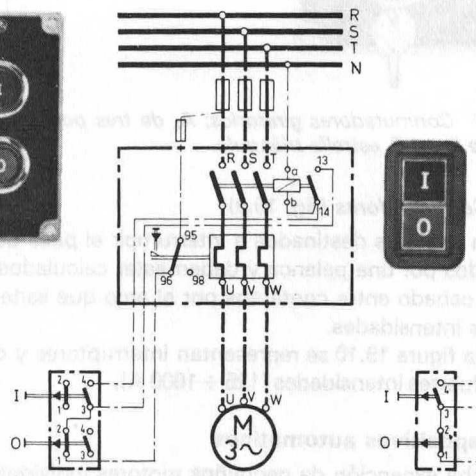
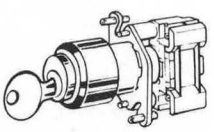


Fig. 19.5 Pulsador doble. Aplicación al arranque y parada de un motor.



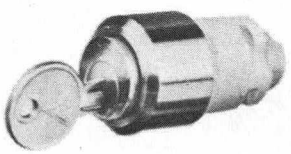
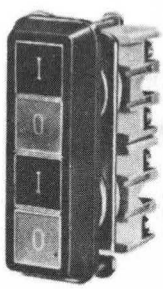
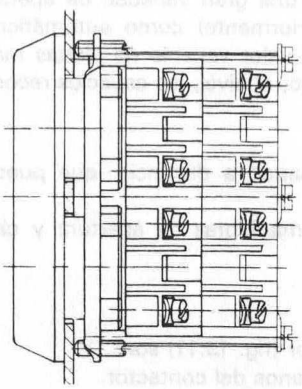


Fig. 19.4 Pulsador de llave.





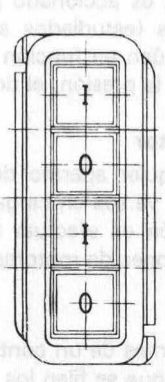
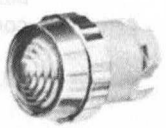


Fig. 19.6 Pulsador múltiple.



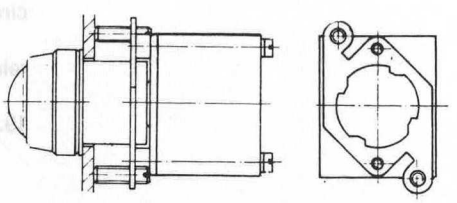


Fig. 19.7 Pulsador luminoso.

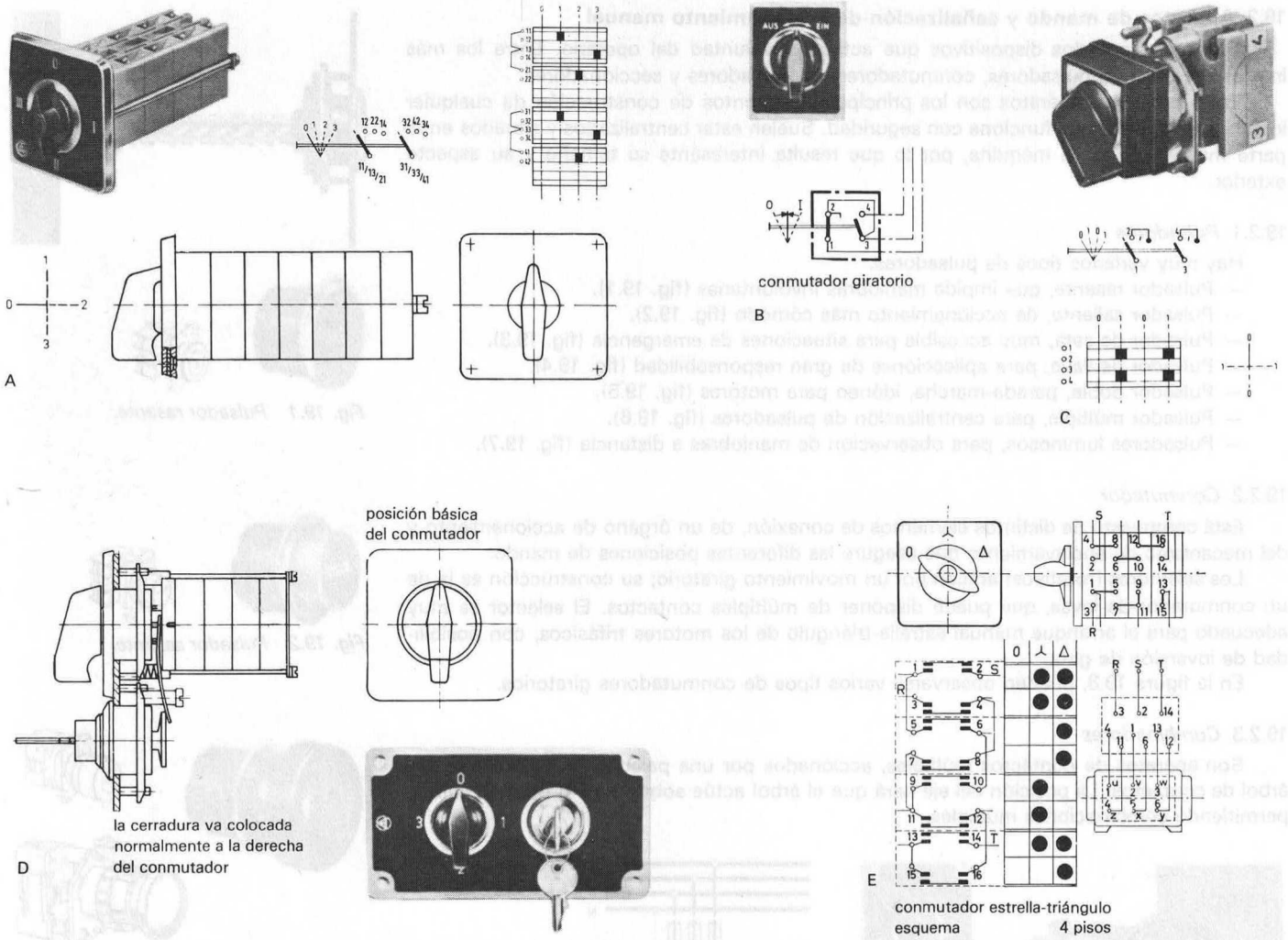


Fig. 19.8 Conmutadores giratorios: A, de tres posiciones; B, de dos posiciones; C, de dos polos; D, de llave; E, estrella-triángulo.

19.2.4 *Seccionadores* (fig. 19.9)

Son aparatos destinados a interrumpir el paso de corriente por los conductores. Están accionados por una palanca y deben estar calculados con un elevado poder de corte, para evitar el cebado entre contactos por el arco que salta en la apertura de circuitos sometidos a fuertes intensidades.

En la figura 19.10 se representan interruptores y conmutadores para apertura de circuitos con fuertes intensidades (125 ÷ 1600 A).

19.3 Dispositivos automáticos

Hecha excepción de pequeños motores individuales, que son accionados manualmente, el resto de motores se manda por *contactores.*

El contactor a su vez es accionado por una gran variedad de aparatos de maniobra *auxiliares*, tanto manuales (estudiados anteriormente) como automáticos. Los aparatos auxiliares automáticos actúan en función del valor variable de ciertas magnitudes físicas, como son la temperatura, la presión, el tiempo, el nivel, los espacios recorridos, etc.

19.4 Estudio del contactor

El contactor es cualquier aparato de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío, ya sea en carga.

Su principal aplicación es efectuar las maniobras de apertura y cierre de circuitos relacionados con instalaciones de motores.

19.4.1 *Constitución*

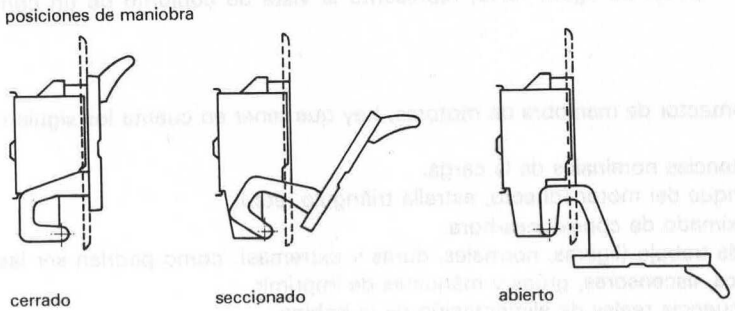
Las partes constituyentes de un contactor (fig. 19.11) son:

— *Soporte*. Sobre el que se fijan los órganos del contactor.

— *Electroimán*. Formado por un circuito magnético y una bobina.

— *Contactos principales*. Elementos que aseguran el establecimiento y corte de las corrientes principales. Según el número de vías de paso de corriente, el contactor será bipolar, tripolar, tetrapolar, etc., realizándose la maniobra simultánea en todas las vías.

— *Contactos auxiliares*. Son los elementos que forman parte del circuito auxiliar del contactor y realizan las funciones de señalización, enclavamiento, autoalimentación, etc.



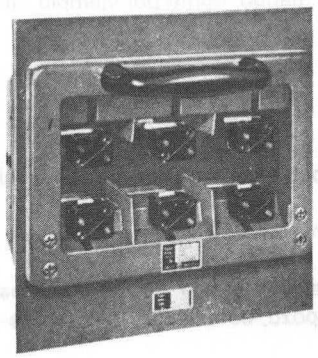
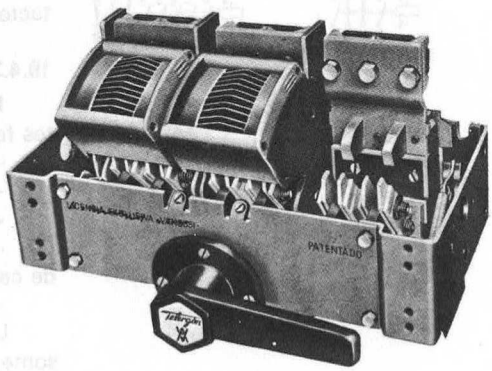


Fig. 19.9 Seccionadores.



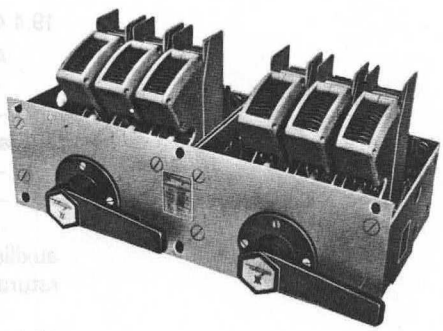


Fig. 19.10 Interruptores y conmutadores para intensidades elevadas.

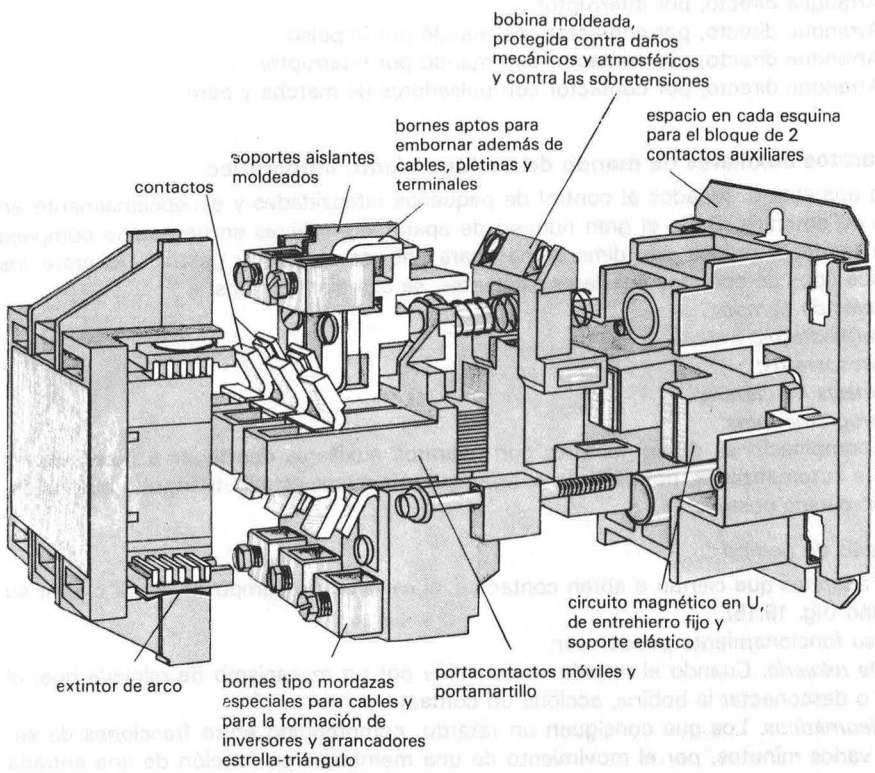


Fig. 19.11 Partes constituyentes de un contactor (Agut).

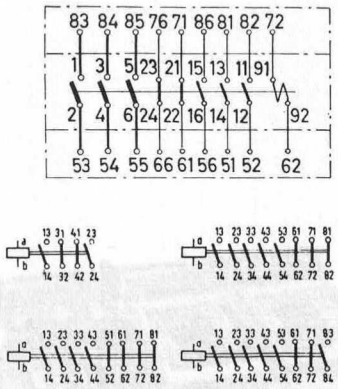


Fig. 19.12 Esquema de conexiones del contactor.

19.4.2 *Funcionamiento del contactor para corriente alterna*

Al aplicar tensión a la bobina crea un campo magnético que se cierra a través del núcleo de chapa magnética. El flujo da lugar a un par electromagnético, superior al par resistente, debido a los muelles. El par originado atrae la armadura móvil (martillo) con lo que cierra el circuito magnético, y, a la vez, acciona los contactos principales y auxiliares (fig. 19.12).

Al abrir el circuito de alimentación de la bobina, los muelles antagonistas dejan la parte móvil en posición de reposo. La figura 19.13, representa la vista de conjunto de un contactor.

19.4.3 *Elección*

Para elegir un contactor de maniobra de motores, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

— Tensión y potencias nominales de la carga.
— Clase de arranque del motor (directo, estrella-triángulo, etc.).
— Número aproximado de conexiones-hora.
— Condiciones de trabajo (ligeras, normales, duras y extremas); como podrían ser las de calefacción eléctrica, ascensores, grúas y máquinas de imprimir.
— Tensión y frecuencia reales de alimentación de la bobina.

Una característica básica del contactor es su posibilidad de maniobra en circuitos sometidos a corrientes muy fuertes, con débiles corrientes de mando, como por ejemplo, un contactor de calibre 200 A, que consume 0,35 A a 220 V.

19.4.4 *Características*

Algunas *ventajas* del contactor son:

— Ahorro de tiempo al realizar maniobras largas.
— Seguridad del personal, dado que realiza las maniobras en lugares alejados del operador.
— Posibilidad de controlar un motor, desde puntos diferentes.
— Automatización del arranque de un motor.
— Automatización y control de numerosas aplicaciones, con ayuda de los aparatos auxiliares del contactor. Ejemplos: llenado automático de un pozo, constancia de la temperatura en hornos, etc.

19.4.5 *Aplicaciones*

En la figura 19.14 se representan diferentes esquemas, aplicables al arranque directo en motores de pequeña potencia, como son:

— Arranque directo, por interruptor.
— Arranque directo, por contactor con mando por impulso.
— Arranque directo, por contactor con mando por interruptor.
— Arranque directo, por contactor con pulsadores de marcha y paro.

19.5 Aparatos auxiliares de mando de accionamiento automático

Son aparatos destinados al control de pequeñas intensidades y excepcionalmente en circuitos de potencia. Dado el gran número de aparatos auxiliares en un equipo complejo hay que tender a reducir sus dimensiones para ahorrar espacio y gastos. De entre los numerosos tipos de aparatos auxiliares existentes, se estudian algunos:

— *relés de tiempo;*
— *termostatos;*
— *presostatos;*
— *finales de carrera;*
— *programadores.*

Las combinaciones de contactores con aparatos auxiliares dan lugar a instalaciones totalmente automatizadas, por ejemplo el arrancador-inversor estrella-triángulo, que se estudiará en cursos posteriores.

19.5.1 *Relés de tiempo*

Son aparatos que cierran o abren contactos, al cabo de un tiempo de cerrar o abrir su electroimán (fig. 19.15).

Por su funcionamiento pueden ser:

— *De relojería.* Cuando el retardo se consigue por un mecanismo de relojería que, al conectar o desconectar la bobina, acciona un contacto.

— *Neumáticos.* Los que consiguen un retardo, comprendido entre fracciones de segundo y varios minutos, por el movimiento de una membrana en función de una entrada regulable de aire.

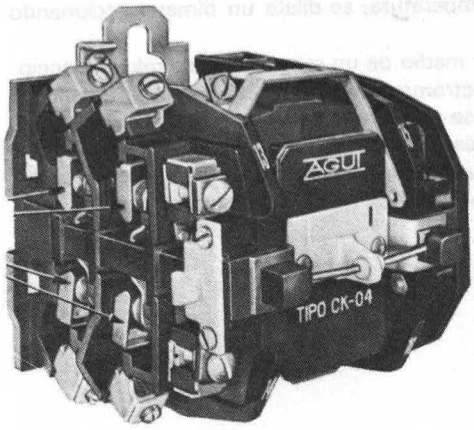
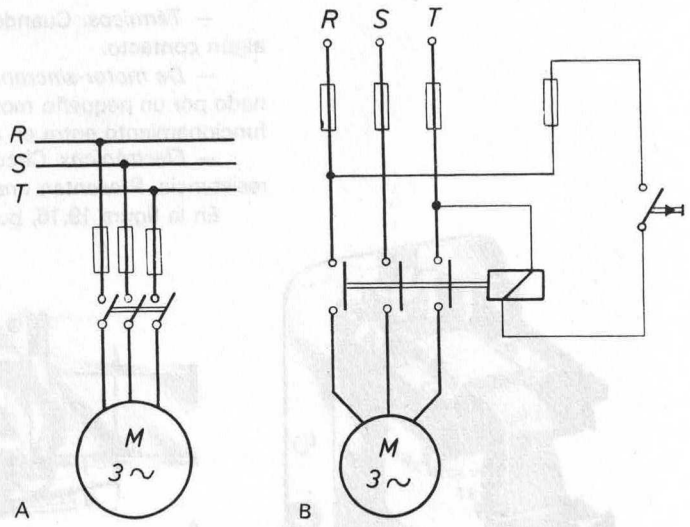


Fig. 19.13 Vista de conjunto de un contactor.



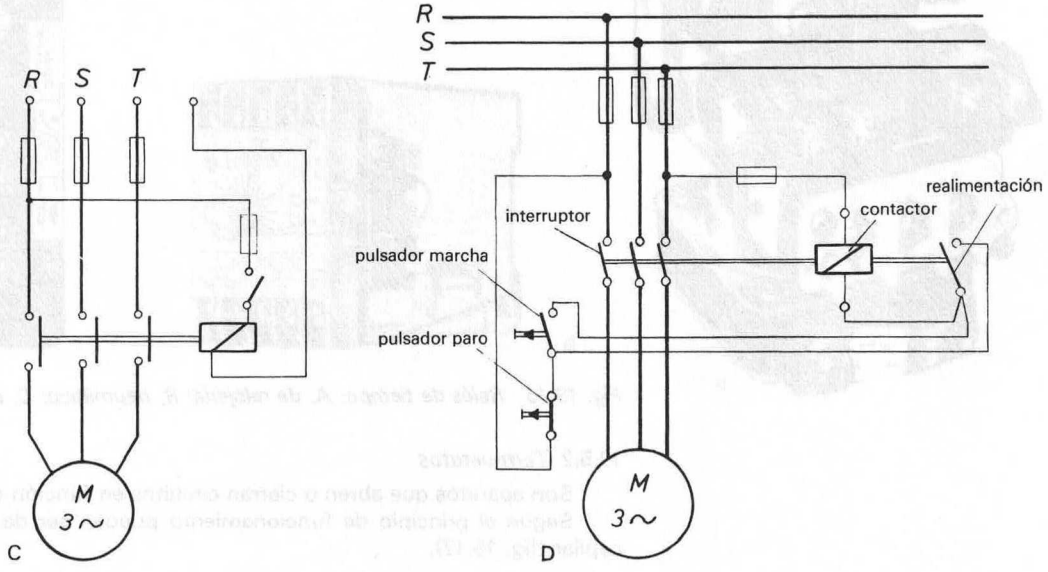


Fig. 19.14 Aplicación del contactor al arranque de motores de pequeña potencia: A, arranque por interruptor; B, mando por impulsos; C, mando por señal permanente; D, mando por pulsador de marcha - paro.

EL CONTACTO EXTERIOR AL APARATO ESTA ABIERTO

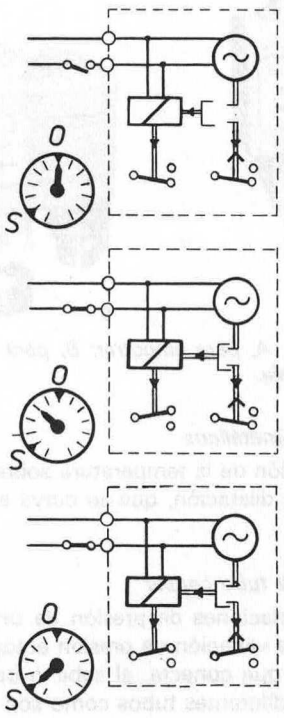
Entonces:
- El motor no funciona.
- El embrague está desacoplado.
- El contacto instantáneo está en reposo.
- La aguja está en el 0 de la escala.,
- El contacto temporizado está en reposo.

CERRAMOS EL CONTACTO EXTERIOR...

- El motor se pone en funcionamiento.
- El embrague se acopla.
- El contacto instantáneo cambia de posición.
- El contacto temporizado continúa en reposo.
- La aguja de la escala comienza a marchar hacia el tiempo prefijado S.

LA AGUJA LLEGA A S.

(Transcurre el tiempo prefijado...)
- El contacto temporizado cambia de posición.
- Si se desconecta el contacto exterior el aparato vuelve a la posición primera.



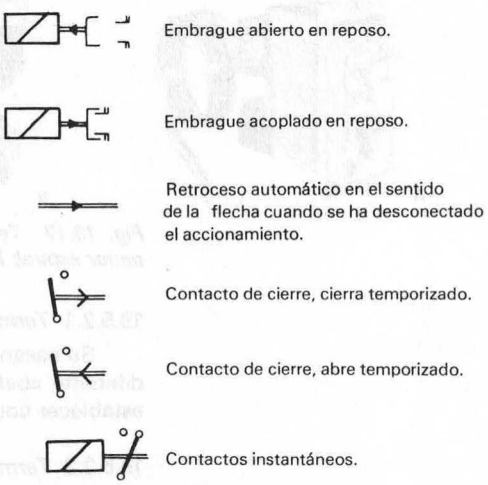


Fig. 19.15 Temporización a partir de la conexión de un relé de tiempo.

— *Térmicos*. Cuando, por acción de la temperatura, se dilata un bimetal accionando algún contacto.

— *De motor-síncrono*. Los que actúan por medio de un mecanismo de relojería accionado por un pequeño motor, con embrague electromagnético. Al cabo de cierto tiempo de funcionamiento entra en acción el embrague y se produce la apertura o cierre del circuito.

— *Electrónicos*. Circuitos fundados en la descarga de un condensador a través de una resistencia. Presentan una gama extensa y de valores muy precisos de tiempo de retardo.

En la figura 19.16, pueden apreciarse diferentes tipos de relés de tiempo.

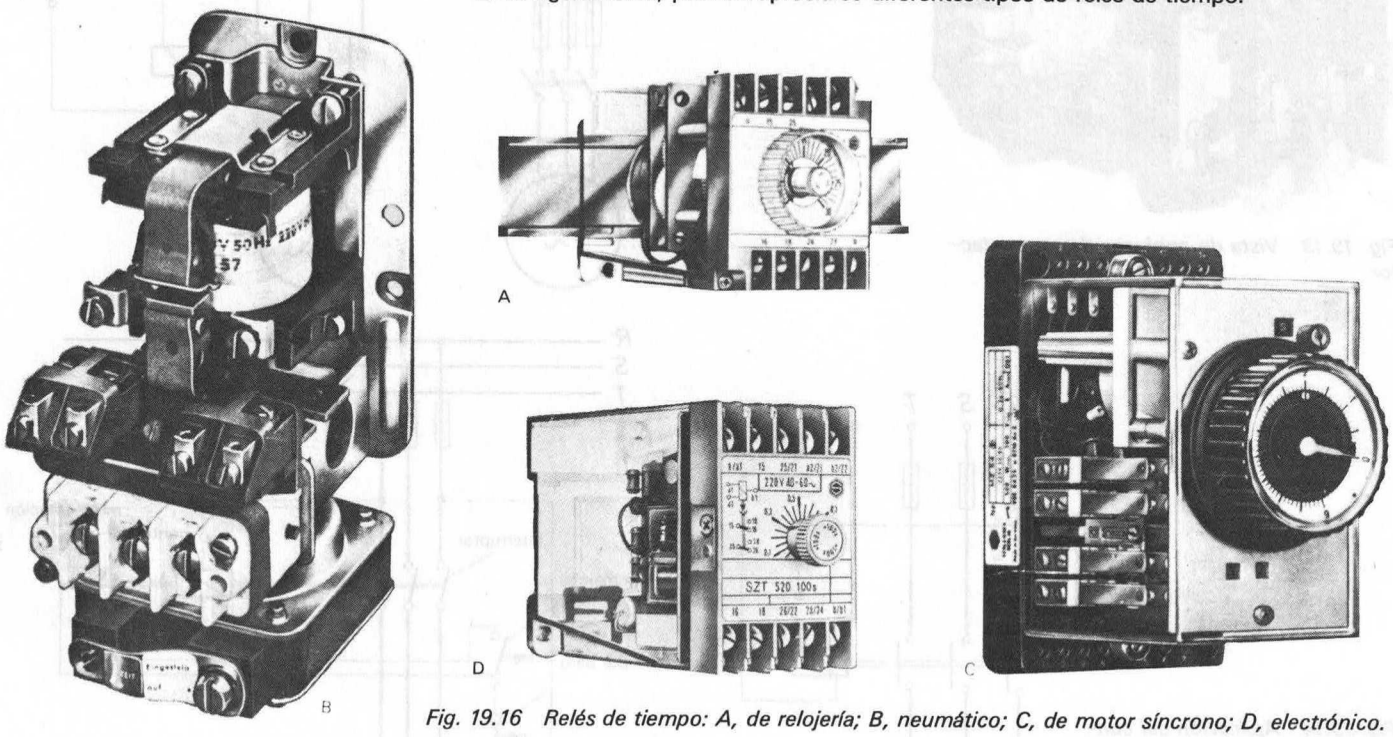


Fig. 19.16 Relés de tiempo: A, de relojería; B, neumático; C, de motor síncrono; D, electrónico.

19.5.2 *Termostatos*

Son aparatos que abren o cierran circuitos en función de la temperatura que les rodee.

Según el principio de funcionamiento pueden ser de láminas bimetálicas, y de tubo capilar (fig. 19.17).

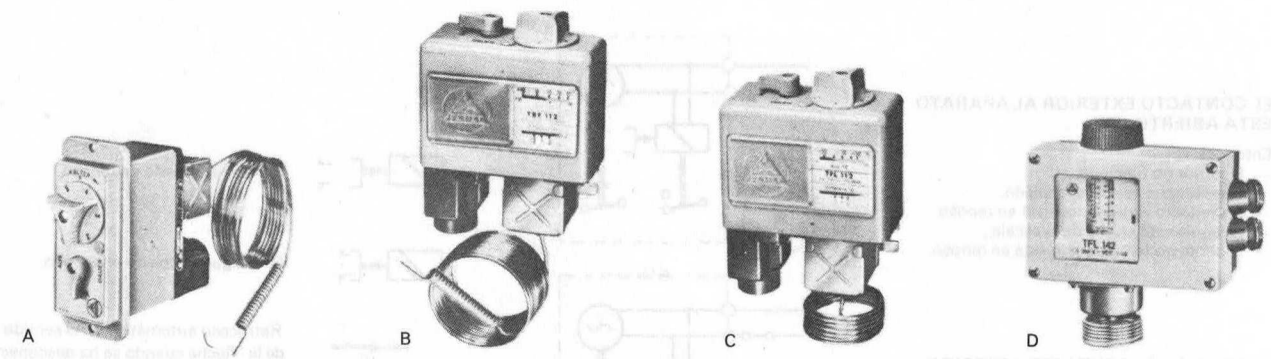


Fig. 19.17 Termostatos: A, para empotrar; B, para adosar, con escala; C, con escala, y palpador espiral; D, con escala.

19.5.2.1 *Termostatos bimetálicos*

Se basan en la acción de la temperatura sobre una placa, formada por dos metales de diferente coeficiente de dilatación, que se curva al elevarse la temperatura, hasta llegar a establecer contacto.

19.5.2.2 *Terrnostatos de tubo capilar*

Aprovechan las variaciones de presión de un fluido alojado en un tubo delgado, al variar la temperatura. La variación de presión actúa por medio de un tubo ondulado sobre un interruptor eléctrico que conecta, al subir o bajar la temperatura. Para cada gama de temperatura se utilizan diferentes tubos como son el tubo capilar y el bulbo especial.

19.5.3 *Presostatos*

Son aparatos que accionan circuitos en función de la presión que actúa sobre una instalación neumática o hidráulica (fig. 19.18).

Pueden ser: de membrana y de sistema tubular.

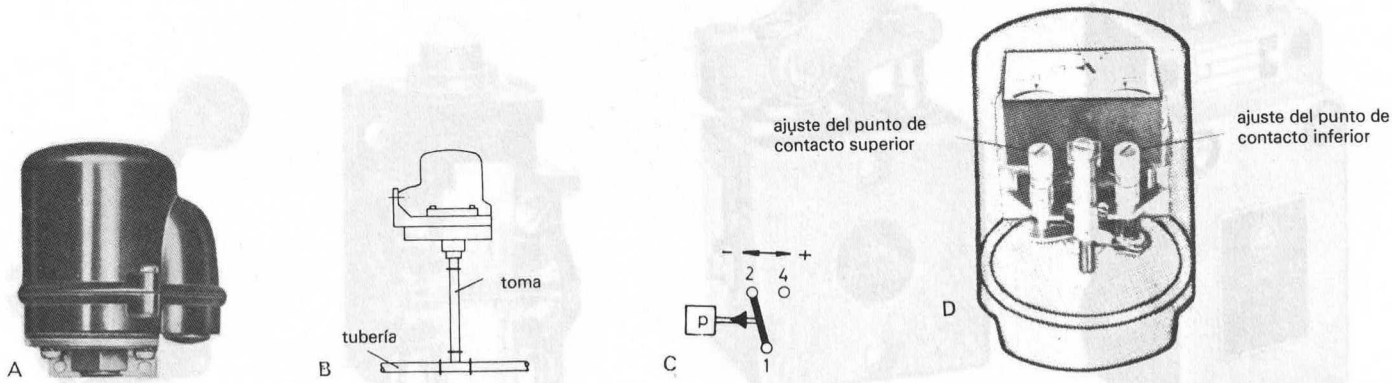


Fig. 19.18 Presostato: A, aspecto exterior; B, detalle interior; C, montaje, D, esquema eléctrico.

19.5.3.1 *Presostato de membrana*

Actúa por variaciones de presión en un circuito hidráulico o neumático, transmitiéndose la deformación de la membrana a un pistón que desplaza contactos.

19.5.3.2 *Presostato de sistema tubular*

Actúa mediante un tubo ondulado (fuelle metálico) sobre el contacto eléctrico del presostato, el cual cierra o abre circuitos según que suba o baje la presión.

19.5.3.3 *Aplicaciones*

Un ejemplo de aplicación, es el de la puesta en marcha y parada de un motor-bomba en un grupo de presión (fig. 19.19). El presostato se instala en la tubería de conducción de agua y actúa al abrirse algún grifo, por variación de la presión. Esta aplicación está muy extendida para las viviendas y locales que carecen de suministro directo de la red de conducción pública.

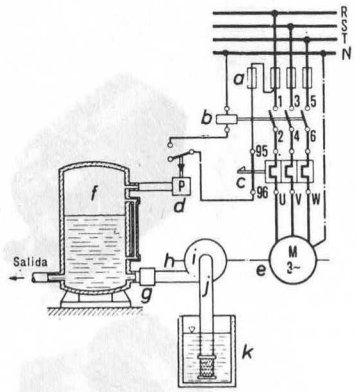


Fig. 19.19 Control automático de una bomba por presostato, en una instalación doméstica: a, *fusibles,* b, *contactor, o bien arrancador estrella-triángulo;* c, *relé térmico con botón de rearme;* d, *presostato unipolar;* e, *motor de la bomba;* f, *depósito;* g, *válvula de seguridad;* h, *tubería de presión;* i, *bomba rotativa (o de pistón);* j, *tubería aspiración con filtro;* k, *pozo.*

19.5.4 *Finales de carrera*

Son aparatos destinados a controlar la posición de un órgano en una máquina o la posición de la misma máquina.

Su aplicación va dirigida a la parada o inversión del sentido del desplazamiento por lo que se convierten en órganos de los que depende la seguridad del material y del personal.

Al actuar una fuerza mecánica sobre la parte saliente del interruptor, desplaza los contactos y abre o cierra circuitos (fig. 19.20).

De acuerdo con el tipo de trabajo a realizar, se eligen para los finales de carrera: los de pistón, los de bola, los de rodillo, los de leva con rodillo, etc... (fig. 19.21).

Los finales de carrera se deben caracterizar por una duración mecánica y eléctrica máximas, y por su fácil ajuste y conexión.

Los microrruptores son conmutadores de corriente de mando, de pequeñas dimensiones, para fuerzas de accionamiento mínimas y pequeños desplazamientos. La apertura y cierre de contactos debe ser muy rápida, aún para movimientos lentos.

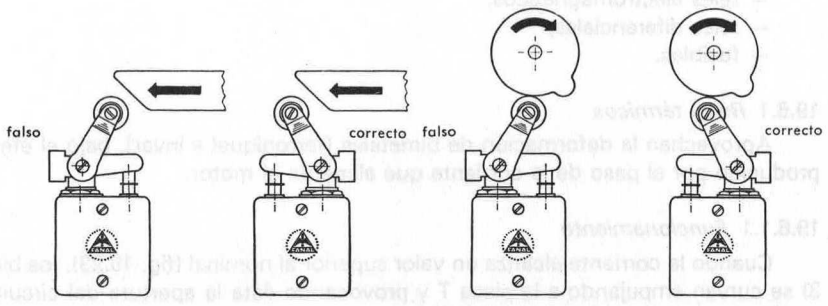


Fig. 19.20 Montaje del interruptor final de carrera.

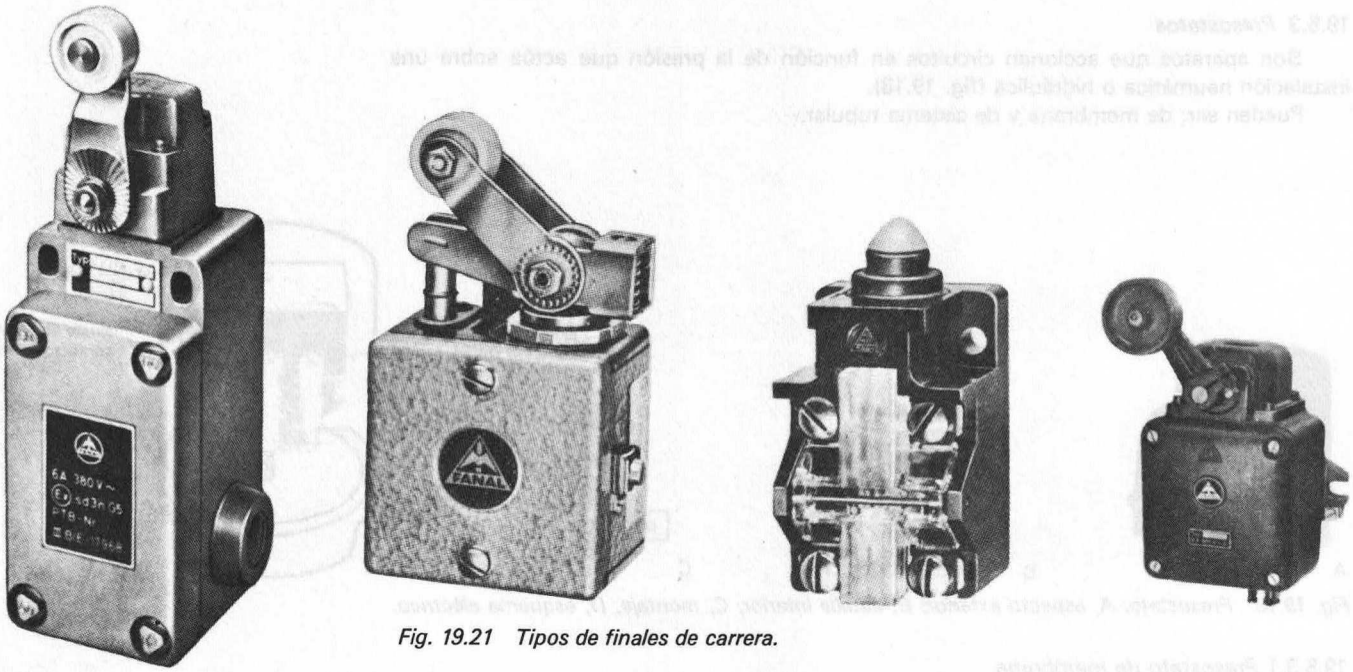


Fig. 19.21 Tipos de finales de carrera.

19.5.5 *Programadores*

Son aparatos que accionan un gran número de contactos, en forma simultánea o repitiéndose periódicamente.

Están formados por: motor, transmisión y contactos.

El motor, una vez disminuida su velocidad por medio de un reductor (engranajes) acciona un tambor, sobre el que se montan las levas; las levas hacen tope en los contactos y se abren o cierran los circuitos (fig. 19.22).

Las levas se pueden obtener partiendo de un disco, dividido en un número determinado de sectores, por rotura de la sección correspondiente. Este tipo de levas permite realizar el programa correspondiente a un tipo determinado de trabajo por el propio usuario.

Según el tipo de motor y reductor de velocidad pueden conseguirse ciclos que oscilen en espacios de 10 segundos hasta 4 horas.

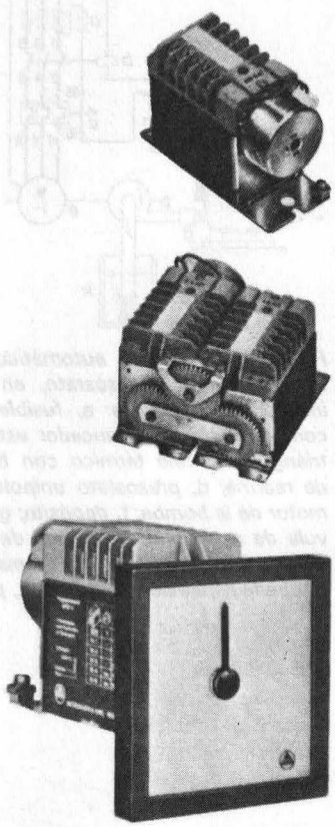


Fig. 19.22 Programadores.

19.6 **Aparatos de protección del motor eléctrico**

El motor asíncrono trifásico es de uso corriente en cualquier tipo de industria sin facilidad de averías si funciona en condiciones normales (características nominales).

Sin embargo, sucede en la práctica que las condiciones de servicio no son siempre las normales, sino que se dan muchas irregularidades como:

— *Sobrecarga*, por parte de la máquina accionada por el motor.

— *Disminución de la tensión de red*, que dará lugar a una sobrecarga.

— *Gran inercia de las partes móviles*, que hacen funcionar al motor sobrecargado en el período de arranque.

— *Excesivas puestas en marcha* por unidad de tiempo.

— *Falta de una fase,* con lo que el motor funciona a dos fases.

— *Calentamiento de la máquina*, por temperatura ambiente elevada.

Por tanto, los dispositivos de protección, desconectarán al motor de la red, cuando se presenten sobrecargas que puedan destruir o disminuir su duración.

Los dispositivos a emplear para la protección eficaz de un motor son:

— relés térmicos;
— relés electromagnéticos;
— relés diferenciales;
— fusibles.

19.6.1 *Relés térmicos*

Aprovechan la deformación de bimetales (ferroníquel e invar), bajo el efecto del calor, producido por el paso de la corriente que alimenta al motor.

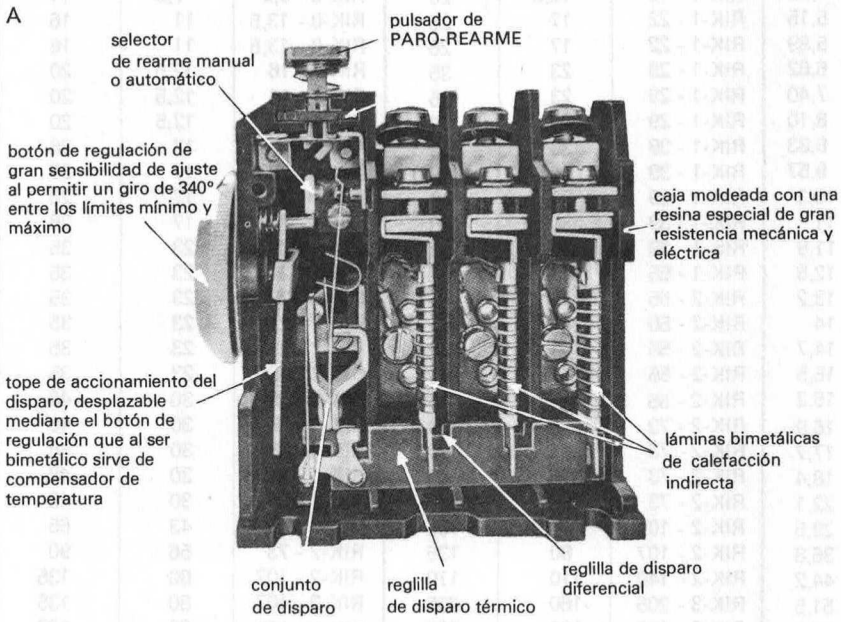
19.6.1.1 *Funcionamiento*

Cuando la corriente alcanza un valor superior al nominal (fig. 19.23), los bimetales (1, 2, 3) se curvan empujando a la placa T y provocando ésta la apertura del circuito de alimentación de la bobina del contactor, el cual, a su vez, desconectará el motor de la red.

El tiempo de desconexión depende de la temperatura ambiente y de la corriente que circule por el relé. Este tiempo debe ser inferior al que pueda poner en peligro el motor.

19.6.1.2 *Relé térmico diferencial*

Cuando falla una fase (motor trifásico) el motor sigue funcionando; pero, con el peligro de quemarse los bobinados, por circular corrientes superiores a la nominal por las otras dos fases. En este caso la protección del relé térmico, aunque esté bien elegido y regulado, no es suficiente, por lo que se recurre a otro dispositivo llamado *relé térmico diferencial* (fig. 19.23). Su funcionamiento se basa en la diferencia de curvatura de los tres bimetales de un relé térmico normal al fallar una fase, produciéndose la apertura del circuito de mando. Para llevar los contactos a la posición normal debe esperarse el tiempo necesario para que se enfríen los bimetales.



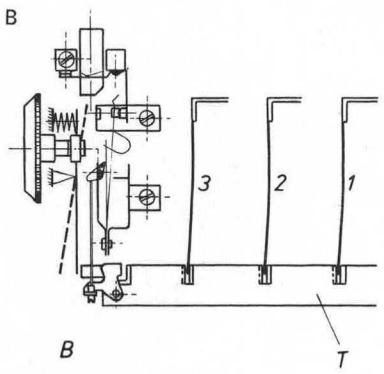


Fig. 19.23 Relé térmico diferencial: A, detalle interior; B, funcionamiento.

19.6.1.3 *Criterios de elección*

Para la elección de un relé térmico se tendrá en cuenta el tipo de arranque del motor. En los aranques directos se elegirá un relé con un campo de regulación que varíe alrededor de la corriente nominal del motor. Así, en un motor de 20 A, se puede emplear un relé con campo de regulación 17/26 A.

En la tabla 19.24 se indican los relés térmicos diferenciales, adaptados a motores trifásicos.

19.6.2 *Relés electromagnéticos*

Sirven para protección de circuitos contra fuertes sobrecargas; la desconexión se efectúa instantáneamente.

Su funcionamiento está basado en la fuerza producida en un electroimán sobre una armadura metálica. Cuando la corriente que absorbe el motor es muy superior a la nominal, la bobina del electroimán crea un fuerte campo magnético, suficiente para ejercer una fuerza de atracción capaz de vencer el efecto del muelle antagonista. Solidarios a la armadura están los contactos del circuito de potencia, dando lugar, por tanto, a la apertura del circuito (fig. 19.25). Al interrumpirse el circuito de alimentación, el relé magnético vuelve a su posición de reposo por acción del muelle antagonista.

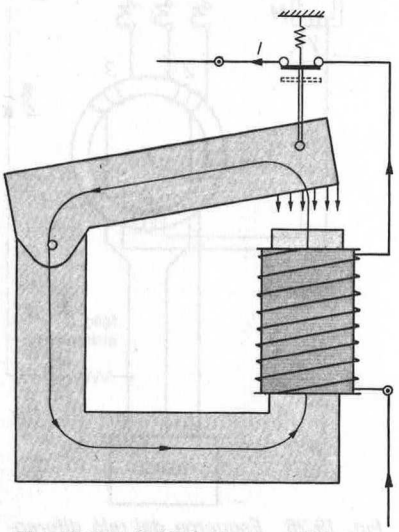


Fig. 19.25 Relé electromagnético.

19.6.3 *Relés diferenciales*

Actualmente, la Reglamentación Electrotécnica establece las normas sobre puestas a tierra y protección por contactos indirectos.

Un aparato muy eficaz para protección contra defectos de aislamientos es el relé diferencial.

Tabla 19.24 Elección del relé térmico adecuado para cada motor trifásico (AGUT)

Potencia		*220 V*			*380 V*		
CV	*kW*	*Relé TIPO*	*Regulación*		*Relé TIPO*	*Regulación*	
			Mín.	*Máx.*		*Mín.*	*Máx.*
0,5	0,37	RIK-0 - 2	1,7	2,4	RIK-0 - 1,5	1,2	1,7
0,75	0,55	RIK-0 - 3	2,4	3,5	RIK-0 - 1,5	1,2	1,7
1	0,74	RIK-0 - 3	2,4	3,5	RIK-0 - 2	1,7	2,4
1,5	1,10	RIK-0 - 4,3	3,5	5,2	RIK-0 - 3	2,4	3,5
2	1,47	RIK-0 - 6,3	5,2	7,5	RIK-0 - 4,3	3,5	5,2
2,5	1,84	RIK-0 - 9,2	7,5	11	RIK-0 - 4,3	3,5	5,2
3	2,21	RIK-0 - 9,2	7,5	11	RIK-0 - 6,3	5,2	7,5
4	2,95	RIK-0 - 13,5	11	16	RIK-0 - 6,3	5,2	7,5
5	3,68	RIK-0 - 13,5	11	16	RIK-0 - 9,2	7,5	11
6	4,42	RIK-1 - 16	12,5	20	RIK-0 - 9,2	7,5	11
7	5,15	RIK-1 - 22	17	26	RIK-0 - 13,5	11	16
8	5,89	RIK-1 - 22	17	26	RIK-0 - 13,5	11	16
9	6,62	RIK-1 - 29	23	35	RIK-1 - 16	12,5	20
10	7,40	RIK-1 - 29	23	35	RIK-1 - 16	12,5	20
11	8,10	RIK-1 - 29	23	35	RIK-1 - 16	12,5	20
12	8,83	RIK-1 - 39	30	48	RIK-1 - 22	17	26
13	9,57	RIK-1 - 39	30	48	RIK-1 - 22	17	26
14	10,3	RIK-1 - 39	30	48	RIK-1 - 22	17	26
15	11	RIK-1 - 39	30	48	RIK-1 - 22	17	26
16	11,8	RIK-1 - 39	30	48	RIK-1 - 29	23	35
17	12,5	RIK-1 - 55	43	65	RIK-1 - 29	23	35
18	13,2	RIK-2 - 55	43	65	RIK-1 - 29	23	35
19	14	RIK-2 - 55	43	65	RIK-1 - 29	23	35
20	14,7	RIK-2 - 55	43	65	RIK-1 - 29	23	35
21	15,5	RIK-2 - 55	43	65	RIK-1 - 29	23	35
22	16,2	RIK-2 - 55	43	65	RIK-1 - 39	30	48
23	16,9	RIK-2 - 73	56	90	RIK-1 - 39	30	48
24	17,7	RIK-2 - 73	56	90	RIK-1 - 39	30	48
25	18,4	RIK-2 - 73	56	90	RIK-1 - 39	30	48
30	22,1	RIK-2 - 73	56	90	RIK-1 - 39	30	48
40	29,5	RIK-2 - 107	80	135	RIK-2 - 55	43	65
50	36,8	RIK-2 - 107	80	135	RIK-2 - 73	56	90
60	44,2	RIK-2 - 140	110	170	RIK-2 - 107	80	135
70	51,5	RIK-3 - 205	160	205	RIK-2 - 107	80	135
80	58,9	RIK-3 - 205	160	205	RIK-2 - 107	80	135
90	66,2	RIK-3 - 205	160	205	RIK-2 - 140	110	170
100	73,6	RIK-3 - 205	160	205	RIk -2 - 140	110	170
125	92	RIK-3 - 325	250	400	RIK-3 - 305	160	250
150	110	RIK-3 - 325	250	400	RIK-3 - 205	160	250
200	147	RIK-3 - 525	400	650	RIK-3 - 325	250	400

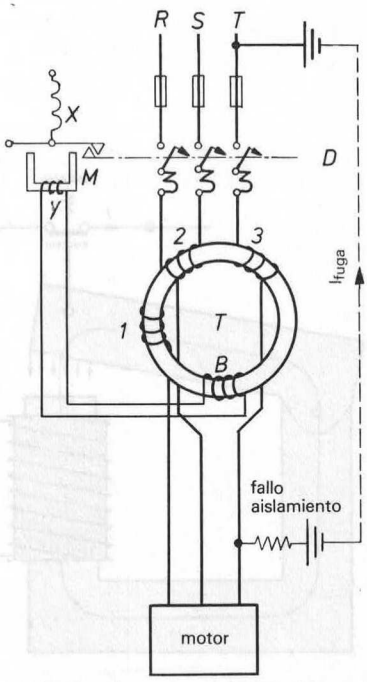


Fig. 19.26 Esquema del relé diferencial.

19.6.3.1 *Funcionamiento*

El relé diferencial (fig. 19.26) dispone de un circuito magnético en forma toroidal (T) sobre el que se bobinan en el mismo sentido los conductores de las tres fases (1, 2, 3). En condiciones normales la suma geométrica de las corrientes de las tres fases es nula y no hay flujo resultante. Solamente cuando haya una corriente de fuga (I_{fuga}) a tierra y ésta alcance el valor de sensibilidad del aparato, habrá un flujo resultante. Este flujo induce en la bobina *B* una corriente que anulará el efecto del imán *M*, abriéndose el interruptor general *D*, por acción del resorte *X*.

Este tipo de relé es llamado diferencial, porque en realidad actúa en función de la diferencia de corrientes entre las fases.

La diferencia se presentará, siempre que hay derivaciones a tierra en cualquiera de las fases.

La sensibilidad varía desde 30 mA a 500 mA, según el grado de protección.

19.6.4 *Fusibles*

Como complemento de los aparatos de protección, en cualquier instalación eléctrica, destaca el *fusible*. En realidad viene a ser la parte más débil de la instalación, para que en caso de un cortocircuito ésta se rompa.

Hasta hace poco tiempo el fusible consistía en uno o varios hilos de cobre sobre una base de porcelana o baquelita. Actualmente el fusible es calibrado para un *intensidad* y un *tiempo de respuesta* (fig. 19.27) y protege a una instalación, e incluso a los relés de protección que haya detrás de los cortocircuitos.

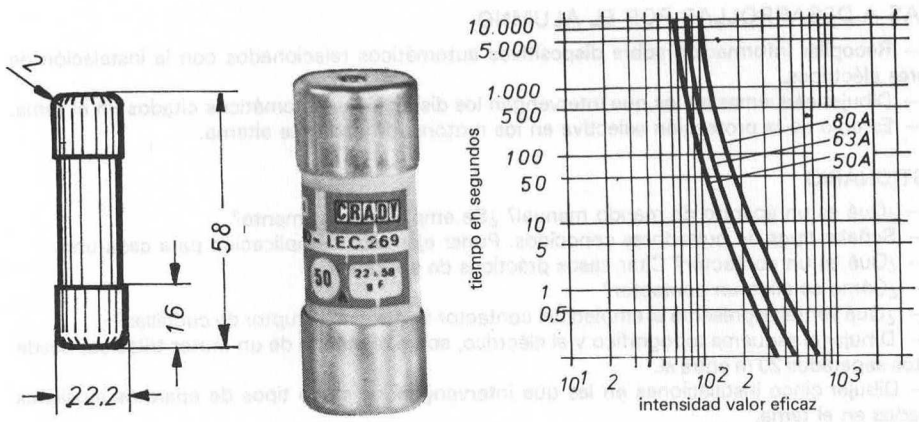


Fig. 19.27 Fusible calibrado y su curva de respuesta.

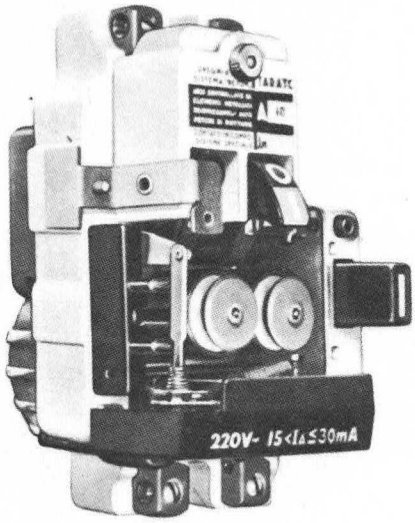


Fig. 19.29 Interruptor magneto-térmico-diferencial.

En cualquier montaje de instalaciones de motores, figurarán los fusibles para cada fase, y el resto de dispositivos de protección.

La elección del fusible, adecuado a cada motor, se indica en la table 19.28.

Finalmente, cabe añadir la simplicidad de instalación que actualmente se logra con el empleo en un solo aparato, que dispone de varias protecciones, como son:

— Relés *magnetotérmicos*, con protección térmica y magnética.

— Relés *magnetotérmicos-diferenciales*, con protecciones de sobrecargas y de corrientes de fuga (aislamiento), representados en la figura 19.29.

Tabla 19.28 Elección de fusibles adecuados a cada tipo de motor

Potencia nominal del motor		*cos. φ*	*Rendimiento*	*200 V*			*380 V*			*500 V*		
				Intensidad nominal del motor	*Fusible*		*Intensidad nominal del motor*	*Fusible*		*Intensidad nominal del motor*	*Fusible*	
kW	*CV*		*%*	*A*	*Arranque directo* A	*Arranque estrella-triángulo* A	*A*	*Arranque directo* A	*Arranque estrella-triángulo* A	*A*	*Arranque directo* A	*Arranque estrella-triángulo* A
0,2	0,3	0,69	0,69	1,3	—	—	0,7	—	—	0,6	—	—
0,33	0,45	0,71	0,64	1,9	—	—	1,1	—	—	0,85	—	—
0,5	0,7	0,75	0,69	2,5	—	—	1,4	—	—	1,1	—	—
0,8	1,1	0,78	0,74	3,7	6	—	2,1	—	—	1,6	—	—
1,1	1,5	0,83	0,78	4,4	6	6	2,6	—	—	2,0	—	—
1,5	2,0	0,83	0,79	6,0	10	6	3,5	6	—	2,6	—	—
2,2	3,0	0,83	0,80	8,7	16	10	5,0	10	6	3,8	6	6
3,0	4,0	0,84	0,82	11,5	20	16	6,6	10	10	5,0	10	10
4,0	5,5	0,85	0,84	14,5	25	20	8,5	16	10	6,5	10	10
5,5	7,5	0,85	0,85	20	36	25	11,5	20	16	9,0	16	10
7,5	10	0,85	0,86	27	36	25	15,5	25	20	12	20	16
11	15	0,86	0,87	39	63	50	22	36	25	17	25	20
15	20	0,87	0,87	52	80	63	30	50	36	23	36	25
22	30	0,88	0,87	75	100	80	44	63	50	33	50	36
30	40	0,88	0,87	103	100	100	60	80	63	45	63	50
40	55	0,88	0,88	136	160	160	79	100	80	60	80	63
50	68	0,88	0,88	170	200	200	99	125	100	75	100	80
64	87	0,88	0,89	215	224	224	125	160	125	95	100	100
80	109	0,88	0,90	270	300	250	155	200	160	120	125	125
100	136	0,88	0,91	330	355	355	190	200	200	140	160	160
125	170	0,88	0,91	410	500	425	240	250	250	180	200	200
160	218	0,88	0,92	520	600	600	300	355	355	230	250	250
200	272	0,89	0,92	640	—	—	370	425	425	280	300	300
250	340	0,89	0,92	800	—	—	465	600	600	350	425	425

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Recopilar información sobre dispositivos automáticos relacionados con la instalación de motores eléctricos.
— Dibujar esquemas en los que intervengan los dispositivos automáticos citados en el tema.
— Estudio de la protección selectiva en los motores de corriente alterna.

CUESTIONARIO

— ¿Qué es un aparato de mando manual? ¿Se emplean actualmente?
— Señalar tipos de pulsadores conocidos. Poner ejemplos de aplicación para cada uno.
— ¿Qué es un contactor? Citar casos prácticos de aplicación.
— ¿Cómo se elige un contactor?
— ¿Qué ventajas presenta el empleo del contactor frente al interruptor de cuchillas?
— Dibujar el esquema topográfico y el eléctrico, sobre el mando de un motor trifásico, desde 2 puntos separados 20 m entre sí.
— Dibujar cinco instalaciones en las que intervengan los cinco tipos de aparatos auxiliares explicados en el tema.
— ¿Es necesario el empleo de fusibles para protección de motores que disponen de relé térmico? Razonar la respuesta.
— Explicar el funcionamiento de un relé magneto-térmico.
— Explicar el relé diferencial trifásico.
— Diseñar la instalación eléctrica automática, para el llenado de un depósito de agua en un chalé, por medio de un motor-bomba monofásico, que toma el agua de un pozo.

BIBLIOGRAFIA

Información técnica de fábricas de aparatos (AGUT, TELEMECANICA, TICINO, METROM, TELERGON, FANAL, CONDISA, CRADY, CEDAD, etc.).
Catálogos de casas comerciales.

Tema 20. Instalación de motores de corriente alterna, monofásica y trifásica

OBJETIVOS

— *Conocimiento de las normas básicas para el emplazamiento de los motores eléctricos.*
— *Normas sobre protección eléctrica y mecánica.*
— *Reglamentación sobre el arranque de los motores eléctricos.*
— *Estudio del arranque directo a la red.*
— *Conocer diferentes tipos de arranques en los motores trifásicos.*
— *Importancia del arranque estrella-triángulo.*

GUION

— Normas sobre emplazamientos de motores eléctricos.
— Instalación eléctrica de los motores.
— Condiciones de funcionamiento del motor.
— Tipos de protección del motor.
— Temperaturas y clases de aislamiento.
— Arranque de los motores eléctricos:
  Arranque de los motores monofásicos.
  Arranque de los motores asíncronos trifásicos.

PUNTOS CLAVE

— Idea sobre la elección de un motor eléctrico.
— Importancia de la conexión a red de un motor eléctrico.
— Conocer los principales métodos indirectos de arranque para un motor trifásico.

EXPOSICION DEL TEMA

20.1 Normas sobre el emplazamiento de motores eléctricos

Antes de proceder a la instalación de un motor se deben comprobar algunas características, como la prueba de aislamiento, la velocidad, etc., aunque, normalmente, estas pruebas se han realizado en la fábrica. Si el aislamiento es inferior al exigido por el Reglamento Electrotécnico se procederá al secado del motor, bien aplicando aire caliente o bien por efecto Joule, debido al paso de una corriente continua.

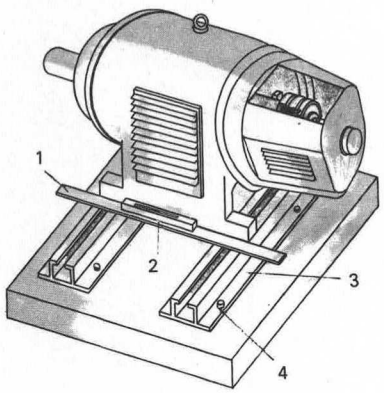
20.1.1 *Montaje de los motores*

Se realiza sobre cimentaciones fijas o bancadas de fundición, en función de su potencia. A la vez que se hace la cimentación se alojan los pernos o tornillos, que servirán de sujeción al motor (fig. 20.1).

Apoyado el motor sobre la cimentación, se debe nivelar y alinear (fig. 20.2), utilizando el nivel de burbuja de aire y herramientas para el centrado de máquinas. Para lograr una nivelación correcta se emplean cuñas de hierro, que se introducen en los carriles de apoyo del motor. Cuando el motor va acoplado mecánicamente a otra máquina hay que buscar el centrado de los ejes, por medio de una regla de acero, apoyada sobre los acoplamientos móviles; o bien, con las herramientas de centrado de ejes, de forma que, al girar el motor, los ejes de las dos máquinas se mantengan en línea recta (fig. 20.3).

Conseguida la nivelación y centrado, se fijará definitivamente a la bancada apretando los tornillos de sujeción.

En la instalación del motor hay que prever el consiguiente peligro de accidente por proximidad a las partes en movimiento. Hay que evitar emplazarlo demasiado cerca de materias muy combustibles; debe estar separado de ellos como mínimo 0,5 m en potencias de hasta 1 kilovatio y 1 m en potencias superiores.



1. regla
2. nivel de aire
3. carriles
4. tornillo de sujeción

Fig. 20.2 Nivelación de un motor eléctrico.

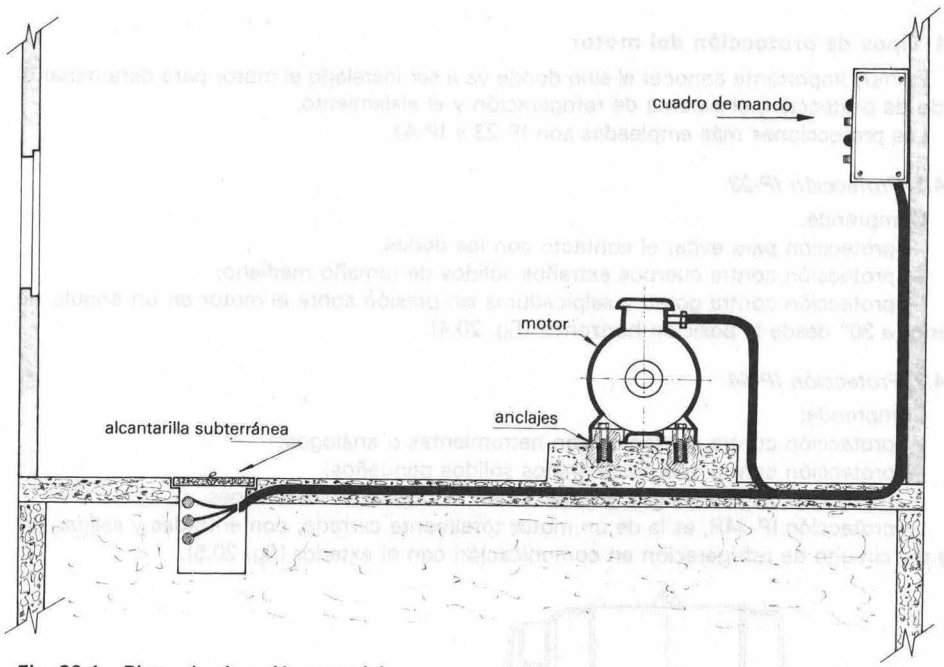


Fig. 20.1 Plano de situación y anclaje.

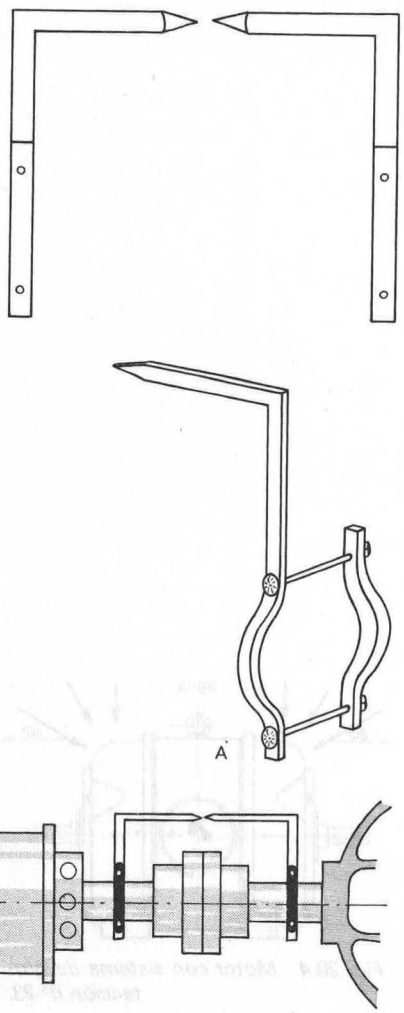


Fig. 20.3 Centrado de motores: A, herramientas de centrar; B, ejes centrados; C, centrado con regla.

20.2 Instalación eléctrica de los motores

Las normas sobre instalaciones están reguladas por el Reglamento Electrotécnico, que fija las condiciones mínimas exigibles.

La instalación del motor a la red (línea) debe contar con los aparatos de maniobra y protección ya explicados en el tema 19.

Los conductores de conexión que alimentan el motor han de estar calculados para soportar intensidades del 125 % de la nominal. En el caso de existir varios motores, se calcula una sección de conductores capaz de soportar el 125 % de la intensidad nominal del motor de mayor potencia, sumada a las intensidades nominales del resto.

20.3 Condiciones de funcionamiento del motor

Dado el extenso campo de aplicación del motor eléctrico, se comprende fácilmente la necesidad de clasificación del mismo por el tipo de trabajo a realizar.

20.3.1 *De servicio continuo*

Cuando el tiempo de funcionamiento a plena carga es lo suficiente como para alcanzar la máxima temperatura, de forma que a partir de ese momento la temperatura permanece constante. Puede servir de ejemplo, el motor síncrono funcionando como compensador del factor de potencia.

20.3.2 *Servicio de tiempo corto*

Cuando el tiempo de funcionamiento a plena carga es tan corto, que en reposo alcanza la temperatura del medio ambiente, por ejemplo, el motor que acciona la puerta de un garage.

20.3.3 *Servicio intermitente*

Cuando el tiempo de trabajo va seguido de tiempo en reposo; por ejemplo, el motor de un frigorífico.

20.4 Tipos de protección del motor

Es muy importante conocer el sitio donde va a ser instalado el motor para determinar el grado de protección, el sistema de refrigeración y el aislamiento.

Las protecciones más empleadas son IP-23 e IP-44.

20.4.1 *Protección IP-23*

Comprende:

— protección para evitar el contacto con los dedos;
— protección contra cuerpos extraños sólidos de tamaño mediano;
— protección contra goteo y salpicaduras sin presión sobre el motor en un ángulo no inferior a 30° desde la posición horizontal (fig. 20.4).

20.4.2 *Protección IP-44*

Comprende:

— protección contra contactos con herramientas o análogos;
— protección contra cuerpos extraños sólidos pequeños;
— protección contra el agua y salpicaduras en todas las direcciones.

La protección IP-44R, es la de un motor totalmente cerrado, con entradas y salidas del aire del circuito de refrigeración en comunicación con el exterior (fig. 20.5).

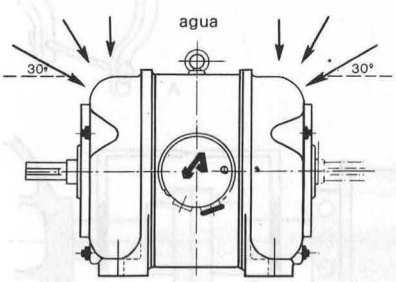


Fig. 20.4 Motor con sistema de protección IP-23.

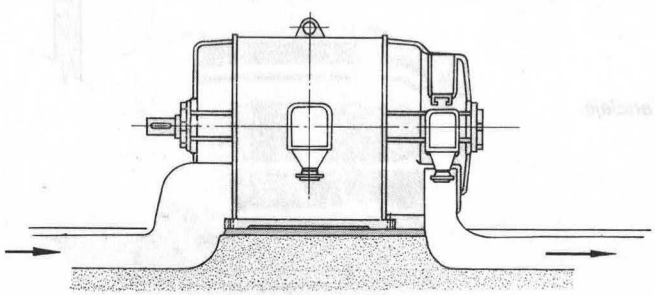


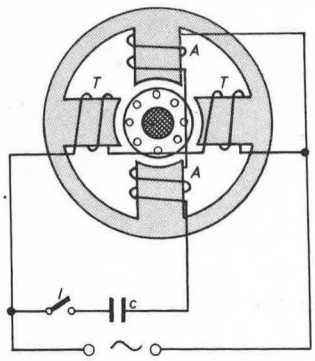
Fig. 20.5 Motor con protección IP-44R.

20.5 Temperaturas y clases de aislamiento

La temperatura máxima admisible en un motor depende del tipo de aislamiento. El aislamiento está indicado por una letra mayúscula (tabla 20.6). Los más empleados, son los de las clases E y B; para usos especiales están las clases F y H. En ambientes con riesgo de explosión o de incendio (amoníaco, butano, hidrógeno, etc.), se utilizan motores con protecciones especiales.

Tabla 20.6 Temperaturas y clases de aislamientos de los motores eléctricos

Clase de aislamiento	*Temperatura ambiente máxima* °C	*Incremento medio de temperatura sobre el ambiente* °C	*Temperatura media en servicio* °C	*Temperatura admisible en el punto más caliente* °C
Y	40	45	85	90
A	40	60	100	105
E	40	75	115	120
B	40	80	120	130
F	40	100	140	155
H	40	125	165	180



20.6 Arranque de los motores eléctricos

En el instante de conectar un motor a la red, la corriente absorbida alcanza valores superiores al nominal, que depende del tipo de motor.

Las intensidades de arranque elevadas, producen caídas de tensión y calentamientos en las líneas, con el consiguiente perjuicio para los usuarios más próximos. Para evitar estos inconvenientes el Reglamento de B.T. (Instrucción 34), dicta las normas de utilización de motores, señalando las corrientes máximas permisibles en función de la potencia del motor (tabla 20.7).

En general, los motores de potencia superior a 1 CV, estarán provistos de reóstatos de arranque o dispositivos equivalentes, para conseguir cumplir las normas anteriores.

A continuación se estudia el arranque de los motores monofásicos y trifásicos.

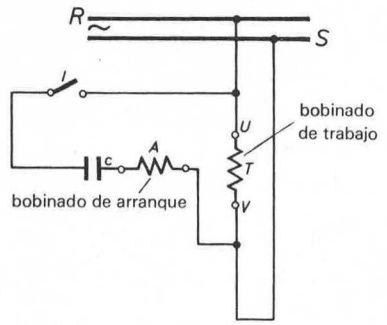


Fig. 20.8 Arranque del motor monofásico.

Tabla 20.7 Corrientes permisibles en el arranque de los motores eléctricos

Motores de corriente continua		*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*	*Potencia nominal del motor*	*Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga*
De 0,75 kW a 1,5 kW	2,5	De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 5,0 kW	2,0	De 1,5 kW a 5,0 kW	3,0
De más de 5,0 kW	1,5	De 5,0 kW a 15,0 kW	2,0
		De más de 15,0 kW	1,5

20.6.1 *Arranque de los motores monofásicos*

Los motores monofásicos pueden conectarse directamente a la red, ya que en la mayoría de los casos su potencia es una fracción de CV. Los motores monofásicos de fase partida deben desconectar el bobinado de arranque, una vez que alcance la velocidad nominal (ver tema 22) y, para ello, disponen de interruptores centrífugos o bien otro tipo de interruptor de arranque (fig. 20.8). En la figura 20.9 puede observarse el esquema de un motor trifásico funcionando como monofásico, con condensador de arranque.

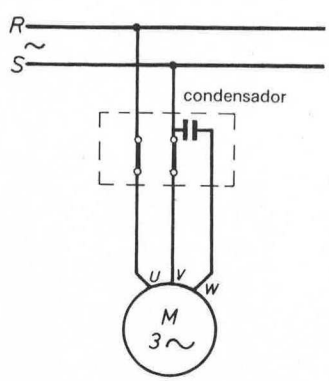


Fig. 20.9 Motor trifásico funcionando como monofásico.

20.6.1.1 *Corriente absorbida por el motor*

La corriente absorbida por el motor a plena carga se obtiene por la expresión:

$$I = \frac{P}{\eta \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

En donde:

P = potencia que suministra el motor en vatios
η = rendimiento del motor (puede valer 0,80)
V = tensión de red en voltios
$\cos \varphi$ = factor de potencia del motor (puede valer 0,80)
I = corriente absorbida en amperios.

Este tipo de motores emplea fusibles y relés térmicos como aparatos de protección.

20.6.1.2 *Conexión a la red*

La conexión y desconexión a la red se realiza por medio de interruptores normales o bien por contactor. En la fig. 20.10 se representa el esquema de la instalación de un motor monofásico mandado por contactor y protegido con fusibles y relé térmico.

Funcionamiento. Al accionar el pulsador I queda excitada la bobina del contactor AB; éste, a su vez, conecta el motor M, manteniéndose, una vez soltado el pulsador I, a través de su propio contacto auxiliar 9-10, y el pulsador O (mando por impulso). La lámpara de señalización L, indica la conexión a red del motor. La desconexión del motor se efectúa normalmente, accionando el pulsador O, o bien por apertura del contacto 3-4 del relé térmico (a causa de una sobrecarga). Al interrumpirse el circuito de la bobina, el contactor vuelve a su posición de reposo, desconectando el motor y apagándose la lámpara L. El relé térmico dispone de un contacto de señalización 29-30, que puede avisar de la desconexión del motor (timbre, lámpara).

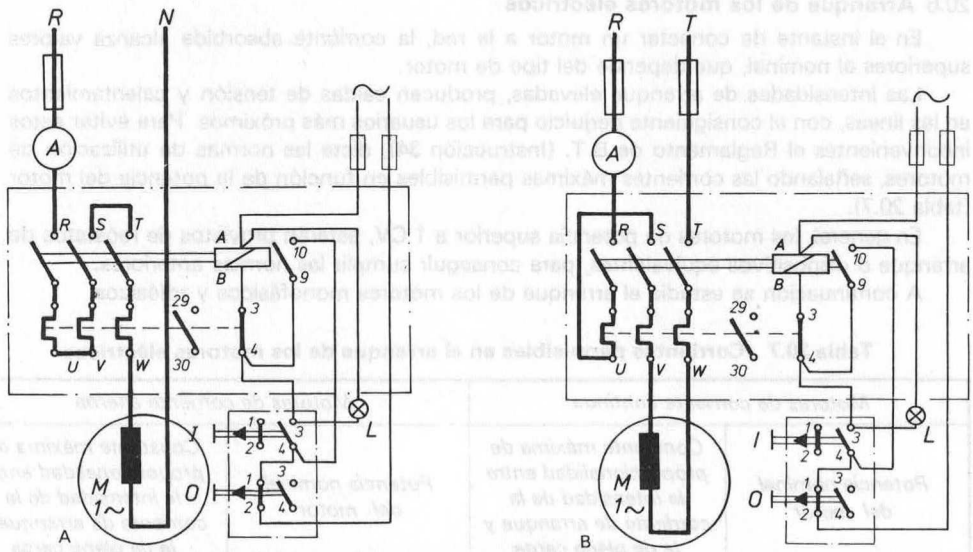


Fig. 20.10 Funcionamiento de un motor monofásico por contactor: A, tensión de alimentación entre fase y neutro; B, tensión de alimentación bifásica.

20.6.2 *Arranque de los motores asíncronos trifásicos*

La corriente absorbida por un motor trifásico a plena carga se obtiene por la expresión:

$$I = \frac{P}{\eta \cdot \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

en donde:

P = potencia que suministra el motor en vatios
η = rendimiento del motor (valor medio 0,85)
V = tensión de la red (entre fases) en voltios
$\cos \varphi$ = factor de potencia del motor (valor medio 0,85)
I = corriente por fase en amperios.

Ejercicio de aplicación:

Averiguar la corriente que absorbe un motor asíncrono trifásico conectado a una red de 380 V, con un factor de potencia 0,90, rendimiento 0,86, sabiendo que suministra una potencia de 60 CV.

Solución:

Se aplica la fórmula anterior, teniendo en cuenta que 1 CV son 736 W, y se obtiene:

$$I = \frac{60 \cdot 736}{0{,}86 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0{,}90} \cong 88 \text{ A}$$

El 90 % de los motores empleados en la industria son de corriente alterna trifásica con rotor en cortocircuito o con rotor bobinado (ver tema 22), dentro de éstos, los más numerosos son los primeros.

Los procedimientos de arranque empleados son los siguientes:

— Arranque directo.
— Arranque por conexión estrella-triángulo.
— Arranque por autotransformador.
— Arranque por resistencias estatóricas.
— Arranque por resistencias rotóricas (en los de rotor bobinado).

Excepto el primero los demás arranques se emplean para disminuir la corriente, tan elevada en el período inicial.

20.6.2.1 *Arranque directo*

Es el procedimiento más sencillo, y consiste en conectarlo a la red por medio de un interruptor o un contactor en un solo tiempo. La corriente que absorbe en el arranque suele tomar valores de 5 a 7 veces la nominal; por ello solamente se empleará en motores de potencias inferiores a unos 5 CV.

En la figura 20.11 se representa el esquema de conexiones en el arranque directo de un motor asíncrono trifásico, con protección térmica.

El funcionamiento es similar al explicado para el motor monofásico de la figura 20.10.

20.6.2.2 *Arranque por conexión estrella-triángulo*

Este procedimiento se emplea en motores trifásicos con 6 bornas y se aplica a los motores preparados para funcionar normalmente en triángulo. En el primer tiempo se conecta el motor *en estrella* y arranca con tensión reducida, absorbiendo una intensidad inferior a la que toma en el arranque directo.

En el segundo tiempo se conecta el motor *en triángulo*, adquiriendo el motor sus características nominales de funcionamiento.

En la figura 20.12 se representa el esquema de instalación para arranque estrella—triángulo con mando manual (conmutador rotativo).

Funcionamiento. Al llevar el conmutador a la posición estrella (⅄), el conmutador conecta los principios de fase U, V, W, a las fases R, T, S, respectivamente y los finales de fase X, Y, Z, los une entre sí formando el centro de la estrella.

Al pasar a la posición triángulo (Δ), el conmutador puentea R-U-Z, S-W-Y, T-V-X, y el motor funciona normalmente.

El sistema de arranque estrella-triángulo es el más extendido de todos con posibilidad de ser realizado automáticamente con la ayuda de contactores y relés temporizadores. También puede conseguirse automáticamente el arranque e inversión de giro del motor con el arrancador-inversor estrella-triángulo.

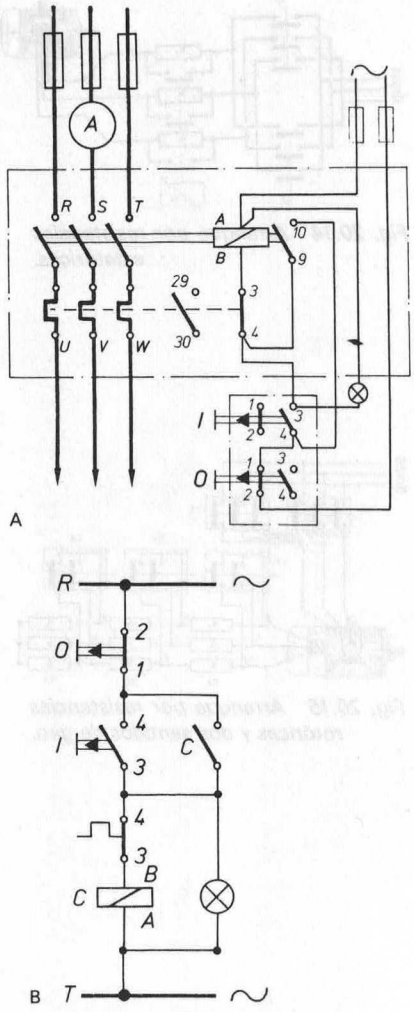


Fig. 20.11 Procedimiento de arranque directo: A, esquema completo (potencia y mando); B, esquema de mando.

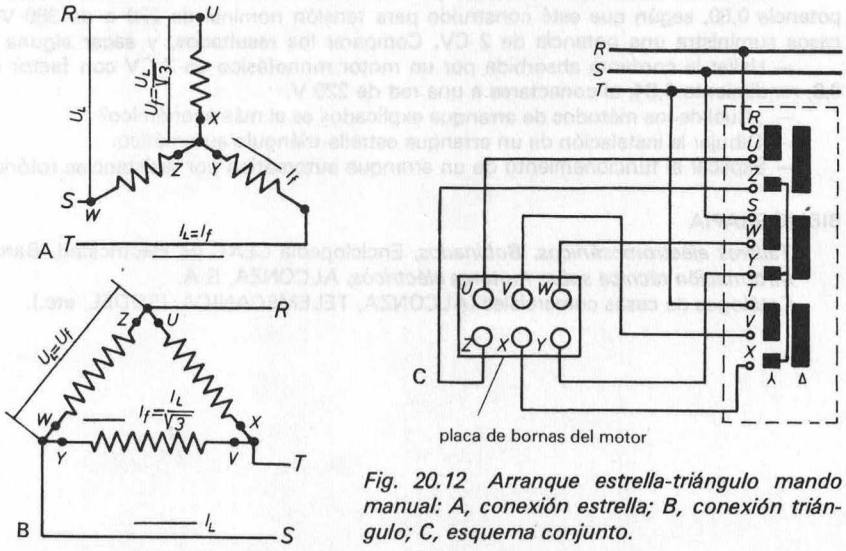


Fig. 20.12 Arranque estrella-triángulo mando manual: A, conexión estrella; B, conexión triángulo; C, esquema conjunto.

20.6.2.3 *Arranque por autotransformador*

Este procedimiento solamente es empleado en raras ocasiones, por su elevado coste, para motores de elevada potencia.

Arranca con una tensión reducida que se va elevando paulatinamente.

A medida que va adquiriendo velocidad el motor, irá disminuyendo la corriente absorbida, para conectarlo, finalmente, directo a la red.

La figura 20.13, representa un esquema eléctrico de instalación para arranque por autotransformador, con dos posiciones de trabajo para finalizar conectado directamente a la red, a través del contactor de línea L.

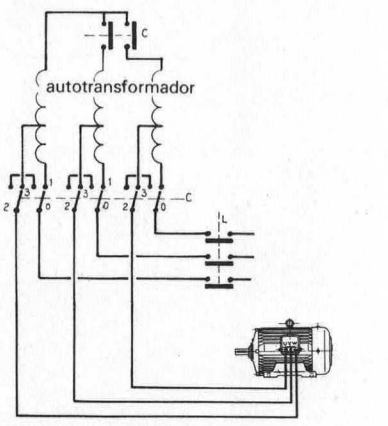


Fig. 20.13 Arranque por autotransformador.

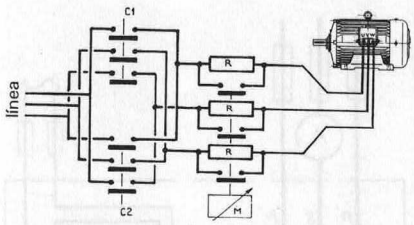


Fig. 20.14 Arranque por resistencias estatóricas.

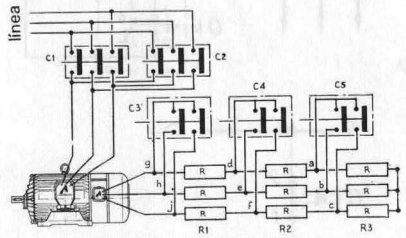


Fig. 20.15 Arranque por resistencias rotóricas y dos sentidos de giro.

20.6.2.4 *Arranque por resistencias estatóricas*

Este procedimiento está basado en la producción de una caída de tensión entre la red y el motor con objeto de disminuir la tensión aplicada al motor. Su puesta en funcionamiento se realiza en una o dos etapas, por eliminación de las resistencias puestas en serie con el bobinado del estator.

La figura 20.14 representa un esquema eléctrico de una instalación para arranque por resistencias estatóricas. En el primer tiempo el motor queda conectado a la red a través de una resistencia trifásica. En el segundo tiempo se cortocircuitan las resistencias y el motor funciona a tensión nominal.

20.6.2.5 *Arranque por resistencias rotóricas*

Este procedimiento sólo puede emplearse en los motores con rotor bobinado. Consiste en añadir resistencias al circuito rotórico (ver tema 22) y eliminarlas en tres o cuatro escalones, automáticamente, hasta conectar el bobinado del rotor en cortocircuito (fig. 20.15).

Este procedimiento permite obtener curvas de intensidad de arranque muy adecuadas para cada aplicación; normalmente se emplean en máquinas que arrancan a plena carga: aparatos de elevación, cintas transportadoras, compresores, etc.

La figura 20.13, representa el arranque automático de un motor con rotor bobinado por eliminación de resistencias trifásicas en tres etapas; dispone de inversión de velocidad en el estator por permutación de dos fases.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Explicar el funcionamiento de arrancadores estrella-triángulo, manuales y automáticos.
— Comparación de los diversos procedimientos de arranques empleados en motores trifásicos.
— Recopilar información sobre diferentes aplicaciones del motor trifásico en la industria, señalando el motor más adecuado para cada trabajo.

CUESTIONARIO

— ¿Qué tipo de protección necesitará un motor eléctrico para funcionar en ambientes explosivos o inflamables?
— ¿Es suficiente el empleo del guardamotor como protección de un motor eléctrico?
— Hacer una relación de diferentes tipos de servicio, indicando el motor y aislamiento adecuado para cada uno.
— Señalar los principales inconvenientes del arranque directo en los motores de gran potencia. ¿Están permitidos?
— Hallar las corrientes absorbidas por un motor trifásico de rendimiento 0,85 y factor de potencia 0,80, según que esté construido para tensión nominal de 220 o de 380 V. En ambos casos suministra una potencia de 2 CV. Comparar los resultados, y sacar alguna conclusión.
— Hallar la corriente absorbida por un motor monofásico de 2 CV con factor de potencia 0,8, rendimiento 0,84, al conectarse a una red de 220 V.
— ¿Cuál de los métodos de arranque explicados es el más económico?
— Dibujar la instalación de un arranque estrella-triángulo automático.
— Explicar el funcionamiento de un arranque automático por resistencias rotóricas.

BIBLIOGRAFIA

Talleres electromecánicos. Bobinados, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1973.
Información técnica sobre motores eléctricos, ALCONZA, S.A.
Catálogos de casas comerciales (ALCONZA, TELEMECANICA, ISODEL, etc.).

5. Máquinas y aparatos eléctricos

Tema 21. Constitución, funcionamiento y características de la dinamo y del motor de corriente continua

OBJETIVOS

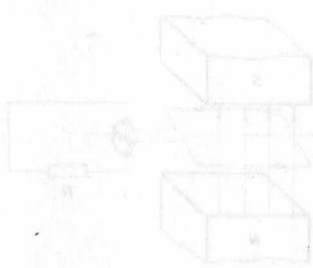
- *Estudiar el fundamento de las máquinas de corriente continua.*
- *Conocer detalladamente la constitución de una máquina de corriente continua.*
- *Diferenciación entre las máquinas por su excitación.*
- *Interpretar sus características principales.*
- *Saber elegir la máquina adecuada para una aplicación determinada.*
- *Conocer el funcionamiento de la dinamo o motor de corriente continua.*

GUION

- Generalidades sobre las máquinas eléctricas.
- Estudio de las dinamos:
  Producción de la fuerza electromotriz en una dinamo.
  Determinación del sentido de la fuerza electromotriz inducida en una dinamo.
- Estudio del motor de corriente continua.
- Constitución de las máquinas de corriente continua:
  Inductor. Inducido. Colector. Escobillas. Entrehierro. Cojinetes.
- Excitación de las máquinas de corriente continua.
  Principales características de los generadores de corriente continua:
  Características de la dinamo de excitación independiente.
  Características de la dinamo de excitación shunt.
  Características de la dinamo de excitación serie.
- Características de la dinamo de excitación compound.
- Motor de corriente continua.

PUNTOS CLAVE

- Funcionamiento de las máquinas de corriente continua.
- Campo de aplicación de las dinamos.
- Campo de aplicación de los motores de corriente continua.
- Conocimiento de las máquinas por el estudio de sus características.



EXPOSICION DEL TEMA

21.1 Generalidades sobre las máquinas eléctricas

Dada la importancia que actualmente tiene la energía eléctrica se indican a continuación la máquinas y aparatos necesarios para su producción y utilización.

Se entiende por máquina eléctrica el conjunto de mecanismos que pueden producir, transformar o aprovechar la energía eléctrica.

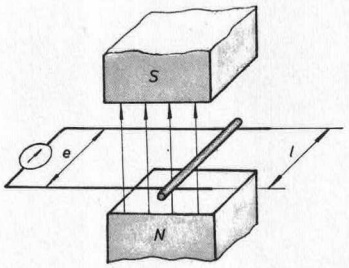


Fig. 21.1 Fundamento de la dinamo.

Las máquinas se clasifican en tres grupos diferentes.

— *Generadores.* Máquinas que transforman en energía eléctrica otro tipo de energía. Las más importantes son las que transforman energía mecánica en eléctrica, llamadas *dinamos* y *alternadores;* según que produzcan corriente continua o alterna, respectivamente.

— *Receptores.* Máquinas que transforman la energía eléctrica en otro tipo de energía. Son las más importantes los motores.

— *Transformadores y convertidores.* Máquinas que transforman la energía eléctrica en energía eléctrica de otras características. A este grupo pertenecen los transformadores, conmutatrices y rectificadores.

21.2 Estudio de las dinamos

Son máquinas que transforman la energía mecánica que reciben por su eje (turbina, molino de viento, rueda de bicicleta, transmisión por correa en un vehículo, etc.) en energía eléctrica, que suministran por sus bornes en forma de energía en corriente continua.

21.2.1 *Producción de la fuerza electromotriz en una dinamo*

El fundamento de la dinamo radica en la ley de inducción electromagnética, que dice: *Si un conductor se mueve, cortando las líneas de fuerza de un campo magnético, se induce en él una fuerza electromotriz de valor:*

$$e = B \cdot l \cdot v$$

siendo:

e = f. e. m. inducida en el conductor
B = inducción del campo magnético
l = longitud del conductor
v = velocidad de desplazamiento.

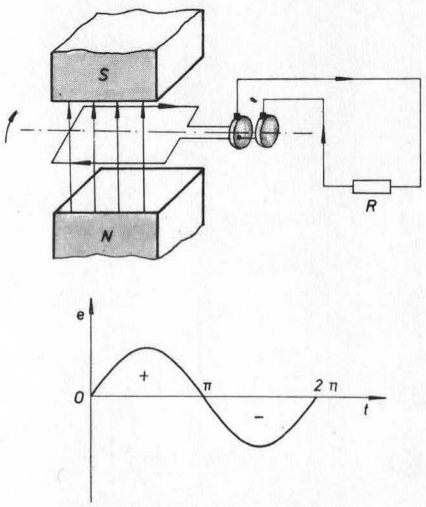


Fig. 21.2 Generación de corriente alterna.

En la figura 21.1 puede comprobarse la experimentación de la tal ley. Se dispone en ella de un *campo magnético*, creado por los imanes Norte-Sur; un conductor eléctrico de longitud *l*, que se desplaza sobre un soporte conductor con una velocidad *v*; la producción de una f.e.m. la acusará el galvanómetro por el movimiento de su aguja.

21.2.1.1 *Inducción de f.e.m. en una espira*

Si en lugar de un conductor se emplea una espira (fig. 21.2) y se la hace girar dentro del campo magnético, se inducirá en ella una f.e.m. alterna que puede aplicarse a un circuito exterior, por medio de dos escobillas (a,b), que frotan sobre dos anillos colectores (A, B), transmitiendo la energía eléctrica de un circuito en movimiento a otro estático.

Sustituyendo los dos anillos por uno solo, dividido en dos partes (aisladas entre sí) llamadas *delgas*, se obtendrá la f.e.m. que indica la figura 21.3, llamada fuerza electromotriz pulsatoria.

21.2.1.2 *Inducción de f.e.m. en varias espiras*

Si en lugar de una sola, se emplean dos espiras perpendiculares, llevando sus extremos a las 4 delgas del colector, la f.e.m. resultante será indicada en la figura 21.4. También se ha representado la f.e.m. resultante si se emplearan tres espiras a 120°.

Se observa, pues, que a medida que aumenta el número de espiras, desplazadas entre sí, la f.e.m. resultante se va aproximando a una corriente continua pura (línea recta), consiguiéndose, en la práctica, con unas veinte bobinas.

Partiendo de estas experiencias se llegó a la construcción de la dinamo generadora de corriente continua, en la que se sustituye el imán permanente por los electroimanes, se aumenta la longitud del conductor mediante el empleo de bobinas y se logra un movimiento de sistema giratorio mucho más rápido y cómodo que el lineal.

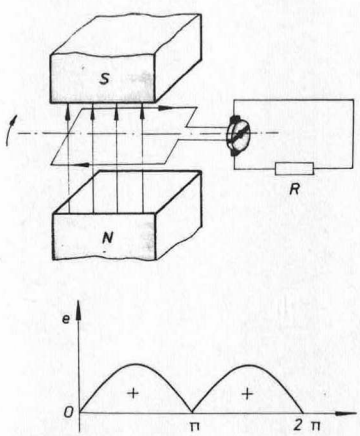


Fig. 21.3 Generador de corriente pulsatoria.

21.2.2 *Determinación del sentido de la f.e.m. inducida en una dinamo*

Para determinar el sentido de la f.e.m. inducida se aplica la *regla de la mano derecha* de Fleming (fig. 21.5) que dice:

"Disponiendo de los tres dedos de la mano derecha de modo que formen un triedro, y con el dedo pulgar en el sentido del movimiento del conductor inducido, el índice en la dirección del campo magnético, el dedo medio indicará el sentido de la f.e.m. inducida".

Se aplica la regla de la mano derecha a la espira (a, b) cuando gira en el sentido horario, bajo la acción de los polos Norte-Sur, en 4 posiciones diferentes (fig. 21.6):

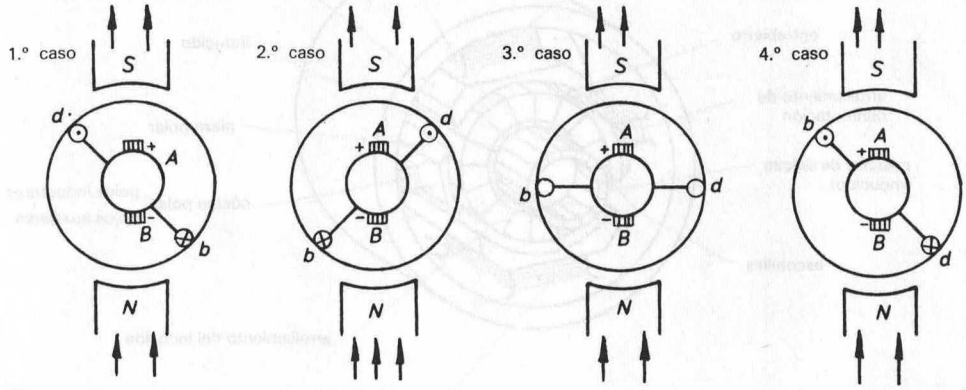
1.ª *Posición*: Al aplicar la regla, se observa que la corriente sale por A y entra por B; por tanto, A será la escobilla positiva y B, la negativa.

2.ª *Posición:* Cuando la espira ha girado 90°, al aplicar de nuevo la regla, la corriente sigue llevando la dirección de la 1.ª posición.

3.ª *Posición.* Cuando la espira ha girado 135°, ponen entonces, las escobillas a la espira en cortocircuito, de modo que la f.e.m. de la espira es cero. Esto ocurre dos veces por período.

4.ª *Posición.* La espira ha girado 180° con respecto a la 1.ª posición, y se observa que el sentido de la corriente, en los conductores *a* y *b*, es opuesto al que tenían en el primer caso; pero, el signo de las escobillas sigue siendo el mismo, puesto que la corriente sale por A al circuito exterior y penetra por B.

Resumiendo. La corriente se invierte en el conductor, pero no en el colector de delgas. Para invertir el sentido de la fuerza electromotriz bastará invertir el sentido del movimiento o el campo magnético.



⊗ la corriente penetra perpendicular al plano del papel
⊙ la corriente sale hacia el observador

Fig. 21.6 Sentido de las fuerzas electromotrices inducidas.

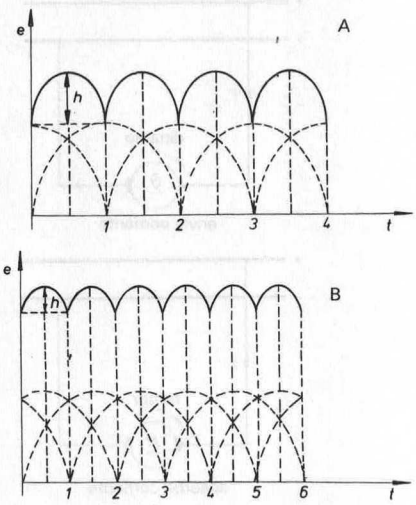


Fig. 21.4 Generación de corriente continua con varias espiras en el inducido: A, dos espiras perpendiculares; B, tres espiras a 120°.

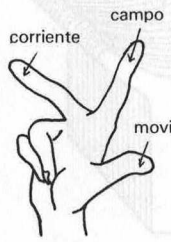


Fig. 21.5 Regla de la mano derecha. (Generadores).

21.3 Estudio del motor de corriente continua

Es una máquina que transforma la energía eléctrica (en forma de corriente continua) en energía mecánica (movimiento de máquinas u otros dispositivos). Su construcción es idéntica a la dinamo, puesto que la dinamo es una máquina reversible, que puede trabajar de generador o motor.

21.3.1 *Fundamento del motor*

Se basa en la ley de Biot y Savart, que dice: *en todo conductor eléctrico, recorrido por una corriente y bajo la acción de un campo magnético, se creará una fuerza que tenderá a desplazarlo y cuyo valor será:*

$$F = B \cdot L \cdot I$$

Siendo:

F = fuerza creada en el conductor
B = inducción del campo magnético
L = longitud del conductor
I = corriente que circula por el conductor.

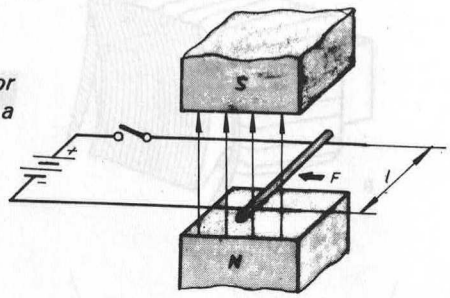


Fig. 21.7 Fundamento del motor.

21.3.2 *Fuerza ejercida sobre los conductores*

En la fig. 21.7, puede comprobarse la ley anterior, observando que, al cerrar el circuito, el conductor se desplaza en un sentido que viene dado por la regla de la mano izquierda: *"disponiendo los tres dedos de la mano izquierda formando un triedro, cuando el medio señale el sentido de la corriente y el índice el campo magnético, el pulgar señalará el sentido de la fuerza (movimiento)".*

Aplicando la regla de la mano izquierda al motor de la figura 21.8, se verá que en cada conductor se crea una fuerza tangencial, que se sumará en todos ellos, creando el par motor resultante.

21.3.3 *Inversión del sentido de giro*

Para invertir el sentido de giro del motor será suficiente invertir el sentido del campo magnético, o la corriente que circula por el inducido.

21.3.4 *Funcionamiento como generador*

Para que la máquina tenga el mismo sentido de giro, funcionando como generador y como motor, se debe invertir el sentido de la corriente en el inducido y mantener la polaridad magnética de los polos (fig. 21.9).

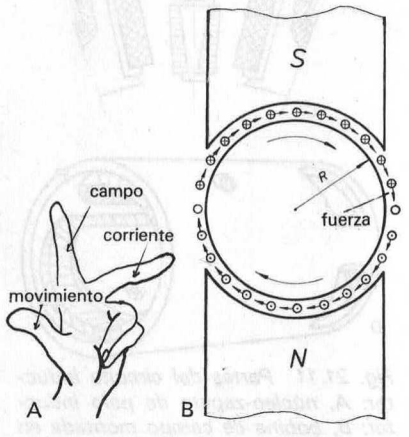


Fig. 21.8 Aplicación de la regla de la mano izquierda: A, regla de la mano izquierda; B, aplicación al motor.

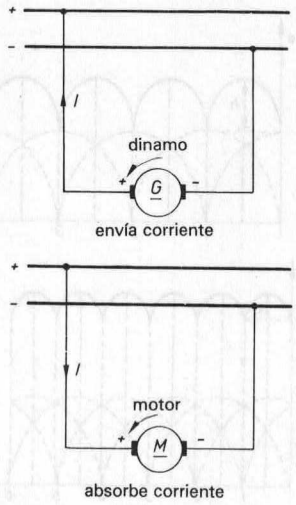


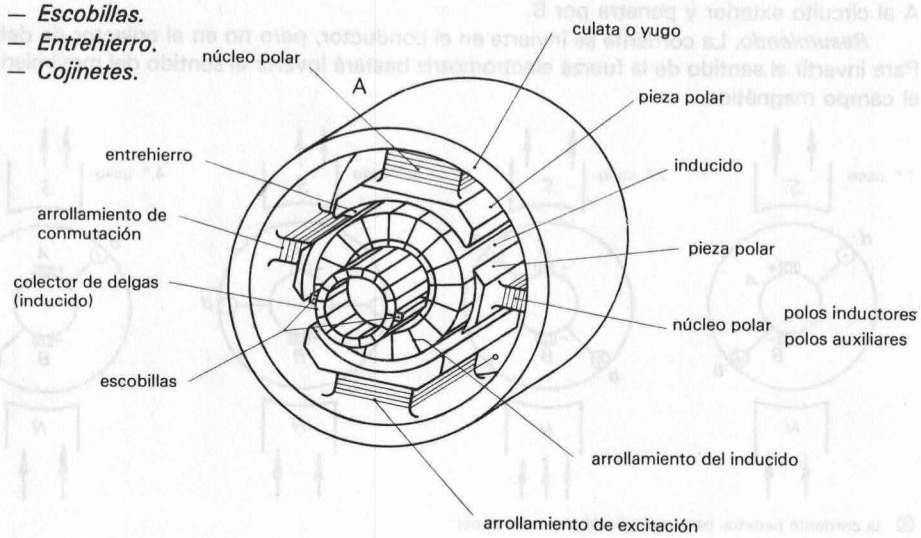
Fig. 21.9 Sentido de giro y corrientes en una dinamo y motor.

21.4 Constitución de las máquinas de corriente continua

Debido a que el proceso de conversión de la energía mecánica en energía eléctrica es reversible, la constitución de la máquina es idéntica para una dinamo o un motor.

La máquina de corriente continua consta, básicamente, de las partes siguientes (fig. 21.10):

- *Inductor.*
- *Inducido.*
- *Colector.*
- *Escobillas.*
- *Entrehierro.*
- *Cojinetes.*



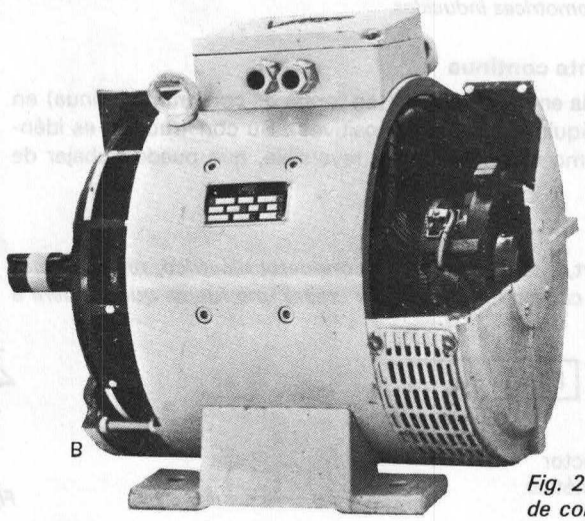


Fig. 21.10 A, constitución de una máquina de corriente continua; B, vista de un motor de corriente continua.

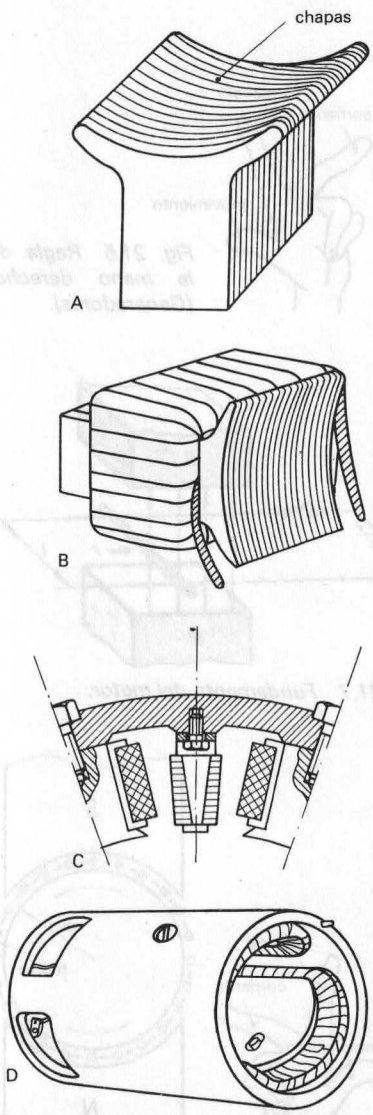


Fig. 21.11 Partes del circuito inductor: A, núcleo-zapata de polo inductor; B, bobina de campo montada en el núcleo polar; C, polo auxiliar de conmutación; D, inductor sin polos auxiliares.

21.4.1 *Inductor*

Es la parte de la máquina destinada a producir el campo magnético; en las máquinas de corriente continua también se llama estator (parte fija de la máquina).

El inductor consta de las partes siguientes:

21.4.1.1 *Culata*

Sirve para cerrar el circuito magnético construida de hierro fundido o de acero dulce. Esta parte de la máquina también se llama carcasa.

21.4.1.2 *Polos inductores*

Destinados a obtener el máximo flujo con el mínimo de corriente de excitación; son imanes permanentes en algunos casos, y, en la mayoría, electroimanes sujetos a la carcasa. Están constituidos por un núcleo de chapa magnética, llamado polo principal, y una expansión polar o zapata; suele emplearse el acero dulce para la construcción del polo y expansión polar.

El número de polos será siempre par, puesto que el circuito magnético comprende un polo Norte y un polo sur, llamándose las máquinas: bipolares (2 polos), tetrapolares (4 polos), hexapolares (6 polos), etc.

21.4.1.3 *Polos auxiliares*

Empleados en las máquinas de mediana y gran potencia para mejorar la conmutación de la máquina (producción de chispas entre el colector y escobillas). En cuanto a construcción son idénticos a los polos inductores.

21.4.1.4 *Arrollamientos del sistema inductor*

Lo forman las bobinas de excitación de los polos auxiliares; para su construcción se emplean alambres y pletinas de cobre o aluminio (fig. 21.11).

21.4.2 *Inducido*

Es la parte giratoria de la máquina, llamada tambien rotor (fig. 21.12).

Consta de una pieza cilíndrica montada sobre un eje, formada por un núcleo de chapas magnéticas (chapa de dinamo), aisladas entre sí por medio de barnices.

El espesor de las chapas suele ser de 0,5 mm.

Cada chapa dispone de ranuras, donde se alojan las espiras de las bobinas del inducido.

Las bobinas constituyen el arrollamiento del inducido destinado a la producción de fuerza electromotriz.

21.4.3 *Colector*

Es un cilindro formado por delgas de cobre trapezoides, aisladas entre sí y conectadas cada una a una bobina del inducido. El aislante entre delgas es de mica; y su espesor está comprendido entre 0,8 y 1 mm (fig. 21.13).

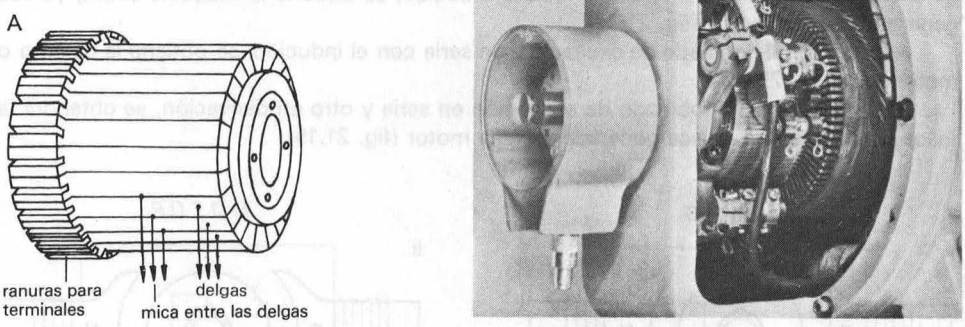


Fig. 21.13 Colector: A, partes constituyentes; B, vista de un colector.

21.4.4 *Escobillas*

Son piezas de carbón, o metálicas, que mantienen el contacto por frotación entre el colector de delgas (parte móvil) y el circuito exterior (parte fija) (fig. 21.14).

21.4.5 *Entrehierro*

Es el espacio comprendido entre las expansiones polares y el inducido; suele ser, normalmente, de 1 a 3 mm, lo imprescindible para que no haya rozamiento entre la parte fija y la móvil.

21.4.6 *Cojinetes*

Son piezas de acero que sirven de apoyo y fijación del eje de la máquina. Los tipos principales son: de rodadura y de resbalamiento (fig. 21.15).

21.5 Excitación de las máquinas de corriente continua

Al estudiar el fundamento de la dinamo o del motor, se parte de la existencia de un campo magnético. Este campo magnético lo producen los polos, que pueden estar construidos con imanes permanentes (campos débiles), o bien con electroimanes provistos de devanados inductores, llamados también *bobinados de excitación*. De acuerdo con la conexión elegida para el bobinado de excitación, reciben un nombre especial, tanto los generadores como los motores.

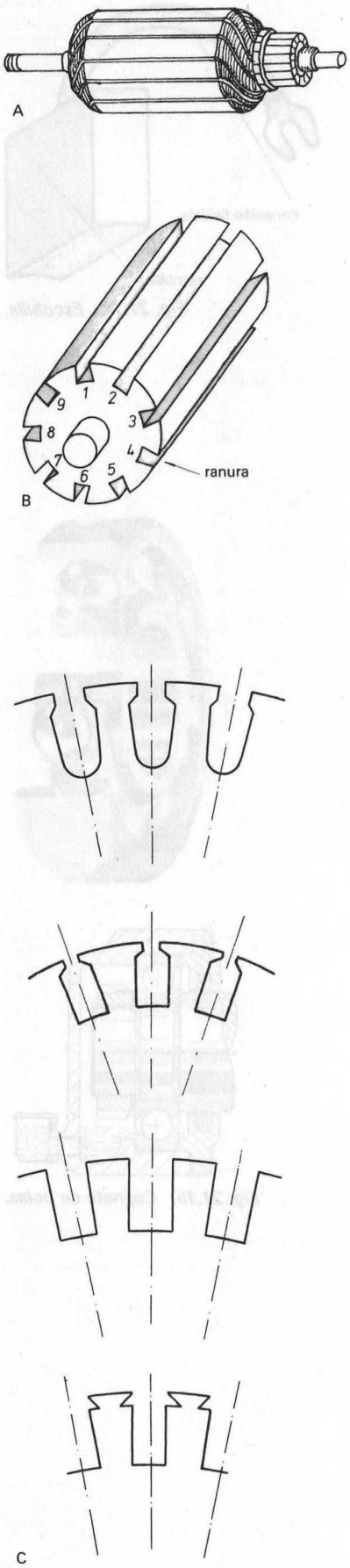


Fig. 21.12 Inducido de una máquina de corriente continua: A, inducido bobinado; B, ranuras de inducido; C, tipos de ranuras.

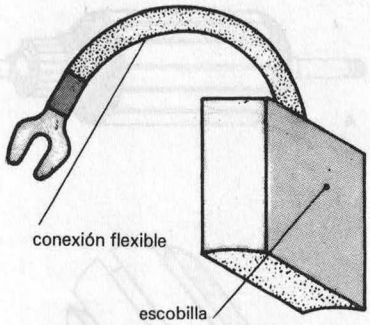
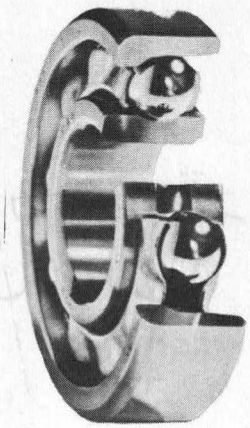


Fig. 21.14 Escobilla.



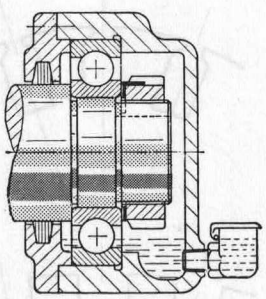


Fig. 21.15 Cojinete de bolas.

21.5.1 *Excitación independiente*

El devanado inductor recibe la energía de una fuente especial de alimentación, por ejemplo una batería de acumuladores o bien, otra de corriente continua, que no tenga conexión con el inducido. Tiene la ventaja de hacer totalmente independiente el circuito de excitación, del de inducido (circuito de potencia); y la desventaja de necesitar una fuente de alimentación de corriente continua, para funcionar como generador, y dos fuentes para hacerlo como motor (fig. 21.16).

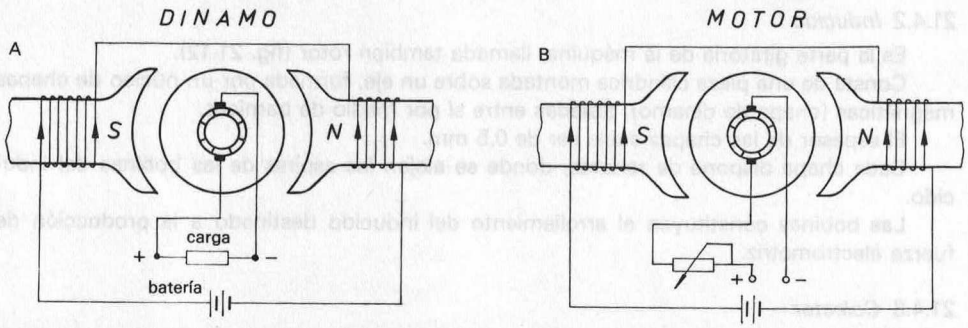


Fig. 21.16 Generador de excitación independiente: A, dinamo de excitación independiente; B, motor de excitación independiente.

21.5.2 *Autoexcitación*

El devanado inductor toma la corriente del inducido de la máquina, y de ahí el nombre de *máquinas autoexcitadas.*

En los generadores, la autoexcitación es posible gracias al *magnetismo remanente*, que retienen las masas polares.

Los motores alimentan, directamente de la red, el circuito de excitación. Si el bobinado de excitación se conecta en paralelo con el inducido, se obtiene la máquina shunt; ya sea generador ya sea motor (fig. 21.17).

Al conectar el bobinado de excitación, en serie con el inducido, se obtiene la dinamo o motor serie (fig. 21.18).

Si se conectan un bobinado de excitación en serie y otro en derivación, se obtendrá la máquina compound; ya sea generador ya sea motor (fig. 21.19).

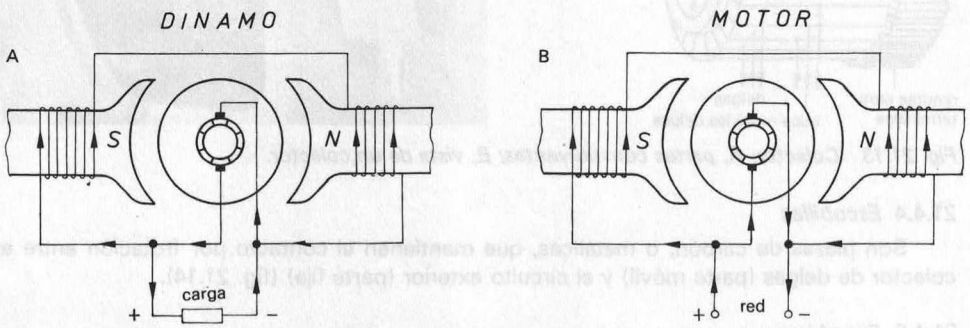


Fig. 21.17 Generador y motor de excitación shunt: A, dinamo shunt; B, motor shunt.

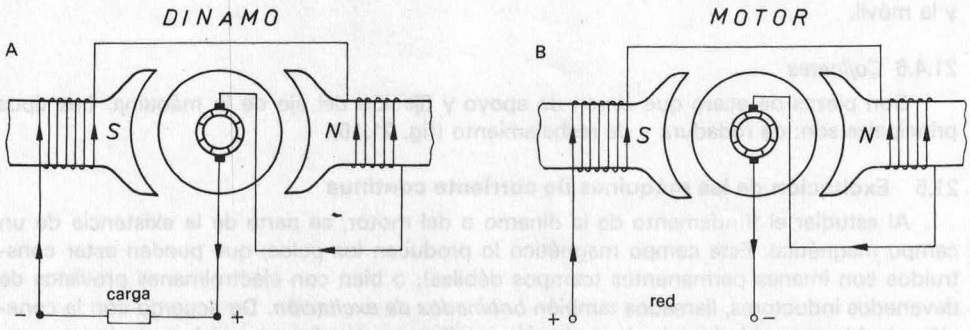


Fig. 21.18 Generador y motor de excitación serie: A, dinamo serie; B, motor serie.

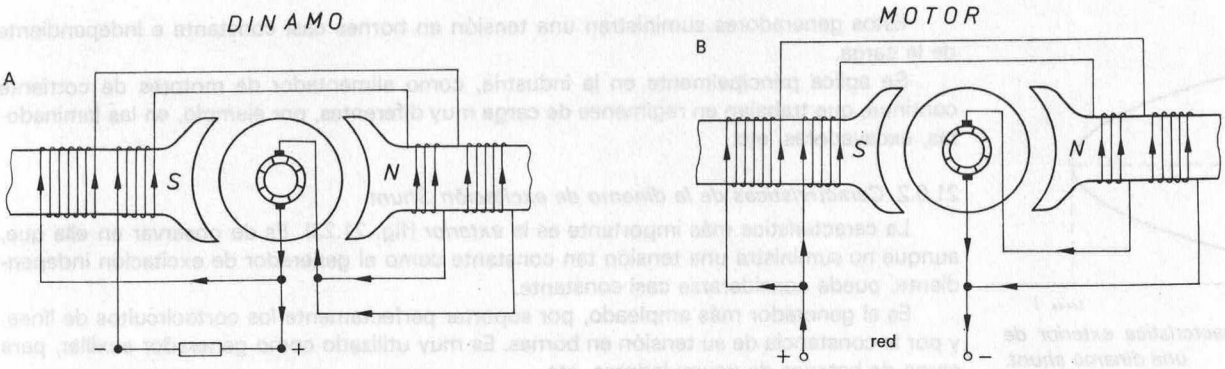


Fig. 21.19 Generador y motor de excitación compound: A, dinamo compound; B, motor compound.

21.6 Principales características de los generadores de corriente continua

Dado que la dinamo es un generador de energía eléctrica, hay que comenzar el estudio de las características, por la fuerza electromotriz inducida, común a todos los generadores.

Al girar el inducido y cortar las líneas de fuerza, que forman el circuito magnético, se inducirá la fuerza electromotriz siguiente:

$$E = N \cdot \Phi \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{P}{C} \cdot 10^{-8}\ (V)$$

E = fuerza electromotriz inducida en voltios
N = número total de conductores del inducido
n = velocidad del inducido en r.p.m.
Φ = flujo en Maxwells
P = pares de polos de la máquina
C = pares de ramas en paralelo del bobinado del inducido.

El valor indicado corresponde al generador trabajando en vacío, o sea con el interruptor del circuito exterior abierto (fig. 21.20), indicando entonces la lectura del voltímetro:

$$V_b = E$$

Al cerrar el interruptor, se conectará una resistencia y circulará una corriente I_j, produciendo una caída de tensión interior, por causa de la resistencia interna del bobinado, de forma que el voltímetro señalará:

$$V_b = E - r_i \cdot I_i - 2\,u_e$$

siendo:

V_b = Tensión en bornas del receptor en voltios
E = Fuerza electromotriz en carga en voltios (V)
$r_i \cdot I_i$ = Caída de tensión interna en voltios
$2\,u_e \simeq 2$ V (caída de tensión en las escobillas)

Los generadores se construyen para tensiones nominales de 110, 220 y 440 V.

El estudio de las restantes características se hará, independientemente, para cada tipo de generador.

21.6.1 *Características de la dinamo de excitación independiente*

Las características son unas curvas que indican cómo va a funcionar la máquina, al conectarla a un circuito exterior. El conocimiento del comportamiento de la máquina se logrará sabiendo la relación entre la tensión exterior, corriente que proporcione y corriente en el circuito de excitación (campo magnético creado).

Una característica que sirve para el cálculo de otras es la de vacío (curva de magnetismo) (fig. 21.21) con la particularidad de tener la misma forma en todos los tipos de máquinas.

La característica más interesante es la que indica la tensión de alimentación de un circuito exterior, en función de la corriente que absorban los receptores. Se llama característica exterior y, presenta la forma indicada en la figura 21.22.

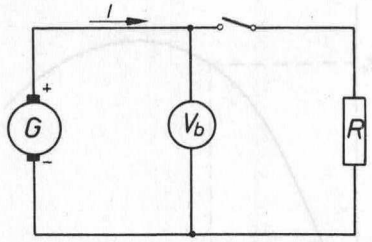


Fig. 21.20 Generador en vacío.

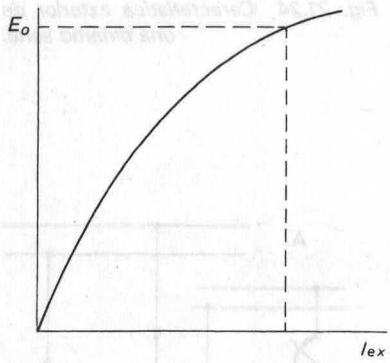


Fig. 21.21 Características de vacío de un generador de corriente continua.

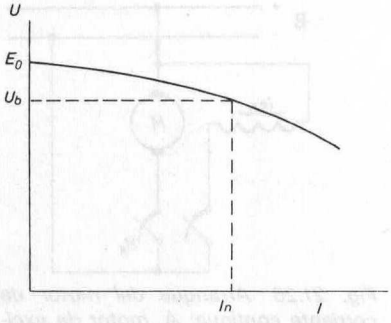


Fig. 21.22 Característica exterior de una dinamo de excitación independiente.

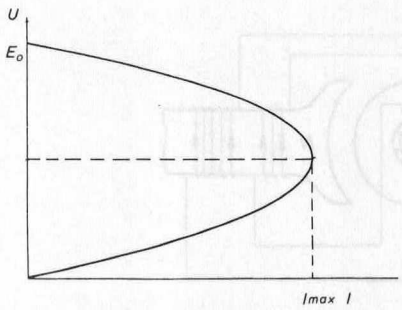


Fig. 21.23 Característica exterior de una dinamo shunt.

Estos generadores suministran una tensión en bornes casi constante e independiente de la carga.

Se aplica principalmente en la industria, como alimentador de motores de corriente continua, que trabajan en regímenes de carga muy diferentes, por ejemplo, en las laminadoras, excavadoras, etc.

21.6.2 *Características de la dinamo de excitación Shunt*

La característica más importante es la *exterior* (fig. 21.23). Es de observar en ella que, aunque no suministra una tensión tan constante como el generador de excitación independiente, puede considerarse casi constante.

Es el generador más empleado, por soportar perfectamente los cortocircuitos de línea, y por la constancia de su tensión en bornas. Es muy utilizado como generador auxiliar, para carga de baterías de acumuladores, etc.

21.6.3 *Características de la dinamo de excitación serie*

La característica exterior (fig. 21.24), es muy inestable, variando mucho la tensión cuando varía la carga.

Nunca se empleará como distribuidor de energía a tensión constante; solamente interesa como máquina adicional, para mantener la tensión constante al final de una línea.

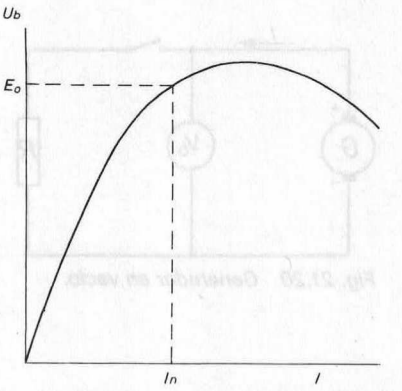


Fig. 21.24 Característica exterior de una dinamo serie.

21.6.4 *Características de la dinamo de excitación compound*

La característica de vacío es análoga a la del generador shunt, puesto que sólo interviene el circuito en derivación.

Haciendo diferentes combinaciones entre los bobinados *serie* y shunt se pueden obtener los siguientes tipos de dinamos:

- *Dinamo compound.* Cuando actúan los dos bobinados en el mismo sentido.
- *Dinamo hipercompound.* Cuando predomina el efecto del bobinado en serie.
- *Dinamo hipocompound*: Cuando predomina el efecto del bobinado shunt.
- *Dinamo anticompound.* Cuando los efectos de ambos bobinados son opuestos.

La característica exterior de estos generadores se indica en la figura 21.25, observando que existe una característica que proporciona una tensión creciente con la carga (hipercompound); y la compound, que suministra una tensión constante a cualquier carga.

Su principal aplicación está destinada a tracción eléctrica, grúas, laminación, etc.

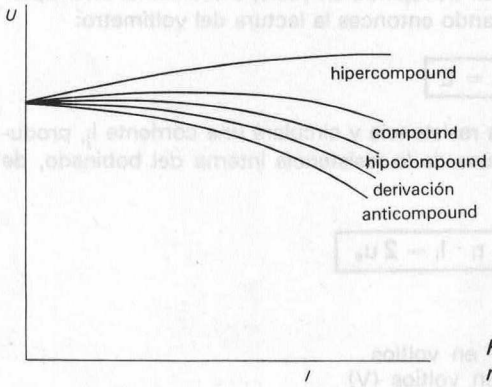


Fig. 21.25 Característica exterior de una dinamo compound.

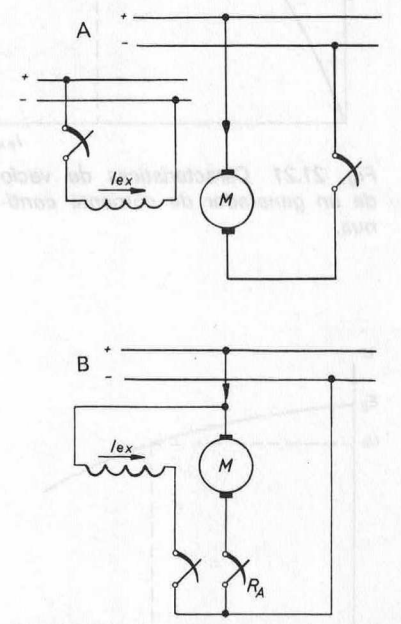


Fig. 21.26 Arranque del motor de corriente continua: A, motor de excitación independiente; B, motor de excitación shunt con reóstato de arranque.

21.7 **Motor de corriente continua**

Al conectar cualquier tipo de motor de corriente continua a la red, girará el inducido, induciéndose en cada conductor una fuerza electromotriz que, según la ley de Lenz, será opuesta a la causa que la ha producido, siendo en este caso la tensión de red. Por este motivo, se le llama *fuerza contraelectromotriz*, y su valor algebraico es idéntico al de la fuerza electromotriz del generador (ver 21.6). Depende directamente de la velocidad del motor.

En el motor se cumple que:

$$V_b = E' + r_i \cdot I_i + 2\,u_e$$

Siendo:

V_b = tensión de la red en voltios
E' = fuerza contraelectromotriz en voltios
$r_i \cdot I_i$ = caída de tensión interna en voltios
$2\,u_e \simeq 2$ V (caída de tensión en las escobillas)

21.7.1 *Arranque del motor*

El valor de la corriente absorbida por un motor será:

$$I_i = \frac{V_b - E' - 2u_e}{r_i}$$

como al principio: $E' = 0$ (por ser nula la velocidad), quedaría:

$$I_i = \frac{V_b - 2u_e}{r_i}$$

y teniendo en cuenta que la r_i es muy pequeña en los motores, resultaría que, en el arranque, la intensidad absorbida por un motor sería muy elevada, comparada con la corriente nominal, produciendo aumentos de temperatura muy peligrosos para la máquina.

Un sistema para evitar este brusco arranque es: intercalar, en serie con el inducido, una resistencia de arranque, o bien, aplicar una tensión muy pequeña al principio, hasta que la máquina adquiera velocidad y por tanto aumente el valor de la E' (fig. 21.26); entonces, disminuirá el valor de la corriente I_i, con lo que se podrá aumentar la tensión en bornes del inducido, hasta su valor nominal.

21.7.1.1 *Características de los motores*

El estudio de un motor tambien puede hacerse por las curvas características; la más importante será la *característica mecánica*, que representa la variación de velocidad en función del par.

Los motores de *excitación independiente* y *excitación shunt*, presentan características similares, por estar alimentados a tensión constante. Su característica mecánica (fig. 21.27) muestra la constancia de la velocidad a cualquier carga. Su campo de aplicación estará indicado para movimiento de máquinas herramientas; modernamente el motor de excitación independiente es el más adecuado para poder ser regulado con automatismos electrónicos.

La característica mecánica del *motor serie* (fig. 21.28) es muy variable, tendiendo a embalarse en vacío y a pararse cuando se sobrepasa la plena carga. Tiene la ventaja de presentar un gran par de arranque. Su aplicación es muy adecuada en tracción eléctrica, grúas y montacargas, etc.

El motor compound presenta características intermedias entre el motor shunt y el serie. Uno de los tipos más empleados es el *compound aditivo* (se suman los flujos), cuya característica mecánica (fig. 21.29) indica un buen par de arranque y variación en la velocidad de vacío a plena carga. Es muy utilizado en servicios duros: tracción eléctrica, grúas, trenes de laminación, etc.

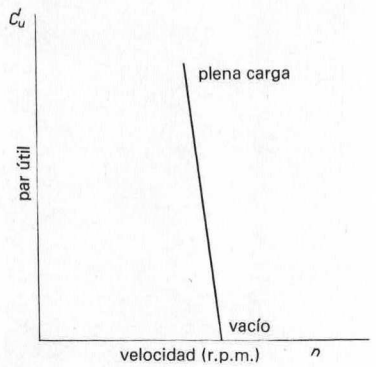


Fig. 21.27 Característica mecánica de un motor shunt.

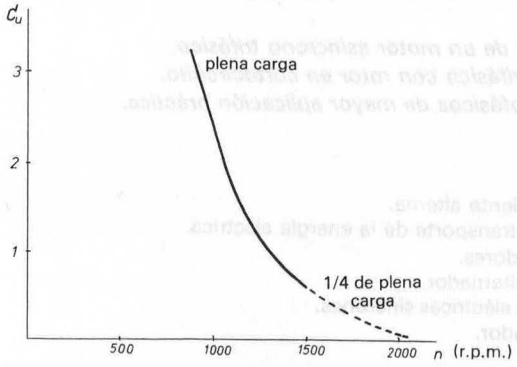


Fig. 21.28 Característica mecánica de un motor serie.

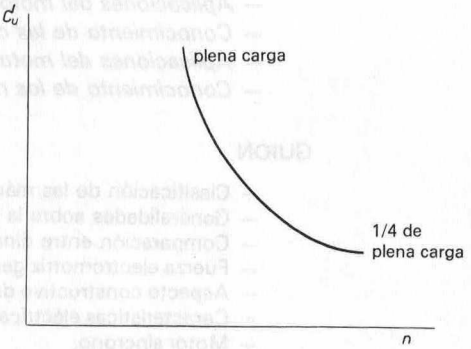


Fig. 21.29 Característica mecánica de un motor compound.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Empleo actual de las máquinas de corriente continua.

— Dibujar los esquemas eléctricos correspondientes a los generadores y motores de corriente continua.

— Comparación entre las principales características de las dinamos.

CUESTIONARIO

— ¿En qué se diferencia una máquina eléctrica de un aparato eléctrico?

— ¿Es suficiente mover un conductor en cualquier dirección, bajo la acción de un campo magnético para inducir una f.e.m.?

— Representar en un gráfico la tensión resultante obtenida en una dinamo experimental, que tuviese 4 espiras en el inducido.

— Aplicar la regla de la mano izquierda a un motor bipolar, explicando las diferentes posibilidades de su aplicación.

— Constitución de una máquina de corriente continua de cuatro polos.

— ¿Qué misión desempeña la culata de una máquina de corriente continua? ¿Podría funcionar si ésta no existiera? ¿Y si fuera de aluminio?

— ¿Cómo funcionaría una máquina que tuviese un entrehierro de varios centímetros?

— Dibujar el circuito de excitación de todos los tipos de generadores compound de máquinas bipolares, señalando los polos con sus bobinas de excitación y su conexión entre ellas.

— ¿Cómo es posible la autoexcitación en las dinamos serie, shunt y compound?

— Explica la característica exterior de una dinamo shunt.

— Explicar cómo se debe conectar un motor de corriente continua a la red, indicando las precauciones en caso de arranque directo.

BIBLIOGRAFIA

ROSENBERG, R., *Reparación de motores eléctricos,* G. Gili, Barcelona 1959.
CASAS, J., *Física y Química 1*, Bruño-Edebé, Barcelona, 1975.
Máquinas de corriente continua, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1973.
Catálogos de casas comerciales (De Lorenzo, Vascat).

Tema 22. Constitución, funcionamiento y características de las máquinas de corriente alterna. Alternadores, motores trifásicos y motores monofásicos

OBJETIVOS

— *Conocimiento de los sistemas de producción de la energía eléctrica.*

— *Diferenciación entre el generador de corriente continua y el de alterna.*

— *Conocimiento de los materiales empleados en la construcción de las máquinas síncronas.*

— *Interpretación del funcionamiento de un alternador por sus curvas características.*

— *Aplicaciones del motor síncrono.*

— *Conocimiento de las características de un motor asíncrono trifásico.*

— *Aplicaciones del motor asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito.*

— *Conocimiento de los motores monofásicos de mayor aplicación práctica.*

GUION

— Clasificación de las máquinas de corriente alterna.
— Generalidades sobre la producción y transporte de la energía eléctrica.
— Comparación entre dinamos y alternadores.
— Fuerza electromotriz generada en un alternador.
— Aspecto constructivo de las máquinas eléctricas síncronas.
— Características eléctricas de un alternador.
— Motor síncrono.
— Fundamento del motor asíncrono trifásico.
— Aspecto constructivo de los motores asíncronos trifásicos:
  Estator.
  Entrehierro.
  Rotor:
— Características mecánicas de los motores asíncronos trifásicos.
— Motores monofásicos:
  Motores monofásicos de inducción o asíncronos.
  Motores monofásicos de colector.

PUNTOS CLAVE

— Conocer básicamente el generador de energía eléctrica industrial.
— Estudio de las características eléctricas del motor industrial.
— Tipos de motores asíncronos trifásicos.
— Necesidad del motor monofásico y sus aplicaciones.

EXPOSICION DEL TEMA

22.1 Clasificación de las máquinas de corriente alterna

Las máquinas de corriente alterna se dividen en tres grupos:

— *Máquinas síncronas;*
— *Máquinas asíncronas;*
— *Transformadores*

En este tema se estudian los dos grupos primeros, y los transformadores en el tema siguiente.

22.1.1 *Máquinas síncronas*

Son las que giran a una velocidad constante, que depende de la frecuencia de la red y del número de polos de la máquina. Las máquinas síncronas se denominan ***alternadores o motores***, según que transformen la energía mecánica en eléctrica o viceversa. Como sucedía en corriente continua, las máquinas síncronas son idénticas en cuanto a construcción, pudiendo funcionar indistintamente como generador o motor, aunque el campo de mayor aplicación es de generador.

22.1.2 *Máquinas asíncronas*

Son las que giran a una velocidad diferente a la de sincronismo, aunque muy próxima a ella. También pueden funcionar estas máquinas indistintamente, como *generadores* o *motores*, por ser reversibles, si bien su aplicación principal es el funcionamiento como motor.

22.2 Generalidades sobre la producción y transporte de la energía eléctrica

Actualmente, la energía eléctrica, a escala industrial, es producida por los alternadores.

El alternador es una máquina que transforma la energía mecánica, que recibe por su eje, en energía eléctrica, suministrándola, por sus bornes, en forma de corriente alterna.

Los alternadores se instalan en edificios llamados *centrales*. Si aprovechan la energía producida por el agua, se llaman centrales *hidráulicas* (fig. 22.1); si utilizan combustibles (carbón, aceite pesado) que actúan sobre las turbinas de vapor, moviendo al generador, se llaman centrales *térmicas*. Actualmente, se construyen centrales *nucleares*, aprovechando la enorme cantidad de calor desprendido en las reacciones nucleares en cadena de algunas sustancias, como uranio y plutonio (fig. 22.2).

Una vez producida la energía eléctrica, en forma de corriente alterna, se debe transportar al sitio de consumo, normalmente a muchos kilómetros de distancia. Para hacer el transporte, más económicamente, es necesario elevar la tensión de salida del alternador por medio de un *transformador elevador*, instalado en la misma central; del transformador partirá la línea de transporte en A.T. hasta las proximidades del centro de consumo, donde volverá a reducirse la tensión por medio de otro *transformador*.

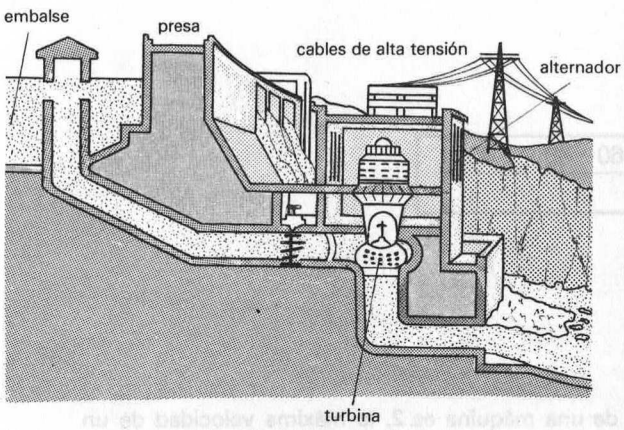


Fig. 22.1 Central hidráulica.

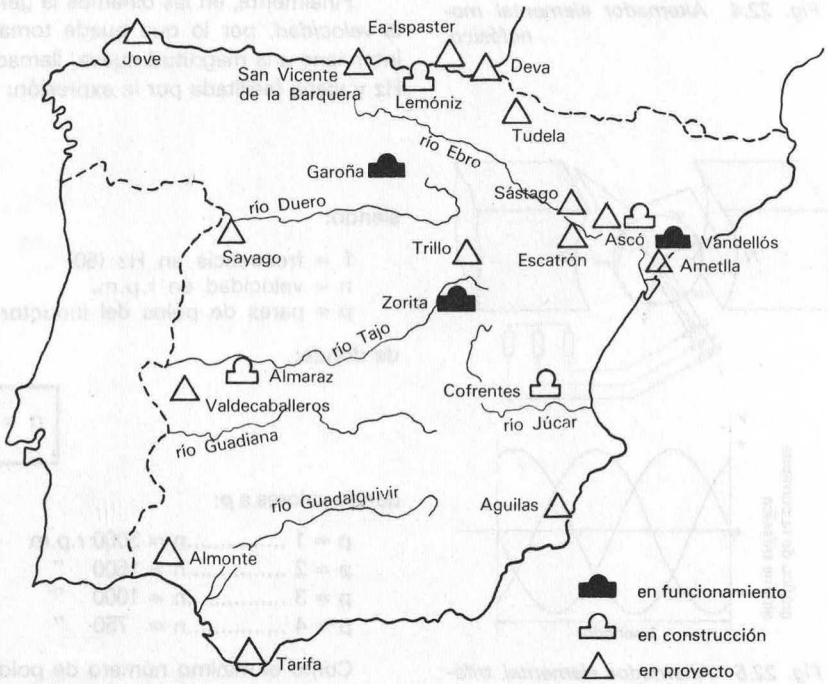


Fig. 22.2 Centrales nucleares en España.

22.3 Comparación entre dinamos y alternadores

Al estudiar la dinamo se explicó que, antes de colocar el colector, la f.e.m. generada era alterna; por tanto, la obtención de corriente alterna es más sencilla que la producción de corriente continua, por no existir el colector que es la parte más complicada de la máquina.

La construcción de un alternador es semejante a la de una dinamo; pero existen algunas diferencias fundamentales (fig. 22.3).

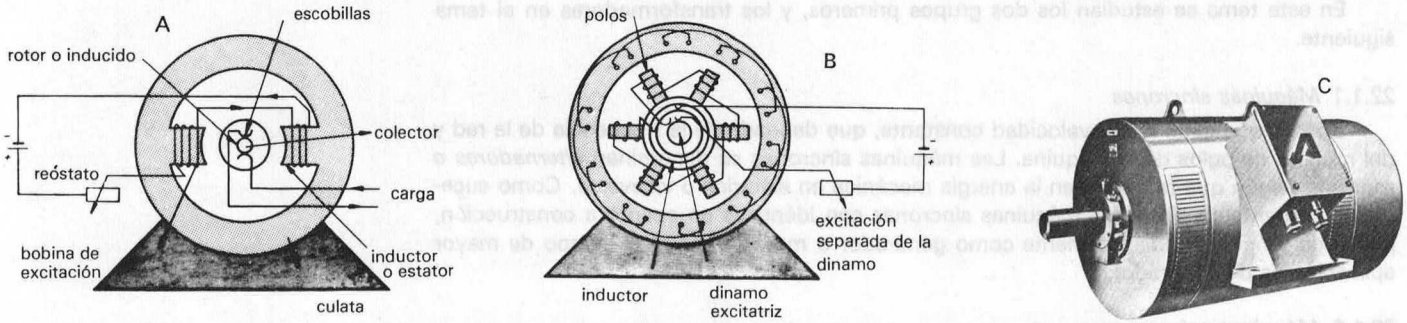


Fig. 22.3 Comparación entre dinamo y alternador: A, constitución de una dinamo; B, constitución de un alternador; C, vista de un alternador trifásico.

22.3.1 *Anillos rozantes*

Los alternadores carecen de *colector de delgas*, sustituidos por *anillos rozantes*, que alimentarán el bobinado giratorio. Los anillos rozantes se construyen de bronce, cobre o acero y sobre ellos frotan las escobillas de carbón.

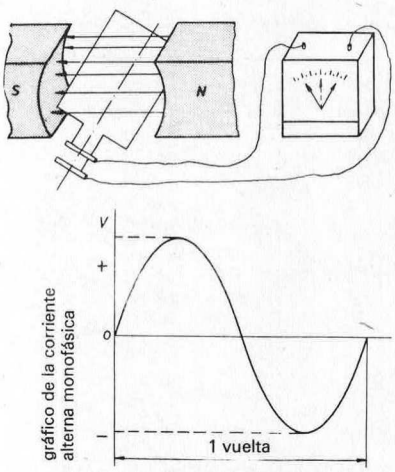


Fig. 22.4 Alternador elemental monofásico.

22.3.2 *Bobinados*

En las dinamos, los extremos de las bobinas del inducido se sueldan a las delgas, formando un *bobinado cerrado*; mientras que en los alternadores los *bobinados son abiertos* y tienen, por tanto, un principio y un final.

22.3.3 *Inducido e inductores*

En las dinamos la *parte estática es siempre el circuito inductor*. En los alternadores la parte fija puede ser el inductor o el inducido; aunque, normalmente, el *inductor es la parte giratoria* y, por tanto, el circuito de potencia será fijo (inducido). Esta forma de construcción permitirá a los alternadores de gran potencia realizar fácilmente las conexiones del inducido con el transformador.

22.3.4 *Velocidad de giro*

Finalmente, en las dinamos la generación de f.e.m. no viene fijada exclusivamente por la *velocidad*, por lo que puede tomar cualquier valor; sin embargo, en los alternadores interviene una magnitud nueva, llamada *frecuencia* de la corriente alterna, que suele ser 50 Hz y viene facilitada por la expresión:

$$f = \frac{n \cdot p}{60}$$

siendo:

f = frecuencia en Hz (50)
n = velocidad en r.p.m.
p = pares de polos del inductor.

de donde:

$$n = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p}$$

dando valores a *p*:

p = 1 .....n = 3000 r.p.m
p = 2 .....n = 1500 "
p = 3 .....n = 1000 "
p = 4 .....n = 750 "

Como el mínimo número de polos de una máquina es 2, la máxima velocidad de un alternador será 3.000 r.p.m.

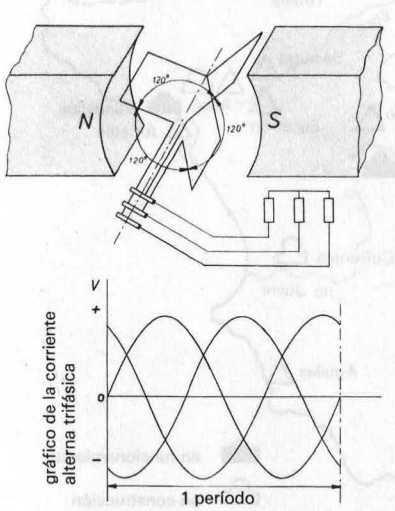


Fig. 22.5 Alternador elemental trifásico.

22.4 Fuerza electromotriz generada en un alternador

Si se hace girar una espira, cuyos extremos estén unidos a dos anillos, bajo la acción de un campo magnético Norte-Sur (fig. 22.4), se genera una f.e.m. alterna; el valor de la frecuencia dependerá de la velocidad de giro, para un número determinado de polos.

Como la producción y el transporte de la energía son más rentables en corriente trifásica, los alternadores se construyen para este tipo de corriente.

22.4.1 *Fundamento*

Si se montan tres bobinas, desfasadas 120° entre sí (fig. 22.5), y se les hace girar dentro de un campo magnético Norte-Sur, se crea una f.e.m. alterna en cada una de ellas desfasadas 120°, como indica el diagrama de corrientes trifásicas en función del tiempo, de la figura 22.5.

22.4.2 *Tipos de bobinados*

Los alternadores reales disponen, en el inducido, de bobinados de corriente alterna monofásicos o trifásicos, según se generen 1 ó 3 fuerzas electromotrices. Cada bobinado, por ser abierto, tiene un principio y un final; en los bobinados trifásicos los principios se designan con las letras *U, V, W* y los finales con *X, Y, Z*. En los monofásicos el principio es *U* y el final *X*.

22.4.3 *Conexiones trifásicas*

El bobinado trifásico da lugar a las conexiones en estrella o triángulo; para conectar el bobinado en estrella se unen los finales *XYZ* de las tres fases formando un punto común que es el *neutro*, dejando libres los tres principios *UVW* (fig. 22.6).

Para conectar el bobinado de un alternador en triángulo, se une el final de cada fase con el principio de la siguiente *(X* con *V) (Y* con *W)* y *(Z* con *U).*

22.4.4 *Potencia suministrada por un alternador trifásico*

Es la misma, ya esté conectado en estrella, ya lo esté en triángulo (fig. 22.6):

$$\left.\begin{aligned} P_{\curlywedge} &= 3 \cdot V_f \cdot I_f = 3 \cdot \frac{V_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \\ P_{\triangle} &= 3 \cdot V_f \cdot I_f = 3 \cdot V_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \end{aligned}\right\} \text{ Por tanto: } P_{\curlywedge} = P_{\triangle}$$

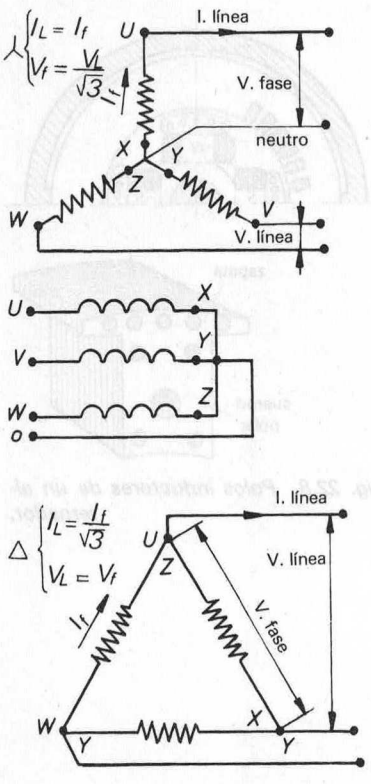


Fig. 22.6 Conexiones en un bobinado de un alternador trifásico.

22.4.5 *F.e.m. inducida por fase*

La f.e.m. generada en cada fase del inducido de un alternador es:

$$E = K \cdot 4{,}44 \cdot N_S \cdot f \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ (V)}$$

siendo:

E = f.e.m. eficaz en voltios
K = coeficiente del bobinado
N_S = número de espiras en serie por fase
Φ = flujo por polo en Maxwells
f = frecuencia en Hz.

El valor de la f.e.m. corresponde al alternador trabajando en vacío. Cuando el alternador trabaje en carga, aparecen unos fenómenos más complejos que en corriente continua, además de la caída de tensión óhmica, que disminuyen la tensión en bornas.

El alternador necesita de una fuente de corriente continua para alimentar el circuito inductor; normalmente dispone de una excitatriz acoplada a su eje.

22.5 Aspecto constructivo de las máquinas eléctricas síncronas

Son las que giran a una velocidad constante que depende únicamente de la frecuencia y del n.° de polos.

22.5.1 *Máquinas de polos lisos y polos salientes*

Desde el punto de vista constructivo, las máquinas síncronas se dividen en dos grupos: máquinas con inductor de polos lisos o con inductor de polos salientes (fig. 22.7). Las máquinas de polos lisos se llaman también *turbo-alternadores* y funcionan a 1500 ó 3000 r.p.m. (con el eje horizontal) en las centrales térmicas o nucleares. Las máquinas con inductor de polos salientes pueden ser de eje horizontal o vertical, empleándose en centrales hidráulicas.

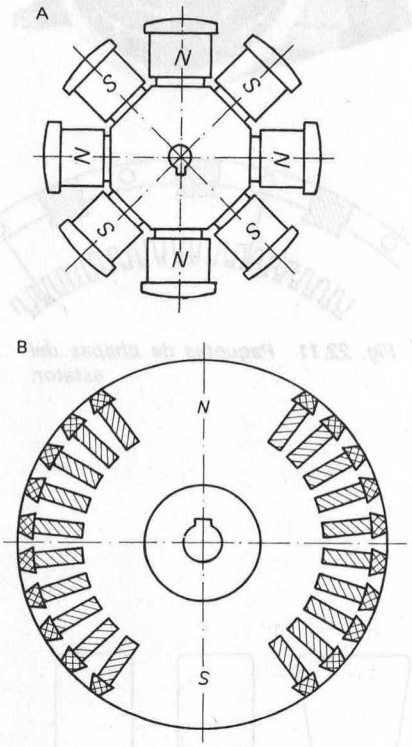


Fig. 22.7 Inductores giratorios: A, rotor de polos salientes; B, rotor de polos lisos.

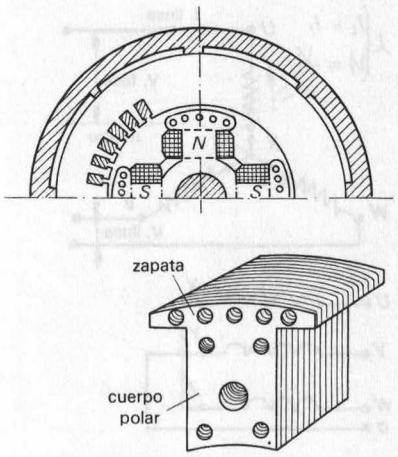


Fig. 22.8 Polos inductores de un alternador.

22.5.2 *Rotor*

Puede construirse de una sola pieza de acero fundido, para máquinas de pequeña potencia; o bien, de varias piezas, para máquinas de mayor potencia. Los polos del rotor se construyen de acero, en una pieza, para máquinas de pequeña potencia y de chapa magnética para grandes potencias (fig. 22.8). Se ha de realizar una eficaz sujeción (cola de milano) en máquinas muy rápidas, a causa de la fuerza centrífuga (fig. 22.9).

Las bobinas polares se realizan con conductores circulares, en máquinas de potencia pequeña; y con pletina rectangular, para máquinas mayores (fig. 22.10).

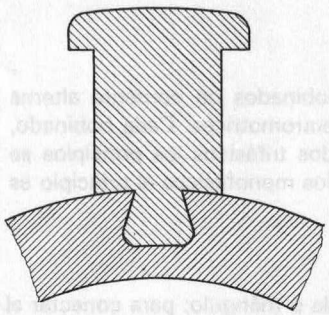


Fig. 22.9 Fijación de un polo inductor por cola de milano.

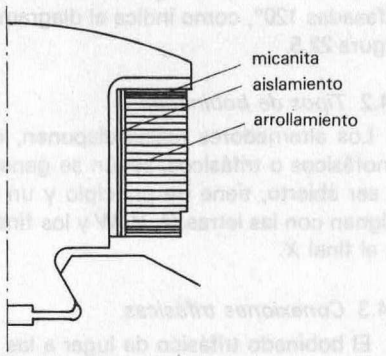
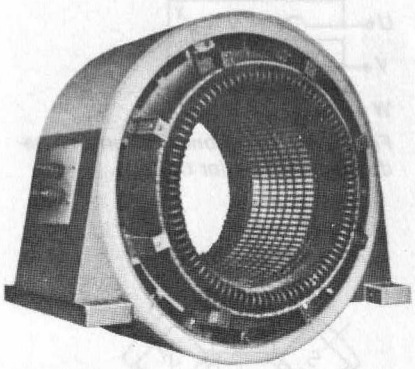


Fig. 22.10 Bobina polar de pletina de cobre.

22.5.3 *Estator*

En las máquinas de potencia elevada la carcasa es de acero laminado. El núcleo magnético del estator está formado por chapas magnéticas de silicio, de 0,35 mm de espesor, aisladas con barniz. Cada chapa es de una sola pieza o está construida con varios sectores (fig. 22.11). También habrá de disponerse de canales de refrigeración para disipar el calor producido en el hierro y en el cobre.

Los bobinados del inducido (estator) se alojan en las ranuras del núcleo magnético (fig. 22.12). Las ranuras estatóricas presentan formas diversas, aunque son parecidas a las del rotor (fig. 22.13).



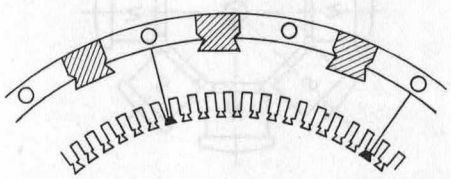


Fig. 22.11 Paquetes de chapas del estator.

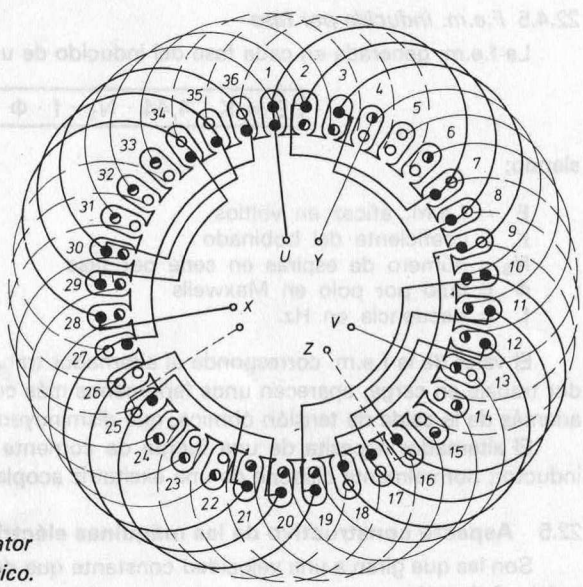


Fig. 22.12 Bobinado trifásico del estator de un alternador trifásico.

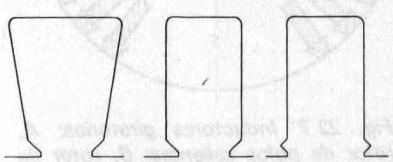


Fig. 22.13 Ranuras estatóricas.

22.5.4 *Anillos rozantes*

En cuanto a los dispositivos de toma de corriente se emplean dos anillos rozantes de bronce, cobre, o acero, aislados sobre el eje, sobre los que rozan escobillas de carbón blando; por estos anillos circulará la corriente continua que alimenta el circuito de excitación.

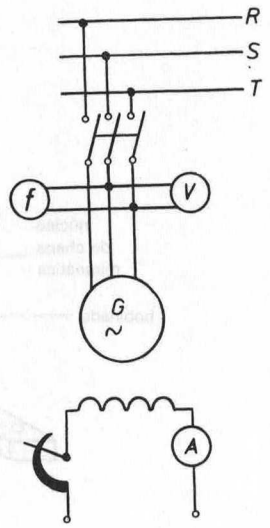
Finalmente, el apoyo del rotor se hace sobre cojinetes especiales, calculados para soportar esfuerzos muy elevados permanentemente por ser una máquina de servicio continuo.

22.6 Características eléctricas de un alternador

De igual forma que las máquinas de corriente continua podían estudiarse por medio de sus curvas características, también las máquinas de corriente alterna responden a sus curvas.

22.6.1 *Curva de vacío*

Es una curva característica común a todas las máquinas, que permite la obtención de otras indirectamente. La curva de vacío de un alternador se obtiene por variación de la corriente de excitación, midiendo la tensión generada, cuando el alternador gira a su velocidad nominal (fig. 22.14); esta curva es idéntica a la obtenida para la dinamo.



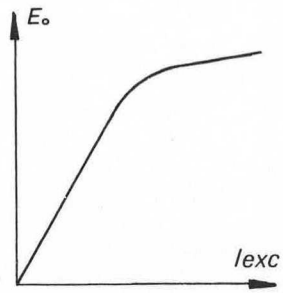


Fig. 22.14 Características de vacío de un alternador.

22.6.2 *Característica exterior*

Como en las dinamos, la característica más interesante es la que indica la variación de la tensión en bornas, al variar la corriente de carga que absorben los receptores. En los alternadores depende también del factor de potencia del receptor. Esta *característica exterior* comprende varias curvas (fig. 22.15), aunque el funcionamiento normal suele ser con cargas inductivas. La parte del gráfico de trazo discontinuo corresponde a zonas de inestabilidad superiores a la plena carga.

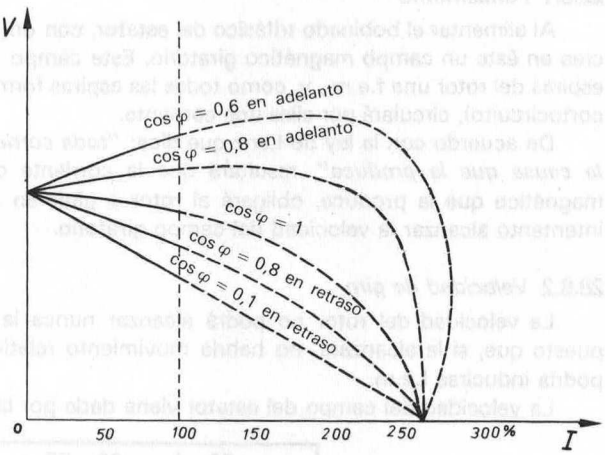


Fig. 22.15 Característica exterior de un alternador.

22.6.3 *Regulación de la tensión*

En la práctica los generadores de las centrales eléctricas deben mantener la tensión prácticamente constante; por eso disponen de unos reguladores de tensión que, al actuar sobre la corriente de excitación, varían la tensión en bornas. Actualmente, el control de la tensión se consigue por sistemas de regulación electrónicos.

22.6.4 *Aplicaciones*

El campo de aplicación de la máquina síncrona está destinado casi exclusivamente a la producción de energía eléctrica, de forma que, prácticamente, toda la energía producida en las centrales se genera con alternadores síncronos.

22.7 Motor síncrono

El funcionamiento del motor síncrono está basado en la reversibilidad que presentan los alternadores, como sucedía en la corriente continua con las dinamos.

22.7.1 *Fundamento*

Si en un alternador, conectado en paralelo con otros a una red determinada, se corta la alimentación mecánica (paro de la turbina que lo mueve), el alternador no se parará, sino que seguirá girando a la velocidad de sincronismo e incluso puede funcionar como motor absorbiendo energía de la red.

El motor síncrono gira a una velocidad constante (velocidad síncrona), pero presenta el inconveniente de no poder arrancar directamente.

22.7.2 *Aplicación*

Su aplicación principal es la de *compensador síncrono*; al trabajar en vacío (en derivación con las líneas de transporte) eleva el factor de potencia de la red, consiguiendo el efecto del condensador.

22.8 Motor asíncrono trifásico

El motor asíncrono consta de una parte fija llamada estator y una parte móvil o rotor, formada por espiras en cortocircuitos (fig. 22.16).

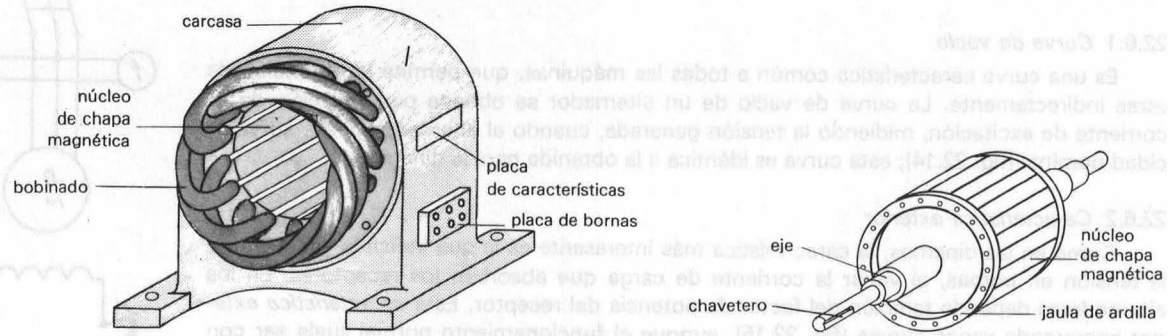


Fig. 22.16 Motor asíncrono trifásico.

22.8.1 *Fundamento*

Al alimentar el bobinado trifásico del estator, con un sistema de tensiones trifásicas, se crea en éste un campo magnético giratorio. Este campo magnético giratorio induce en las espiras del rotor una f.e.m., y, como todas las espiras forman un circuito cerrado (espiras en cortocircuito), circulará por ellas una corriente.

De acuerdo con la ley de Lenz que dice: *"toda corriente inducida tiende a oponerse a la causa que la produce"*, resultará que la corriente del rotor, al oponerse al campo magnético que la produce, obligará al rotor a girar en el mismo sentido que el campo, intentanto alcanzar la velocidad del campo giratorio.

28.8.2 *Velocidad de giro*

La velocidad del rotor no podrá alcanzar nunca la del campo giratorio del estator, puesto que, si la alcanzara, no habría movimiento relativo entre ambos, y, por tanto, no podría inducirse f.e.m.

La velocidad del campo del estator viene dada por la expresión:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p}$$

siendo:

n_1 = velocidad síncrona del campo del estator en r.p.m.
p = pares de polos del bobinado estatórico.

dando valores:

$p = 1$ ..... $n_1 = 3000$ r.p.m.
$p = 2$ ..... $n_1 = 1500$ »» »
$p = 3$ ..... $n_1 = 1000$ »» »

22.8.3 *Deslizamiento*

La velocidad del rotor será algo inferior a la del campo giratorio, normalmente del 1 al 7 %. La diferencia entre ambas velocidades se llama *deslizamiento absoluto del motor*; y al cociente entre el desplazamiento absoluto y la velocidad del campo giratorio, *deslizamiento relativo*:

$$\delta = n_1 - n_2 \; ; \; \delta\,\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

siendo:

δ = deslizamiento absoluto (r.p.m.)
δ % = deslizamiento relativo (1 al 7 %)
n_1 = velocidad del campo giratorio
n_2 = velocidad del rotor.

la velocidad real: $n_2 = n_1 - \delta$

El deslizamiento disminuye, a medida que aumenta la potencia del motor; mientras que el rendimiento y el factor de potencia aumentan.

La tabla 22.17 corresponde a las características eléctricas de motores trifásicos, con rotor en cortocircuito.

Tabla 22.17 Características eléctricas de los motores asíncronos trifásicos con rotor en cortocircuito

Tipo MT	Potencia		Características a plena carga				Par de arranque Ca / Cn	Ia / In	P D² Aprox.	Peso Aprox.
	kW.	CV.	Velocidad r.p.m.	η Aprox. %	Cos φ Aprox.	Intensidad 220 / 380				
2 polos 50 c/s. 3.000 r.p.m.										
12/2	0,18	0,25	2760	63	0,63	1,2/0,7	2,6	4,5	0,00139	9,5
13/2	0,24	0,33	2760	64	0,66	1,5/0,9	2,6	4,5	0,00139	10,2
14/2	0,37	0,5	2760	69	0,71	2/1,15	2,6	4,8	0,00139	7,5
15/2	0,55	0,75	2780	71	0,81	2,5/1,45	2,8	4,8	0,00195	8
16/2	0,74	1	2780	73	0,81	3,3/1,8	2,8	4,8	0,0042	14,5
17/2	1,1	1,5	2780	80	0,855	4,2/2,4	2,8	5	0,0049	16
18/2	1,47	2	2800	80	0,82	6/3,5	2,8	5	0,0111	20
19/2	1,83	2,5	2800	82	0,84	7/4,1	2,6	5,2	0,0111	20,6
20/2	2,2	3	2820	82,5	0,89	7,8/4,5	2,7	5,3	0,016	27
21/2	3	4	2820	83	0,89	10,5/6,1	2,6	5,3	0,020	31
22/2	3,7	5	2820	83	0,89	13,2/7,6	2,3	5,5	0,033	36
23/2	4	5,5	2840	83	0,85	14,8/8,6	2,4	5,5	0,033	40
23/2	4,4	6	2840	83,5	0,89	15,5/9	2,2	5,6	0,04	43
24/2	5,5	7,5	2850	83,5	0,89	19,5/11,4	2,8	5,8	0,042	63
24/2	6,2	8,5	2850	83,5	0,89	22/12,7	2,4	5,8	0,104	72
25/2	7,4	10	2870	84	0,9	26/15	2,5	6	0,117	78
25/2	9,2	12,5	2870	85	0,91	31/18	2,2	6	0,136	84
26/2	11	15	2870	85,5	0,88	38,5/22	2,4	6,1	0,252	130
26/2	13	18	2880	86	0,87	46,5/27	2,5	6,1	0,252	133
27/2	14,6	20	2880	86	0,87	52/30	2,4	6,3	0,302	140
28/2	18,3	25	2900	87	0,88	63/36,5	2,4	6,3	0,501	180
29/2	22	30	2900	88	0,85	78/45	2,4	6,3	0,59	193
30/2	25,7	35	2920	89	0,88	87/50	2,2	6,2	0,62	273
31/2	29,5	40	2920	90	0,91	95/55	2,2	6,3	0,65	291
4 polos 50 c/s — 1.500 r.pm.										
10/4	0,07	0,1	1380	60	0,6	0,53/0,31	2,1	3,9	0,002	3
11/4	0,09	0,12	1380	60	0,6	0,65/0,37	2,2	3,9	0,002	4,7
12/4	0,12	0,16	1380	60	0,6	0,9/0,5	2,3	3,9	0,0025	9,2
13/4	0,18	0,25	1380	65	0,61	1,2/0,7	2,3	4	0,0031	10
14/4	0,24	0,33	1380	67	0,63	1,5/0,9	2,3	4	0,0033	7,5
15/4	0,37	0,5	1395	70	0,7	2/1,16	2,3	4,3	0,0035	8
16/4	0,55	0,75	1395	73	0,74	2,7/1,55	2,2	4,3	0,0066	14,5
17/4	0,74	1	1400	75	0,77	3,4/2	2,2	4,5	0,0066	14,8
18/4	1,1	1,5	1400	76	0,82	4,7/2,7	2,3	4,5	0,0140	19,1
19/4	1,47	2	1410	77	0,81	6,2/3,6	2,3	4,7	0,0180	21,5
21/4	1,84	2,5	1410	79	0,89	6,8/3,9	2,2	4,7	0,0213	28,5
21/4	2,2	3	1420	80	0,88	8,25/4,75	2,2	4,9	0,0237	31
22/4	2,94	4	1420	80	0,84	11,5/6,6	2,2	5	0,0334	36
23/4	3,7	5	1430	81	0,86	14/8,1	2,5	5,1	0,0396	42
23/4	4	5,5	1430	83	0,82	15,5/9	2,3	5,3	0,0396	43
24/4	5,5	7,5	1440	85	0,82	21/12,1	2,5	5,5	0,1045	72
25/4	6,2	8,5	1440	85,5	0,81	23,7/13,8	2,1	5,5	0,1171	78
25/4	7,4	10	1440	86	0,83	27,5/16	2,4	5,7	0,1361	84
26/4	9,2	12,5	1440	86	0,85	33/19	2,5	5,9	0,1425	130
26/4	11	15	1445	87	0,86	39/22,6	2,3	5,9	0,338	133
27/4	13	18	1450	87,5	0,85	47/27,2	2,3	6	0,343	140
27/4	14,6	20	1450	88	0,83	53/31	2,4	6	0,368	147
28/4	18,3	25	1450	89	0,81	67/38,5	2,4	6	0,501	180
29/4	22	30	1455	90	0,81	80/46	2,3	6,1	0,561	193
30/4	25,7	35	1455	91	0,83	89/51,5	2,3	6,1	0,62	273
31/4	29,5	40	1455	94	0,85	98/57	2,3	6,1	0,6524	291

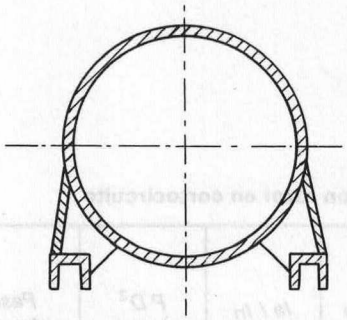


Fig. 22.18 Carcasa de chapa de acero para motores de pequeña potencia.

22.9 Aspecto constructivo de los motores asíncronos trifásicos

Desde el punto de vista constructivo, los motores asíncronos se dividen en dos tipos:

— motor asíncrono, con *rotor en jaula de ardilla.*

— motor asíncrono, con *rotor bobinado.*

Las partes esenciales de cualquier tipo de motor asíncrono son:*estator, entrehierro* y *rotor.*

22.9.1 *Estator*

El estator de los motores asíncronos es idéntico para los dos tipos, y consta de los siguientes elementos:

— *Carcasa.*

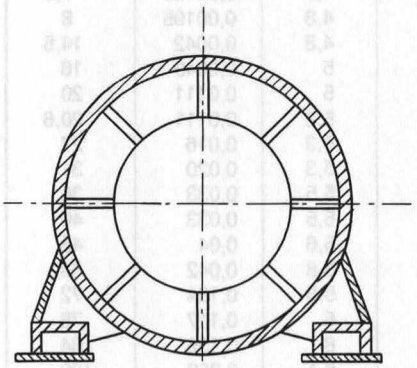
— *Núcleo magnético.*

— *Bobinado trifásico.*

— *Caja de bornas.*

22.9.1.1 *Carcasa*

Tiene la misión de servir de soporte al núcleo magnético. Se construye de fundición de hierro o acero laminado. En motores de pequeña potencia, la carcasa puede ser de chapa de acero, como indica la figura 22.18; en motores de mediana y gran potencia, las carcasas deben de tener gran resistencia mecánica y disponer de canales de refrigeración (fig. 22.19).



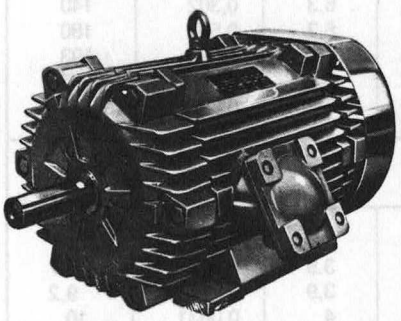


Fig. 22.19 Carcasas de chapa de acero con nervios para motores de mediana potencia.

22.9.1.2 *Núcleo magnético*

Es un apilado de chapas magnéticas de 0,35 mm de espesor (fig. 22.20), aisladas entre sí por medio de barnices. Cuando el diámetro exterior del núcleo es inferior a 1 m, cada chapa está hecha de una sola pieza y, en motores de gran potencia, consta de varios segmentos.

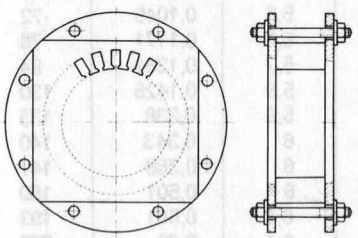


Fig. 22.20 Núcleo de chapas magnéticas del estator.

22.9.1.3 *Bobinado estatórico*

Tiene la misión de producir el campo magnético, predominando en general las bobinas de diferente anchura (fig. 22.21). Las ranuras más usadas son las abiertas o semicerradas y también las empleadas para alternadores (fig. 22.22).

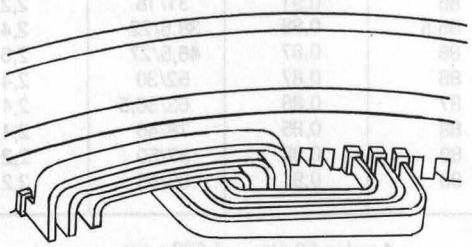


Fig. 22.21 Bobinas estatóricas de diferente ancho.

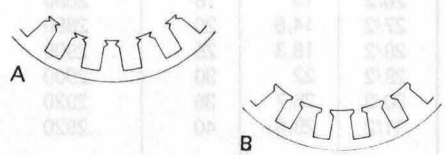
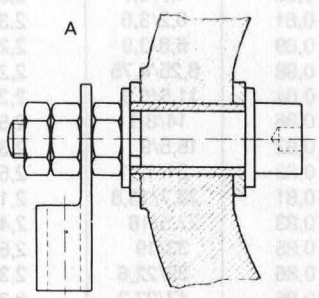


Fig. 22.22 Ranuras estatóricas en un motor trifásico: A, ranuras abiertas; B, ranuras semicerradas.

22.9.1.4 *Caja de bornas*

Está situada en la parte frontal de la carcasa y sirve para conectar los terminales de las fases, que forman el bobinado estatórico. Los bornes atraviesan la carcasa convenientemente aislada (fig. 22.23), siendo señaladas las entradas de las bobinas con las letras mayúsculas U, V, W, y las salidas, con las letras X, Y, Z, dando lugar a la conexión en *estrella* o en *triángulo.*



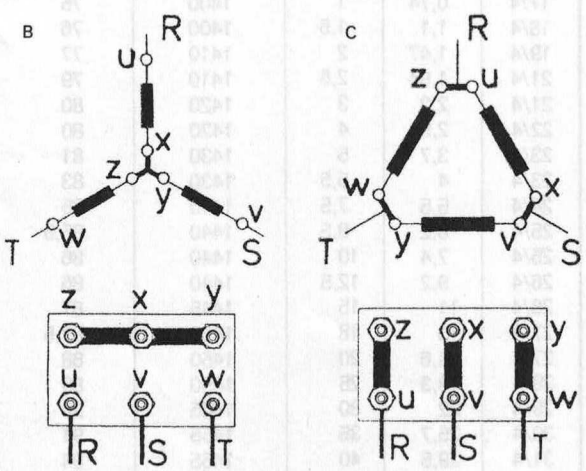


Fig. 22.23 Conexiones en las cajas de bornes: A, borne aislado de conexión; B, conexión estrella; C, conexión en triángulo.

Ejemplos:

1.° Un motor de 127/220 V, puede conectarse a redes de 127 ó 220 V.
Tensión de red menor 127 V en triángulo
Tensión de red mayor 220 V en estrella

2.° Un motor de 220/380 V se conectará:
Tensión menor 220 V en triángulo
Tensión mayor 380 V en estrella.

22.9.2 *Entrehierro*

Es la separación de aire entre el estator y el rotor; presenta un valor constante y debe ser lo más pequeño posible; lo suficiente para impedir el rozamiento.

La medida del entrehierro se hace con unas hojas metálicas de espesores conocidos, al colocarlas entre un diente del estator y el rotor (fig. 22.24).

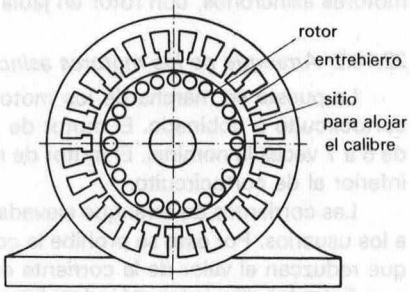


Fig. 22.24 Medición del entrehierro de un motor trifásico.

22.9.3 *Rotor*

Básicamente está formado por un eje y un paquete de chapas que lleva en la periferia las ranuras para alojar los conductores.

Según se coloquen los conductores del rotor, en cortocircuito o formando un bobinado, darán lugar a los dos tipos de motores asíncronos: *motor de jaula de ardilla* y *motor de rotor bobinado*.

22.9.3.1 *Rotor en cortocircuito*

Está formado por un paquete de chapas magnéticas de 0,4 ó 0,5 mm de espesor, aisladas con papel por una cara. El paquete se comprime encajándose en el eje, haciendo tope sobre unos rebajes, de forma que no pueda salirse (fig. 22.25).

En motores de mayor potencia se colocan unos pasadores aislados, que atraviesan el paquete de chapas.

El bobinado del rotor está formado por un conjunto de conductores desnudos, de cobre o aluminio, y puestos en cortocircuito, al soldarlos a dos anillos frontales del mismo material (fig. 22.26); por su parecido a la jaula de ardilla, reciben ese nombre.

En los motores pequeños, se inyecta aluminio sobre las ranuras, obteniéndose al mismo tiempo los dos anillos frontales y las aletas de ventilación.

En los motores de mediana y gran potencia se construye el rotor con doble jaula o ranura profunda (fig. 22.27).

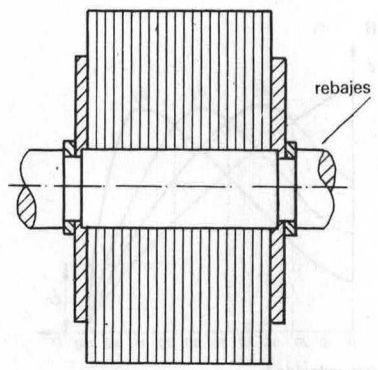


Fig. 22.25 Sujeción del paquete de chapas del rotor.

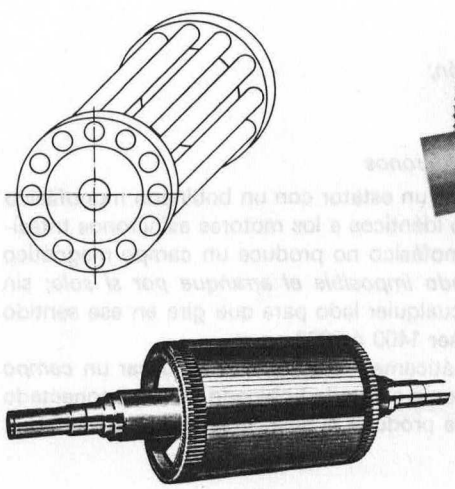


Fig. 22.26 Rotor de barras en cortocircuito.

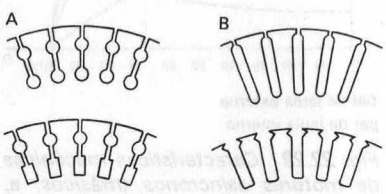


Fig. 22.27 Rotor de doble jaula y ranura profunda: A, doble jaula; B, ranura profunda.

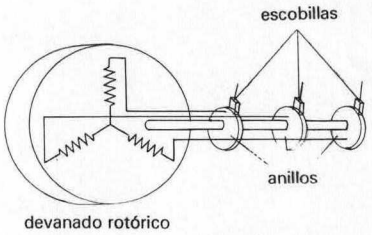


Fig. 22.28 Circuito rotórico de un motor asíncrono de rotor bobinado.

22.9.3.2 *Rotor bobinado*

Este tipo de rotor, empleado por los motores de potencias grandes, lleva un bobinado trifásico en estrella alojado en las ranuras. Los extremos del bobinado se llevan a tres anillos de bronce o latón, aislados del eje, sobre los que apoyan las escobillas; el circuito rotórico se cierra a través de tres resistencias que constituyen el reóstato de arranque (fig. 22.28).

22.10 Características de los motores asíncronos trifásicos

Conocidas las características del motor puede deducirse fácilmente su aplicación.

22.10.1 *Características mecánicas*

La característica principal de estos motores es la que representa la variación del par motor en función de la velocidad, llamada *característica mecánica*.

La característica mecánica depende del tipo de rotor, como indica la figura 22.29: para motores asíncronos, con rotor en jaula sencilla, doble jaula y rotor bobinado.

22.10.2 *Arranque de los motores asíncronos*

La puesta en marcha de los motores asíncronos es diferente, según sean de rotor en cortocircuito o bobinado. El motor de jaula sencilla absorbe, en el arranque, una corriente de 5 a 7 veces la nominal. El motor de rotor bobinado absorbe una corriente, en el arranque, inferior al de cortocircuito.

Las corrientes de arranque elevadas producen caídas de tensión en la red, perjudicando a los usuarios. Por esto se prohibe la conexión directa a la red debiéndose emplear sistemas que reduzcan el valor de la corriente en el arranque.

Entre los diferentes métodos, basados todos en la disminución de la tensión durante el arranque, se pueden citar los siguientes:

— arranque en estrella-triángulo;
— arranque por autotransformador;
— arranque por reóstato en los motores de rotor bobinado.

Como el inconveniente del arranque se soluciona fácilmente, resulta que estos motores son los de construcción más sencilla, robustos y económicos; principalmente, los de jaula de ardilla.

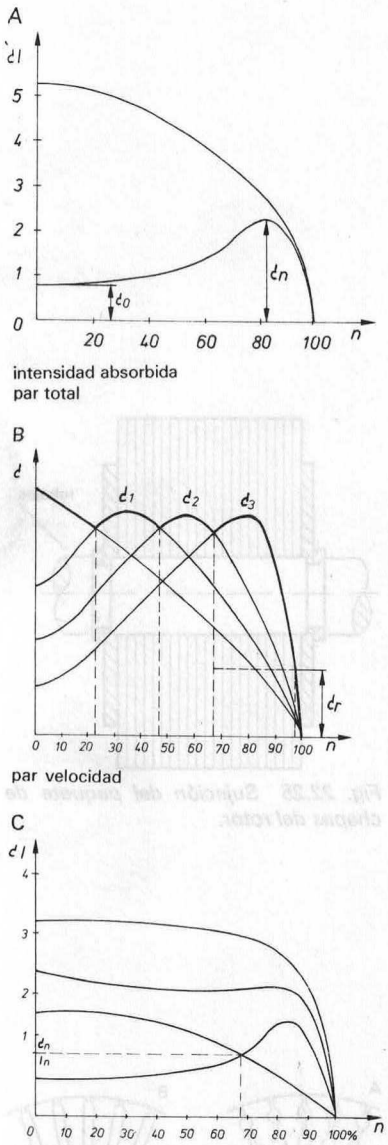


Fig. 22.29 Características mecánicas de motores asíncronos trifásicos: a, *motor con rotor en jaula sencilla;* b, *motor con rotor en doble jaula;* c, *motor con rotor bobinado.*

22.10.3 *Aplicaciones*

Estas ventajas hacen del motor asíncrono trifásico el *motor industrial*, con un campo de aplicación muy extenso; únicamente es sustituido por el motor de corriente continua, cuando se requiere un control riguroso de la velocidad.

22.11 Motores monofásicos

El motor monofásico surgió como solución del problema, en las instalaciones de aplicaciones domésticas o en las pequeñas industrias, en las que no hay corriente alterna trifásica, sino monofásica. De aquí se desprende que estos motores resultan adecuados para dispositivos que necesitan de poca potencia, por lo general inferior a 1 CV denominándose estos motores: *fraccionales.* La tensión de alimentación suele ser: 110, 115, 127 ó 220 V.

Los motores monofásicos pueden ser:

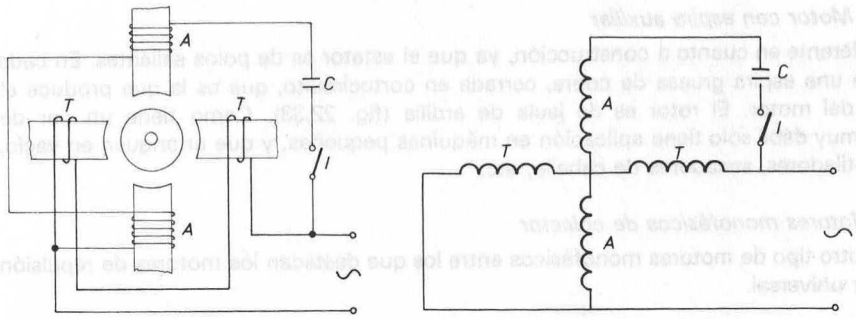
— *motores de inducción de fase partida;*
— *motores de inducción de condensador;*
— *motores de inducción de espira auxiliar;*
— *motores de colector de repulsión;*
— *motores de colector de inducción-repulsión;*
— *motores universales.*

22.11.1 *Motores monofásicos de inducción o asíncronos*

Los motores monofásicos de inducción tienen un estator con un bobinado monofásico y el rotor en cortocircuito, siendo aparentemente idénticos a los motores asíncronos trifásicos; la diferencia radica en que el bobinado monofásico no produce un campo magnético giratorio, sino que es alternativo y fijo, *haciendo imposible el arranque por sí solo*; sin embargo, es suficiente empujarle lentamente a cualquier lado para que gire en ese sentido hasta alcanzar su velocidad nominal, que suele ser 1400 ó 2800 r.p.m.

Para conseguir la puesta en marcha automáticamente es necesario buscar un *campo giratorio* al principio, lo que se obtiene empleando un segundo bobinado auxiliar, conectado en serie con una inductancia o condensador, para producir el desfase necesario de 90° (fig. 22.30).

Existen diferentes métodos de arranques.



T = bobinado de trabajo
A = bobinado de arranque
C = condensador
I = interruptor centrífugo

Fig. 22.30 Esquemas de bobinados auxiliares de arranque.

22.11.1.1 *Motor de fase partida*

Consta de un estator provisto de dos bobinados independientes, uno de trabajo y otro auxiliar para el arranque, desplazados 90° eléctricos (fig. 22.31). Al conectarlo a la red, arranca como si fuera un motor bifásico y al alcanzar una determinada velocidad, se desconecta automáticamente el bobinado de arranque, por la acción del interruptor centrífugo, que va solidario con el eje del motor. Este motor se emplea para accionar máquinas que exijan un par de arranque moderado, por ejemplo: ventiladores, pequeñas bombas centrífugas, mezcladoras, etc.

22.11.1.2 *Motor de condensador*

Es similar al de fase partida; sólo que va provisto de un condensador electrolítico conectado en serie con el bobinado de arranque, para aumentar el desfase de las dos corrientes (fig. 22.32). Su ventaja principal es la de conseguir un fuerte par de arranque, llegando a ser 3,5 veces el par nominal. Su rendimiento y factor de potencia son también elevados; sus principales aplicaciones son: pequeñas bombas de pistón, compresores de émbolo, molinos de café, cámaras frigoríficas, máquinas herramientas, etc.

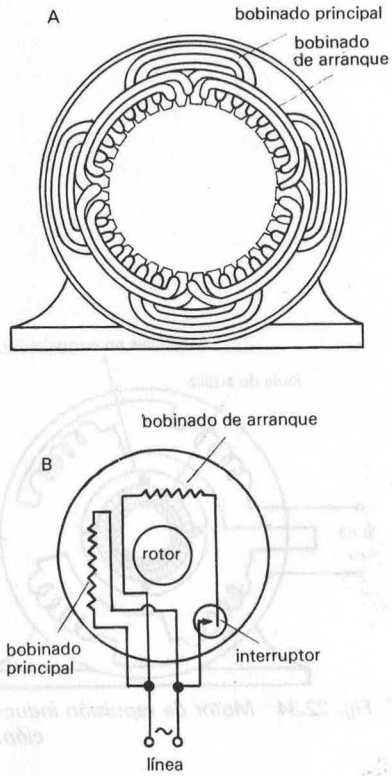
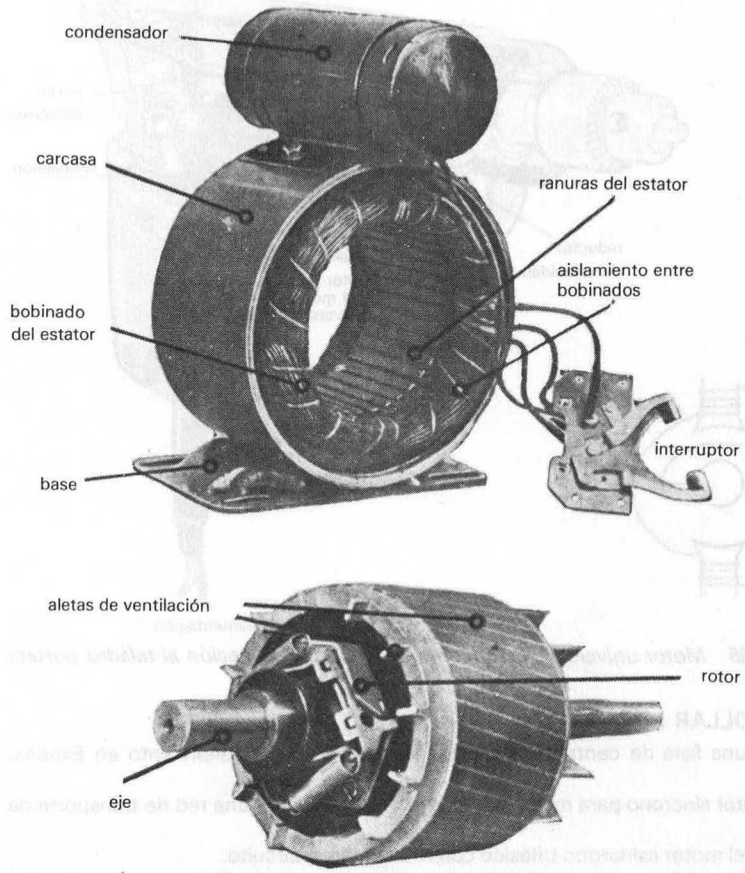


Fig. 22.31 Motor monofásico de fase partida: A, disposición de los bobinados principal y arranque; B, esquema de conexiones del motor.



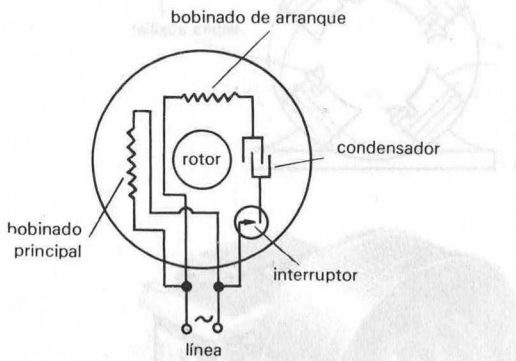


Fig. 22.32 Motor monofásico de condensador.

22.11.1.3 *Motor con espira auxiliar*

Es diferente en cuanto a construcción, ya que el estator es de polos salientes. En cada polo tiene una espira gruesa de cobre, cerrada en cortocircuito, que es la que produce el arranque del motor. El rotor es de jaula de ardilla (fig. 22.33). Como tiene un par de arranque muy débil sólo tiene aplicación en máquinas pequeñas, y que arranquen en vacío, como ventiladores, secadores de cabello, etc.

22.11.2 *Motores monofásicos de colector*

Son otro tipo de motores monofásicos entre los que destacan los motores de repulsión y el motor universal.

22.11.2.1 *Motores de repulsión*

Disponen de un estator, con un bobinado idéntico al del motor de fase partida, y de un rotor bobinado, como las máquinas de corriente continua. Las escobillas del rotor están unidas en cortocircuito. En todos los motores de este tipo, el rotor gira por la repulsión que se produce entre los campos magnéticos del estator y del rotor (fig. 22.34).

El campo de aplicación es muy reducido, por ser muy caro y propenso a averías, siendo sustituido por el motor monofásico del condensador.

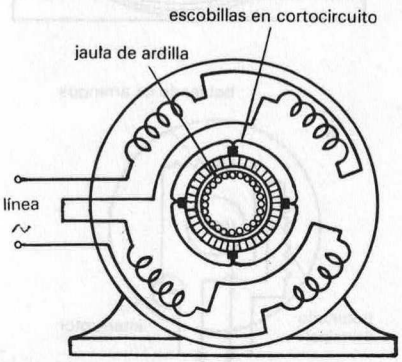
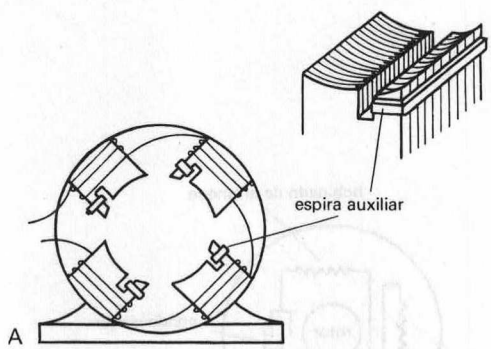


Fig. 22.34 Motor de repulsión inducción.

22.11.2.2 *Motor universal*

Llamado así por su posibilidad de funcionamiento con corriente continua o alterna. Viene a ser el motor serie de corriente continua. La única diferencia, con respecto a aquél, está en el núcleo magnético del estator, que está formado por un paquete de chapas magnéticas (fig. 22.35). Presenta un par de arranque elevado y la velocidad variable con la carga, con el peligro de embalamiento al desaparecer la carga. El campo de aplicación está muy extendido, siendo el único motor que permite velocidades superiores a 3000 r.p.m.; llegando hasta 20000 r.p.m. en algunos casos; se utiliza en: afeitadoras eléctricas, taladradora portátil, molinillos de café, trituradoras domésticas, aspiradoras, máquinas herramientas portátiles, máquinas de coser, etc.



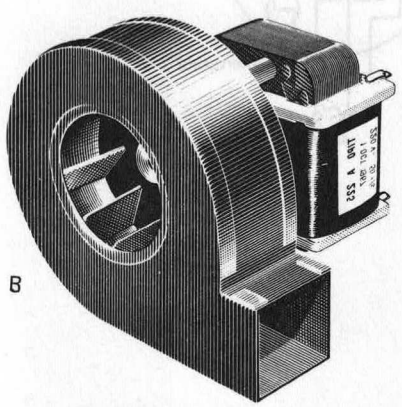
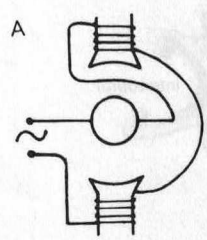


Fig. 22.33 Motor monofásico con espira auxiliar: A, esquema del bobinado; B, aplicación a un ventilador.



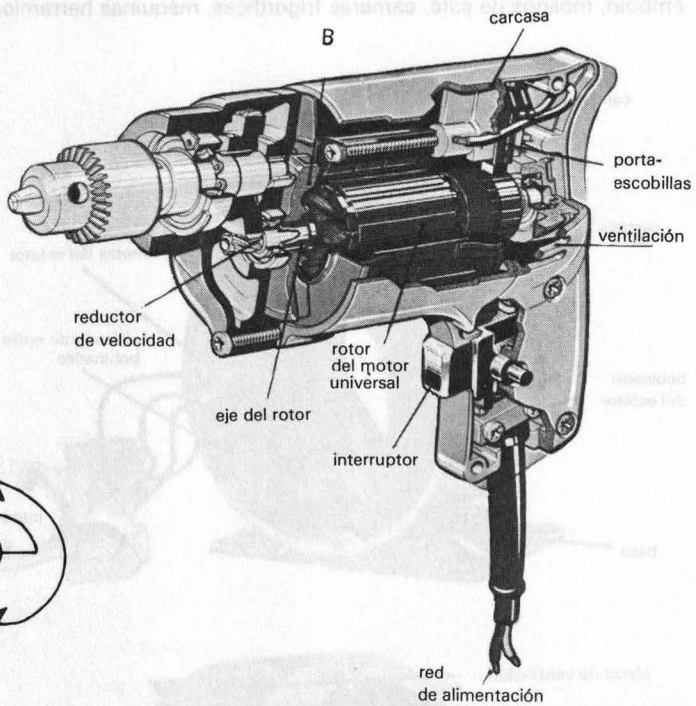


Fig. 22.35 Motor universal: A, esquema eléctrico; B, aplicación al taladro portátil.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Confeccionar una lista de centrales eléctricas nucleares en funcionamiento en España. Describir una de ellas.

— Empleo del motor síncrono para mejora del factor de potencia de una red de transporte de energía elétrica.

— Aplicaciones del motor asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito.

— Confeccionar un cuadro resumen sobre los tipos de motores monofásicos y sus aplicaciones.

CUESTIONARIO

— ¿En qué se diferencia el transformador, de las máquinas estudiadas en este tema?
— ¿Qué ventajas presenta la central hidroeléctrica, con respecto a las otras? ¿Qué inconvenientes?
— ¿Qué precauciones se tomarán en la construcción de las centrales nucleares? ,
— ¿Por qué no se emplean dinamos para producción industrial de la energía eléctrica?
— A continuación se indican las velocidades en el eje de diferentes turbinas: 3000, 2000, 1000 y 250 r.p.m. ¿Se podrían acoplar a un alternador para la obtención de energía eléctrica? ¿por qué?
— ¿Por qué, en los turboalternadores, el circuito inductor está formado por polos lisos?
— ¿Se puede regular automáticamente la tensión que suministra un alternador a una red?
— ¿Qué inconvenientes presenta el motor síncrono en su puesta en marcha?
— Enumerar las principales ventajas que presenta el motor asíncrono trifásico con rotor en jaula de ardilla.
— ¿Se puede regular la velocidad de un motor asíncrono?
— ¿Por qué un motor asíncrono de 10 CV no puede conectarse directamente a la red? ¿Cómo explicar el arrancador estrella-triángulo necesario para ese motor?

BIBLIOGRAFIA

Máquinas de corriente alterna, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1973.
BIASUTTI G., *Electricidad,* Editorial Científico Médica, Barcelona 1970.
ROSENBERG R., *Reparación de motores eléctricos,* G. Gili, Barcelona 1959.
CASAS J., *Física y Química,* Bruño-Edebé, Barcelona 1975.
Catálogos de casas comerciales (General Eléctrica Española, KELVIN, DAVI, Alconza A, AEG.

Tema 23. Constitución, funcionamiento y características de los transformadores monofásicos y trifásicos

OBJETIVOS

— *Estudiar el funcionamiento de un transformador.*
— *Determinación de la relación de transformación.*
— *Criterios para la clasificación de los transformadores.*
— *Conocer el proceso de construcción de un transformador.*
— *Principales características de un transformador.*
— *Utilización del transformador.*

GUION

— Funcionamiento del transformador.
— Relación de transformación de un transformador.
— Clasificación de transformadores. Símbolos para su representación.
— Aspectos constructivos del transformador:
  Circuito magnético.
  Circuitos eléctricos (bobinados).
  Sistemas de refrigeración.
— Características eléctricas del transformador.
— Campo de aplicación del transformador.

PUNTOS CLAVE

— Proceso de fabricación de un transformador.
— Refrigeración de un transformador.
— Empleo actual de los transformadores.

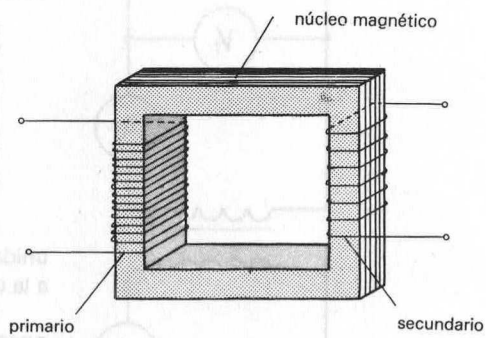


Fig. 23.1 Constitución de un transformador.

EXPOSICION DEL TEMA

23.1 Funcionamiento del transformador

Se llama transformador a la máquina eléctrica estática destinada a transformar la energía eléctrica primaria en energía eléctrica secundaria, elevando o reduciendo la tensión o la intensidad de una corriente alterna.

El transformador (fig. 23.1) está constituido por:

— *un circuito magnético,* formado por un núcleo de chapas magnéticas.

— *dos circuitos eléctricos o bobinados.* El circuito que recibe la energía eléctrica se llama primario, y el circuito que suministra la energía eléctrica transformada se llama secundario.

Al conectar el bobinado primario a una red de tensión V_1 (fig. 23.2) circulará una corriente I_1 que creará un campo magnético variable, cerrándose por el núcleo magnético. Este flujo alterno inducirá una f.e.m. en el bobinado secundario y, si se cierra el circuito, a través de un receptor, hará circular una corriente I_2 .

El transformador necesita, pues, de un flujo variable, no pudiendo funcionar con corriente continua.

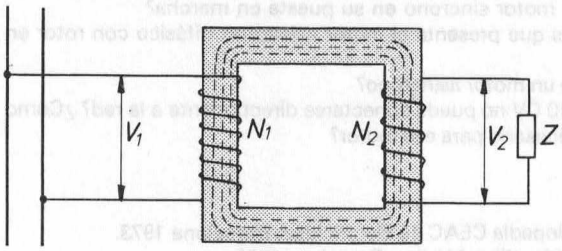


Fig. 23.2 Funcionamiento del transformador.

23.2 Relación de transformación de un transformador

Aplicando la ley de la conservación de la energía, y admitiendo un rendimiento del 100 %, ya que esta máquina, por ser estática carece de pérdidas mecánicas y alcanza rendimientos del 99 %, resultará:

potencia primaria = $V_1 \cdot I_1$

potencia secundaria = $V_2 \cdot I_2$

igualando los dos términos:

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

resultando:

$$\boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}}$$

Se comprueba que esa relación final es constante; se llama relación de transformación (m), y coincide con el cociente entre el número de espiras del bobinado primario y secundario. Así pues:

$$\boxed{m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}}$$

siendo:

m = relación de transformación
V_1 = tensión de red del primario
V_2 = tensión de red del secundario
I_1 = corriente absorbida de la red
I_2 = corriente absorbida por los receptores
N_1 = número de espiras del bobinado primario
N_2 = número de espiras del bobinado secundario.

Examinando la fórmula, puede comprobarse que para valores de *m* superiores a la unidad, el transformador será *reductor de tensión*, mientras que si *m* toma valores inferiores a la unidad, será *elevador de tensión.*

Como el transformador es una máquina reversible, *cualquiera de los dos bobinados puede hacer de primario o secundario.*

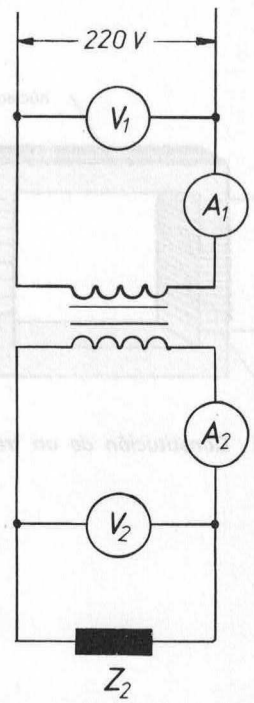


Fig. 23.3 Ejercicio de aplicación.

Ejercio de aplicación: Un transformador monofásico de 500 vatios y tensiones 220/127 V, se emplea para conectar un frigorífico de 100 W y 127 V a la red de usos domésticos de 220 V. Averiguar la relación de transformación y las corrientes del primario y secundario (fig. 23.3).

Solución:

La relación de transformación: $m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{220}{127} = \sqrt{3}$

al obtener una relación de transformación mayor de la unidad, el transformador es reductor: m >1

la corriente secundaria:

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{100}{127} = 0{,}787\ A$$

la corriente primaria:

$$I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{100}{220} = 0{,}454\ A$$

Comprobación:

$$I_1 = \frac{I_2}{m} = \frac{\frac{100}{127}}{\sqrt{3}} = \frac{100}{220} = 0{,}454\ A$$

Ejercicio de aplicación. Resolver el ejercicio anterior con una red de 127 V y el frigorífico de 127 W a 220 V.

Solución

Este ejercicio es inverso al anterior, de modo que el transformador actuará como elevador, por la propiedad de reversibilidad de esta máquina eléctrica.

La relación de transformación $m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{127}{220} = \frac{1}{\sqrt{3}}$

las corrientes serían:

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{100}{220} = 0{,}454\ A; \qquad I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{100}{127} = 0{,}787\ A$$

se puede comprobar, aplicando la relación de transformación:

$$I_1 = \frac{I_2}{m} = \frac{\frac{100}{220}}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = \frac{100 \cdot \sqrt{3}}{220} = \frac{100 \cdot \sqrt{3}}{127 \cdot \sqrt{3}} = \frac{100}{127} = 0{,}787\ A$$

23.3 Clasificación de los transformadores. Símbolos para su representación

La clasificación de transformadores se hace atendiendo a varios criterios, como por ejemplo:

— Por los *sistemas de tensiones*: monofásicos, trifásicos, trifásico-exafásicos, trifásicos-dodecafásicos, etc.

— Por la *forma del núcleo magnético*: transformadores de columnas y acorazados.

— Por el *sistema de refrigeración*: transformadores refrigerados por aire, por aceite, de refrigeración forzada, etc.

Los principales símbolos empleados, en la representación de los transformadores, son los indicados en la figura 23.4:

siendo: a, b, c, d, e, diferentes formas de representación de un transformador monofásico de potencia 20 kVA, 50 Hz y 5000/230 V.

f, g, h, los esquemas de un transformador trifásico 400 kVA, 50 Hz y 6000/380 V.

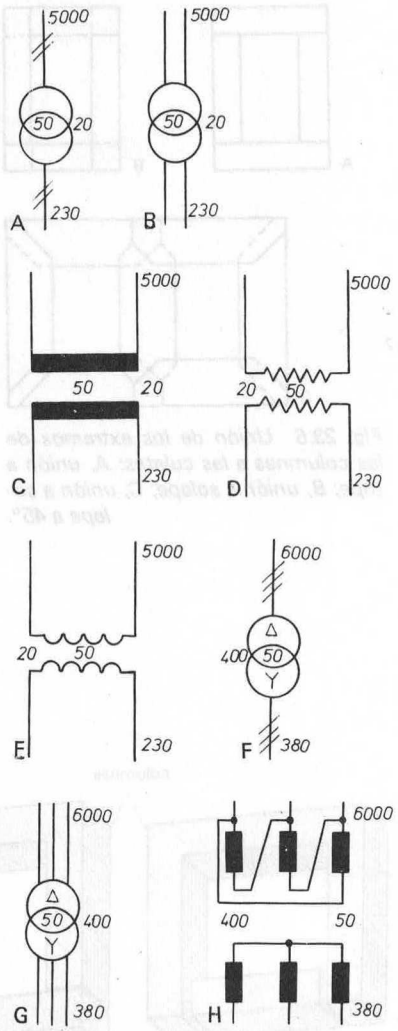


Fig. 23.4 Símbolos empleados para la representación de transfomadores: a, b, c, d, e, *transformadores monofásicos;* f, g y h, *transformadores trifásicos.*

23.4 Aspectos constructivos del transformador

Desde el punto de vista constructivo, un transformador está constituido por las siguientes partes:

— *un circuito magnético;*

— *dos circuitos eléctricos;*

— *dispositivos de refrigeración.*

23.4.1 *Circuito magnético*

Los núcleos están constituidos por chapas magnéticas de grano orientado de 0,35 mm de espesor, aisladas entre sí. La parte que cierra el circuito magnético se llama culata o yugo (fig. 23.5). La unión entre la columna y la culata puede hacerse a tope o bien al solape; actualmente se emplea la unión al solape, con las chapas cortadas a 45° (fig. 23.6).

La sección de los núcleos depende de la potencia del transformador, adoptándose la cuadrada o rectangular para potencias pequeñas y la sección escalonada en transformadores de mediana y gran potencia (fig. 23.7). La sección escalonada, conseguida con chapas rectangulares de diferentes dimensiones, presenta un perfil circular, permitiendo, por tanto,

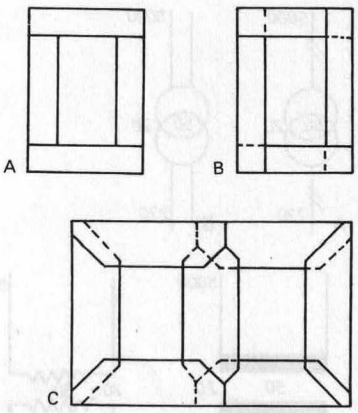


Fig. 23.6 Unión de los extremos de las columnas a las culatas: A, unión a tope; B, unión a solape; C, unión a solape a 45°.

el empleo de bobinas de forma circular y disponiendo de canales de refrigeración entre las chapas.

Las chapas que forman las columnas del transformador se aprietan y sujetan con cinta de fibra de vidrio, dándole varias vueltas. En transformadores de potencias elevadas se sustituye la fibra de vidrio por tornillos pasantes, convenientemente aislados.

La sujeción de las culatas se hace por medio de unos soportes de madera hasta una potencia de 400 kVA, y de perfiles laminados (aislados de las chapas magnéticas), para potencias superiores (fig. 23.8).

23.4.2 *Circuitos eléctricos (bobinados)*

Los circuitos eléctricos de un transformador los constituyen los devanados de baja y alta tensión.

Normalmente el devanado de baja tensión es de pletina de cobre y se sitúa junto a cada columna, por ser menos peligroso en caso de contactos a masa.

El devanado de alta tensión es de hilo de cobre, con diámetros máximos de 3 mm.

El montaje de las bobinas de baja tensión se hace sobre un cilindro aislante que rodea a la columna, aislando las espiras con cinta de algodón o varias capas de papel (fig. 23.9).

Entre el devanado de baja y el de alta tensión va situado otro cilindro aislante de baquelita.

El montaje de las bobinas de alta tensión se hace sobre un cilindro aislante, donde se pegan unos cartones aislantes y, sobre éstos, deslizan unas piezas de cartón, a cola de milano, para separar unas bobinas de otras.

Al realizar el bobinado se dejan canales para circulación del aceite o pyraleno por el interior de las bobinas.

Generalmente, los transformadores se construyen con un conmutador de tensión, que permite variar la tensión en un + 5 %.

Los devanados de los transformadores trifásicos pueden conectarse en estrella, triángulo o zig-zag.

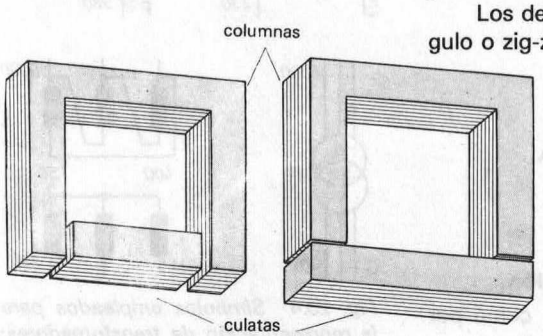


Fig. 23.5 Circuitos magnéticos monofásicos.

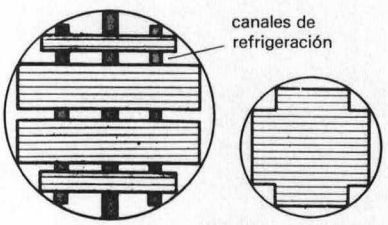


Fig. 23.7 Secciones escalonadas.

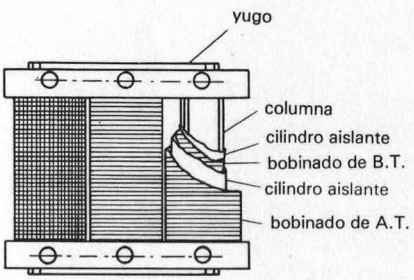


Fig. 23.9 Disposición del bobinado en un transformador trifásico.

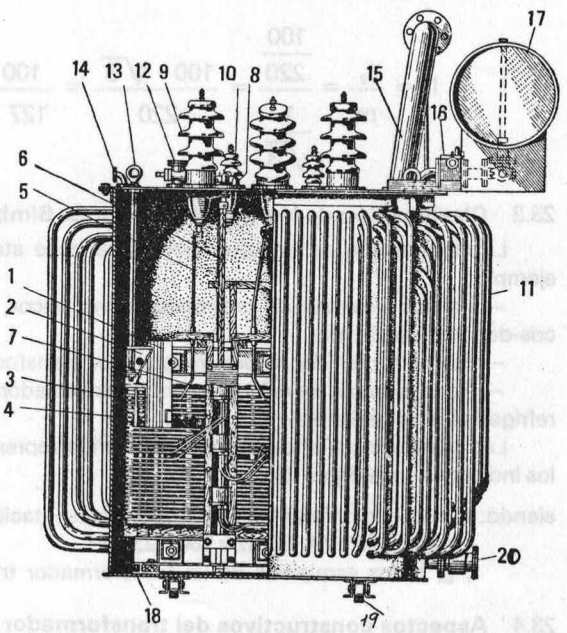


Fig. 23.8 Vista de un transformador seccionado trifásico: 1, núcleo del circuito magnético; 2, fijación del canal en la culata; 3, arrollamiento de baja tensión; 4, arrollamiento de alta tensión; 5, derivaciones de alta tensión; 6, derivaciones de baja tensión; 7, conmutador; 8, mecanismo del conmutador; 9, pasatapas de A.T. (aislador); 10, pasatapas de B.T.; 11, tanque con radiador de tubos; 12, válvula de cebado de aceite; 13, argolla de elevación; 14, tubo para conexión de la bomba de vacío; 15, tubo de escape; 16, relé a gas; 17, conservador de aceite; 18 viga soporte; 19, rodillos; 20, drenaje del aceite.

23.4.3 *Sistemas de refrigeración*

Una vez bobinado el transformador, se aloja en un recipiente llamado *cuba*, construida con chapa de un mínimo de 3 mm de espesor. La cuba está llena de aceite mineral o de pyraleno.

Si el transformador es de potencia reducida, puede refrigerarse por aire, pero, a partir de 5 ó 10 kVA, los transformadores se refrigeran por aceite. El aceite actúa como aislante y como transmisor de calor (por convección) desde el interior del transformador al exterior.

La refrigeración del transformador se logra mediante el empleo de *radiadores*, formados por chapas embutidas y soldadas entre sí, que, al estar en contacto con un medio más frío, permiten la evacuación del calor.

En los transformadores de potencias elevadas se empleará la circulación forzada de aceite, mediante el empleo de una bomba (fig. 23.10), y la refrigeración de los radiadores se hará con agua.

La temperatura máxima que puede alcanzar el aceite es de 100°. En estas condiciones el volumen del aceite aumentaría cerca del 10° %, con el consiguiente peligro de explosión; por ello se debe dotar al transformador de un depósito conservador del aceite o depósito de expansión, como indica la figura 23.11.

Cuando el transformador ha de instalarse en ambientes explosivos, lugares públicos, etc., se sustituye el aceite por pyraleno, por ser ininflamable; no obstante, su empleo viene limitado por el coste, ya que aumenta de precio con respecto al transformador de aceite.

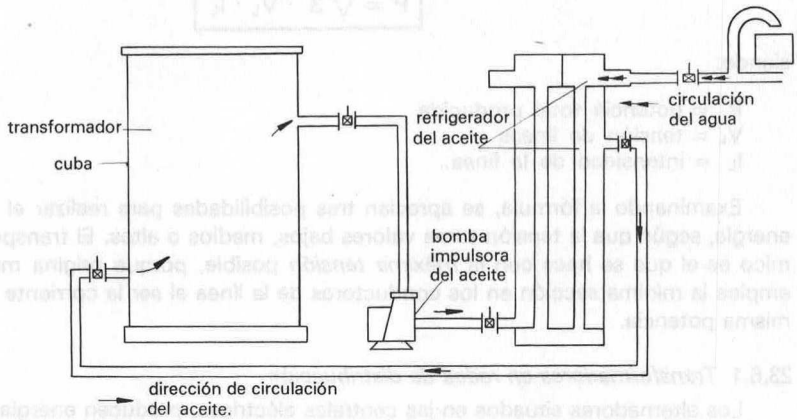


Fig. 23.10 Circulación forzada del aceite y refrigeración por agua.

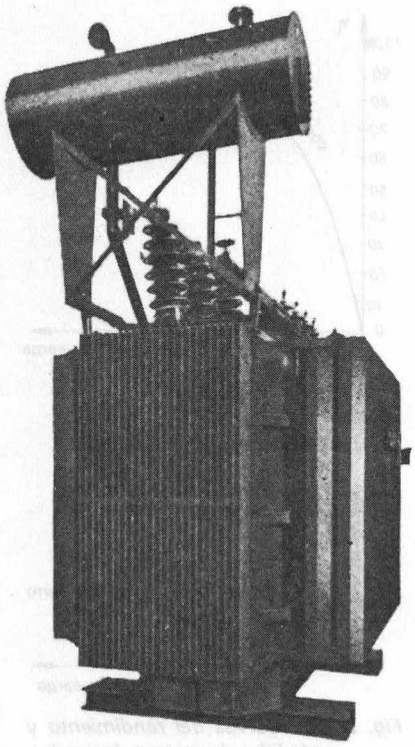


Fig. 23.11 Vista exterior de transformadores (Incoesa).

23.5 Características eléctricas del transformador

En el transformador existen pérdidas en el hierro y pérdidas en el cobre, dando lugar a caídas de tensión internas que variarán la relación de transformación.

La *relación de transformación más exacta* se obtendrá en vacío, por cociente entre tensiones; y, a plena carga, por cociente entre intensidades (fig. 23.12); en vacío, se conectará a la tensión nominal y, en plena carga, circulará la corriente nominal por cada bobinado.

23.5.1 *Rendimiento*

Las pérdidas en el hierro de un transformador son constantes, mientras que las pérdidas del cobre dependen de la carga.

El rendimiento de un transformador se obtiene como cociente entre la potencia que cede y la que absorbe:

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + P_p} = \frac{P_u}{P_u + P_{fe} + P_{cu}}$$

siendo:

η = rendimiento del transformador
P_u = potencia útil cedida
P_p = potencia perdida en el transformador
P_{fe} = potencia perdida en el hierro
P_{cu} = potencia perdida en el cobre.

Los rendimientos de un transformador de potencia superan actualmente el 99 %, y dependerá del régimen de carga (1/2, 3/4, etc.) y del tipo de receptor (coseno φ); en la figura 23.13, se representan las curvas de rendimiento, pérdidas en el hierro y pérdidas en el cobre de un transformador.

23.5.2 *Característica externa*

Depende de la naturaleza del receptor (resistivo, inductivo o capacitivo). Como se observa en la figura 23.14, la tensión disminuye cuando aumenta la carga, excepto si la carga fuera muy capacitiva.

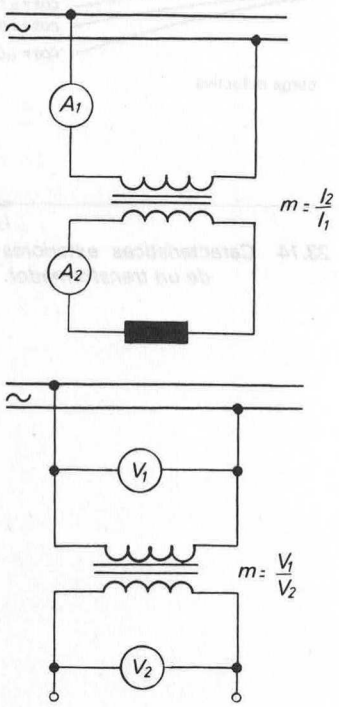


Fig. 23.12 Esquemas para la obtención de la relación de transformación.

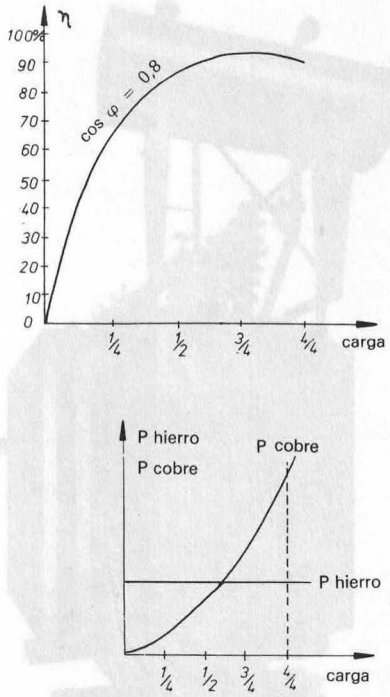


Fig. 23.13 Curvas del rendimiento y pérdidas de un transformador.

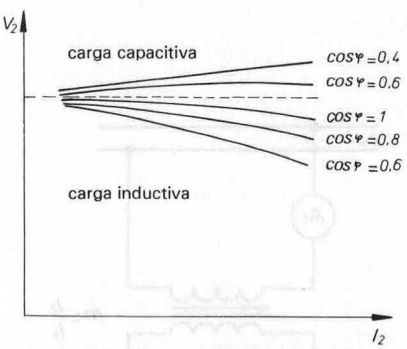


Fig. 23.14 Características exteriores de un transformador.

23.5.3 *Característica de calentamiento*

Representa la temperatura alcanzada en función del tiempo; lógicamente, la temperatura dependerá de la parte del transformador donde se haya realizado la medición. Si se trata de una máquina de servicio permanente que no dispone de órganos giratorios, es muy importante que el sistema de refrigeración adoptado sea eficaz; puesto que, la capacidad de un transformador está limitada exclusivamente por su temperatura máxima. Si se sobrepasa la temperatura máxima, el aceite se descompone y los aislantes se carbonizan, dejando al transformador fuera de servicio.

23.6 Campo de aplicación del transformador

La potencia eléctrica producida en una central queda expresada en la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$$

siendo:

P = potencia total producida
V_L = tensión de líneas
I_L = intensidad de la línea.

Examinando la fórmula, se aprecian tres posibilidades para realizar el transporte de la energía, según que la tensión tome valores bajos, medios o altos. El transporte más económico es el que se hace con la *máxima tensión* posible, porque origina menos pérdidas y emplea la mínima sección en los conductores de la línea al ser la corriente menor para una misma potencia.

23.6.1 *Transformadores en redes de distribucción*

Los alternadores situados en las centrales eléctricas, producen energía eléctrica a tensiones comprendidas entre 10 y 18 kV, siendo, pues, necesario el *transformador, para elevar* la tensión a valores mucho mayores. Del transformador elevador, parte la línea de transporte en A.T. hasta el sitio de consumo, donde se situarán los *transformadores reductores.*

La reglamentación española recomienda la utilización de las tensiones siguientes:

20 - 66 - 132 - 220 y 380 kV.

En los grandes transportes, actualmente se utilizan las tensiones de 500 kV (U.R.S.) y de 735 kV (Canadá).

A continuación se indica un esquema resumen de la producción, transporte y distribución de la energía eléctrica (fig. 23.15). Nótese que se procura distribuir la energía hasta las proximidades del receptor a la máxima tensión posible.

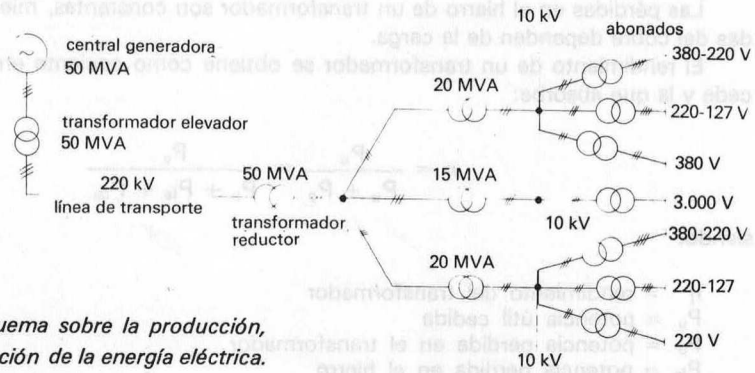


Fig. 23.15 Esquema sobre la producción, transporte y distribución de la energía eléctrica.

23.6.2 *Otras aplicaciones*

La aplicación fundamental de los transformadores, según se ha indicado es la de transformadores de potencia.

También es interesante el transformador como *instrumento de medida,* en su versión de tensión e intensidad, haciendo posible la lectura de magnitudes eléctricas en A.T.

Actualmente, el transformador es muy empleado en B.T. para *alimentación de circuitos* con semiconductores; por ejemplo: en la obtención de corriente continua por medio de transformador-rectificador.

Finalmente, cabe añadir un aparato muy empleado en laboratorio, e incluso como transformador de potencia, llamado *autotransformador.*

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Describir el proceso de fabricación de un transformador trifásico.
— Dibujar diversos sistemas empleados en la refrigeración de transformadores.
— Recopilar información (fotografías, dibujos, etc.) sobre los transformadores empleados en centrales eléctricas, con sus características principales.

CUESTIONARIO

— ¿Qué sucedería al conectar un transformador, a su tensión nominal, a una red de corriente continua? ¿por qué?
— ¿Cómo es posible obtener alta tensión a partir de 12 V de corriente continua? Aplicación a la bobina del circuito de encendido de un automóvil.
— ¿Es cierto que el rendimiento máximo de las máquinas eléctricas corresponde al transformador?
— ¿Es correcto medir la relación de transformación a plena carga por cociente entre lecturas de los voltímetros, conectados al primario y secundario?
— ¿Cómo son las chapas magnéticas empleadas en la construcción del núcleo de un transformador?
— ¿Se puede sobrecargar (hacerlo trabajar por encima de la plena carga) un transformador, cuando su temperatura no alcanza valores peligrosos?
— ¿Por qué se construyen los núcleos de los transformadores de potencia con sección escalonada?
— ¿De cuántas formas diferentes se pueden conectar dos transformadores trifásicos?
— Cuáles serán las mayores dificultades a tener en cuenta en la fabricación de transformadores para tensiones superiores a 500 kV.
— Hacer un esquema de medición de tensión e intensidad en un circuito de A.T. mediante el empleo de transformadores de medida.

BIBLIOGRAFIA

Transformadores. Convertidores, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1973.
BIASUTTI G., *Electricidad,* Editorial Científico Médica, Barcelona 1970.
RAS E., *Teoría de transformadores,* Romargraf, Barcelona 1966.
Catálogos de casas comerciales.

Tema 24. Constitución, funcionamiento y características de las baterías de acumuladores

OBJETIVOS

— *Comprensión de los fundamentos de los acumuladores.*
— *Diferenciación entre los dos tipos de acumuladores.*
— *Conocimiento de todos los componentes que intervienen en un acumulador.*
— *Comparación de ventajas e inconvenientes entre los acumuladores de plomo y alcalinos.*
— *Representación de las características de carga y descarga de un acumulador.*
— *Diferentes aplicaciones de las baterías de acumuladores.*

GUION

— Generalidades sobre acumuladores.
— Acumuladores de plomo:
  Recipientes y tapas.
  Placas.
  Separadores.
  Electrólito.
  Tapones.
  Conexiones.
— Características eléctricas de un acumulador de plomo:
  Característica de carga.
  Característica de descarga.
— Acumuladores alcalinos.
— Otras características de los acumuladores.
— Acoplamientos de pilas y acumuladores:
  Acoplamiento en serie.
  Acoplamiento en paralelo.
  Acoplamiento mixto.

PUNTOS CLAVE

— Necesidad de disponer de fuentes de energía eléctrica propias, como en el caso de baterías de acumuladores.
— Partes constituyentes de un acumulador.
— Características de carga y descarga.

EXPOSICION DEL TEMA

24.1 Generalidades sobre acumuladores

El acumulador es una pila reversible que transforma la energía eléctrica en energía química, durante la carga, y suministra energía eléctrica, durante la descarga.

El primer acumulador se construyó en el año 1858, por el físico Planté; constaba de dos placas de plomo, sumergidas en ácido sulfúrico diluido.

Los electrodos estaban aislados entre sí y terminaban en dos cables (+) y (—), que se conectaban a un generador de corriente continua, durante la *carga*, y a una lámpara, en la *descarga* (fig. 24.1).

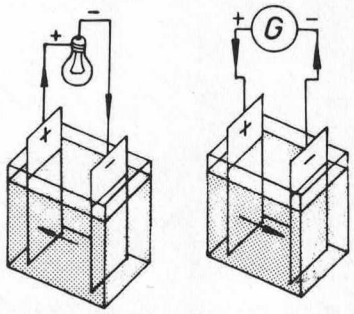


Fig. 24.1 Funcionamiento del acumulador.

Debido a los defectos del primer acumulador, se hicieron mayores investigaciones durante los años posteriores, hasta llegar a superarlo en el año 1881, con la construcción del *acumulador Fauré*, que sigue construyéndose en la actualidad.

Paralelamente al acumulador de plomo, se construyó el acumulador *alcalino*, cuyo principal creador es el físico norteamericano Edison.

24.2 Acumuladores de plomo

A partir del acumulador Fauré, se fueron introduciendo nuevas mejoras para obtener mayor rendimiento, y se llegó a la época actual. Un acumulador moderno (fig. 24.2) consta de los siguientes componentes:

— *Recipientes y tapas.*
— *Placas.*
— *Separadores.*
— *Electrólito.*
— *Tapones.*
— *Conexiones.*

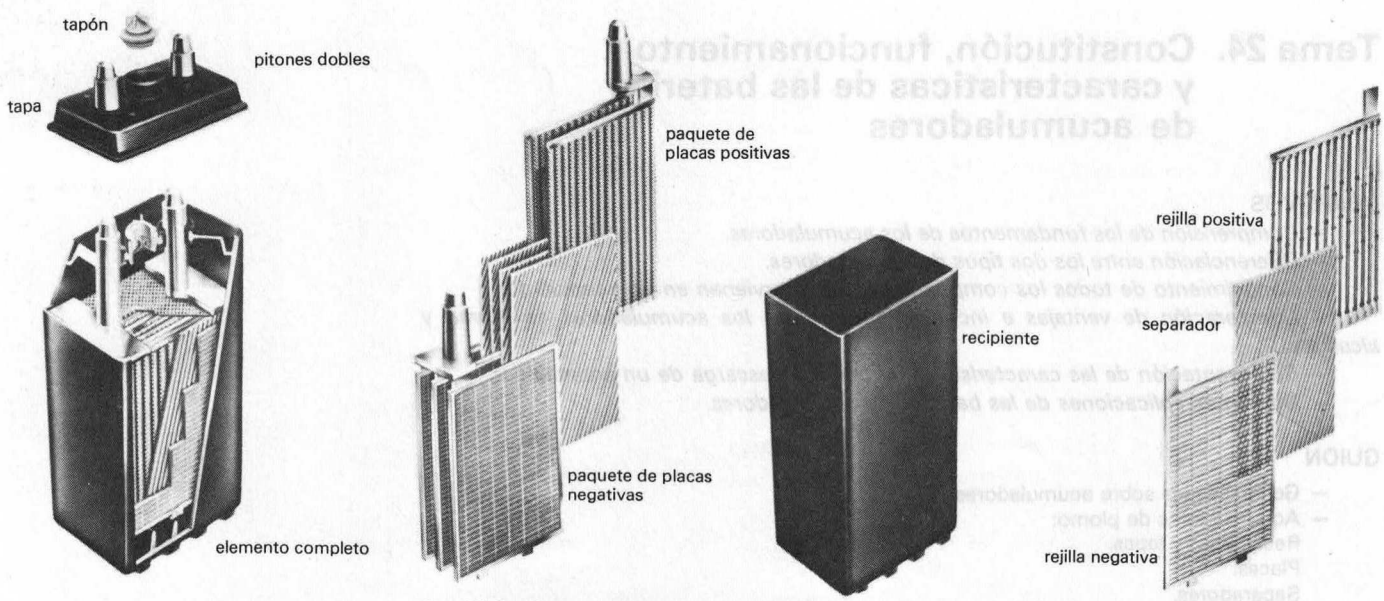


Fig. 24.2 Componentes de un acumulador de plomo (Tudor).

24.2.1 *Recipientes y tapas*

El *recipiente* es la parte del acumulador destinada a alojar en su interior todos sus componentes. La elección de recipiente dependerá de que el acumulador sea transportable o estacionario. El recipiente de un acumulador transportable deberá estar preparado para soportar golpes y vibraciones durante el trabajo, deberá ser, a la vez, buen aislante eléctrico, para evitar fugas de corriente, y además muy resistente al ácido sulfúrico. En la fig. 24.2 puede observarse un recipiente y su tapa de polipropileno o ebonita especial, destinado a baterías de tracción (carretillas elevadoras, ferrocarriles, vehículos, etc.). Para las baterías de acumuladores estacionarias, puede emplearse un recipiente de vidrio, que reúna las cuali-

dades necesarias de resistencia al ácido de aislamiento eléctrico, y que permita ver en cualquier momento, el estado interior del acumulador.

24.2.2 *Placas*

Son los componentes destinados a retener la materia activa, base de la transformación de la energía eléctrica en química.

Mientras se produce la transformación de la energía eléctrica en energía química *(carga)* las placas pierden el sulfato de plomo, que las rodea, para convertirse: en plomo esponjoso, la placa negativa; peróxido de plomo, la placa positiva, y ácido sulfúrico disuelto en agua como electrólito.

Durante la *descarga*, el electrólito pierde ácido sulfúrico y las placas vuelven a sulfatarse, enriqueciéndose, de sulfato de plomo.

Todas las placas del mismo signo (positivas o negativas) están unidas entre sí por medio de un puente de unión.

24.2.2.1 *Placas positivas*

Están formadas por numerosas aletas finas o tubulares (fig. 24.2), buscando siempre una gran superficie activa. En las placas tubulares, los tubos están constituidos por dos capas (fig. 24.3): una interior de fibra de vidrio tejida, resistente al ácido y otra exterior de plástico perforado. En el interior de cada tubo existe un vástago de plomo al que se adhiere la materia activa estando unidos por la parte superior y por la parte inferior, formando la rejilla positiva.

24.2.2.2 *Placas negativas*

Consisten en rejillas fundidas en aleación especial de plomo, sobre la que se empasta la materia activa. El entramado de la rejilla está diseñado para que sirva como eficaz soporte de la materia activa y como excelente conductora de la corriente eléctrica. La materia activa que se emplea disminuye la pérdida de capacidad y devuelve, en la carga, la porosidad del plomo esponjoso (fig. 24.2).

24.2.2.3 *Sulfatación*

En las placas negativas puede producirse la *sulfatación al disminuir* excesivamente la materia activa y, por tanto, la capacidad de la placa, transformándose la materia activa en sulfato de plomo. La sulfatación es la principal avería de un acumulador de plomo.

24.2.3 *Separadores*

Las placas positivas se alteran con las negativas y se aislan entre sí, para evitar los cortocircuitos. Este aislamiento se hace por medio de unas láminas de madera o de plástico (fig. 24.2).

Los separadores de plástico, tipo PORVIC, son unas láminas de plástico microporoso, inalterables al ácido sulfúrico que permiten una difusión rápida del electrólito, garantizando un perfecto aislamiento entre placas, que evita la formación de cortocircuitos (fig. 24.4).

24.2.4 *Electrólito*

El electrólito que emplean las baterías de plomo es una disolución de ácido sulfúrico puro ($SO_4 H_2$) en agua destilada.

La densidad del electrólito de las baterías de acumuladores oscila entre 1,250, cuando está totalmente cargada, y 1,140, al final de la descarga. La mayor densidad, durante la carga, se debe a la riqueza de la mezcla en ácido sulfúrico; mientras que, en la descarga, la mezcla se empobrece de ácido.

Norma muy importante, al realizar la mezcla del ácido con el agua, es la de echar *siempre* el *ácido sobre el agua* y no al revés, porque resulta muy peligroso (proyección de líquido hacia el exterior). La densidad de la mezcla se mide con el densímetro.

24.2.5 *Tapones*

Los tapones hacen de cierre perfecto del recipiente; impiden los derrames de electrólito y a la vez permiten la expulsión de gases (fig. 24.2).

Están dotados de un sistema de laberinto que retiene las gotas del electrólito y deja salir los gases al exterior totalmente secos.

Están fabricados con plástico tratado, que los hace resistentes a altas temperaturas y evita las deformaciones (fig. 24.5).

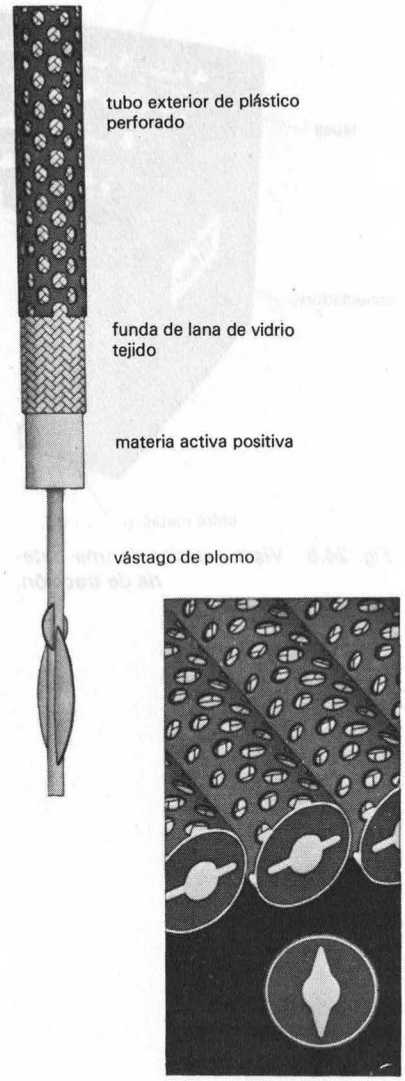


Fig. 24.3 Tubos de placas positivas.

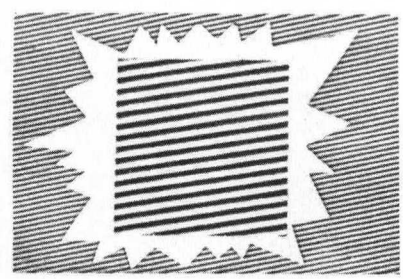


Fig. 24.4 Separador de plástico.

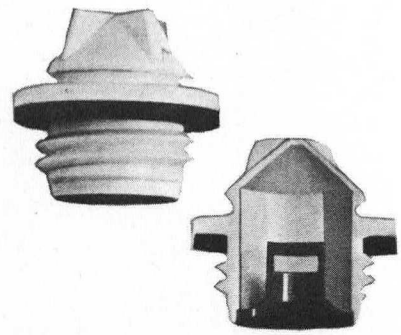


Fig. 24.5 Tapones.

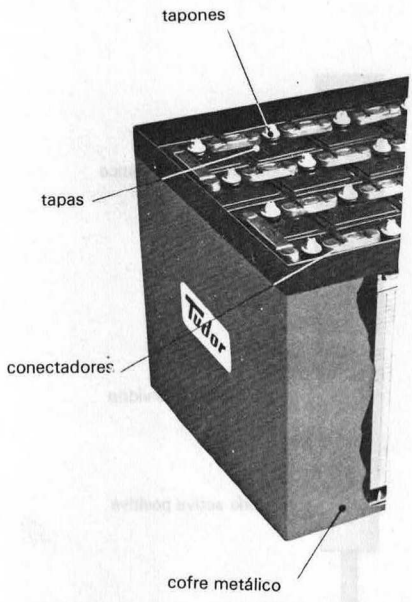


Fig. 24.6 Vista exterior de una batería de tracción.

24.2.6 *Conexiones*

Una vez desarrollado el despiece de un acumulador de plomo, se hace la toma de corriente hacia un circuito exterior sobre unos *pitones dobles*, unidos a las placas (fig. 24.2).

Normalmente es necesario disponer de varios acumuladores en serie (baterías), porque la tensión suministrada por uno sólo no llega a *dos voltios*; se precisa, entonces, la unión de varios elementos mediante *conectadores* (fig. 24.6).

Los conectadores son de plomo y van soldados a los terminales; están calculados con una sección muy amplia para disminuir las pérdidas óhmicas y unen además todos los elementos, formando un bloque único y resistente.

Finalmente, cuando se monta una batería hay que alejar todos los elementos de que consta en cofres metálicos, protegidos con pinturas antiácidas, en baterías de tracción, o bien en recipientes de ebonita, en el resto de aplicaciones

24.3 Características eléctricas de un acumulador de plomo

Las características de funcionamiento de los acumuladores se representan por medio de las curvas de *carga* y de *descarga*.

24.3.1 *Característica de carga*

La operación de carga consiste en conectar la batería de acumuladores a una fuente de alimentación de corriente continua, de tensión superior a la de vacío de la batería, teniendo especial cuidado en no sobrepasar la corriente máxima de carga en cada tipo de batería, para no estropear las placas. El polo positivo de la fuente de alimentación se conecta al positivo de la batería y el negativo de la fuente de alimentación, al negativo de la batería.

La carga de baterías dependerá del tipo de funcionamiento, clasificándose en dos tipos:

—Baterías que funcionan en ciclos de carga-descarga (Ej. baterías de las carretillas eléctricas).

—Baterías conectadas permanentemente al equipo de carga y al circuito de utilización (Ej. baterías de automóviles).

24.3.1.1 *Batería que funciona con ciclos de carga y descarga*

Se emplean los procedimientos siguientes:

1. *Carga con dos regímenes de intensidad*

Consiste en aplicar una intensidad constante hasta alcanzar una tensión de unos 2,4 V por elemento, y, entonces, reducir la intensidad, manteniéndola también constante, con el nuevo valor, hasta completar la carga. En la figura 24.7 se representan las curvas típicas de carga por este sistema, tanto de la tensión como de la corriente aplicada. La duración de la carga es de unas 8 horas.

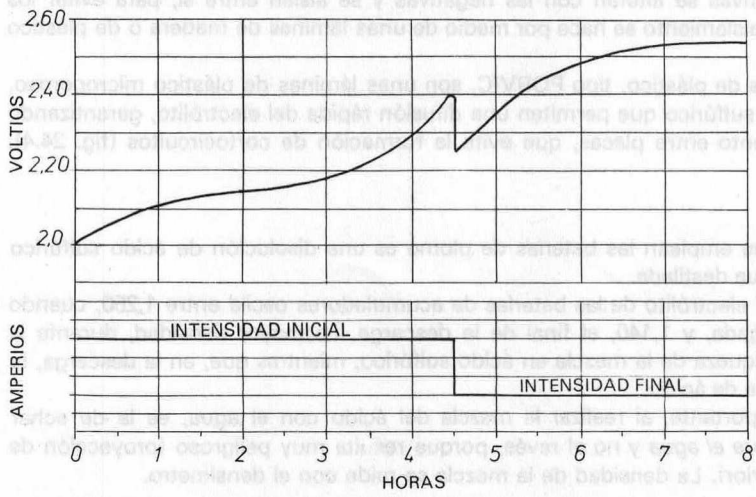


Fig. 24.7 Curva de carga con dos regímenes de intensidad.

2. *Carga con intensidad decreciente*

Consiste en aplicar una tensión constante (entre 2,6 y 2,9 V por elemento), conectando en serie con la batería, una resistencia calculada previamente. De este modo, la corriente de carga adquiere un valor que irá disminuyendo automáticamente, a medida que aumente la carga; normalmente, el tiempo de carga suele ser de unas 10 horas (fig. 24.8).

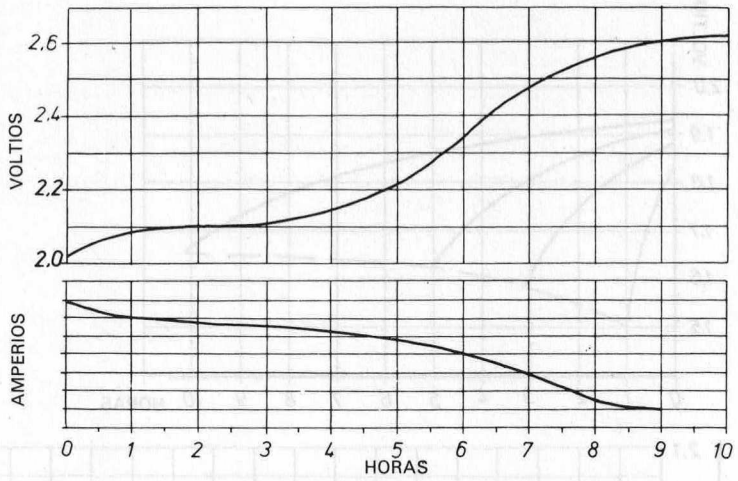


Fig. 24.8 Curva de carga con intensidad decreciente.

24.3.1.2 *Batería conectada permanentemente*

La carga se efectúa automáticamente por medio de relés de tensión o de intensidad (reguladores). Tal es el caso de las baterías de los automóviles, cuya carga se hace a través de una dinamo o de un alternador con rectificadores. Cuando el generador es movido lentamente, produce una f.e.m. mínima, que puede ser incluso inferior a la de la batería (12 V), y hasta descargarse ésta a través del generador, haciéndole funcionar como motor. Para evitar esto, se coloca, en serie con la batería un *relé* (disyuntor) que abrirá el circuito en caso de baja tensión de generador, y lo cerrará, cuando aumente la f.e.m. del generador, por haber aumentado la velocidad del motor.

24.3.2 *Característica de descarga*

Cuando se utiliza un acumulador de plomo para alimentar un circuito exterior (descarga), su tensión es inferior a la de vacío (circuito abierto) debido a la caída de tensión en la resistencia interna:

$$V = E - r_i \cdot I$$

pero a su vez:

$$V = R \cdot I$$

luego:

$$E = R \cdot I + r_i I = I (R + r_i)$$

finalmente:

$$\boxed{I = \frac{E}{R + r_i}}$$

V = tensión útil
E = f.e.m. de vacío
r_i = resistencia interna
R = resistencia exterior
I = corriente de descarga.

Cuando el acumulador está descargando, la tensión en bornes disminuye, al principio lentamente y, al final, de un modo más rápido.

La tensión en descarga depende del valor de la intensidad, siendo menor cuanto más fuerte sea la corriente. En la figura 24.9 puede apreciarse la variación de tensiones para diferentes regímenes de descarga en dos acumuladores.

24.4 Acumuladores alcalinos

A causa de los problemas surgidos en los acumuladores de plomo por la sulfatación, que prácticamente los inutiliza, se investigó con otros materiales que no tuviesen ese defecto y así surgió el acumulador alcalino.

24.4.1 *Constitución*

Los acumuladores alcalinos constan de:

— *Recipiente.*
— *Placas positivas.*
— *Placas negativas.*
— *Separadores.*
— *Electrólito.*

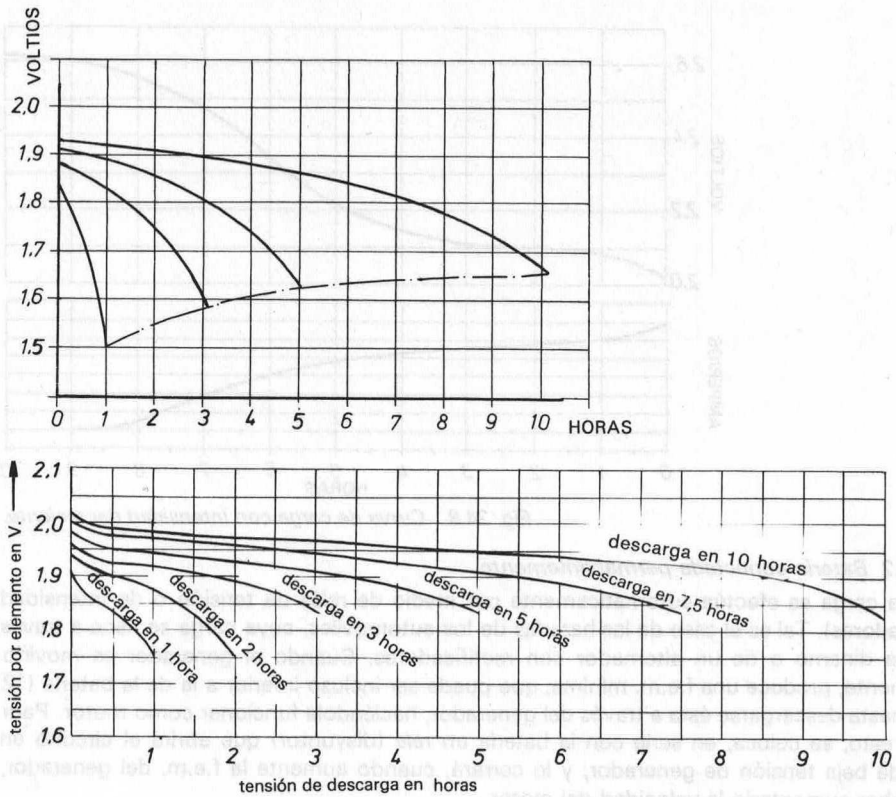


Fig. 24.9 Curvas de descarga en acumuladores de plomo.

24.4.1.1 *Recipiente*

Se construye con chapa de acero niquelado, cerrado herméticamente, y que dispone de unos tapones para añadir agua destilada.

En algunos casos, es de plástico.

24.4.1.2 *Placas positivas*

Se construyen con tubos de acero-níquel, en cuyo interior se ha alojado la materia activa formada por níquel puro. También se emplean flejes de acero perforados, formando cajas rectangulares, en cuyo interior se introduce la materia activa a presión.

24.4.1.3 *Placas negativas*

El sistema de construcción es igual al empleado para las placas positivas, pero cuya materia activa es cadmio o hierro que forman los acumuladores de cadmio-níquel o hierro-níquel.

24.4.1.4 *Separadores*

Se construyen de plástico o bien de ebonita.

24.4.1.5 *Electrólito*

Se compone de una solución de potasa cáustica de peso específico 1,2. Sirve como puente de unión eléctrica entre las dos placas; pero, sin tomar parte en las reacciones químicas. Su densidad permanece constante.

24.4.2 *Funcionamiento*

Durante la carga se producen reacciones químicas que transforman el hidróxido de níquel en sexquióxido de níquel (placas positivas) y el óxido ferroso en hierro (placas negativas) y absorbe agua. En la descarga las reacciones son inversas.

La f.e.m. de los acumuladores alcalinos, una vez cargados, es:

Acumuladores de hierro-níquel: de 1,45 a 1,5 V.

Acumuladores de cadmio-níquel: de 1,35 a 1,4 V.

24.4.3 *Aplicaciones*

Las aplicaciones de los acumuladores alcalinos están dirigidas a centrales eléctricas: alimentan circuitos de relés y contactores, en telefonía, en telegrafía, etc.

Los acumuladores de plomo tienen *mayores aplicaciones que los alcalinos.* Porque son más económicos, tienen mejor rendimiento, mayor constancia de tensión en la descarga por ser menor la resistencia interna.

En cambio los acumuladores alcalinos ofrecen las ventajas de su gran resistencia mecánica, de no producir el fenómeno de la sulfatación, y de poder dejarlos, durante largo tiempo, en reposo.

24.5 Otras características de los acumuladores

Además de las características de carga y descarga, es importante conocer la *capacidad* y el *rendimiento* de los acumuladores.

24.5.1 *Capacidad*

Es la cantidad de electricidad que puede almacenar en amperios-hora (Ah). También se define la capacidad como el producto de la corriente de descarga (A) por el tiempo de descarga en horas (h), hasta llegar a una tensión final determinada.

La capacidad depende de la temperatura, del tipo de acumulador y de la intensidad de descarga; es mayor, cuanto menor sea la corriente de descarga. Normalmente, los fabricantes dan la capacidad para tiempos de descarga de 5 horas y temperaturas de 25 °C. En la figura 24.10, se representan las curvas de variación de la capacidad con el régimen de descarga.

La capacidad depende también de la temperatura del electrólito, disminuyendo o aumentando, ambas a la vez. A continuación, se dan valores de temperatura y capacidad de un acumulador:

Temperatura de electrólito	*Capacidad en 5 horas*
25 °C.	100 %
0 °C.	70 %
−18 °C.	40 %

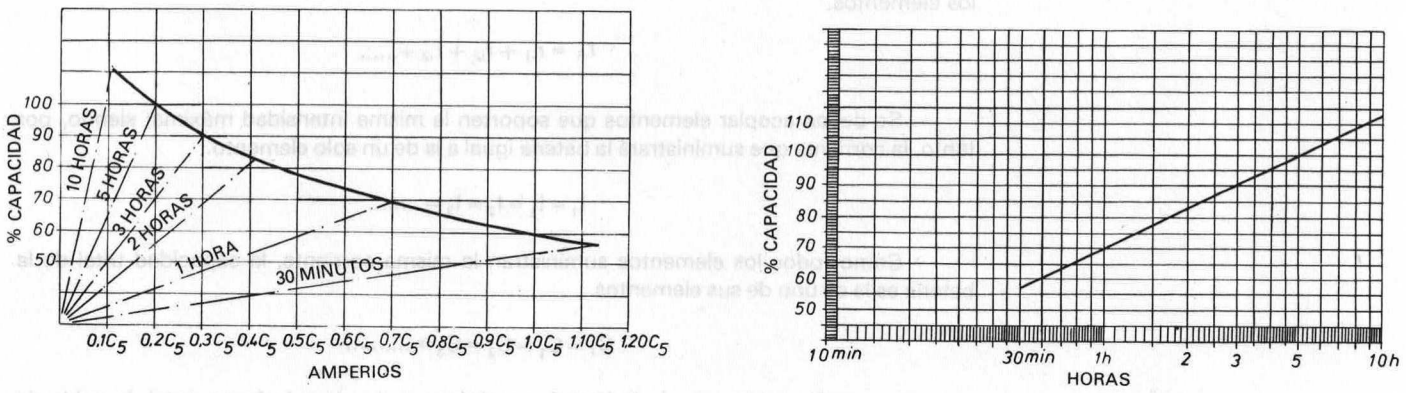


Fig. 24.10 Curvas de variación de capacidad en función de la carga.

24.5.2 *Rendimiento*

Pueden distinguirse dos tipos de rendimiento: rendimiento en cantidad y rendimiento energético.

24.5.2.1 *Rendimiento en cantidad*

Es el cociente entre el número de amperios-hora obtenidos de la batería durante la descarga, y el número de amperios-hora absorbidos en la carga. En los acumuladores de plomo es del 90 % aproximadamente.

24.5.2.2 *Rendimiento energético*

Es el cociente entre la energía suministrada en vatios-hora y la energía absorbida en vatios-hora.

En los acumuladores de plomo, un valor medio es del 74 %, y de un 50 % en un acumulador de hierro-níquel.

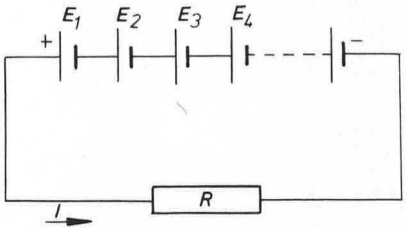


Fig. 24.11 Acoplamiento serie.

24.5.3 *Necesidad del uso de acumuladores*

A pesar de que el coste de la energía eléctrica, suministrada por un acumulador, es superior al coste de la energía de la fuente de alimentación, en muchos casos es necesario recurrir a ellos, tal como: en la puesta en marcha e iluminación de automóviles, en la alimentación de los motores eléctricos de los submarinos de inmersión, en las centrales eléctricas, en la señalización de cuadros de mando, en las subestaciones transformadoras para maniobra de interruptores, en las centrales telefónicas, telégrafos, alumbrado de emergencia en hospitales y salas de espectáculos, etc.

24.6 Acoplamiento de pilas y acumuladores

Tanto las pilas, como los acumuladores, se pueden conectar de tres formas diferentes:

— *Acoplamiento en serie.*
— *Acoplamiento en paralelo.*
— *Acoplamiento mixto.*

24.6.1 *Acoplamiento en serie*

Se emplea cuando es necesario disponer de tensiones superiores a las que puede proporcionar un solo elemento. El acoplamiento se hace uniendo el polo positivo del primer elemento con el polo negativo del segundo, el polo positivo del segundo con el negativo del tercero, y así sucesivamente (fig. 24.11), quedando libres el polo negativo del primero y el positivo del último (terminales de la batería).

24.6.1.1 *Propiedades*

Las propiedades del acoplamiento en serie son las siguientes:

—La f.e.m. de la batería es la suma de todas las fuerzas electromotrices de los elementos.

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + ...$$

—La resistencia interna de la batería es la suma de las resistencias internas de todos los elementos.

$$r_{it} = r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} + ...$$

—Se deben acoplar elementos que soporten la misma intensidad máxima; siendo, por tanto, la corriente que suministrará la batería igual a la de un solo elemento.

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = ...$$

—Como todos los elementos suministran la misma corriente, la capacidad total de la batería es la de uno de sus elementos.

$$C_t = C_1 = C_2 = C_3 = ...$$

—La tensión en bornes de la batería se obtiene restando a la f.e.m. total, la caída de tensión interna total.

$$V = E_t - r_{it} \cdot I$$

Ejercicio de aplicación:

Se dispone de una batería de 10 pilas en serie, de características: f.e.m. = 1,5 V y r_i = 0,2 Ω cada una. Alimentan un circuito exterior formado por una resistencia de 50 Ω. Hallar:

1.°) Intensidad exterior.
2.°) Tensión en bornes de la resistencia.
3.°) Potencia útil consumida por la resistencia.

Solución:

1.°) Observando la fig. 24.11, puede calcularse el valor de la intensidad:

$$I = \frac{E_t}{R + r_{it}} = \frac{10 \cdot 1,5}{50 + (10 \cdot 0,2)} = \frac{15}{52} = 0,2884 \text{ A}$$

2.°) El cálculo de la tensión en bornes es simplemente aplicación de la fórmula:

$$V = E_t - (r_{it} \cdot I) = 10 \cdot 1,5 - (0,2 \cdot 0,2884) = 14,94 \text{ V}$$

3.°) La potencia útil en el receptor se obtiene por la fórmula:

$$P = V \cdot I = (14{,}94) \cdot (0{,}2884) = 4{,}309\ W$$

24.6.2 *Acoplamiento en paralelo*

Se emplea cuando es necesaria una corriente mayor que la que puede suministrar un solo elemento. El acoplamiento se hace uniendo todos los polos positivos en un mismo punto, e igualmente los negativos en otro punto. Estos dos puntos son los polos terminales de la batería (fig. 24.12).

El acoplamiento en paralelo se debe realizar con elementos, que tengan la misma f.e.m. y también la misma resistencia interna.

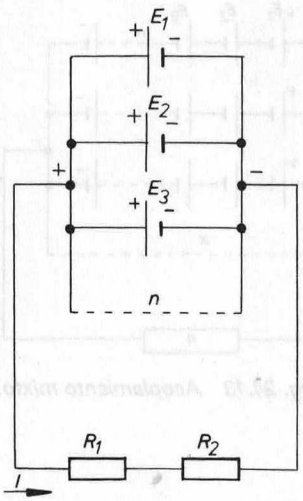


Fig. 24.12 Acoplamiento derivación.

24.6.2.1 *Propiedades*

Las propiedades del acoplamiento en paralelo son:

La f.e.m. de la batería es igual a la f.e.m. de cada elemento.

$$E_t = E_1 = E_2 = E_3 = \ldots\ldots$$

La resistencia interna de la batería es igual al cociente entre la resistencia de un elemento y el número de elementos.

Al ser varias resistencias en derivación, la resistencia total es la siguiente:

$$r_{it} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots} = \frac{1}{\frac{n}{r_i}} = \frac{r_i}{n}$$

Siendo *n* el número de elementos.

—La corriente suministrada por la batería es la suma de las corrientes suministradas por todos sus elementos.

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots\ldots$$

—La capacidad total de la batería es la suma de las capacidades de todos sus elementos.

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots$$

—La tensión en bornes de la batería se obtiene restando de la f.e.m. de cada elemento la caída interna total:

$$V = E_t - r_t \cdot I_t = E_1 - r_t \cdot (I_1 + I_2 + I_3 + \ldots) = E_1 - \frac{r_i}{n} \cdot (n \cdot I_1) = E_1 - r_i \cdot I_1$$

Ejercicio de aplicación:

Un circuito formado por dos resistencias en serie de 25 Ω cada una, está alimentado por una batería de 10 elementos en paralelo de f.e.m. = 1,5 V y $r_2 = 0{,}2$ cada uno (fig. 24.12).

Averiguar:

1.°) Intensidad que circula por las resistencias.

2.°) Tensión en bornas de cada resistencia.

3.°) Rendimiento eléctrico de la batería.

Solución:

1.°) La resistencia total del circuito será:

$$r_{it} = \frac{r_i}{n} = \frac{0{,}2}{10} = 0{,}02\ \Omega$$

La resistencia total del circuito será:

$$R_t = R + r_{it} = (25 + 25) + (0{,}02) = 50{,}02\ \Omega$$

La intensidad del circuito principal será:

$$I = \frac{E_t}{R_t} = \frac{1{,}5}{50{,}02} = 0{,}029\,98\ A$$

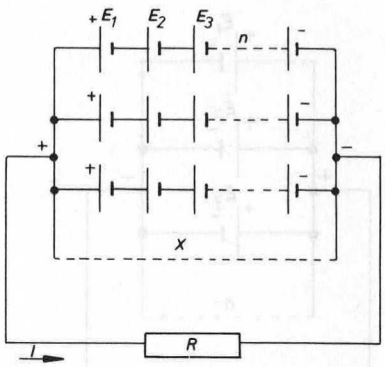


Fig. 24.13 Acoplamiento mixto.

2.°) La tensión en bornas de la batería será:

$$V = E_t - r_{it} \cdot I_t = 1{,}5 - (0{,}02 \cdot 0{,}029) = 1{,}4994\ V$$

3.°) El rendimiento eléctrico es el cociente entre:

$$\eta = \frac{V\,I}{E\,I} = \frac{V}{E} = \frac{1{,}49}{1{,}5} = 99\ \%$$

24.6.3 *Acoplamiento mixto*

Se emplea este acoplamiento para situaciones medias entre la conexión serie y la derivación. Este procedimiento agrupa elementos en serie puestos a su vez en derivación entre sí.

La tensión resultante dependerá del número de elementos en serie y la intensidad del número de baterías en paralelo (fig. 24.13).

24.6.3.1 *Propiedades*

Las propiedades del acoplamiento mixto son:

—La f.e.m. de la batería es la de un grupo cualquiera de los elementos en serie:

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 + \ldots = n\,E$$

Siendo *n* el número de elementos en serie.

—La resistencia interna de la batería es el cociente entre la resistencia de un grupo y el número de grupos:

$$r_{it} = \frac{n \cdot r_i}{X}$$

Siendo r_i la resistencia interior de un elemento, y x el número de grupos.

—La corriente suministrada por la batería es el producto de la corriente de un elemento por el número de grupos:

$$I_t = x \cdot I_1 = x \cdot I_2 = x \cdot I_3 = \ldots$$

—La capacidad total de la batería es el producto de la capacidad de un elemento por el número de grupos:

$$C_t = x \cdot C_1 = x \cdot C_2 = x \cdot C_3 = \ldots$$

—La tensión en bornes de la batería se obtiene restando de la f.e.m. total la caída interna total:

$$V = E_t - r_{it} \cdot I_t$$

Ejercicio de aplicación:

Se dispone de un acoplamiento mixto formado por 3 grupos en paralelo, de 15 elementos en serie de E = 1,5 V y r_i = 0,2 Ω cada elemento, para alimentar un receptor de 44 Ω de resistencia (fig. 24.13). Hallar:

1.°) La corriente absorbida por el receptor.
2.°) La tensión que existe en bornas de la batería.
3.°) La potencia consumida por el receptor.

Solución:

1.°) La f.e.m. total será:

$$E_t = n \cdot E = 15 \cdot 1{,}5 = 22{,}5\ V$$

La resistencia total de la batería será:

$$r_{it} = \frac{n \cdot r_i}{x} = \frac{15 \cdot 0{,}2}{3} = 1\ \Omega$$

La resistencia total del circuito será:

$$R_t = R + r_{it} = 44 + 1 = 45\ \Omega$$

La corriente que circula por el receptor será:

$$I = \frac{E_t}{R_t} = \frac{22,5}{45} = 0,5\,A$$

2.°) La tensión en bornes de la batería será:

$$V = E_t - r_{it} \cdot I = 22,5 - 1 \cdot 0,5 = 22\,V$$

3.°) La potencia consumida por el receptor será:

$$P = V \cdot I = 22 \cdot 0,5 = 11\,W$$

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Aplicaciones de las baterías de acumuladores en tracción.
— Métodos empleados actualmente en la carga de baterías de acumuladores.
— Aplicaciones de las baterías estacionarias.

CUESTIONARIO

— ¿Cuál es el fundamento de los acumuladores de plomo?
— ¿Cuáles son las aplicaciones de las baterías en los vehículos eléctricos?
— ¿Para qué sirve la batería de un automóvil? ¿Cómo se controla la carga y descarga adecuada?
— ¿Qué es la sulfatación?
— ¿Qué ventajas tendrían los vehículos si todos fuesen movidos por la energía eléctrica de las baterías de los acumuladores? ¿Por qué no se ha extendido este tipo de funcionamiento a todos los vehículos?
— Dibujar el esquema de funcionamiento de alumbrado de emergencia en un hospital por medio de baterías.
— Una batería, formada por 20 elementos de $r_i = 0,2\,\Omega$, cada uno, alimenta un circuito formado por 2 lámparas en serie a 12 V cada una, absorbiendo una corriente de 1 A. Calcular la f.e.m. de cada elemento y dibujar el circuito.
— Para alimentar un motor eléctrico se emplean dos baterías de acumuladores en paralelo, formadas por 6 elementos de 2 V cada una. Sabiendo que el motor absorbe 40 W a 10 V, hallar la resistencia interna de cada elemento, y dibujar el circuito.
— Un circuito formado por 3 lámparas en paralelo de 0,5 W y 1,5 V cada una, se alimenta por elementos de f.e.m. = 1,55 V y $r_i = 0,2\,\Omega$. Se trata de dibujar el circuito eléctrico y averiguar el número de elementos.

BIBLIOGRAFIA

Pilas y acumuladores, Enciclopedia CEAC de electricidad, Barcelona 1973.
BIASUTTI G., *Electricidad,* Editorial Científico Médica, Barcelona 1970.
— Información técnica de TUDOR, 1974.
NIARD J., *Curso de electricidad-1,* Toray-Masson, Barcelona 1971.

Tema 25. Constitución y funcionamiento de aparatos rectificadores. Características

OBJETIVOS

— Conocer diversos métodos de obtención de energía eléctrica en forma de corriente continua.
— Adquirir una noción muy clara sobre el funcionamiento de los rectificadores de vapor de mercurio.
— Conocer el funcionamiento y principales características de los rectificadores sólidos.
— Introducir al alumno en el tema de los semiconductores. Aplicación a los rectificadores.

GUION

- Introducción.
- Convertidores rotativos.
- Conceptos generales sobre rectificadores:
  Funcionamiento.
  Rectificadores de vapor de mercurio.
  Rectificadores de semiconductores:
  Ideas sobre el rectificador controlado.

PUNTOS CLAVE

- Conocer los métodos empleados actualmente para la producción de corriente continua.
- Diferenciar los diferentes aparatos rectificadores por su funcionamiento y características.

EXPOSICION DEL TEMA

25.1 Introducción

La producción y el transporte de energía eléctrica resulta más rentable, si se realiza con corriente alterna que con corriente continua; por ello, la distribución se hace en forma de corriente alterna. Pero como existen algunas instalaciones que deben funcionar con corriente continua, como tracción ferroviaria, industria electroquímica, soldadura eléctrica, etc..., es necesario convertir la corriente alterna en continua en el lugar de consumo, o bien, disponer de batería de acumuladores.

Ya se explicó en el tema anterior la obtención de energía eléctrica a través de los acumuladores; pero este sistema presenta numerosos inconvenientes, a escala industrial por lo que se sustituye con el empleo de *convertidores* de corriente alterna en corriente continua.

Los convertidores de corriente alterna en continua pueden ser rotativos o estáticos. Actualmente todos tienden a ser de tipo estático (rectificadores) y, dentro de estos, los *rectificadores de semiconductor*.

25.2 Convertidores rotativos

Se conectan a una red de corriente alterna y suministran energía en forma de corriente continua para una instalación determinada. De entre los diversos tipos de convertidores, los más importantes son:

- *Grupos motor-dinamo.*
- *Conmutatriz.*

25.2.1 *Grupo motor-dinamo* (fig. 25.1)

Consta de un motor que convierte la energía eléctrica (alterna) en mecánica, y de un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica (continua). Las dos máquinas suelen acoplarse mecánicamente en la misma bancada. Su escasa aplicación práctica se debe al bajo rendimiento del grupo (producto de rendimientos de ambas máquinas) y al elevado coste de la instalación.

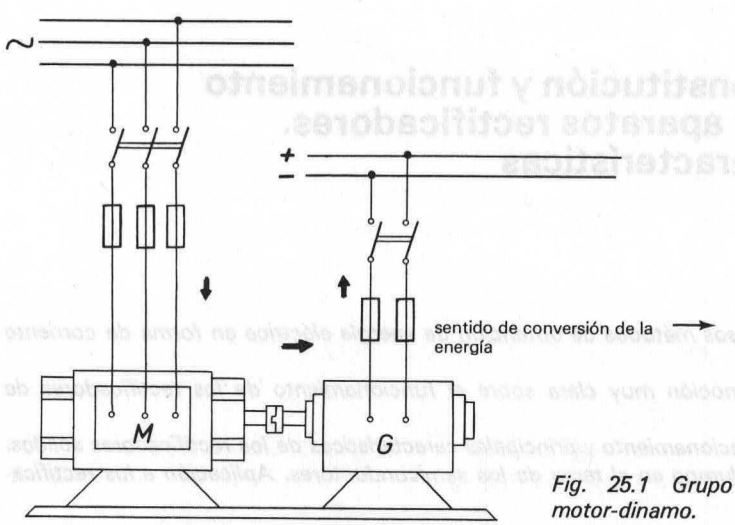


Fig. 25.1 Grupo convertidor rotativo motor-dinamo.

Ejercicio de aplicación

Hallar el rendimiento global del grupo motor-generador de la figura 25.1, sabiendo que el rendimiento del motor es del 90 % y el del generador del 80 %. Averiguar la potencia que absorberá de la red de corriente alterna cuando suministre 100 kW en forma de corriente continua.

Solución

El rendimiento total del grupo será:

$$\eta_T = \eta_M \cdot \eta_G = \frac{90}{100} \cdot \frac{85}{100} = 0{,}765\,;\ \eta_T\,\% = 76{,}5\,\%$$

que expresado en tanto por ciento será:

$$\eta_T = 76{,}5\,\%$$

La potencia absorbida se obtiene a partir de la potencia útil y del rendimiento del grupo:

$$\eta_T = \frac{P_u}{P_a}$$

$$P_a = \frac{P_u}{\eta_T} = \frac{100}{0{,}765} = 130{,}7\ \text{kW}$$

P_u = potencia útil
P_a = potencia absorbida

Lo que quiere decir que este grupo debe absorber 130,7 kW para suministrar 100 kW.

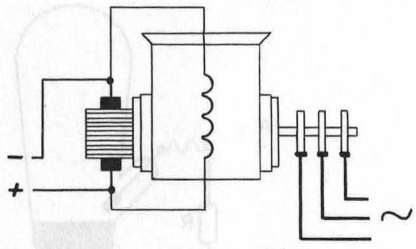


Fig. 25.2 Conmutatriz trifásica.

25.2.2 *La conmutatriz* (fig. 25.2)

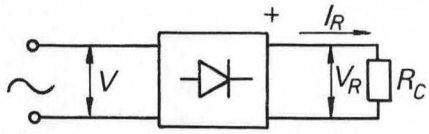
Es una máquina eléctrica rotativa similar a la dinamo, con la diferencia de disponer de un sistema de anillos rozantes para corriente alterna, además del colector para la parte de corriente continua. La conmutatriz absorbe energía de la red de corriente alterna por los anillos rozantes y suministra corriente continua por el colector de delgas. A pesar de ser una máquina que presenta numerosas formas de utilización, la única empleada es la que se ha descrito; pero, hace tiempo que se ha sustituido por los rectificadores.

25.3 Conceptos generales sobre rectificadores

Se denomina *rectificador* todo aparato o dispositivo capaz de convertir corriente alterna en corriente continua.

Un rectificador ideal es el que permite el paso de la corriente en un sentido (sin ofrecer ninguna resistencia), e impide circular la corriente en sentido contrario al anterior (presentando una resistencia infinita).

Los rectificadores reales son los que se aproximan a los ideales.



V = tensión de entrada
V_R = tensión de salida
I_R = corriente absorbida por el receptor

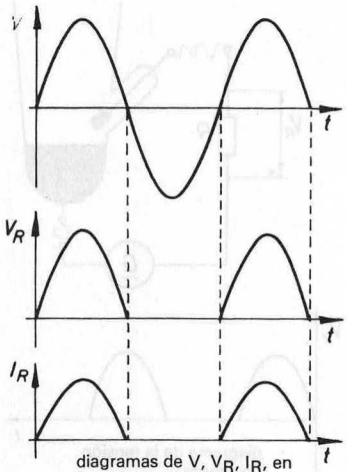
25.3.1 *Funcionamiento*

Puede verse en la figura 25.3.

Al intercalarse en el circuito de corriente alterna, permite el paso de corriente en la semionda positiva, pero no la negativa, convirtiendo la corriente alterna en pulsatoria.

Se consideran elementos rectificadores los dispositivos que presentan una resistencia mínima a la corriente en un sentido, y muy elevada en el sentido opuesto. Ejemplo de dispositivos que funcionan, según este requisito, son: las cubas de mercurio, placas de óxido de cobre, de selenio, los modernos de silicio, válvulas gaseosas, fanatrones, tiratrones, ignitrones y los rectificadores electromecánicos de contactos.

De todos los dispositivos pueden destacarse los de vapor de mercurio y los rectificadores con semiconductor.



diagramas de V, V_R, I_R, en función del tiempo

Fig. 25.3 Funcionamiento del rectificador en un circuito con carga óhmica.

25.3.2 *Rectificadores de vapor de mercuiro*

En general pueden dividirse en monofásicos y polifásicos.

25.3.2.1 *Rectificadores monofásicos de vapor de mercurio*

Un rectificador de vapor de merçurio (fig. 25.4) está constituido por un tubo de vidrio que contiene un ánodo de grafito (terminal positivo) y un cátodo de mercurio líquido (terminal negativo).

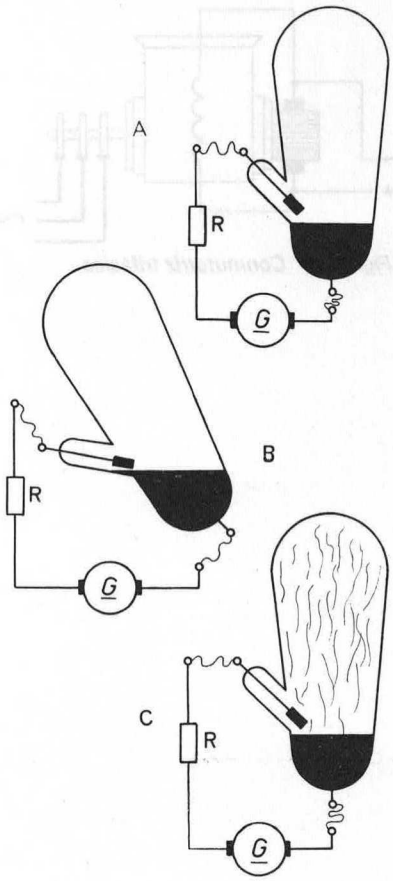


Fig. 25.4 Funcionamiento del rectificador de vapor de mercurio: A, posición inicial vertical; B, posición intermedia de cebado del arco; C, posición vertical de funcionamiento.

1. *Funcionamiento*

En la posición vertical del tubo (fig. 25.4 a) no habrá circulación de corriente por el interior de la válvula, por no emitir electrones el mercurio a la temperatura ambiente. Si se inclina el tubo, de forma que el mercurio haga contacto con el ánodo (fig. 25.4.b), se cerrará el circuito eléctrico. Inmediatamente se debe volver el tubo a su posición vertical, y se observará que se ha formado un arco eléctrico, que continuará mientras no se interrumpa el circuito exterior (fig. 25.4 c).

Este fenómeno va acompañado de un desprendimiento de luz azulada y la aparición de una mancha muy brillante (mancha catódica) que se mueve desordenadamente sobre el mercurio líquido; también se desprende calor, que da lugar a la evaporación del mercurio, condensándolo sobre las paredes y devolviéndolo de nuevo al cátodo.

2. *Utilización como rectificador*

Si se sustituye el generador de corriente continua, por otro de corriente alterna, el tubo actuará como rectificador y la corriente rectificada obtenida será la representada en la figura 25.5.

Para poder utilizar las dos semiondas, positiva y negativa, de la corriente alterna, se construye el rectificador con dos ánodos y un cátodo (fig. 25.6); también dispone de un ánodo auxiliar, que produce el cebado del arco, evitando así la inclinación del tubo.

El diagrama de la tensión resultante se indica en la figura 25.6, y el de la corriente depende del tipo de receptores que alimente.

La corriente rectificada, obtenida por el rectificador monofásico, no es corriente continua pura; y, en algunos casos, no puede emplearse directamente, ya que necesita un filtrado que se consigue mediante el empleo de bobinas y condensadores conectados adecuadamente.

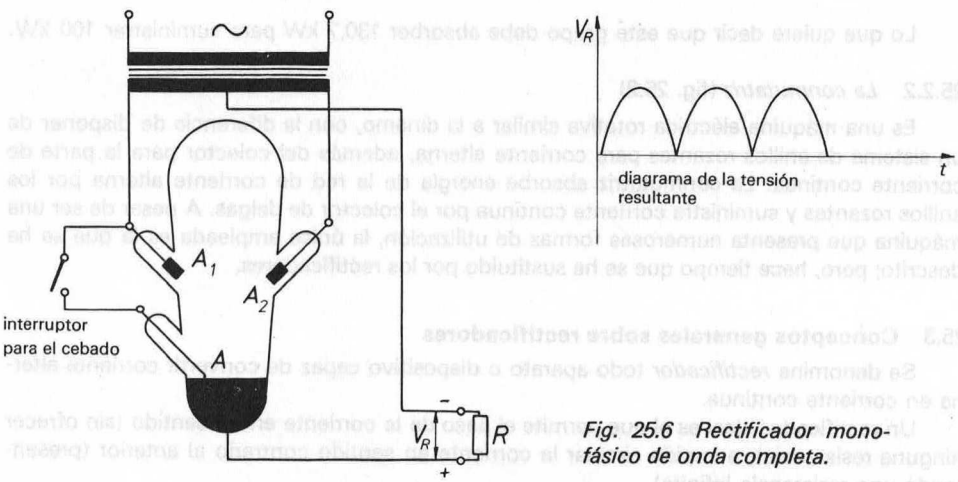


Fig. 25.6 Rectificador monofásico de onda completa.

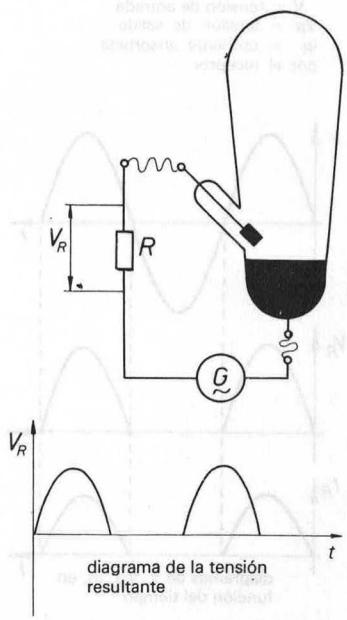


Fig. 25.5 Rectificador monofásico de vapor de mercurio.

25.3.2.2 *Rectificadores polifásicos de vapor de mercurio*

Con rectificadores polifásicos se pueden obtener corrientes con menos ondulaciones (más puras). Pueden destacarse entre ellos el rectificador trifásico y el hexafásico.

1. *Rectificador trifásico*

Consta de una ampolla con tres ánodos, alimentados por el secundario de un transformador conectado en estrella-triángulo; cada ánodo conducirá, mientras su tensión sea inferior a la de los otros dos ánodos, como se indica en el diagrama de la figura 25.7.

2. *Rectificador hexafásico*

Es el más empleado en la práctica, estando formado por una ampolla provista de 6 ánodos. La alimentación de los ánodos se hace por el secundario del transformador en conexión triángulo-estrella hexafásica y el diagrama de tensiones resultante es el indicado en la figura 25.8.

3. *Mantenimiento del vacío*

El rectificador de ampolla de vidrio pierde su vacío, al cabo de un número determinado de horas que suele estar comprendido entre las 50000 y las 100000; y, como además para corrientes elevadas habría que dar a la ampolla unas dimensiones enormes, ha sido sustituido por los recipientes metálicos. El rectificador con recipiente metálico dispone de doble

pared para facilitar la refrigeración, de un número de ánodos, que varía de tres a venticuatro, y de un ánodo encendido. Como resulta prácticamente imposible conseguir la hermeticidad total del recipiente metálico, en los grandes rectificadores, se instalan bombas de vacío para conseguirlo.

4. *Refrigeración*

Normalmente, la refrigeración se hace por agua (fig. 25.9) que circula por el interior de la doble pared. La temperatura de trabajo de estos rectificadores debe ser de 45 a 55 °C y las corrientes máximas son de unos 8000 A. Un tipo de rectificador de envoltura metálica, empleado actualmente en máquinas de soldadura por resistencia, es el *ignitrón*. Modernamente, se ha sustituido la refrigeración de agua por aire en rectificadores de hasta 1500 A; siguiendo el agua como refrigerante para intensidades superiores.

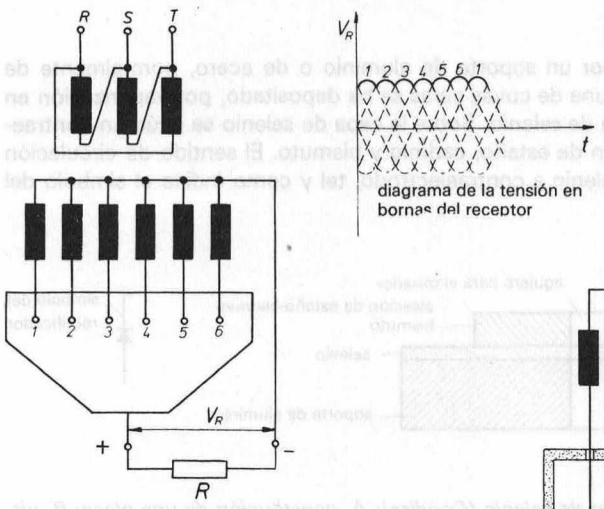


Fig. 25.8 Rectificador hexafásico.

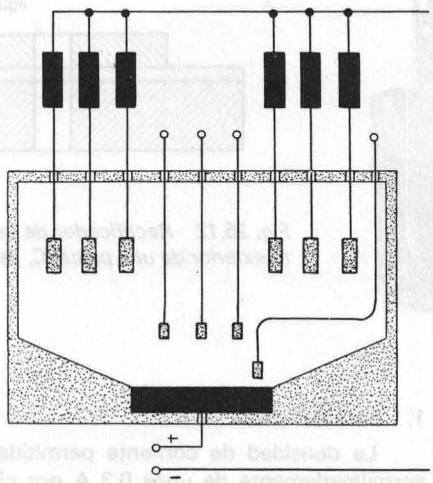


Fig. 25.9 Rectificador de vapor de mercurio metálico.

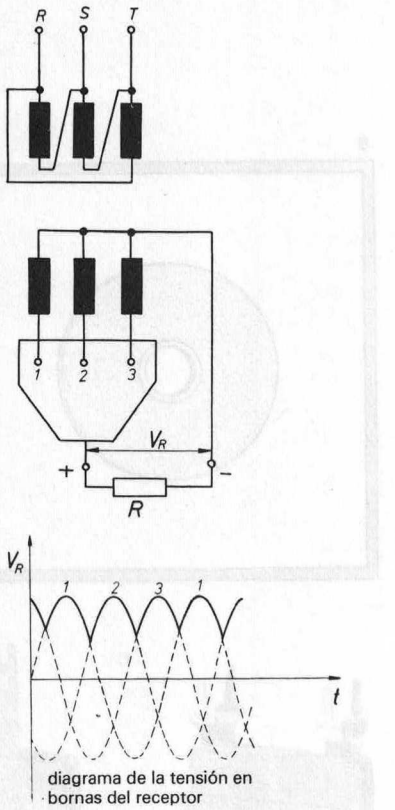


Fig. 25.7 Rectificador trifásico.

25.3.2.3 *Características de los rectificadores de vapor de mercurio*

Las más importantes son: la caída de tensión y el rendimiento.

1. *Caída de tensión interna de un rectificador de vapor de mercurio*

Se distribuye entre el cátodo, el ánodo y el recorrido del arco; por tanto, depende del tipo y del tamaño del rectificador, aunque normalmente oscila de 20 a 30 V. La característica de caída de tensión está en función de la corriente de carga y de la refrigeración del rectificador. En la figura 25.10 se observa que, si la carga aumenta bastante, también lo hace la caída de tensión y, si la refrigeración es eficaz, disminuye considerablemente la caída de tensión.

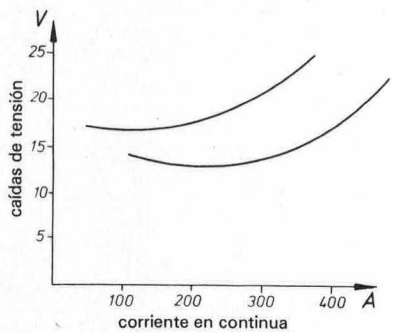


Fig. 25.10 Característica de caída de tensión de un rectificador de vapor de mercurio.

2. *Rendimiento de un rectificador de mercurio*

Viene expresado por la fórmula:

$$\eta = \frac{P_{útil}}{P_{útil} + P_{perdida}} = \frac{V_C \cdot I_C}{V_C \cdot I_C + v \cdot I_C} = \frac{V_C}{V_C + v}$$

η = rendimiento
P = potencia
V_C = tensión rectificada
v = caída de tensión interna
I_C = corriente absorbida por la carga

La característica del rendimiento, en función de la carga, se mantiene aproximadamente constante, a partir de 1/4 de plena carga (fig. 25.11).

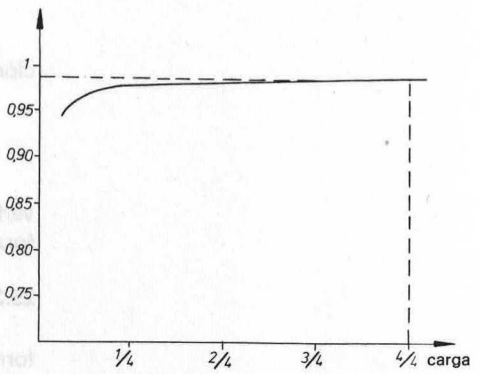


Fig. 25.11 Característica del rendimiento de un rectificador de vapor de mercurio.

25.3.3 *Rectificadores de semiconductores*

Los semiconductores son cuerpos intermedios entre los conductores y los aislantes. La unión de dos de diferente tipo tiene la propiedad de dejar pasar la corriente eléctrica en un sentido, pero no en el contrario.

Es muy importante conocer la máxima tensión en sentido inverso, que puede soportar un rectificador, puesto que, en caso de aplicarle una tensión inversa superior, se perfora el rectificador; la *tensión inversa* queda aplicada al rectificador en las semiondas negativas de la corriente alterna. El símbolo del rectificador es —▶

Entre los rectificadores, que emplean semiconductores, pueden destacarse por su aplicación actual:

— *Rectificadores de selenio.*

— *Rectificadores de germanio y silicio.*

25.3.3.1 *Rectificadores de selenio*

Están formados (fig. 25.12) por un soporte de aluminio o de acero, normalmente de forma cuadrada o rectangular, en una de cuyas caras se ha depositado, por vaporización en hornos de vacío, una delgada capa de selenio. Sobre la capa de selenio se sitúa un contraelectrodo, formado por una aleación de estaño, cadmio y bismuto. El sentido de circulación de la corriente eléctrica será de selenio a contraelectrodo, tal y como indica el símbolo del rectificador.

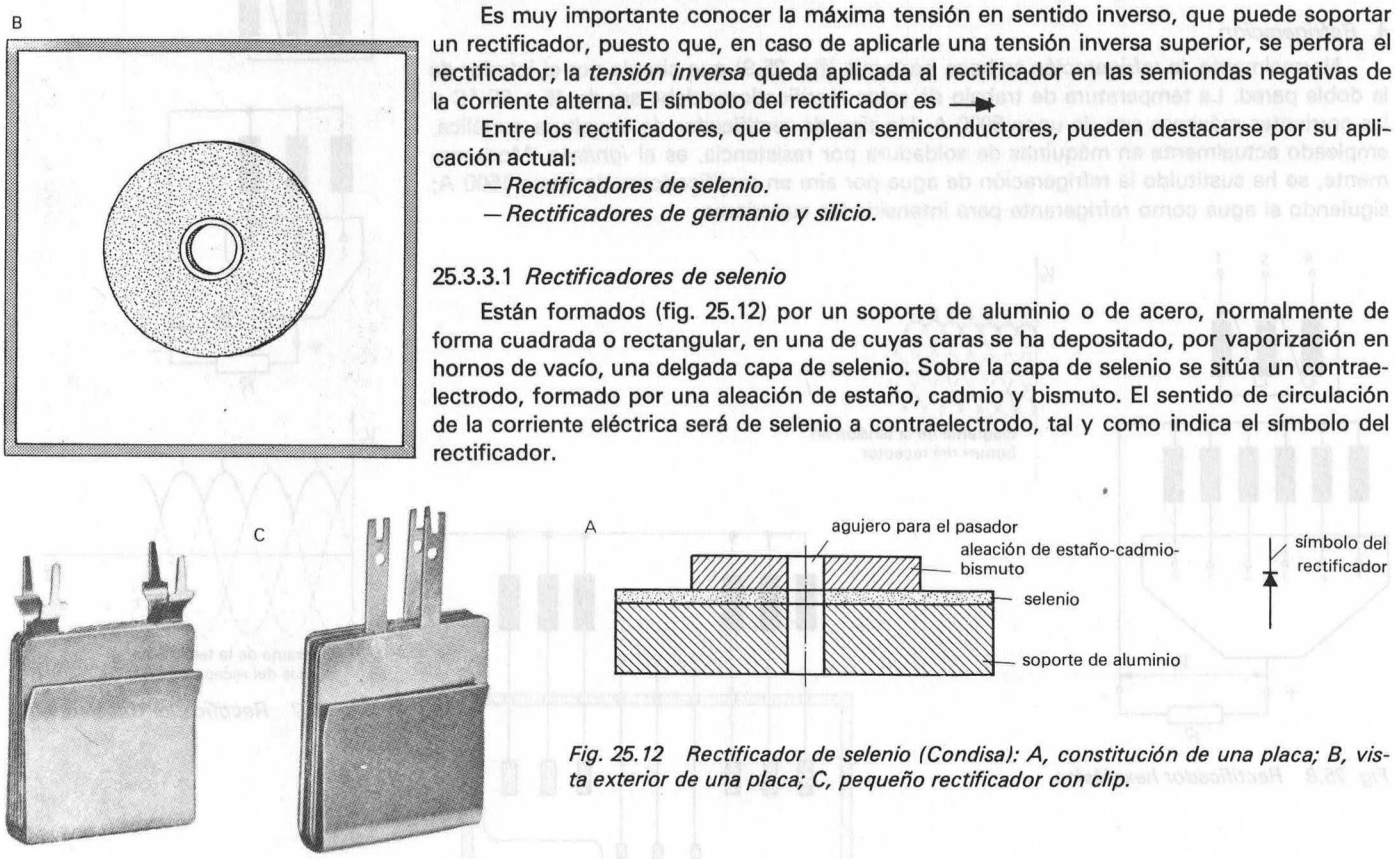


Fig. 25.12 Rectificador de selenio (Condisa): A, constitución de una placa; B, vista exterior de una placa; C, pequeño rectificador con clip.

1. *Características*

La densidad de corriente permitida para ese tipo de rectificador es muy pequeña, aproximadamente de unos 0,3 A por cm^2; por eso sus dimensiones son considerables, y favorecen la evacuación del calor, sin necesidad de añadir aletas de refrigeración.

La máxima tensión inversa, que pueden soportar estos rectificadores es del orden de los 25 a 30 V por elemento. La temperatura que soportan estos rectificadores es de unos 80 °C.

Una de las principales ventajas del empleo de rectificadores de selenio, es su capacidad para soportar corrientes elevadas, de corta duración, como son las producidas por cortocircuitos.

2. *Aplicaciones*

Los rectificadores de selenio se utilizan para:

— Alimentación de relés, contactores, electroimanes y motores de c.c.

— Alimentación con corriente continua de instalaciones y aparatos de telecomunicación, así como aparatos de medida.

— Producción de corriente continua para galvanotecnia y electrólisis.

— Alimentación de arcos de proyección para cinematografía.

— Soldadura eléctrica por arco.

La instalación de rectificadores de selenio se hace formando bloques de placas, que varían de 1 a 30 placas por bloque, con refrigeración natural y de 1 a 12, con refrigeración forzada (fig. 25.13).

25.3.3.2 *Rectificadores de germanio y silicio*

Las obleas de germanio y silicio se obtienen de un cristal de grandes dimensiones de forma cilíndrica, por medio de sierras automáticas de diamante. El espesor de las láminas obtenidas es de 0,3 a 0,5 mm y el diámetro depende de la corriente que circule por él.

Existen diferentes procedimientos para fabricar diodos rectificadores de germanio y silicio; el más empleado es el de unión por aleación.

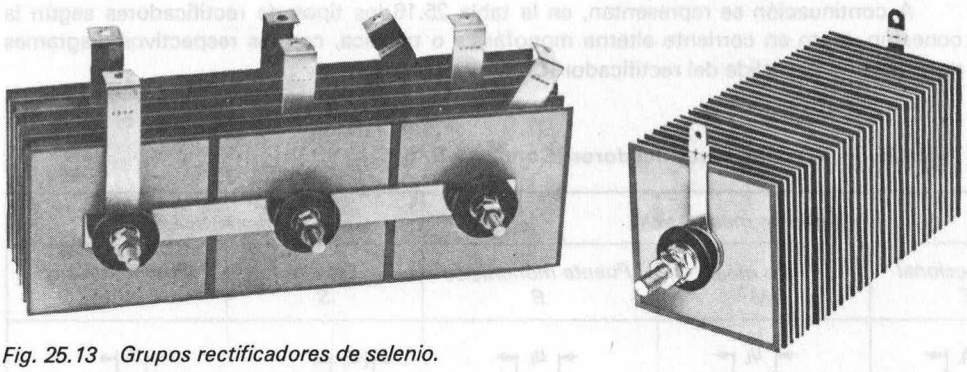
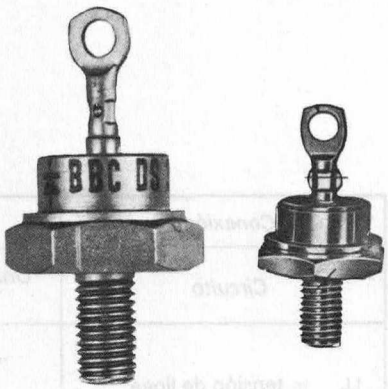
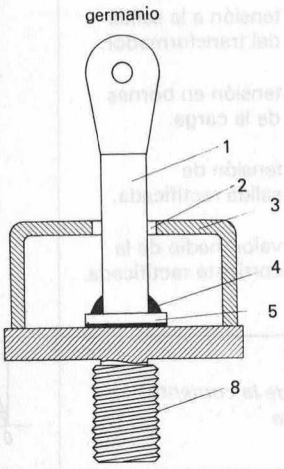


Fig. 25.13 Grupos rectificadores de selenio.





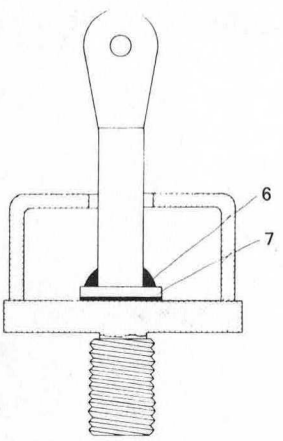


Fig. 25.14 Rectificadores de germanio y silicio: 1, electrodo de cobre; 2, aislante; 3, protección; 4, indio; 5, germanio; 6, aluminio; 7, silicio; 8, base de cobre.

1. *Constitución*

En una de las caras de la lámina de germanio se introducen, por calentamiento, partículas de otro material (indio), y a continuación se coloca el electrodo de cobre; por la otra cara de la lámina, se conecta la base (cobre) que hará de terminal negativo. El conjunto se debe montar sobre un recipiente con cierre hermético (fig. 25.14).

El diodo de silicio emplea idéntico sistema de construcción, con la excepción de cambiar el indio por aluminio o boro.

2. *Características*

Este tipo de rectificadores presenta una elevada tensión inversa (unos 300 V), y es muy adecuado para rectificaciones de cualquier valor de tensión; en el caso de emplear tensiones de alimentación superiores a 300 V, se colocarán varios rectificadores en serie.

Los rectificadores de silicio pueden trabajar a temperaturas comprendidas entre los 100 y los 120 °C.

Un inconveniente, que cabe señalar, es la gran sensibilidad de los diodos de silicio a las sobrecargas, aumentos de temperatura y sobretensiones, por lo que es necesario adaptar un eficaz sistema de refrigeración y otro de protección.

3. *Refrigeración*

La refrigeración de los diodos de silicio se hace por medio de radiadores, construidos a base de aleación de aluminio, pintados de negro para lograr mejor la evacuación del calor (fig. 25.15).

Los sistemas de refrigeración empleados en los rectificadores de semiconductores son tres:

— *Refrigeración natural de aire.*
— *Refrigeración forzada de aire (Disponer de ventiladores).*
— *Refrigeración por líquido (Agua o aceite).*

Actualmente existen instalaciones de rectificadores para fabricación de aluminio, por vía electrolítica, que emplean rectificadores de silicio, con una capacidad de 100000 A a 600 V, en corriente continua.

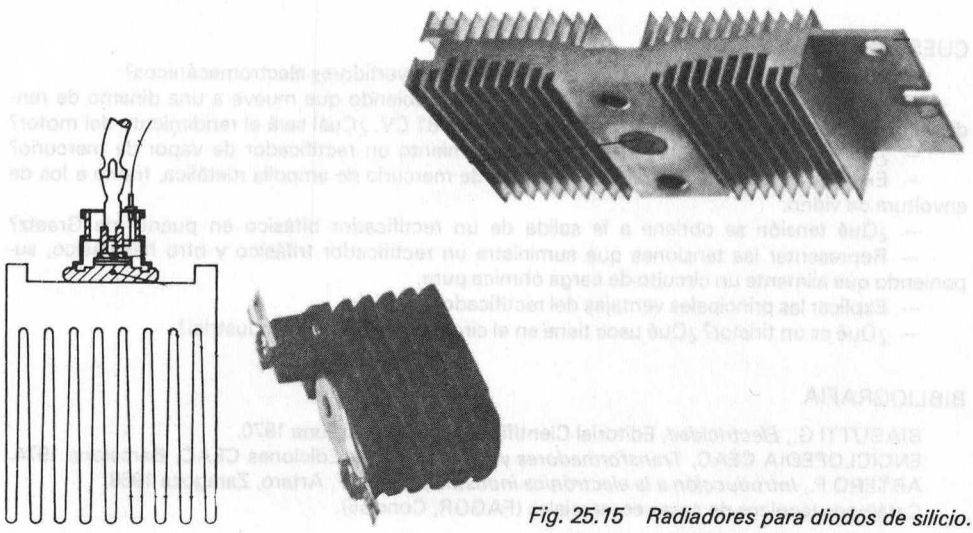
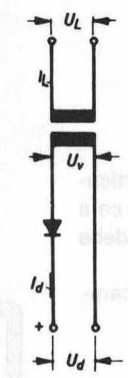
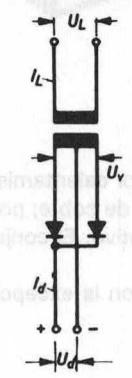
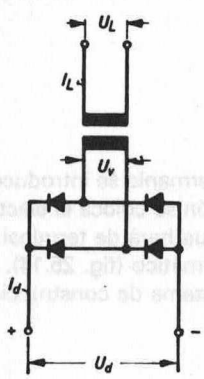
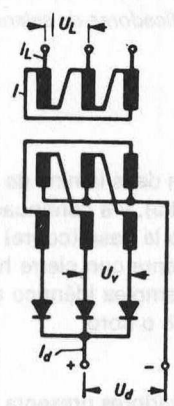
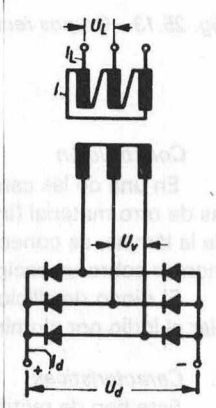
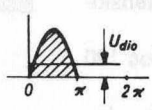
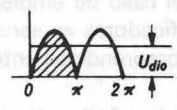
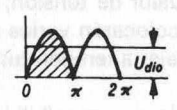
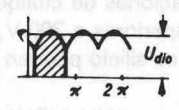
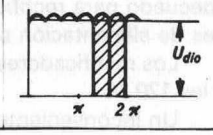


Fig. 25.15 Radiadores para diodos de silicio.

A continuación se representan, en la tabla 25.16 los tipos de rectificadores según la conexión, tanto en corriente alterna monofásica o trifásica, con los respectivos diagramas de tensiones a la salida del rectificador (Corriente continua).

Tabla 25.16 Circuitos rectificadores (Condisa - B. B. C.)

Conexión	*Corriente monofásica*			*Corriente trifásica*	
Circuito	*Unidireccional E*	*Punto medio M*	*Puente monofásico B*	*Estrella S*	*Puente trifásico D B*
U_L = tensión de línea. U_v = tensión a la salida del transformador. U_d = tensión en bornas de la carga. U_{dio} = tensión de salida rectificada. I_d = valor medio de la corriente rectificada.					
Forma de la corriente continua					

25.3.4 *Idea sobre el rectificador controlado*

En las explicaciones sobre rectificadores se ha partido siempre de una tensión de alimentación, por lo general suministrada por un transformador, y una salida del rectificador fija. Sin embargo, en muchas aplicaciones interesa, además de rectificar, controlar la corriente de salida, lo que puede lograrse con los componentes electrónicos siguientes: tiratrón, ignitrón y tiristor.

Básicamente constan de un cátodo, un ánodo y un electrodo de gobierno (control).

El *tiristor* que es el más interesante, se construye de silicio; una de sus aplicaciones, es la del control de velocidad, en motores de corriente continua.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO.

- Explicar alguna instalación industrial de rectificadores.
- Recopilar información sobre materiales semiconductores.
- Aplicaciones del silicio en el campo de la electrónica.

CUESTIONARIO

- ¿Qué ventajas e inconvenientes presentan los convertidores electromecánicos?
- Un motor eléctrico absorbe de la red 100 CV; sabiendo que mueve a una dinamo de rendimiento 90 %, y que ésta suministra una potencia de 81 CV. ¿Cuál será el rendimiento del motor?
- ¿Qué es necesario para poner en funcionamiento un rectificador de vapor de mercurio?
- Explicar las ventajas de los rectificadores de mercurio de ampolla metálica, frente a los de envoltura de vidrio.
- ¿Qué tensión se obtiene a la salida de un rectificador bifásico en puente de Graetz?
- Representar las tensiones que suministra un rectificador trifásico y otro hexafásico, suponiendo que alimente un circuito de carga óhmica pura.
- Explicar las principales ventajas del rectificador de silicio.
- ¿Qué es un tiristor? ¿Qué usos tiene en el circuito de aplicación industrial?

BIBLIOGRAFIA

BIASUTTI G., *Electricidad*, Editorial Científico Médica, Barcelona 1970.

ENCICLOPEDIA CEAC, *Transformadores y Convertidores,* Ediciones CEAC, Barcelona 1974.

ARTERO F., *Introducción a la electrónica industrial,* Editor: F. Artero, Zaragoza 1968.

Catálogos técnicos de casas comerciales (FAGOR, Condisa).

Tema 26. Mantenimiento, averías y reparaciones de las máquinas y aparatos eléctricos

OBJETIVOS

- *Comprender la importancia de un mantenimiento eficaz.*
- *Conocer las normas básicas sobre mantenimiento de las máquinas giratorias.*
- *Entretenimiento de las baterías de acumuladores.*
- *Conocer los aparatos básicos empleados en un taller de reparaciones.*
- *Orientación sobre localización de averías.*
- *Normas concretas sobre el modo de realizar las reparaciones.*
- *Establecer un orden determinado para realizar las reparaciones.*

GUION

- Generalidades sobre el mantenimiento.
- Mantenimiento de las máquinas y aparatos eléctricos:
  Mantenimiento de motores-generadores.
  Mantenimiento de los transformadores.
  Mantenimiento de las baterías de acumuladores.
  Mantenimiento de aparatos rectificadores.
- Generalidades sobre las reparaciones.
- Averías más frecuentes en las máquinas y aparatos eléctricos:
  Averías de las máquinas de corriente continua. Reparaciones.
  Averías de las máquinas de corriente alterna. Reparaciones.
  Averías de las baterías de acumuladores. Reparaciones.
  Averías de los rectificadores. Reparaciones.

PUNTOS CLAVE

- Normas a seguir para realizar un mantenimiento general.
- Localización de averías.
- Rapidez en la reparaciones.

EXPOSICION DEL TEMA

26.1 Generalidades sobre el mantenimiento

El *mantenimiento* de las máquinas y aparatos eléctricos consiste en la vigilancia constante de su funcionamiento, con objeto de evitar averías. La calidad del mantenimiento depende de la envergadura de la instalación, las grandes empresas industrializadas cuentan con equipos especiales para este trabajo.

Un mantenimiento eficaz requiere un programa calendario de inspecciones en el que se señale las partes que interesa controlar periódicamente, con la consiguiente reparación o recambio de material siempre que fuere necesario, con objeto de evitar averías importantes.

La inspección de las máquinas debe anotarse en fichas individuales para cada máquina, en las que deben figurar también sus datos técnicos, dados por el fabricante.

Es preciso señalar la enorme responsabilidad del equipo de mantenimiento, puesto que de él puede depender el tiempo de paralización en la producción, por averías en las máquinas.

26.2 Mantenimiento de las máquinas y aparatos eléctricos

Una norma aplicable a cualquier tipo de máquina es la limpieza, para evitar la acumulación de suciedad que puede disminuir su refrigeración. También es muy importante la revisión de las conexiones, procurando siempre que hagan buenos contactos.

Según los temas anteriores, se agrupan las máquinas eléctricas en: motores-generadores, transformadores, baterías de acumuladores y rectificadores.

A continuación se comentan las normas generales sobre su mantenimiento:

26.2.1 *Mantenimiento de motores-generadores*

En estas máquinas se deben vigilar, principalmente, las piezas sometidas a desgaste, como son cojinetes, colectores, anillos rozantes y escobillas.

26.2.1.1 *Cojinetes*

Los rodamientos tanto de bolas como de rodillos, exigen solamente un engrase periódico. La lubricación se efectuará con grasa, que sustituye a la grasa vieja.

Es importante comprobar si el cojinete tiene juego sobre el eje, ya que en caso afirmativo puede producir rozamiento entre la parte fija y móvil de la máquina, originando una avería.

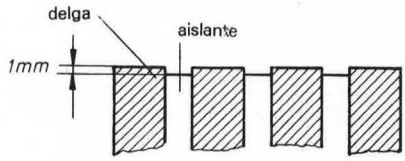


Fig. 26.1 Conservación del colector.

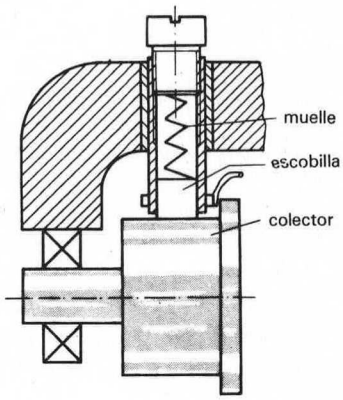


Fig. 26.2 Portaescobillas.

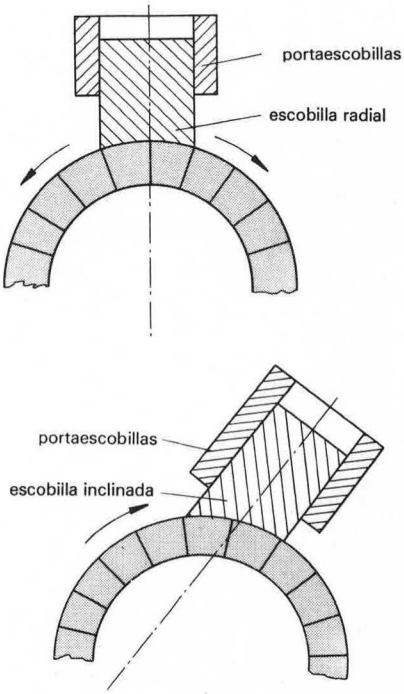


Fig. 26.3 Tipos de escobillas.

26.2.1.2 *Colectores y anillos rozantes*

Deben limpiarse periódicamente con lija, o torneando el colector con alguna máquina portátil en el caso de máquinas de gran potencia. El aislante entre las delgas del colector ha de quedar 1 mm por debajo de la superficie de la delga (fig. 26.1), con el fin de evitar la producción de cortocircuitos, por acumulación de partículas de las escobillas. Las aristas de las delgas se eliminan con una lima triangular pequeña. En el caso de anillos colectores, se emplean los mismos sistemas de mantenimiento.

26.2.1.3 *Escobillas*

Suelen construirse de grafito o aleaciones metálicas; deben ajustar en el interior del portaescobillas y, a la vez, tener una holgura que les permita moverse libremente. En la parte superior de la escobilla se encuentra el muelle, que proporciona la presión adecuada (fig. 26.2). La separación entre el colector y la parte inferior del portaescobillas es de unos 2 mm, para evitar desplazamientos de las escobillas. La posición de las escobillas puede ser radial o inclinada, según que la máquina cambie, o no, de sentido de giro (fig. 26.3). Se comprobará que la presión de la escobilla se mantiene constante y, antes de desgastarse totalmente, se procederá a su sustitución.

26.2.1.4 *Control de la temperatura*

También es importante averiguar la *temperatura* alcanzada por un motor o generador, comprobando si está dentro de los límites o, si por el contrario, los supera. El control de la temperatura se hace por medio de termómetros, o bien por variación de la resistencia de un bobinado de la máquina, al pasar de reposo a plena carga.

26.2.2 *Mantenimiento de los transformadores*

El transformador, al ser una máquina estática, disminuye considerablemente su mantenimiento, y tambien sus averías.

26.2.2.1 *Control de temperatura*

La vigilancia del transformador se centra en el control de la temperatura con indicadores a propósito para ello.

Se emplean como indicadores de temperatura los termómetros de mercurio que van situados en las zonas de mayor calor. Cuando la temperatura alcanza los valores máximos permisibles, es conveniente desconectar el transformador; esta maniobra se logra automáticamente con termómetros provistos de contactos eléctricos.

26.2.2.2 *Nivel de aceite*

También debe vigilarse el nivel del aceite en el depósito de expansión a través de una mirilla sobre la que aparece una reglilla graduada; si, por alguna causa, disminuye el aceite refrigerante, se añade la cantidad necesaria hasta llegar al nivel normal (fig. 26.4).

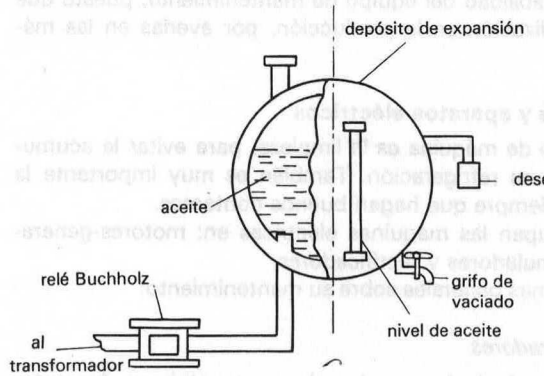


Fig. 26.4 Depósito de expansión del aceite de un transformador.

26.2.2.3 *Refrigeración*

En los transformadores de gran potencia es necesario emplear sistemas especiales de refrigeración; es necesaria una eficaz vigilancia de las bombas que voltean al aceite y de los ventiladores que refrigeran el aceite caliente.

26.2.3 *Mantenimiento de las baterías de acumuladores*

Ya se ha explicado en el tema de acumuladores la diferencia existente entre los de plomo y los alcalinos; consiguientemente también son diferentes su constitución y su mantenimiento.

26.2.3.1 *Acumuladores de plomo*

En estos acumuladores se pierde parte del electrólito por evaporación; por ello es necesario añadir agua destilada cuando desciende el nivel, ya que normalmente, el volumen de ácido sulfúrico suele ser constante. La comprobación de la carga de una batería puede hacerse midiendo la densidad del electrólito por medio del densímetro.

Los terminales se deben limpiar, cuando se depositen impurezas sobre ellos, y hay que protegerlos mediante una capa de grasa.

Se debe tener cuidado especial para no añadir impurezas en el interior de la batería y llegar a inutilizarla al producirse la sulfatación; por ello, cuando sea necesario añadir agua, se procurará emplear agua destilada muy limpia.

Es aconsejable revisar periódicamente el circuito de carga (disyuntor, rectificador, etc.), comprobando si funciona correctamente.

También se comprobará la temperatura del sitio de trabajo, ya que las bajas temperaturas pueden helar el agua de la batería.

26.2.3.2 *Acumuladores alcalinos*

También se produce pérdida de electrólito durante la carga, por lo que es necesario añadir agua destilada cada cierto tiempo; en este tipo de acumuladores precisa cambiar el electrólito cada dos o tres años.

Este tipo de acumuladores requiere también que la limpieza de terminales se haga con trapos húmedos. Si se dejan fuera de servicio durante largo tiempo, hay que limpiar los recipientes con agua, petróleo y serrín.

26.2.4 *Mantenimiento de aparatos rectificadores*

El mantenimiento es diferente según se trate de rectificadores de vapor de mercurio o a semiconductores.

26.2.4.1 *Rectificadores de vapor de mercurio*

Se deben limpiar los ánodos para evitar la formación de arcos de retroceso, en su funcionamiento normal.

Es muy importante la vigilancia de los sistemas de refrigeración para evitar temperaturas elevadas que ocasionarían un mal funcionamiento. Pero tampoco es conveniente instalar rectificadores en locales con temperaturas inferiores a 8° ó 10 °C.

26.2.4.2 *Rectificadores de semiconductores*

Debe tenerse en cuenta su gran sensibilidad a la temperatura y a las sobretensiones. La vigilancia de estos rectificadores se centrará, pues, en su refrigeración y en la revisión de los circuitos de protección.

En la refrigeración se cuidará de mantener la distancia adecuada entre los radiadores de ventilación y el local, armario o parte de la máquina en donde vayan instalados.

26.3 Generalidades sobre las reparaciones

Un eficaz mantenimiento disminuye las averías en una máquina, pero no las elimina totalmente, puesto que es imposible controlar todas las anomalías que se producen en el lugar de trabajo. La procedencia de las averías varía enormemente, pudiendo estar la causa en la instalación, en la máquina, en el medio ambiente o en el operario.

26.3.1 *Localización de averías*

Partiendo, pues, de la *existencia de averías*, se comprende fácilmente la importancia de una *localización* rápida para proceder a su reparación.

Para localizar averías se emplean instrumentos muy variados, que se pueden reducir a los siguientes: *lámpara de prueba, zumbador, voltímetro, amperímetro*, óhmetro, meghómetro, tacómetro y brújula.

26.3.1.1 *Lámpara de prueba* (fig. 26.5)

Resulta muy práctica y sencilla de instalar en cualquier parte. Está formada por una lámpara en serie con una fase o neutro, y tiene un segundo terminal conectado a otra fase; al aplicar los dos extremos libres a cualquier receptor o instalación se puede comprobar si hay continuidad, o no, por el encendido de la lámpara.

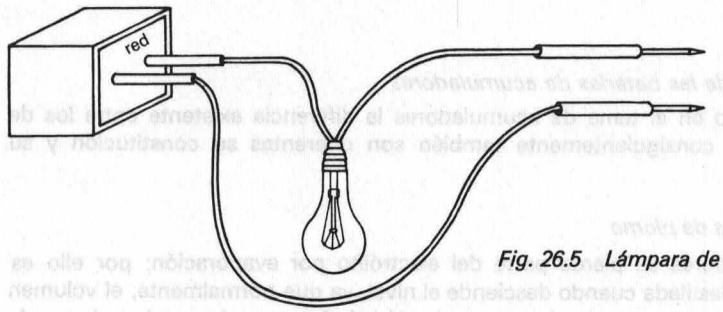


Fig. 26.5 Lámpara de prueba.

26.3.1.2 *Zumbador*

Es un instrumento parecido al transformador, y sirve para comprobar inducidos.

26.3.1.3 *Tacómetro*

Es un instrumento empleado en las mediciones de velocidad del órgano móvil.

26.3.1.4 *Brújula*

Muy empleada en mediciones de campos magnéticos en corriente continua, para la localización de los polos norte y sur.

26.3.1.5 *Restantes instrumentos*

Se explicaron en el capítulo I, (aparatos de media).

Actualmente, casi todos los instrumentos citados se agrupan en un solo aparato, llamado universal, que permite realizar las mediciones rápidamente.

26.4 Averías más frecuentes en las máquinas y aparatos eléctricos

La experiencia de muchos años de funcionamiento de las máquinas eléctricas presenta un amplio historial sobre las averías más corrientes, producidas en los distintos tipos de máquinas y aparatos.

Las máquinas y aparatos se agrupan en los tipos siguientes:

- *Máquinas de corriente continua.*
- *Máquinas de corriente alterna.*
- *Baterías de acumuladores.*
- *Aparatos rectificadores.*

26.4.1 *Averías de las máquinas de corriente continua* (cuadro 26.6).
Reparaciones (cuadro 26.7).

Al resumen de las averías que presentan las máquinas de corriente continua, es conveniente añadir sus posibles causas y el método a emplear para su reparación.

En el cuadro de averías situado a continuación va clasificada cada una con un número, para su posterior identificación. Las averías del 1 al 17, son comunes a máquinas de corrientes continua y alterna y las del número 18 a 28 son propias de motores de corriente alterna.

La clasificación de averías, según el tipo de máquinas es la siguiente:

A) *Averías comunes al generador y motor.*
B) *Averías propias del generador.*
C) *Averías propias del motor.*

26.4.2 *Averías de las máquinas de corriente alterna. Reparaciones* (cuadro 26.8)

Para describir las averías más comunes en las máquinas de corriente alterna, se hace la siguiente clasificación.

D) *Averías del motor asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito.*
E) *Averías del motor asíncrono trifásico de rotor bobinado.*
F) *Averías de los motores monofásicos de inducción.*
G) *Averías de los motores monofásicos de repulsión.*
H) *Averías de los motores universales.*

26.4.3 *Averías de las baterías de acumuladores. Reparaciones* (cuadro 26.9)

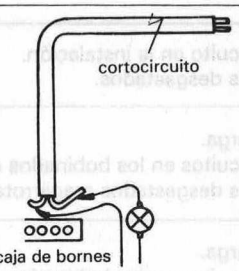
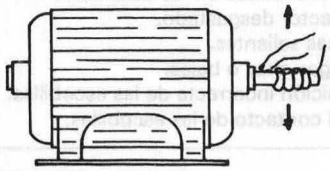
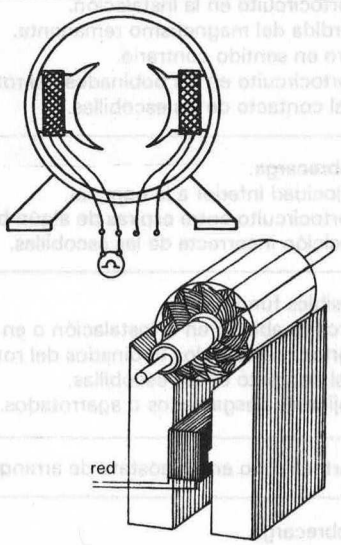
Según los tipos de batería de acumuladores estudiados corresponde hacer la siguiente división:

A) *Averías y reparaciones del acumulador de plomo.*
B) *Averías y reparaciones del acumulador alcalino.*

Cuadro 26.6

TIPO DE MAQUINA	*MANIFESTACION DE LA AVERIA*	*POSIBLES CAUSAS*	*NUMERO DE AVERIA*
A) *Generador y motor de corriente continua*	SE FUNDEN LOS FUSIBLES	Cortocircuito en la instalación. Cojinetes desgastados.	1 2
	SE CALIENTA	Sobrecarga. Cortocircuitos en los bobinados del rotor o estator. Cojinetes desgastados o agarrotados.	3 4 2
	CHISPAS EN LAS ESCOBILLAS	Sobrecarga. Cortocircuitos en los bobinados. Colector desgastado. Micas salientes. Delgas altas o bajas. Posición incorrecta de las escobillas. Mal contacto de las escobillas.	3 4 5 6 7 8 9
	DEFECTOS DE AISLAMIENTO	Contactos a masa.	10
B) *Generador de corriente continua*	NO SUMINISTRA TENSION	Fusibles fundidos. Circuito abierto en la instalación. Cortocircuito en la instalación. Pérdida del magnetismo remanente. Giro en sentido contrario. Cortocircuito en los bobinados del rotor o estator. Mal contacto de las escobillas.	11 12 1 13 14 4 9
	TENSION INFERIOR A LA NOMINAL	Sobrecarga. Velocidad inferior a la nominal. Cortocircuito entre espiras de algún bobinado. Posición incorrecta de las escobillas.	3 15 4 8
C) *Motor de corriente continua*	EL MOTOR NO ARRANCA	Fusibles fundidos. Circuito abierto en la instalación o en los bobinados. Cortocircuito en los bobinados del rotor o estator. Mal contacto de las escobillas. Cojinetes desgastados o agarrotados.	11 12 4 9 2
	EL MOTOR ARRANCA BRUSCAMENTE	Cortocircuito en el reóstato de arranque.	16
	EL MOTOR GIRA A VELOCIDAD INFERIOR A LA NOMINAL	Sobrecarga. Circuito abierto en el bobinado del rotor. Cortocircuito entre espiras del rotor. Tensión de alimentación inferior a la nominal. Contactos a masa. Posición incorrecta de las escobillas. Cojinetes algo desgastados.	3 12 4 17 10 8 2

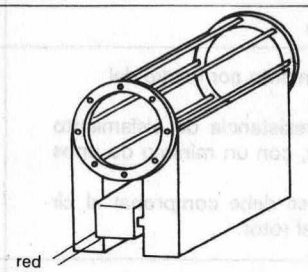
Cuadro 26.7

Avería	*Localización*	*Reparación*
1 *Cortocircuito en la instalación.*	 Se comprobará por medio de la lámpara serie, que no hay continuidad al conectarla a los terminales de la instalación, una vez que éstos se separen de la caja de bornas; si hay continuidad, existe cortocircuito.	—Aislar los conductores de la instalación. —Cambiar la instalación averiada.
2 *Cojinetes desgastados.*	 Probar de mover el extremo del eje en sentido vertical. Caso de moverse estará desgastado el cojinete o el eje.	—Cambiar los cojinetes.
3 *Sobrecarga.*	Medir la intensidad que absorbe si es un motor, o suministra en el caso de generador. En ambos casos no debe ser superior a la indicada en la placa de características.	—Disminuir la carga. —Sustituir la máquina por otra de mayor potencia.
4 *Cortocircuitos en los bobinados del estator o rotor.*	 Comprobar con un ohmímetro que la resistencia es igual en todas las bobinas del estator. Si en alguna bobina la resistencia es menor se deberá a que está cortocircuitada. Se necesita un instrumento llamado zumbador, conectado a la red. Sobre él se aloja el rotor y en la ranura superior se coloca una hoja de sierra. Se va girando el rotor probando todas las ranuras. Si la hoja de sierra vibra, es porque habrá una bobina cortocircuitada.	—Cambiar las bobinas más averiadas. —Rebobinar.
5 *Colector desgastado.*	Por simple observación del colector.	—Tornearlo y rebajar las micas.
6 *Micas salientes.*	La simple observación o pasando el dedo sobre el colector.	—Tornear el colector y rebajar las micas.
7 *Delgas altas o bajas.*	A simple vista o pasando el dedo sobre el colector.	—Apretar el colector, tornearlo y rebajar las micas.
8 *Posición incorrecta de las escobillas.*	En el generador se producen chispas y disminuye la tensión. En el motor se producen chispas y disminuye la velocidad.	—Generadores: desviar las escobillas en el sentido del movimiento. —Motores: desviar las escobillas en sentido opuesto al movimiento. —Generadores y motores con polos auxiliares: colocar las escobillas en la zona neutra.
9 *Mal contacto de las escobillas.*	Observación del desgaste de las escobillas. Comprobación de la presión que ejerce el muelle. Observar la movilidad de la escobilla dentro del portaescobillas. Colector desgastado anormalmente.	—Cambiar las escobillas. —Tensar el muelle. —Ajustar la escobilla. —Tornear el colector.

Cuadro 26.7 (continuación)

Avería	*Localización*	*Reparación*
10 *Contactos a masa*	Comprobación de la resistencia de aislamiento por medio del meghómetro. Entre cualquier borna y la carcasa la resistencia de aislamiento mínima debe ser de 1.000 Ω. por voltios, con un mínimo de unos 250.000 Ω. Caso de haber comunicación a masa, se debe comprobar el circuito de excitación, el portaescobillas y el rotor.	—Eliminar la humedad. —Aislar la parte que haga contacto con masa. —Cambiar los aislantes.
11 *Fusibles fundidos*	 Por simple observación si el hilo fusible es visible. Por medio de la lámpara de prueba o del óhmetro en los fusibles de hilo no visible. Si el hilo fusible está roto, el óhmetro indicará resistencia máxima.	—Sustituir el fusible.
12 *Circuito abierto en la instalación o en el estator y rotor*	Comprobar las conexiones de las bornas. Comprobar la continuidad del circuito de excitación. Comprobar los fusibles. Comprobar la continuidad en los reóstatos. Comprobar con el zumbador el rotor. Cualquier interrupción en los circuitos anteriores impedirá el suministro de tensión al receptor.	—Hilos cortados: Empalmar o sustituirlos. —Mal contacto en las bornas: limpiar y apretarlas. —Bobinado del rotor cortado: Rebobinar el rotor.
13 *Pérdida del magnetismo remanente.*	 Para comprobar la polaridad de cada polo, se desmontará la dinamo y por medio de una brújula situada enfrente a cada pieza polar, se averigua el signo. La parte pintada de negro en la brújula es el Norte, que será atraído por el polo sur de la máquina y repelido por un polo Norte.	—Hacer funcionar a la máquina como motor. —Conectar el circuito de excitación a una batería de acumuladores.
14 *Giro en sentido contrario.*	Probar a cambiar el sentido de giro.	—Invertir el sentido de giro.
15 *Velocidad inferior a la nominal.*	Comprobar la velocidad con un tacómetro, y compararla con la indicada en la placa de características.	—Aumentar la velocidad que suministra la máquina de arrastre del generador.
16 *Cortocircuito en el reóstato de arranque.*	Comprobar con un óhmetro el valor de la resistencia de cada escalón. Caso de estar cortocircuitado, el óhmetro indicará resistencia nula.	—Aislar los hilos puestos en cortocircuito.
17 *Tensión de alimentación inferior a la nominal.*	Medir el valor de la tensión de red. Si la tensión de red es inferior a la nominal, girará a menos velocidad.	—Tratar de aumentar la tensión aplicada al motor. —Sustituir el motor por otro de menor tensión.
18 Hilos de la instalación cortados.	Desconectar las tres fases de la caja de bornas y medir la tensión entre fases, cuando se haya cerrado el interruptor general. Si hay un hilo cortado, el voltímetro medirá tensión entre los dos no cortados y el motor funciona a dos fases. Si hay dos o tres hilos cortados, el voltímetro no indicará tensión y el motor no funcionará.	—Empalmar los hilos cortados. —Cambiar la instalación.
19 *Fases cortadas en el bobinado del estator.*	Retirar los puentes de la caja de bornes y los hilos de línea. Comprobar la continuidad entre los extremos de cada fase del bobinado por medio del óhmetro o lámpara serie. Si hay una fase cortada el motor puede funcionar, excepto en los motores monofásicos. Si hay dos o tres fases cortadas no funcionará.	—Empalmar. —Rebobinar.

Cuadro 26.7 (continuación)

Avería	*Localización*	*Reparación*
20 *Defecto en la jaula del rotor (Barras flojas).*	 Colocar el rotor sobre un zumbador (avería n.° 4) y al contrario que en el rotor de las máquinas de corriente continua, la hoja de sierra no vibrará en la barra defectuosa.	—Soldar las barras flojas o cambiarlas.
21 *Cortocircuito en el bobinado del estator.*	Observar si se desprende humo durante su funcionamiento. Medir la intensidad que absorbe en carga. En los motores monofásicos: por tacto, cuando el motor ha funcionado unos minutos. Si hay bobinas en cortocircuito, absorberá una intensidad superior a la nominal.	—Rebobinar parcial o totalmente el estator.
22 *Circuito abierto en el bobinado o en los anillos.*	Comprobar la continuidad entre los anillos con un óhmetro una vez aisladas las escobillas. Caso de haber circuito abierto, lo indicará el óhmetro, por señalar resistencia máxima entre 2 anillos.	—Empalmar o soldar. —Rebobinar el rotor. —Tornear los anillos o sustituirlos.
23 *Defecto en el anillo en cortocircuito.*	Por simple observación, por su aspecto quemado. Observar los agujeros del anillo del cortocircuito. Eliminar el anillo de cortocircuito puenteando los anillos del rotor, si el motor se pone en marcha el defecto estará en el anillo de cortocircuito.	—Sustituir el anillo en cortocircuito. —Ajustar los vástagos de los anillos rozantes.
24 *Defecto en las escobillas.*	Comprobar que hacen contacto con los anillos. Comprobar la presión del muelle. Observar las conexiones de las escobillas. Comprobar el portaescobillas.	—Apretar las escobillas. —Tensar el muelle. —Sustituirlas.
25 *Eje descentrado.*	Hacer girar a mano el rotor. Si los cojinetes no están bien alineados, el rotor no girará con suavidad.	—Volver a montar las tapas del motor, a la vez que se hace girar al eje con la mano.
26 *Circuito abierto en el bobinado de arranque.*	Comprobar la continuidad en el bobinado de arranque. Comprobar los contactos del interruptor centrífugo, que va en serie con el bobinado.	—Empalmar o rebobinar. —Ajustar el interruptor centrífugo o sustituirlo.
27 *Defecto del condensador de arranque, (sólo en motores de arranque por condensador).*	Comprobar si el condensador está cortocircuitado. Medir la capacidad del condensador con voltímetro y amperímetro en corriente alterna.	—Sustituir el condensador.
28 *Espiras auxiliares abiertas.*	Comprobación a simple vista.	—Sustituir las espiras abiertas por espiras en cortocircuito.

Cuadro 26.8

TIPO DE MAQUINA	*MANIFESTACION DE LA AVERIA*	*POSIBLES CAUSAS*	*NUMERO DE AVERIA*
D) *Motor asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito*	AL CONECTAR A LA RED NO ARRANCA.	Dos o tres fusibles fundidos. Dos o tres hilos de la instalación cortados. Dos o tres fases en el bobinado del estator cortadas.	11 18 19
	AL CONECTARLO A LA RED PRODUCE ZUMBIDO PERO NO ARRANCA.	Un fusible fundido. Un hilo de la instalación cortado. Una fase del bobinado del estator cortada. Cojinetes desgastados.	11 18 19 2
	AL CONECTARLO A LA RED GIRA CON VELOCIDAD INFERIOR A LA NOMINAL.	Un fusible fundido. Un hilo cortado en la instalación. Una fase del bobinado del estator cortada. Defecto en la jaula del rotor. Sobrecarga. Cojinetes desgastados.	11 18 19 20 3 2
	CALENTAMIENTO EXCESIVO.	Sobrecarga. Un fusible fundido. Un hilo cortado en la instalación. Una fase del bobinado del estator cortada. Cortocircuito en alguna bobina estatórica. Defecto en la jaula de ardilla.	3 11 18 19 21 20
	DEFECTOS DE AISLAMIENTO.	Contactos a masa.	10
E) *Motor asíncrono trifásico con rotor bobinado*	Cualquiera de las citadas para el motor con rotor en cortocircuito, excepto la 20, (defecto en la jaula del rotor).		
	AL CONECTARLO A LA RED PRODUCE ZUMBIDO PERO NO ARRANCA.	Circuito abierto en el bobinado o en los anillos. Defecto en el anillo de cortocircuito. Defecto en las escobillas.	22 23 24
	AL CONECTARLO A LA RED GIRA CON VELOCIDAD INFERIOR A LA NOMINAL Y DESARROLLA MENOS POTENCIA.	Circuito abierto en el bobinado o en los anillos. Defecto del anillo en cortocircuito. Defecto en las escobillas.	22 23 24
F) *Motores monofásicos de inducción*	AL CONECTARLO A LA RED NO ARRANCA.	Fusibles fundidos. Cojinetes desgastados o agarrotados. Eje desconcentrado. Defecto en la jaula del rotor. Circuito abierto en el bobinado estatórico. Circuito abierto en el bobinado de arranque. Cortocircuito en los bobinados estatóricos. Defecto en el condensador del bobinado de arranque. Circuito abierto en las espiras auxiliares.	11 2 25 20 19 26 21 27 28
	AL CONECTARLO A LA RED GIRA CON VELOCIDAD INFERIOR A LA NOMINAL O SE CALIENTA EXCESIVAMENTE.	Cortocircuito entre espiras del estator. Defecto en la jaula del rotor. Sobrecarga. Cojinetes algo desgastados.	21 20 3 2
G) *Motores monofásicos de repulsión.*	AL CONECTARLO A LA RED NO ARRANCA.	Fusibles fundidos. Cojinetes desgastados o agarrotados. Mal contacto de las escobillas. Circuito abierto en los bobinados del rotor o estator. Cortocircuito en el bobinado del rotor.	11 2 9 12 - 19 4
	AL CONECTARLO A LA RED GIRA CON VELOCIDAD INFERIOR A LA NOMINAL O SE CALIENTA.	Cortocircuito entre espiras del estator. Cortocircuito en el bobinado del rotor. Sobrecarga. Posición incorrecta de las escobillas. Cojinetes algo desgastados.	4 4 3 8 2
H) *Motores universales*	Como el motor universal es prácticamente idéntico al motor serie de corriente continua, sus averías serán las citadas para el motor de corriente continua.		

Cuadro 26.9

Tipo	*Avería*	*Posibles causas*	*Reparación*
A) Acumulador de plomo	1 *Descarga rápida*	SOBRECARGA.	Disminución del consumo.
		CORTOCIRCUITO EN LA INSTALACION.	Eliminarlo o sustituirla.
		CORTOCIRCUITO INTERNO ENTRE PLACAS.	Limpiar las placas y cambiar el electrólito.
	2 *Suministra tensión inferior a la nominal*	DEFECTO EN EL ELECTROLITO.	Añadir ácido.
		ELEMENTOS CORTACIRCUITADOS.	Eliminarlo.
		SULFATACION.	No es posible en la mayoría de los casos.
		RESISTENCIA INTERNA GRANDE.	Añadir agua destilada. Comprobar la densidad.
	3 *Pérdida de agua*	RECIPIENTE AGRIETADO.	Cambiarlo.
		TAPONES DEFECTUOSOS.	Cambiarlos.
	4 *Terminales muy sucios*	PERDIDA DE ELECTROLITO.	Limpiarlo con amoníaco y protegerlo con grasa.
		CONTACTOS FLOJOS.	Apretarlos.
	5 *Dificultad de carga*	SULFATACION.	No es posible.
		PLACAS DEFECTUOSAS.	Cambiar las placas.
		SEPARADORES DEFECTUOSOS.	Cambiar los separadores.
		REGULADOR DE CARGA DESAJUSTADO.	Ponerlo a punto.
B) Acumulador alcalino	1 *Disminución de la tensión*	BAJAS TEMPERATURAS.	Aumentar la temperatura donde se aloje la batería.
		ELECTROLITO CON IMPUREZAS.	Sustituirlo.
		CORTOCIRCUITOS INTERNOS.	Eliminarlos.
		RESISTENCIA INTERNA ELEVADA.	Limpiar y apretar las conexiones.
	2 *Disminución de su capacidad*	DEFECTO EN EL ELECTROLITO.	Sustituir el electrólito.
		CARGA DEFECTUOSA.	Ajustar el regulador de carga.
		ENVEJECIMIENTO.	No es posible.
	3 *Calentamiento excesivo*	CORRIENTE DE CARGA FUERTE.	Disminuir la corriente de carga.
		SOBRECARGA.	Disminución del consumo.
		CONTACTOS FLOJOS.	Apretarlos.
	4 *No consume agua*	ELEMENTO CORTOCIRCUITADO.	Sustituirlo.
	5 *Consumo de agua elevado*	RECIPIENTE DEFECTUOSO.	Sustituirlo.

26.4.4 *Averías en los rectificadores. Reparaciones*

Como en la actualidad, los aparatos rectificadores de mercurio se van sustituyendo por los rectificadores de semiconductores, es interesante conocer las averías de estos últimos.

Las más normales son: el *cortocircuito* del elemento rectificador o la *interrupción* en el paso de la corriente; siendo mucho más frecuente la primera avería.

Las causas de estas averías son debidas a las *sobretensiones* (de la red o por cargas reactivas), o bien a las *sobrecargas*, cortocircuitos, etc.

La reparación de las averías citadas se realiza sustituyendo el elemento rectificador y verificando después el circuito protector asociado al semiconductor.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Programar un calendario de mantenimiento de las máquinas eléctricas y aparatos que existen en el taller eléctrico.

— Confeccionar un cuadro de averías normales en aparatos electrodomésticos.

— Hacer una lista de los instrumentos y herramientas necesarias para la reparación de cualquier máquina eléctrica.

CUESTIONARIO

— ¿Es siempre posible disponer en las fábricas de un buen equipo de mantenimiento? ¿Por qué?

— A pesar de un eficaz mantenimiento, existen las averías. ¿No es esto antieconómico?

— ¿Qué material de trabajo necesitará un técnico en reparaciones de frigoríficos? ¿Y en reparación de cerebros electrónicos?

— Un motor trifásico con rotor en cortocircuito, alimentado a 220 V y de potencia 3 CV está funcionando absorbiendo 11 A, 15 A, y 2 A por fase ¿Funciona normalmente? ¿Puede averiarse?

— Explicar dos procedimientos para averiguar la temperatura alcanzada por un motor de corriente continua en su funcionamiento normal.

— ¿Cómo se puede saber si la batería de un automóvil puede funcionar normalmente después de ser usada durante dos años? ¿A qué pruebas se la debe someter?

— Un motor monofásico, con bobinado auxiliar de arranque, tiene estropeado el interruptor centrífugo. ¿Puede funcionar provisionalmente sin él? ¿Por qué?

— A qué pruebas hay que someter el condensador de arranque de un motor de frigorífico para saber si es útil?

— ¿En qué posición deben situarse las escobillas en una dinamo? ¿Puede variar su funcionamiento si se las desplaza?

— Para evitar averías en los motores se instalan fusibles y guardamotores ¿Por qué? ¿Sería suficiente con el guardamotor? ¿Y con los fusibles?

BIBLIOGRAFIA

Taller electromecánico. Bobinados, Enciclopedia CEAC de electricidad, Barcelona 1975.
Pilas y acumuladores, Enciclopedia CEAC de electricidad, Barcelona 1963.
Electricidad teórico-práctica, volumen IV, Ediciones AFHA, Barcelona 1965.

6. Bobinados de las máquinas y aparatos eléctricos

Tema 27. Estudio de los bobinados de las máquinas de corriente alterna

OBJETIVOS

- *Conocer los factores característicos de cualquier bobinado.*
- *Diferenciación entre bobinado concéntrico y excéntrico.*
- *Estudiar los tipos más empleados de bobinado concéntrico.*
- *Conocer los principales tipos de bobinado excéntrico.*
- *Estudio del bobinado monofásico.*
- *Diferenciación entre los tipos de bobinado monofásico.*

GUION

- Características generales de los bobinados.
- Tipos de bobinado.
  Bobinado concéntrico.
  Bobinado excéntrico.
  Bobinados especiales.

PUNTOS CLAVE

- Estudiar y representar el esquema de los bobinados.
- Conocer los principales tipos de bobinado para motores trifásicos.
- Cálculo y representación de bobinados monofásicos.

EXPOSICION DEL TEMA

27.1 Características generales de los bobinados

En toda máquina de corriente alterna es necesario distinguir, si su bobinado es monofásico o trifásico. El bobinado monofásico únicamente se emplea en motores; el trifásico se emplea en generadores y motores.

La diferencia existente entre los dos tipos radica en el aspecto constructivo, pero no en el teórico; por tanto, el cálculo de bobinados es igual para ambas máquinas.

En el presente tema se estudiará los dos tipos por su gran utilidad práctica.

Para el estudio de los bobinados es necesario tener presente una serie de factores característicos, tales como:

- *Velocidad.*
- *Número de polos.*
- *Número de ranuras por polo y fase.*

27.1.1 *Velocidad*

Es el primer factor característico a tener en cuenta en una máquina de c.a.; de él dependen casi todos los demás factores. En los generadores la velocidad depende de la máquina motriz, a la que va unida por el eje; en los motores, en cambio es necesario conocer la velocidad de la máquina que ha de moverse.

La velocidad se designa por la letra *n* y su medición (r.p.m.) se realiza con un tacómetro.

27.1.2 *Número de polos*

Es un factor que depende de la velocidad de giro y de la frecuencia de la red, que están ligadas por la expresión:

$$f = \frac{n \cdot p}{60}, \text{ cuando } f = 50 \text{ Hz se convierte en:}$$

$$n\,p = 3000; \quad \boxed{p = \frac{3000}{n}}$$

siendo:

f = frecuencia de la red en Hz
p = pares de polos
n = velocidad del eje en r.p.m.

27.1.3 *Número de ranuras por polo y fase*

Es un factor característico del bobinado y toma valores muy diferentes. Debe cumplir la condición de que el cociente del total de ranuras, dividido por el de polos y fases, ha de ser entero, según indica la expresión:

$$\boxed{\text{n.º entero} = \frac{K}{2p \cdot q}}$$

siendo:

K = número de ranuras
p = número de pares de polos
q = número de fases.

Si el cociente no es un número entero, no es posible la realización del bobinado con la ocupación total de ranuras; hay que dejar vacías tantas como el número a restar de *K*, para que el cociente dé un número entero.

27.2 Tipos de bobinados

Los bobinados se clasifican en:
— *Concéntricos.*
— *Excéntricos.*

Los concéntricos pueden, a su vez, ser, *por polos* y *por polos consecuentes.* También los excéntricos pueden ser *por polos y por polos consecuentes* y, además, *imbricados* y *ondulados.* Los *imbricados* se dividen en *enteros* y *fraccionarios* y estos últimos, en *regulares* e *irregulares.*

- *Concéntricos*
  - por polos
  - por polos consecuentes
- *Excéntricos* (por polos y por polos consecuentes).
  - Imbricados
    - enteros
    - fraccionarios
      - regulares
      - irregulares
  - Ondulados

27.2.1 *Bobinados concéntricos*

Un bobinado es *concéntrico* cuando todas las bobinas que lo constituyen tienen el mismo centro. Todas las bobinas del mismo grupo tendrán diferentes dimensiones.

En la figura 27.1 se representa un bobinado concéntrico, con sus dos tipos de construcción:

— el concéntrico por polos;
— el concéntrico por polos consecuentes.

27.2.1.1 *Concéntrico por polos*

Dispone de tantos grupos de bobinas por fase, como polos tiene la máquina.

Su conexión consiste en unir el final del primer grupo con el final del segundo; el principio del segundo con el principio del tercero, el final del tercero con el final del cuarto, y así sucesivamente (fig. 27.2).

Por consiguiente la unión se realiza de *final con final* y *principio con principio*, el principio de la fase es el principio del primer grupo y el final de fase es el principio del último grupo.

27.2.1.2 *Concéntrico por polos consecuentes*

Dispone de tantos grupos de bobinas por fase, como pares de polos tiene la máquina:

$$G_f = p$$

Su conexión consiste en unir el final del primer grupo, con el principio del segundo; el final del segundo, con el principio del tercero, y así sucesivamente (fig. 27.3).

Siempre que sea posible, se realizará el bobinado concéntrico por polos en los sistemas monofásicos, mientras que, en los sistemas trifásicos, los bobinados suelen ser del tipo *por polos consecuentes.*

27.2.1.3 *Cálculo de los bobinados concéntricos*

Para realizar estos bobinados se debe partir de una serie de datos mínimos, y, a partir de ellos, se van calculando las expresiones que harán posibles su representación gráfica. En general se parte de los siguientes datos:

— número de ranuras (K)
— número de polos (2p)

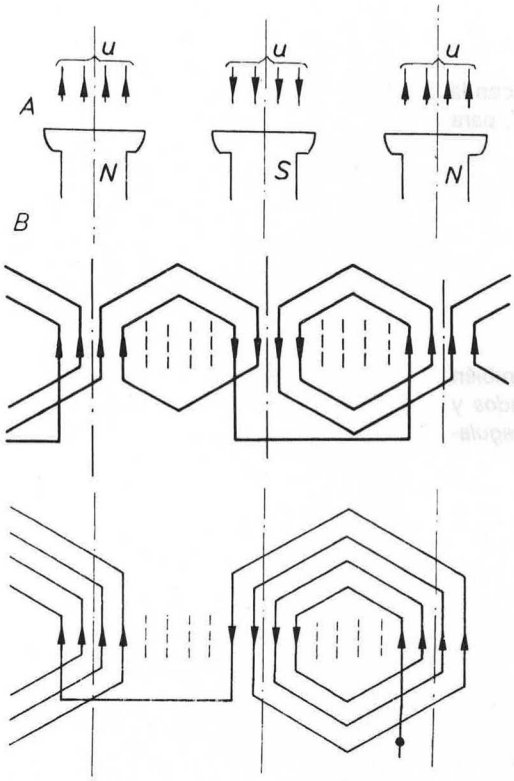


Fig. 27.1 Bobinados concéntricos: A, polos; B, por polos consecuentes.

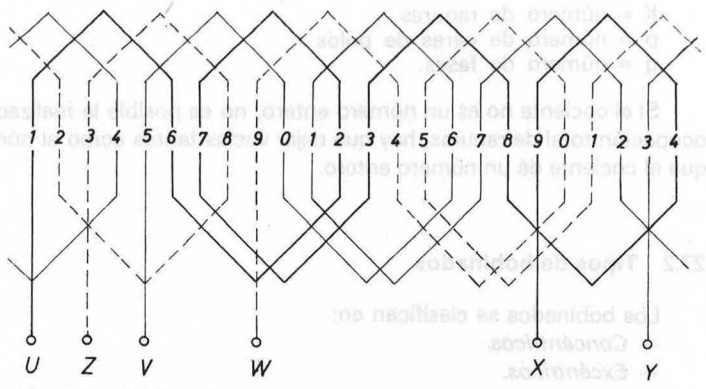


Fig. 27.2 Conexiones de grupos en un bobinado concéntrico por polos.

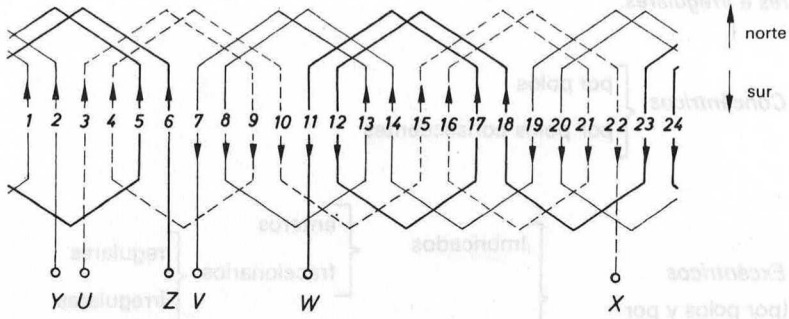


Fig. 27.3 Esquema de conexiones de grupos en un bobinado concéntrico por polos consecuentes.

— número de fases (q)
— ejecución del bobinado (por polos o por polos consecuentes)
— número de capas (suelen ser de una capa, por tanto el número de bobinas es la mitad del número de ranuras: B = K/2).

1.° *Ejercicio de aplicación*

Realizar el cálculo y esquema del bobinado correspondiente al estator de un motor trifásico, con los siguientes datos:

$K = 24$
$2p = 2$
$q = 3$

concéntrico por polos : G = 2p (por fase)

$$B = K/2$$

Solución:
El paso en ranuras será:

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{24}{2} = 12$$

el número de ranuras, por polo y fase:

$$K_{pq} = \frac{K}{2p \cdot q} = \frac{24}{2 \cdot 3} = 4$$

Se dibuja el esquema del bobinado, señalando las ranuras que pertenecen a cada fase con colores diferentes o distintos espesores (fig. 27.4).

Como cada fase y polo tienen 4 ranuras, el total será:

3 fases X 4 = 12 ranuras.

Por tanto, corresponden las 4 primeras a una fase; de la 5 a la 8 a la segunda fase; y de la 9 a la 12, a la tercera fase.

A continuación, se fijan los polos, por medío de flechas en los conductores; por ejemplo, *Norte* para las 12 primeras ranuras, y *Sur*, para las restantes.

Como el bobinado es *por polos*, la mitad de las bobinas de una fase va hacia la izquierda y la otra mitad, hacia la derecha; ejemplo: las bobinas de las ranuras 5 y 6 hacia la izquierda y las 7 y 8, a la derecha; se repite lo mismo para las bobinas 17 y 18, y para las 19 y 20.

Para designar el principio de una fase, se toma un extremo cualquiera de un grupo. Por ejemplo, en el grupo alojado en las ranuras 7-8-17-18, sería el de la ranura 7, que se llamaría principio de fase *U*. Formados todos los grupos, se unen entre sí, partiendo del principio U, siguiendo el orden de las flechas hasta encontrar el final de fase. En este bobinado el final *X* se encuentra en la ranura 19.

A continuación, se hace lo mismo con las fases 2.ª y 3.ª, teniendo en cuenta que los principios están separados:

$\frac{K}{3p} = \frac{24}{3} = 8$ ranuras. Así pues:

El principio de fase *U* está en la ranura n.° 7
El principio de fase *V* está en la ranura n.° 15, puesto que 7 + 8 = 15;
El principio de fase *W* está en la ranura n.° 23, puesto que 7 + 8 + 8 = 23.

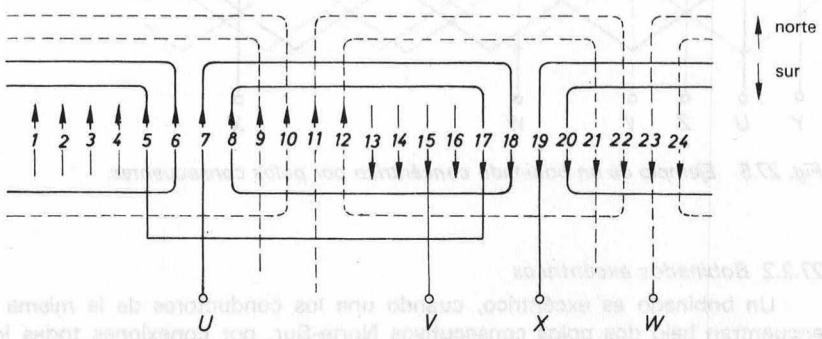


Fig. 27.4 Ejemplo de un bobinado concéntrico por polos.

2.° *Ejercicio de aplicación*:

Realizar el cálculo y esquema del bobinado correspondiente al estator de un motor trifásico, con los siguientes datos:

$K = 24$
$2p = 4$
$q = 3$

concéntrico *por polos consecuentes*: G = p (por fase)

B = K/2

Solución:

El paso en ranuras es:

$$y_K = \frac{K}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

el n.° de ranuras por polo y fase:

$$K_{pq} = \frac{K}{2p \cdot q} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

como por polo y fase hay 2 ranuras, en total serán:
3 fases x 2 = 6 ranuras.

Así, pues, las dos primeras corresponden a una fase; las ranuras 3-4 a la 2.ª fase, y las 5-6 a la 3.ª fase; repitiéndose el ciclo hasta la ranura n.° 24 (fig. 27.5).

A continuación, se fijan los polos por medio de 6 flechas *Norte*, para las 6 primeras ranuras; las ranuras 7 a 12 corresponden a polo *Sur*; y así sucesivamente.

Al ser el bobinado *por polos consecuentes*, todas las bobinas de una fase irán hacia la izquierda o derecha, para formar el grupo. Ejemplo: las bobinas de las ranuras 3-4 van hacia la derecha y las 9-10 hacia la izquierda, y se repite con las ranuras 15-16 y las 21-22.

Para designar el principio de fase, se toma el principio de un grupo cualquiera. Por ejemplo, la ranura 3 del grupo formado por las ranuras 3-4-9-10, y se llama principio de fase *U*. A partir de *U* y, siguiendo el orden de las flechas, se siguen los grupos hasta encontrar el final de fase *X*, que corresponde a la ranura 21.

El principio de fase siguiente se encuentra separado un número de ranuras:

$$\frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

de forma que la fase primera *U* está en la ranura n.° 3,
la fase segunda *V* está en la ranura n.° 10,
la fase tercera *W* está en la ranura n.° 11.

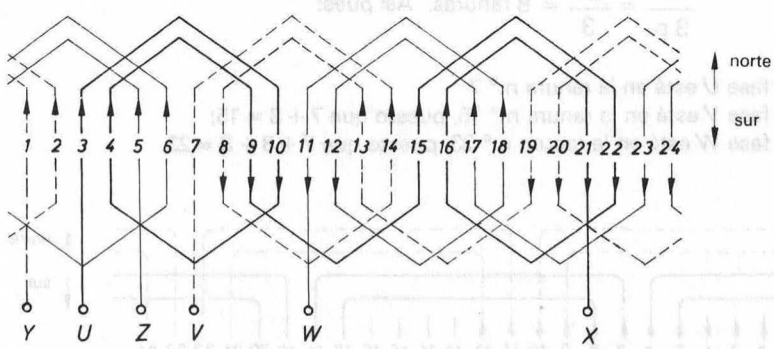


Fig. 27.5 Ejemplo de un bobinado concéntrico por polos consecuentes.

27.2.2 *Bobinados excéntricos*

Un bobinado es excéntrico, cuando une los conductores de la misma fase que se encuentran bajo dos polos consecutivos Norte-Sur, por conexiones todas iguales (idéntica forma y dimensiones), siendo todas las bobinas idénticas (fig. 27.6).

El bobinado excéntrico puede hacerse *por polos* y *por polos consecuentes,* aunque la mayoría responde al primer tipo.

Se divide a su vez en *imbricado* y *ondulado* y se puede realizar en una o dos capas por ranura.

Ejercicio de aplicación

Realizar el cálculo y esquema del bobinado correspondiente al estator de un motor trifásico con los datos siguientes:

$K = 24$
$2p = 4$
$q = 3$

excéntrico-imbricado por polos: G = 2p (por fase)

$$B = K/2$$

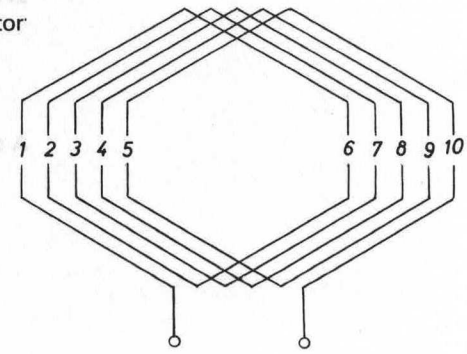


Fig. 27.6 Bobinado excéntrico.

Solución:

El paso en ranuras es:

$$y_K = \frac{K}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

el número de ranuras por polo y fase:

$$K_{pq} = \frac{K}{2p \cdot q} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

Las dos primeras ranuras corresponden a una fase, las 3-4 a la segunda y las ranuras 5-6 a la tercera fase (fig. 27.7).

Se fijan los polos, según el sistema de flechas indicado anteriormente, distribuyéndose a razón de 6 ranuras por polo.

Partiendo de la ranura 4, se une con la 9, por la parte superior; la n.° 10 con la 15, la n.° 16 con la 21, etc., formándose una fase con el principio *U* en la ranura 4. Se conexionan los diferentes grupos formándose el final *X* en la ranura 22.

Los principios de fases siguientes se encontrarán separados un número de ranuras:

$\frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$, de forma que el principio de la fase *U* estará en la ranura n.° 4
" " " " " " " " *V* " " " " n.° 8
" " " " " " " " *W* " " " " n.° 12

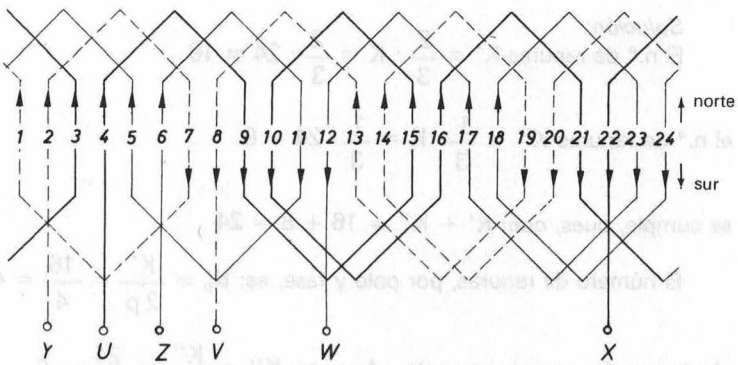


Fig. 27.7 Ejemplo de un bobinado excéntrico imbricado por polos.

27.2.3 *Bobinados especiales*

A este grupo pertenecen los bobinados monofásicos, los bifásicos, los bobinados para motores de varias velocidades, etc. Se estudian en el presente tema los monofásicos.

El bobinado monofásico es muy empleado, actualmente, en aparatos electrodomésticos. Su utilidad se debe a que no se puede disponer de una red trifásica en todos los lugares.

Entre los numerosos tipos de bobinado monofásico pueden destacarse los de *fase partida* que emplean dos bobinados, uno llamado principal, que funciona permanentemente y otro auxiliar, que se emplea únicamente en el arranque. Una vez que el motor alcanza la

velocidad nominal, se desconecta el bobinado de arranque, por medio de un interruptor centrífugo, y continúa en servicio el bobinado de trabajo.

De acuerdo con la disposición de las ranuras del estator, estos bobinados pueden ser *separados*, si ocupan ranuras diferentes, o *superpuestos*, si comparten las mismas ranuras.

27.2.3.1 *Cálculo de bobinados para motores monofásicos de fase partida*

Para el cálculo de estos bobinados, se parte de los siguientes datos:

K = n.° de ranuras
2p = n.° de polos
q = n.° de fases = 1

A su vez, el número de ranuras está ocupado por dos bobinados:

K′ = n.° de ranuras ocupadas, por el bobinado de trabajo≅ 2/3 K
K″ = n.° de ranuras ocupadas, por el bobinado de arranque ≅ 1/3 K

siendo

$$\boxed{K = K' + K''}$$

El n.° de ranuras por polo y fase es:

$$K'_{pq} = \frac{K'}{2p \cdot q} = \frac{K'}{2p}\ ;\ \text{(puesto que } q = 1)$$

$$K''_{pq} = \frac{K''}{2p}$$

Todos estos bobinados son *concéntricos por polos.*

Normalmente, el número de ranuras suele ser 24, pudiendo variar a 36 ó 12, y el número de polos suele ser 2p = 4.

Ejercicio de aplicación

Realizar el bobinado del estator de un motor monofásico de fase partida, con los siguientes datos:

K = 24
2p = 4
q = 1

Solución:

El n.° de ranuras $K' = \frac{2}{3} \cdot K = \frac{2}{3} \cdot 24 = 16$

el n.° de ranuras $K'' = \frac{1}{3} \cdot K = \frac{1}{3} \cdot 24 = 8$

se cumple, pues, que: $K' + K'' = 16 + 8 = 24$

El número de ranuras, por polo y fase, es: $K'_p = \frac{K'}{2p} = \frac{16}{4} = 4$

el número de ranuras, por polo y fase, es: $K''_p = \frac{K''}{2p} = \frac{24}{4} = 6$

Así, pues, un polo abarcará 4 ranuras del bobinado de trabajo y 2 ranuras del de arranque.

Se dibujan las ranuras, distinguiendo las de arranque de las otras; por ejemplo con trazo continuo para bobinado de trabajo y con trazo discontinuo para el arranque (fig. 27.8).

Se fijan los polos (fig. 27.9), tomando 6 ranuras para el primero, *Norte*, que son de la 1 a la 4 para el bobinado de trabajo y las 5 y 6 para el bobinado de arranque; las ranuras 7 a 12 forman el polo *Sur*; de la 13 a la 18, el *Norte* y de la 19 a la 24, el *Sur.*

Como quiera que el bobinado en *por polos*, el K'_p \= 4 indica, que la mitad de las bobinas van hacia la derecha (3-4) y la otra mitad, hacia la izquierda (1-2).

Las ranuras 5 y 6 se dejan libres, por pertenecer al bobinado de arranque, y se continúa igualmente con las 7-8-9-10, etc., formándose 4 grupos, tal como indica el esquema de la figura 28.8. Cada grupo consta de dos bobinas.

El extremo cualquiera de un grupo se elige como principio de fase; por ejemplo, la ranura 3 es el principio *U*. Siguiendo el sentido de las flechas, teniendo en cuenta que éstas representan los polos *Norte* y *Sur*, y uniendo el final del grupo 1 con el final del grupo 2 (ranuras 7 a 13), el principio del grupo 2 con el principio del grupo 3 (ranuras 9 a 15) y, así sucesivamente, se llega al final de la fase *X*, en la ranura 21.

Para comprobar si está bien realizado se dispone una flecha horizontal encima de cada grupo, la cual deberá coincidir con la dirección de todos los conductores.

El bobinado de arranque se hace de forma similar al de trabajo. Como hay dos ranuras por polo, se toma una hacia la izquierda (ranura 5) y la otra, hacia la derecha (ranura 6); así se sigue con el grupo siguiente, hasta llegar a las ranuras 23 y 24.

Se toma un principio de fase cualquiera para el de arranque; por ejemplo *U'*, en la ranura 5, y se sigue hasta el final *X'*, en la ranura 11.

Terminados los dos bobinados, se unen en paralelo (U con U') y (X con X'). Previamente, hay que conectar el interruptor centrífugo en serie con el bobinado de arranque.

27.2.3.2 *Bobinados de otros tipos de motores monofásicos*

El motor de *arranque por condensador* dispone de un bobinado idéntico al del motor de fase partida, y de un condensador de unos 60 a 150 μ F. El condensador puede estar conectado en serie con el bobinado de arranque, o permanentemente con el bobinado de trabajo (en serie o paralelo).

El motor de *espira en cortocircuito* no dispone de bobinado de arranque, empleando para su funcionamiento normal tantas bobinas como polos, y además espiras en cortocircuito alojadas en los núcleos.

El motor *universal* dispone de bobinas polares idénticas al motor de espira en cortocircuito. El inducido está bobinado según los tipos de corriente continua.

Finalmente, se representa en la figura 27.10 otra forma de representación esquemática de un bobinado, según el tipo *corona*.

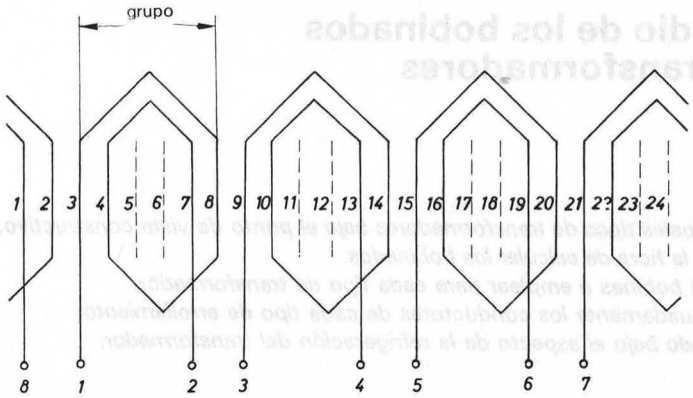


Fig. 27.8 Formación de grupos en un bobinado de trabajo de un motor monofásico.

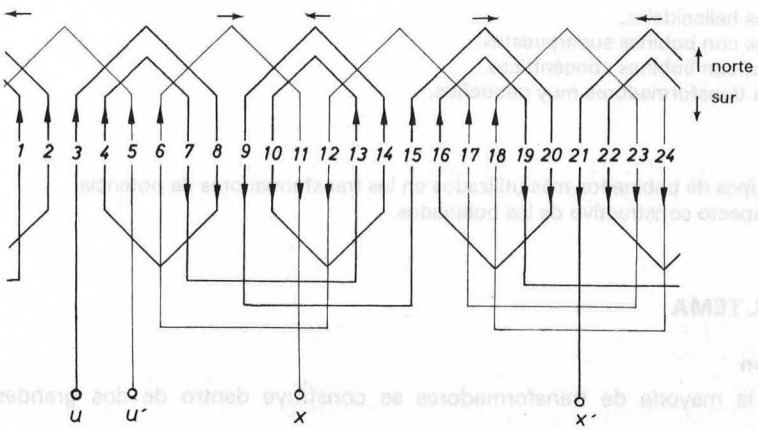


Fig. 27.9 Ejemplo de un bobinado de un motor monofásico de fase partida.

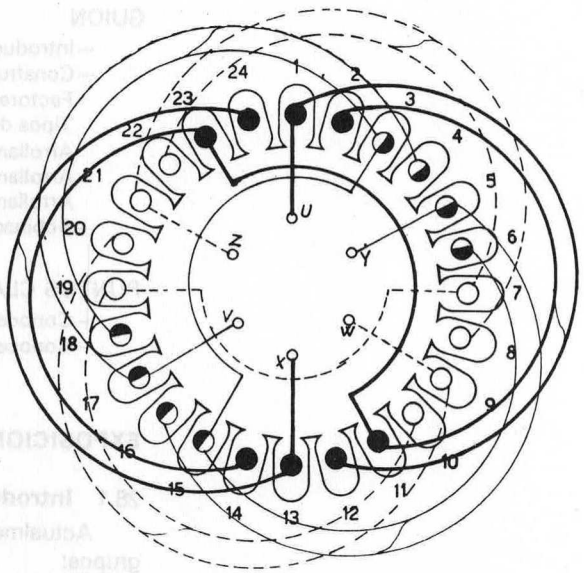


Fig. 27.10 Ejemplo de un bobinado concéntrico tipo corona.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Recopilar información sobre máquinas, aparatos, dispositivos, herramientas, material, etc., necesarios en un taller dedicado al *rebobinado* de motores eléctricos.

CUESTIONARIO

— ¿Qué significado tiene el decir, bobinados en una o en dos capas? Dibujar dos ranuras ocupadas por la misma bobina y explicarlo.

— ¿Qué sucedería si, al rebobinar un motor, cuya velocidad nominal es 3000 r.p.m. se bobina para 2 p= 4?

— Hacer el cálculo y esquema de un bobinado trifásico con los datos: K = 36, 2 p= 4, q = 3, concéntrico por polos, B = K/2.

— Hacer el cálculo y esquema de un bobinado trifásico con los datos siguientes: K = 36, 2 p = 2, q = 3, concéntrico por polos consecuentes, B = K/2.

— Hacer el cálculo y esquema de un bobinado trifásico con los datos siguientes: K = 12, 2 p = 2, q = 3, imbricado por polos, B = K/2.

— Hacer el cálculo y esquema de un bobinado trifásico con los datos siguientes: K = 36, 2 p = 4, q = 3, concéntrico por polos consecuentes, B = K/2.

— Hacer el cálculo y esquema de un bobinado monofásico de fase partida, con los datos: K = 36, 2 p = 2, q = 1.

BIBLIOGRAFIA

RAPP J., *Teoría y cálculo de los bobinados eléctricos,* Editorial VAGMA, Bilbao, 1966.
ROLDAN J., *Manual del bobinador*, Ediciones CEAC, Barcelona 1972.
Bobinados. Estudio teórico práctico, Librería Salesiana, Madrid.

Tema 28. Estudio de los bobinados de transformadores

OBJETIVOS

— *Conocer los principales tipos de transformadores bajo el punto de vista constructivo.*
— *Normas a seguir a la hora de calcular los bobinados.*
— *Estudiar el tipo de bobinas a emplear para cada tipo de transformador.*
— *Dimensionar adecuadamente los conductores de cada tipo de arrollamiento.*
— *Estudiar el bobinado bajo el aspecto de la refrigeración del transformador.*

GUION

— Introducción.
— Construcción de los arrollamientos del transformador:
Factores que influyen en la construcción del bobinado.
Tipos de arrollamientos.
Arrollamientos helicoidales.
Arrollamientos con bobinas superpuestas:
Arrollamientos con bobinas concéntricas.
— Bobinados de transformadores muy pequeños.

PUNTOS CLAVE

— Conocer los tipos de bobinados más utilizados en los transformadores de potencia.
— Conocer el aspecto constructivo de los bobinados.

EXPOSICION DEL TEMA

28.1 Introducción

Actualmente, la mayoría de transformadores se construye dentro de dos grandes grupos:

— Transformadores de columnas, con arrollamientos concéntricos (fig. 28.1).
— Transformadores acorazados, con arrollamientos alternados.

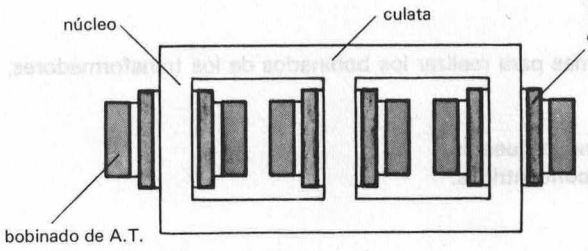


Fig. 28.1 Transformador de columnas.

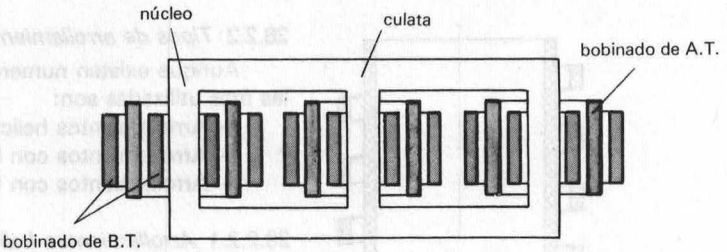


Fig. 28.2 Transformador doblemente concéntrico.

28.1.1 *Transformador de columna*

Puede destacarse la forma, casi circular, del circuito magnético. No lo es totalmente, puesto que se dejan unas ranuras para la refrigeración. Los bobinados de A.T. y B.T., son concéntricos; por motivos de seguridad, se sitúa el bobinado de B.T. en el interior (próximo al núcleo) y el de A.T. en el exterior, ya que, de producirse un contacto a masa, es preferible tenga lugar en el lado de B.T.

Puede ocurrir que los bobinados sean doblemente concéntricos (fig. 28.2); en tal caso, el bobinado de B.T. se divide en dos partes iguales y con ellas se rodea el bobinado de A.T. La ventaja de este sistema, frente a los bobinados concéntricos simples, es la de obtener un menor diámetro del circuito magnético y una disminución del peso. El inconveniente es tener que aumentar el número de espiras del bobinado.

28.1.2 *Transformador acorazado*

Se utilizan en sistemas trifásicos, de elevada potencia (fig. 28.3). El circuito magnético es rectangular y se sitúa horizontalmente. Los arrollamientos son alternados, porque, en principio, han sido subdivididos en elementos de B.T. y A.T., y se colocan a lo largo del núcleo; el número de bobinas depende de la potencia del transformador.

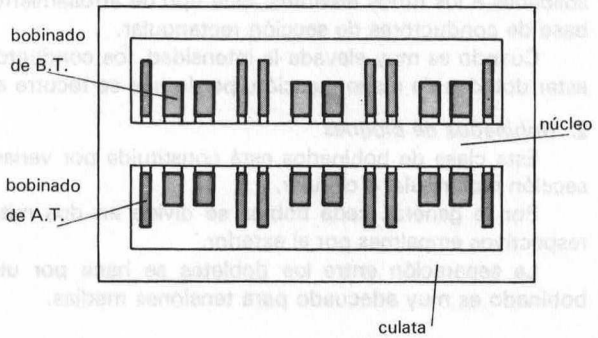


Fig. 28.3 Transformador acorazado.

28.2 Construcción de los arrollamientos del transformador

Los arrollamientos tienen la forma de bobina, utilizando, por lo general, el cobre como material conductor; para pequeñas intensidades se emplean conductores de sección circular; en cambio, para grandes intensidades se utilizan conductores de sección rectangular.

El montaje de los bobinados se hace colocando las bobinas sobre tubos aislantes. En los transformadores de gran potencia se dejan unos canales de refrigeración entre las bobinas y los tubos.

28.2.1 *Factores que influyen en la construcción del bobinado*

Los arrollamientos han de ser construidos teniendo en cuenta:

— Posibilidad de una sobretensión, producida por una descarga eléctrica.
— Probables cortocircuitos, por averías y fallos.
— Envejecimiento de los materiales.

El *primer factor* puede originar graves averías, principalmente en los bobinados de alta tensión.

El *segundo factor* es muy importante para los devanados de B.T., por donde circulan fuertes corrientes, en caso de producirse cortocircuitos.

El *tercer factor* es importante, a partir de cierto tiempo de su construcción, ya que disminuyen las propiedades de aislamiento.

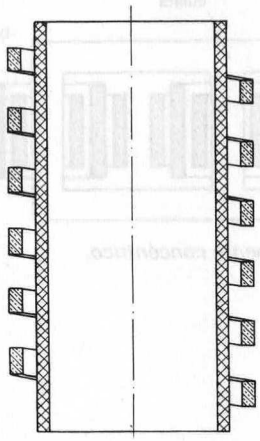


Fig. 28.4 Arrollamientos helicoidales.

28.2.2 *Tipos de arrollamientos*

Aunque existen numerosas formas para realizar los bobinados de los transformadores, las más utilizadas son:

- Arrollamientos helicoidales.
- Arrollamientos con bobinas superpuestas.
- Arrollamientos con bobinas concéntricas.

28.2.2.1 *Arrollamientos helicoidales*

Son adecuados para corrientes elevadas, por tanto, muy apropiados en los arrollamientos de B.T.

El conductor es de sección rectangular (pletina) y se instala rodeando al tubo aislante en forma de hélice (fig. 28.4).

También es muy utilizado el bobinado, a base de varios conductores en paralelo. Normalmente, cada conductor debe ocupar todas las posiciones, siendo necesario para ello realizar varias transposiciones.

Las figuras 28.5, 28.6 y 28.7 representan diversas transposiciones, según el número de conductores de que consten las bobinas.

28.2.2.2 *Arrollamientos con bobinas superpuestas*

Son los bobinados más empleados en la construcción de los transformadores, principalmente en A.T.

El montaje se hace a base de varias bobinas, cuyos principios y finales se conectan en serie, formando una bobina única, con un solo principio y un solo final.

Se subdividen en dos tipos:

- bobinados de galletas;
- bobinados de bloques.



Fig. 28.5 Transposición con dos conductores.

1. *Bobinados de galletas*

Están constituidos por dos capas de espiras por bobina, que reciben el nombre de *dobletes*, que se bobinan en sentido contrario, como indica la figura 28.8.

Las separaciones de las galletas se consiguen por medio de regletas longitudinales, solidarias a los tubos aislantes. Este tipo de arrollamiento se emplea para altas tensiones, a base de conductores de sección rectangular.

Cuando es muy elevada la intensidad, los conductores que forman el bobinado deben estar dotados de mayor sección, por lo que se recurre a los conductores en paralelo.



Fig. 28.6 Transposición con tres conductores.

2. *Bobinados de bloques*

Esta clase de bobinados está constituida por varias capas, a base de conductores de sección rectangular o circular.

Por lo general, cada bobina se divide en dos mitades o *dobletes*, y se realizan los respectivos empalmes por el exterior.

La separación entre los dobletes se hace por un tabique aislante (fig. 28.9). Este bobinado es muy adecuado para tensiones medias.

28.2.2.3 *Arrollamientos con bobinas concéntricas*

Estos bobinados reciben también el nombre de arrollamientos por capas; se caracterizan por estar divididos en varias capas concéntricas cilíndricas y de longitud apreciable; todas están conectadas en serie entre sí, tal y como indica la figura 28.10. Entre dos bobinas consecutivas actúa el sistema de refrigeración. Es muy apropiado para soportar las sobretensiones.

Para conseguir un buen aislamiento, una alta conductividad térmica, y una sólida rigidez mecánica, se impregnan las bobinas, antes de su montaje en el núcleo, siguiendo el proceso que a continuación se especifica:

- Un primer secado, que puede ser en caliente y al vacío.
- Introducción de las bobinas en el barniz aislante.
- Ultimo secado, que depende del tipo de barniz dado.

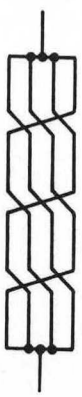


Fig. 28.7 Transposición con cuatro conductores.

28.3 **Bobinados de transformadores muy pequeños**

Los transformadores muy pequeños responden al tipo de los monofásicos y tienen un campo de aplicación muy extenso, en electrodomésticos, receptores de radio, calculadoras, fuentes de alimentación.

28.3.1 *Tipos de transformadores*

Como los transformadores de potencia, pueden ser de dos tipos:

- *acorazados;*
- *de columnas.*

28.3.2 *Rendimiento*

En los transformadores monofásicos disminuye el rendimiento a costa de lograr mayor economía en el coste de materiales.

28.3.3 *Arrollamiento*

El número de espiras del primario se obtiene de la expresión general:

$$n_1 = \frac{V_1 \cdot 10^8}{4{,}44 \cdot f \cdot s \cdot B}$$

siendo:

V_1 = tensión aplicada al primario en voltios
f = frecuencia de la red (50 Hz)
s = sección del núcleo en cm^2
B = inducción magnética en gauss
n_1 = número de espiras del primario.

El número de espiras del secundario se obtiene:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2}; \quad n_2 = n_1 \cdot \frac{V_2}{V_1}$$

siendo:

V_2 = tensión obtenida en el secundario
n_2 = número de espiras del secundario.

La sección de los conductores se obtiene partiendo de la densidad de corriente, que suele estar comprendida entre 1 y 2 A/mm^2

28.3.4 *Construcción*

Una vez hallado el número de espiras, en la acción de sus conductores, se construyen las bobinas a mano o sobre máquinas bobinadoras.

Las bobinas se alojan sobre el núcleo, montado posteriormente las diferentes chapas que lo forman, de espesores de 0,35 a 0,50 mm.

Actualmente existen unas tablas (ábacos) que proporcionan, con muy pocos datos, todos los términos necesarios para realizar el bobinado.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Recopilar información sobre bobinado de transformadores, completándola con visitas a fábrica.

CUESTIONARIO

— Dibujar dos esquemas sobre bobinado de columnas de transformadores.
— ¿Qué tipo de transformadores se construye más en la actualidad? ¿por qué?
— ¿Qué precauciones en cuanto a la refrigeración hay que tener en cuenta, al calcular el bobinado?
— ¿Por qué suelen construirse las bobinas de los transformadores en forma circular?
— ¿Qué tipo de bobinas soportaría mejor los esfuerzos de cortocircuito: cuadradas o circulares?
— Los bobinados para A.T. no se construyen de pletina. ¿Por qué?
— Bajo el punto de vista de seguridad, explicar cuál de los dos sistemas de montaje es mejor:
a) colocar el bobinado de B.T. junto al núcleo;
b) colocar el bobinado de A.T. junto al núcleo.
— ¿Para qué se hace la transposición de los conductores en algún tipo de bobinado?
— ¿De qué material se construyen las bobinas de arrollamiento de A.T.?

BIBLIOGRAFIA

Transformadores. Convertidores, Enciclopedia CEAC de electricidad, Barcelona 1973.

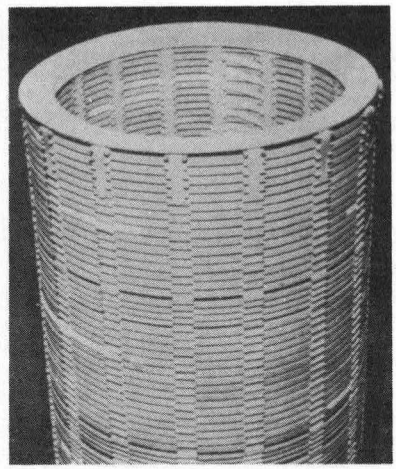


Fig. 28.8 Arrollamientos de galletas.

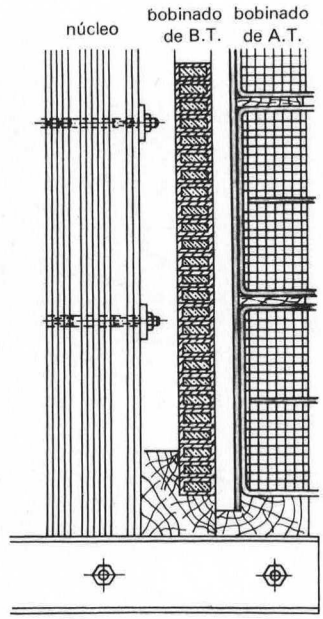


Fig. 28.9 Arrollamiento de bloques.

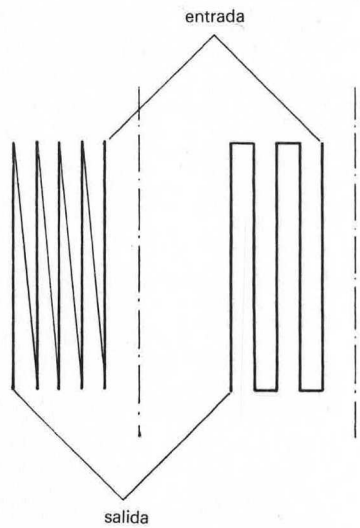


Fig. 28.10 Arrollamiento con bobinas concéntricas.

7. Reglamentos y normas eléctricas. Peligros de la electricidad

Tema 29. Reglamentos y normas eléctricas

OBJETIVOS

- *Conocer las normas reglamentadas sobre electricidad.*
- *Saber elegir el receptor eléctrico por el grado de protección.*
- *Conocer las normas sobre instalaciones de electrodomésticos.*
- *Describir las normas a tener en cuenta en las acometidas a partir de las líneas distribuidoras de la energía.*
- *Normas sobre protección y maniobra en el interior de viviendas.*
- *Conocer los locales peligrosos para la utilización de la energía eléctrica.*
- *Describir las normas básicas de seguridad relacionadas con líneas de A.T.*
- *Idea de normas de seguridad sobre aparatos eléctricos.*

GUION

- Generalidades sobre la Reglamentación en materia eléctrica.
- Aplicación de las normas eléctricas a las materias descritas en el presente texto.
- Normas de aplicación a las medidas eléctricas.
- Normas de aplicación a los electrodomésticos.
- Normas de aplicación a las líneas de distribución.
- Normas de aplicación al montaje de instalaciones de motores.
- Normas de aplicación a las máquinas y aparatos eléctricos.

PUNTOS CLAVE

- Normas y Reglamentos vigentes sobre electricidad.
- Principales normas de protecciones en instalaciones de B.T.
- Condiciones exigidas a las instalaciones interiores.
- Dispositivos de protección relacionados con A.T.

EXPOSICION DEL TEMA

29.1 Generalidades sobre la reglamentación en materia eléctrica

El desarrollo actual de las aplicaciones de electricidad y el empleo cada vez más extendido de todo tipo de receptores eléctricos, han impulsado a los órganos de la Administración Pública a implantar o actualizar las *normas* relacionadas con el tema.

29.1.1 *Promulgación del Reglamento*

Actualmente en España, la reglamentación de las normas se hace a través de los siguientes organismos:

Ministerio de Industria.
Ministerio de Trabajo.
Ministerio de la Vivienda.
Instituto Nacional de Racionalización y Normalización.

El Ministerio de Industria aprobó el 20 de septiembre de 1973 el *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*, y el 31 de octubre de 1973 las Instrucciones Técnicas Complementarias, que siguen en vigor.

29.1.1.1 *Reglamento de baja tensión*

El Reglamento de Baja Tensión comprende, en 34 artículos, las normas básicas de carácter más general y permanente.

Complementariamente al Reglamento de Baja Tensión se han agrupado, en 44 Instrucciones, las normas específicas sobre instalaciones, materiales y equipos, adaptadas al momento actual y a las revisiones de un futuro próximo.

29.1.1.2 *Reglamento para líneas aéreas*

Las normas, sobre líneas eléctricas aéreas, están comprendidas en el *Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión*, aprobado el 28 de Noviembre de 1968, por el Ministerio de Industria, en colaboracióon con el de Obras Públicas.

29.1.1.3 *Reglamento para centrales y estaciones de transformación*

El Reglamento sobre instalación y funcionamiento de Centrales eléctricas y Estaciones transformadoras, se aprobó en 23 de febrero de 1949, y sigue todavía en vigor.

29.1.2 *Ordenanza sobre seguridad e higiene*

El Ministerio de Trabajo aprobó el 9 de marzo de 1971 la *Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo,* con el fin de prevenir accidentes y enfermedades profesionales, así como el consegir las mejores condiciones higiénicas en el puesto de trabajo.

En el Capítulo VI de la Ordenanza General, se dictan las normas de seguridad relacionadas con la Electricidad, siendo en algunos casos derivadas de los Reglamentos electrotécnicos, y en otros, normas propias.

29.1.3 *Reglamento de iluminación de los centros de trabajo*

También fue aprobado el 26 de agosto de 1940 el Reglamento sobre iluminación en los Centros de Trabajo, que sigue actualmente en vigor.

29.1.4 *Otras normas*

Finalmente, existen las normas propias de cada país sobre electricidad, que, en unos casos son obligatorias (Instrucción del Reglamento de B.T. 044) y en otros, aconsejables. En España las normas UNE, se publican actualmente en *hojas de normas* por el Instituto Nacional de Racionalización y Normalización (IRANOR).

29.2 Aplicación de las normas eléctricas a las materias descritas en el presente texto

Aunque a lo largo del texto, se hace alusión e incluso se especifica la norma reglamentada sobre una materia determinada, es conveniente añadir un resumen general sobre las normas exigidas o aconsejadas actualmente en España para cada materia en parcicular.

29.3 Normas de aplicación a las medidas eléctricas

29.3.1 *Tensiones normalizadas*

Las tensiones empleadas en la producción, conversión, distribución y utilización de la energía eléctrica, se clasifican como baja tensión para valores de 100 V en corriente alterna y 1500 V en corriente continua. En baja tensión están normalizadas las siguientes:

Corriente continua: 110, 220 V.

Corriente alterna monofásica: 110, 220 V (frecuencia de 50 Hz).

Corriente alterna trifásica: 127 y *220 V* entre fase y neutro.

220, *380* y 440 V entre fases (frecuencia de 50 Hz).

29.3.2 *Sistemas de aislamiento y tomas de tierra*

Los sistemas de *aislamiento* y toma de *conexión a tierra,* de los receptores eléctricos, dependen del tipo de receptor, y se les ha clasificado en dos grupos:

29.3.2.1 *Grupo A*

Receptores de tensión nominal hasta 440 V e intensidad nominal máxima de 63 A.

Dentro de este grupo, los aparatos pertenecen a las clases siguientes:

— *Clase 0.* Carecen de dispositivos para unir las partes metálicas accesibles a un conductor de protección.

— *Clase I.* Lleva dispositivos para unir las partes metálicas accesibles a un conductor de protección. Normalmente el conductor de protección termina en un contacto situado en la clavija de conexión.

— *Clase 01.* Disponen de bornes para puesta a tierra de sus partes metálicas accesibles y conductor flexible de alimentación exento de conductor de protección.

— *Clase II.* Carecen de dispositivos para unir las partes metálicas accesibles a un conductor de protección. Todas sus partes disponen de doble aislamiento o aislamiento reforzado.

— *Clase III.* Están previstos para alimentarse a tensiones máximas de 50 voltios.

El ensayo de aislamiento (rigidez dieléctrica) de los aparatos citados se hará a 50 Hz, durante un minuto, a tensión de 1500 V en los de clase 0,0I, I, a 4000 V en los de clase II, y a 500 V en los de clase III.

29.3.2.2 *Grupo B*

Receptores de tensión nominal superior a 440 V e intensidad mínima de 63 A.

Este tipo de receptores debe estar provisto de un aislamiento a masa capaz de soportar una tensión de ensayo a 2 V + 1000 V, donde V es la tensión nominal con un valor mínimo de1500 V.

29.3.2.3 *Puestas a tierra*

Se aplican a cualquier elemento o parte de la instalación y ya se estudiaron en el tema 8, según las normas del Reglamento de Baja Tensión.

29.4 Normas de aplicación a los electrodomésticos

Dado el grado de desarrollo adquirido en los últimos años, también la energía eléctrica está muy extendida para usos domésticos, con el consiguiente riesgo que supone el manejo de esta fuente de energía. Por ello el Reglamento de B.T., señala rigurosamente las medidas de *protección por defectos de aislamiento*, limitando la tensión de las masas del aparato a *24 V* en los locales húmedos (cocinas, cuartos de aseo, etc.) y a *50 V* en los demás. La resistencia de tierra máxima se sitúa en 37 Ω.

29.4.1 *Interruptor diferencial*

El aparato de protección por contactos accidentales es el *interruptor diferencial*, cuya sensibilidad será de 300-650 mA ó 30 mA, según que se disponga, o no su sensibilidad será de 300-650 mA ó 30 mA, según que se disponga, o no, de una toma de tierra eficaz. Los aparatos de calefacción se instalarán de forma que no puedan originar incendios en las materias que los rodeen.

29.4.2 *Instalaciones de aparatos de caldeo*

Deben reunir los siguientes requisitos:

— Su tensión de alimentación será inferior a 250 V.

— En caso de avería, la instalación debe desconectarse automáticamente.

— Si es necesario alojar los conductores en tubos incombustibles, se colocará uno por tubo, por ejemplo en el paso de partes combustibles de edificios.

— Los conductores enterrados en el suelo deben estar protegidos contra la conexión y la rotura mecánica.

— Cuando se empleen conductores protegidos con envoltura conductora (tipo metálica), se unirán al conductor de protección que tenga la instalación.

29.4.3 *Calentadores de agua*

Se cumplirán los requisitos siguientes:

— Su alimentación solamente puede hacerse con corriente alterna a la frecuencia mínima de 50 Hz.

— El circuito de alimentación dispondrá de un interruptor automático provisto de protección contra sobrecargas, en un sitio accesible.

— La cuba o recipiente metálico será puesta a tierra. La sección mínima del conductor de puesta a tierra debe ser 4 mm².

— Si la tensión de alimentación es superior a 440 V se debe instalar un interruptor diferencial.

— Para tensiones de alimentación de 50 a 440 V la cuba del calentador se conectará al neutro de red y a tierra.

En usos domésticos está prohibido el empleo de calentadores provistos de elementos calefactores desnudos sumergidos en agua.

29.4.4 *Cocinas y hornos eléctricos*

Se conectan a la fuente de alimentación por medio de interruptores de corte omnipolar. En cada elemento de caldeo se colocará un interruptor de varias posiciones para conseguir diferentes temperaturas.

29.4.5 *Aparatos de uso doméstico provistos de motor eléctrico*

Es el caso del *frigorífico*. Se instalarán en lugares donde no haya materias fácilmente combustibles y donde no haya peligro de accidente por proximidad a las partes giratorias.

Los motores de potencias superiores a 1 CV y aun los de inferior potencia colocados en ambientes con riesgo de incendio o explosión, se protegerán contra sobrecargas y cortocircuitos.

29.4.6 *Aislamiento y puesta a tierra*

La resistencia de aislamiento entre las partes activas y masa será 2 y 7 MΩ para los aparatos con aislamiento de clase 0, I y II o clase III, respectivamente.

Las partes metálicas exteriores se conectan a los bornes de tierra, identificados por conductores de color verde/amarillo, en los aparatos de clases 0I y 0. Los aparatos de clases II y III no deben llevar ningún dispositivo de puesta a tierra.

29.4.7 *Intensidades admisibles en conductores*

Las intensidades máximas admisibles en los conductores flexibles para aparatos electrodomésticos vienen fijados en la tabla 29.1.

Tabla 29.1

Sección nominal del conductor (mm^2)	*Intensidad máxima Admisible* (*A*)
0,5	4
0,75	6
1	8
1,5	11
2,5	15
4	20
6	25
10	35

29.5 Normas de aplicación a las líneas de distribución

Está perfectamente reglamentado todo lo referente a las líneas de distribución.

29.5.1 *Contadores*

Las instalaciones que enlazan la red de distribución pública con la instalación interior del edificio, se ajustarán a las normas sobre colocación de contadores; siendo la más usada en la concentración en un solo punto, normalmente en la planta baja del edificio.

29.5.2 *Acometidas*

El tipo y naturaleza de los conductores a emplear en las acometidas será fijado por la empresa distribuidora. La caja general de protección (precintable), constará de cortocircuitos flexibles en todos los conductores activos y se situará en un lugar accesible.

29.5.3 *Sección de los conductores*

El cálculo de la sección de los conductores, de las líneas que parten de la caja general de protección, hasta el arranque de las derivaciones individuales, se hará tomando una caída de tensión máxima del 0,5 %.

Los conductores utilizados, desde el punto de arranque de la derivación individual hasta el dispositivo de protección de cada abonado, serán de cobre, y se admite una caída de tensión máxima del 1 %.

El cálculo de la sección de los conductores utilizados en instalaciones interiores se hará de forma que la máxima caída de tensión, entre el principio y final de instalación, sea del 3 % y del 5 % de la tensión nominal, para alumbrado y otros usos, respectivamente.

29.5.4 *Interruptor automático y diferencial*

A partir de la entrada de la derivación individual, en el local o vivienda del abonado, se dispondrá un cuadro de distribución, con un interruptor general automático preparado para *protección de sobrecargas y cortocircuitos* (limitador). También se instalarán los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos para cada uno de los circuitos interiores (caso de haber varios) y un *interruptor diferencial*, para protección de personas por contactos indirectos, de alta sensibilidad (30 mA).

29.5.5 *Otras normas*

El resto de normas sobre conductores de protección, resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica, ya se explicaron en el tema 7.

29.5.6 *Tubos protectores*

Los tubos protectores empleados en las instalaciones deben soportar 60 ó 70 °C, según sean de polietileno o metálicos.

29.5.7 *Instalación de locales peligrosos*

Las instalaciones de locales, con riesgo de incendio o explosión, deben estar realizadas con materiales dotados de protecciones especiales como son: envolventes *antideflagrantes,* aumento de seguridad, inmersión en aceite, etc. Entre los numerosos locales con riesgo de incendio o explosión, pueden citarse: los que emplean tanques abiertos que contienen

Tabla 29.2

Sección nominal (mm^2)	*Densidad de corriente* (A/mm^2)	
	Cobre	*Aluminio*
6	9,00	—
10	8,75	—
16	7,60	6,00
25	6,35	5,00
35	5,75	4,55
50	5,10	4,00
70	4,50	3,55
95	4,05	3,20
125	3,70	2,90
160	3,40	2,70
200	3,20	2,50
250	2,90	2,30
300	2,75	2,15
400	2,50	1,95
500	2,30	1,80
600	2,10	1,65

líquidos volátiles inflamables, las salas de gasógenos, gasolineras, instalaciones de gas, salas de bombas para gases, etc.

Las instalaciones eléctricas en locales húmedos o mojados, serán *estancas y protegidas contra la corrosión*, por ejemplo: cuartos de duchas, lavaderos públicos, tintorerías, etc.

29.5.8 *Líneas aéreas de B.T.*

En las líneas aéreas de redes de distribución pública el neutro se debe poner a tierra en el centro de transformación y una vez cada 500 m como mínimo. En el cruce de líneas aéreas, la de B.T. lo hará por debajo de la línea de A.T.

La altura mínima de las líneas aéreas en las vías públicas será de 6 m en caso de haber circulación rodada y de 5 m en los demás casos.

Las intensidades máximas permitidas en los conductores desnudos en las Redes de Distribución Aéreas, vienen fijadas en la tabla 29.2.

29.5.9 *Líneas subterráneas*

Los conductores de las Redes de Distribución Subterráneas serán de cobre o aluminio aislados con materiales adecuados, con secciones mínimas de 6 y 10 mm^2 para cobre y aluminio, respectivamente.

Los conductores de redes subterráneas se instalarán en el fondo de las zanjas con profundidades mínimas de 0,80 a 1,30 m, en calles o ferrocarriles, respectivamente. El conductor *neutro se pondrá a tierra* en el centro de transformación y a lo largo de la red cada 200 m. La envolvente metálica protectora del cable, se conectará al neutro y a la masa, en todas las cajas de seccionamientos.

29.5.10 *Materiales de seguridad para realizar los trabajos en instalacinos de B.T.*

Se emplearán, banquetas, vainas, comprobadores de tensión, herramientas aislantes, material de señalización, lámparas portátiles, transformadores de seguridad, transformadores de separación de circuitos, casco, gafas, calzado aislante, etc.

29.5.11 *Líneas aéreas de A.T.*

Se realizarán bajo proyecto, en el que figurarán la memoria, planos y presupuesto.

29.5.11.1 *Conductores*

Los conductores más aconsejables son: cobre duro, aluminio duro, aleación de aluminio y acero (alma del conductor) con una sección mínima de 10 mm^2. Los cables de tierra pueden ser de acero galvanizado, con sección mínima de 50 mm^2 y 22 mm^2, según la categoría de la línea.

29.5.11.2 *Distancia a los edificios*

Las distancias mínimas que existirán entre los conductores de la línea y los edificios que se encuentren bajo ella será de $3,3 + V/100$ m, con un mínimo de 5 m.

29.5.11.3 *Aparatos de desconexión y protección*

Los desconectadores empleados en las derivaciones serán siempre trifásicos, con mando manual o mecánico, excepto para líneas inferiores a 30 kV que podrán ser unipolares accionables con pértiga.

En los extremos de las líneas eléctricas, se deben instalar dispositivos de protección contra cortocircuitos, defectos en línea y sobretensiones. También es muy eficaz la puesta a tierra del neutro.

29.5.11.4 *Normas para el trabajo en A.T.*

La realización de trabajos en instalaciones de A.T. se hará con las normas siguientes: apertura de todos los circuitos en tensión mediante interruptores y seccionadores, bloqueamiento de los aparatos de corte para evitar un cierre de circuito imprevisto, comprobación de la ausencia de tensión, puesta a tierra y en cortocircuito de todas las fuentes de tensión y colocación de señales de seguridad adecuadas.

Las maniobras con seccionadores e interruptores se harán empleando los siguientes elementos de protección: pértiga aislante, guantes aislantes y banqueta aislante. Se suspenderán los trabajos cuando haya tormentas muy próximas a este lugar.

En los trabajos a realizar en postes se emplearán: el casco protector, trepadores y cinturón de seguridad.

En todo tipo de *trabajos relacionados con A.T. se observarán rigurosamente las instrucciones que dé el Jefe de trabajo.*

29.6 Normas de aplicación al montaje de instalaciones de motores

Los motores eléctricos estarán protegidos con cubiertas permanentes u otro tipo de resguardos adecuados, impidiendo el contacto de las personas u objetos.

En el caso del motor de tipo cerrado, pueden disminuirse las precauciones.

Los aparatos de maniobra se deben separar de los muros, como mínimo, 5 cm.

29.6.1 *Sección de los conductores*

Los conductores de conexión de los motores deben calcularse para una intensidad del 125 % de la nominal en el caso de un solo motor; y del 125 % de la intensidad nominal del mayor sumada a las intensidades de los restantes, en el caso de varios motores.

29.6.2 *Ambientes peligrosos*

En *ambientes explosivos* o con riesgo de incendio, se instalarán los motores con blindaje *antideflagrante* o antiexplosivo.

29.6.3 *Puesta a tierra*

Cada motor se conectará a una toma de tierra individual.

Los tableros de control individual de los motores serán blindados y todos los elementos sometidos a tensión estarán alojados en un compartimiento cerrado.

Los ascensores, las estructuras de los motores, máquinas elevadoras, las cubiertas de estos, las vías de rodamiento de las grúas de taller, etc., se *conectarán a tierra*

29.7 Normas de aplicación a las máquinas y aparatos eléctricos

29.7.1 *Máquinas giratorias*

En los alternadores, motores síncronos, dinamos y motores eléctricos de A.T., antes de realizar ningún trabajo en su interior, deberá comprobarse que la máquina está parada, que las bornas de salida están cortocircuitadas y puestas a tierra, y que la atmósfera no es inflamable o explosiva.

29.7.2 *Transformadores*

Los transformadores estarán situados de forma que sus bobinados sean inaccesibles para tensiones superiores a 50 V. Estarán provistos de un dispositivo de protección contra las sobrecargas.

En el autotransformador, el borne común al primario y secundario se unirá al neutro, como medida de protección.

En los trabajos en transformadores de A.T., el secundario estará cerrado en cortocircuito y en la manipulación de aceites, se dispondrá de elementos para extinción de incendios.

29.7.3 *Rectificadores*

En cuanto a los rectificadores, se observan las normas de los transformadores y también la *separación* en la instalación de las *corrientes de diferente naturaleza*, así como la adaptación a las normas de corriente continua.

29.7.4 *Baterías*

En los locales en donde haya instaladas baterías de acumuladores, se observarán las normas siguientes: para tensiones superiores a 250 V el suelo de los pasillos será aislante, se procurará una eficaz ventilación para evitar la formación de una atmósfera inflamable o nociva y, según el local de trabajo, estarán protegidas con envolturas o cubiertas.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

- Resumen de las normas del Reglamento de B.T. aplicables a las instalaciones.
- Protección en las instalaciones interiores de viviendas o locales industriales.

CUESTIONARIO

- ¿Qué condiciones debe reunir una instalación de una vivienda con electrificación media para poder solicitar la conexión a la red distribuidora?
- ¿Dónde se deben instalar los contadores de energía eléctrica?
- ¿Para qué se instala el interruptor diferencial?
- Normas sobre conductores en aparatos de caldeo de uso doméstico.
- ¿Qué sistemas de aislamiento emplean los receptores?
- ¿Cuál es la caída de tensión máxima permitida en instalaciones interiores?
- ¿Qué aparatos y materiales de seguridad se manejan en trabajos relacionados con A.T.?
- ¿Qué normas básicas se deben seguir para el montaje de motores trifásicos?

— ¿Qué precauciones se deben tener en cuenta en los locales que contengan baterías de acumuladores?

— ¿Qué peligros presenta el manejo del autotransformador?

BIBLIOGRAFIA

— *Reglamento de Baja Tensión e Instrucciones Complementarias,* Ministerio de Industria, 1973.

— *Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo,* Ministerio de Trabajo, 1971.

— *Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión;* Ministerio de Industria, 1968.

Tema 30. Peligros de la electricidad. Prevención de accidentes

OBJETIVOS

— *Dar a conocer las causas de los accidentes eléctricos.*

— *Diferenciación entre los factores externos o personales, causantes del accidente.*

— *Explicar las diferentes lesiones producidas por el paso de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano.*

— *Conocer los métodos a emplear en la prevención de accidentes por contactos eléctricos.*

— *Enumeración de situaciones con posibilidad de accidente eléctrico.*

GUION

— Introducción.
— Factores que intervienen en los accidentes de electrocución:
  Factores técnicos.
  Factores propios de la persona.
— Lesiones producidas por el paso de la corriente.
— Prevención contra contactos eléctricos en B.T.
— Situaciones favorables al riesgo de accidentes eléctricos.

PUNTOS CLAVE

— Conocer el origen del accidente eléctrico.
— Definiciones de las diferentes clases de lesiones.
— Prevención del accidente eléctrico.

EXPOSICION DEL TEMA

30.1 Introducción

Dado el proceso de industrialización, seguido en España durante los últimos años, y ante la demanda de energía eléctrica, tanto para la industria como para usos domésticos, las compañías eléctricas suministradoras han aumentado las tensiones de servicio, fijando los mínimos en 220 y 380 V.

El empleo de esta fuente de energía implica el riesgo de accidentes de electrocución o lesiones de mayor o menor gravedad, puesto que una tensión de *60 V* puede llegar a producir *electrocución.*

Aunque los accidentes de electrocución se producen raramente, son los que originan lesiones más graves.

30.2 Factores que intervienen en los accidentes de electrocución

Pueden agruparse en dos:

— *Factores técnicos.*

— *Factores propios de la persona.*

30.2.1 *Factores técnicos*

En su mayor parte son independientes de la persona, dividiéndose en: *intensidad, tiempo de exposición, dirección de paso* a través del cuerpo humano, tipo de corriente, tensión aplicada y resistencia óhmica que presente el organismo.

30.2.1.1 *Intensidad*

La *intensidad* que atraviesa el cuerpo humano es la causante del accidente y *No la tensión*. Su valor se deduce por la ley de Ohm y se expresa en miliamperios.

30.2.1 *Tiempo de exposición*

Es la duración del paso de intensidad por el cuerpo humano y se expresa en milisegundos o segundos.

30.2.1.3 *La dirección del paso de la corriente por el cuerpo humano*

Influye en el tipo de lesión, siendo las más graves las que siguen el trayecto: mano derecha—pie izquierdo; mano izquierda-pie derecho; manos-cabeza y mano derecha-tórax-mano izquierda.

30.2.1.4 *Tipos de corriente*

Son dos: continua y alterna. La corriente continua actúa por calentamiento, pudiendo producir la electrólisis de la sangre, seguida de la embolia y muerte. En la corriente alterna la superposición de la frecuencia al ritmo circulatorio, puede originar la *fibrilación* ventricular.

30.2.1.5 *Tensión aplicada*

Es quien determina la magnitud de intensidad, por ser directamente proporcional ($V = R \cdot I$). Por ello cuanto más elevada sea la tensión mayor será el peligro.

30.2.1.6 *Resistencia*

Es la oposición que ofrece el organismo al paso de la corriente; el valor de esta resistencia depende de muchos factores: edad, sexo, superficie de contacto húmeda o seca, dureza de la epidermis, presión del contacto y parte del cuerpo en contacto.

30.2.2 *Factores propios de la persona*

Entre los numerosos factores personales pueden destacarse:

- Edad.
- Enfermedades anteriores y actuales.
- Sexo.
- Estado emocional.
- Profesión habitual.
- Experiencia.

Estos factores tienden a alterar el valor de la resistencia óhmica del organismo en el momento del accidente.

30.3 Lesiones producidas por el paso de la corriente

Partiendo de una misma intensidad, según la dirección y tiempo de exposición, se puede originar:

— *Fibrilación ventricular.* Se produce cuando corrientes mayores de 100 mA pasan por el corazón, dando lugar al paro circulatorio.

— *Paro respiratorio.* Sucede cuando la corriente atraviesa el centro nervioso repiratorio, siendo necesario aplicar la respiración artificial durante varias horas.

— *Tetanización muscular.* Impide la separación por sí mismo del punto de contacto con los cables.

— *Quemaduras.* Producidas por efecto Joule. Dependen de la parte del cuerpo en contacto con los cables, la intensidad y el tiempo.

— *Lesiones secundarias.* Originadas por el choque eléctrico, como son golpes contra objetos, ceguera parcial, caídas, etc.

30.4 Prevención contra contactos eléctricos en B.T.

Los Organismos competentes han publicado una extensa normativa sobre la obligatoriedad de emplear los *medios de protección* adecuados para cada tipo de trabajo o instalación, relacionados con la electricidad, a fin de evitar o disminuir los accidentes.

30.4.1 *Tipos de contacto*

Se entiende por *contacto directo* el producido con elementos activos normalmente bajo tensión.

Se entiende por *contacto indirecto* el producido por masas que accidentalmente se encuentran bajo tensión.

30.4.1.1 *Prevención contra contactos directos*:

Los métodos empleados son:

- *Sistemas diferenciales.*
- *Interposición de obstáculos entre los cables y las zonas de movimiento humano.*
- *Recubrimiento de los puntos bajo tensión.*
- *Aislamiento del centro de la estrella en el transformador de alimentación.*

30.4.1.2 *Prevención contra contactos indirectos*

Los métodos empleados son:

- *Separación de circuitos.*
- *Inaccesibilidad simultánea entre partes en tensión y masa.*
- *Aislamiento de protección.*
- *Conexiones equipotenciales.*
- *Puesta a neutro.*
- *Puesta a tierra.*
- *Relés de tensión de tierra.*
- *Protecciones diferenciales.*

30.5 Situaciones favorables al riesgo de accidentes eléctricos

Aunque resulta prácticamente imposible prever dónde va a producirse un accidente, se puede facilitar una relación de situaciones donde cabe esa posibilidad, con objeto de evitarlo.

30.5.1 *En líneas aéreas de A.T.*

— Por contacto de una máquina con una línea de A.T.: grúa, durante el transporte, etcétera.

— Por contacto directo: trabajos en la línea, pintura, etc.

— Por contacto indirecto en las proximidades de la línea: con un tubo metálico, con el martillo, etc.

30.5.2 *En instalaciones fijas en B.T.*

— Por trabajos en instalaciones fijas: en el cuadro de distribución, en los motores, en lámparas, puntos de conexión, etc.

— Por defecto de aislamiento: en grúas, motores, lámparas, líneas de distribución, etc.

— Por trabajos próximos a líneas eléctricas: en trabajos sobre andamios, montaje de máquinas, etc.

30.5.3 *En trabajos varios*

Máquinas de soldadura, postes de transformación, lámparas portátiles, trabajos de mantenimiento, cables enterrados, máquinas portátiles, etc.

30.5.4 *Por defectos en la instalación*

Fallos de aislamiento, conductor de tierra equivocado, esquemas incorrectos, fallo en sistemas de protección y mal funcionamiento de la instalación, etc.

TEMAS A DESARROLLAR POR EL ALUMNO

— Sistemas de protección empleados en prevenciones de accidentes por contactos eléctricos.

— Informarse sobre estadísticas de accidentes por causa eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo, 1971.

edb formación profesional bruño