ÍNDICE

Preámbulo 13

PARTE PRIMERA
TEORÍA DE CIRCUITOS

Tema 1. **INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS GENERALES** 17
1.1. Dipolo eléctrico 17
1.2. Corriente de un dipolo 19
1.3. Diferencia de potencial entre los terminales de un dipolo 20
1.4. Potencia de un dipolo 22
a) Criterio receptor 23
b) Criterio generador 23
c) Medida de la potencia 24
1.5. Cortocircuito y circuito abierto 25
1.6. Ejercicios 26

Tema 2. **COMPONENTES ELEMENTALES** 27
2.1. Definición de circuito eléctrico 27
2.2. Elementos activos 28
a) Fuente de tensión 29
b) Fuente de intensidad o de corriente 31
2.3. Elementos pasivos 33
a) Resistencia 34
b) Inductancia o bobina 36
c) Condensador 41
2.4. Elementos activos. Modelos más próximos a la realidad 45

Tema 3. **LEYES DE KIRCHHOFF** 47
3.1. Definición de nudo y malla 48
3.2. Ley de nudos o 1.ª Ley de Kirchhoff 51

3.3. Ley de mallas o 2.ª Ley de Kirchhoff 53
3.4. Asociación de elementos pasivos 58
a) Asociación de resistencias en serie: Divisor de tensión ... 59
b) Asociación de resistencias en paralelo: Divisor de intensidad 61
3.5. Asociación de elementos activos 63
a) Fuentes de tensión: Conexión en serie 63
b) Fuentes de tensión: Conexión en paralelo 64
c) Fuentes de intensidad: Conexión en serie 64
d) Fuentes de intensidad: Conexión en paralelo 65
e) Asociación en paralelo de fuentes de tensión con elementos pasivos 65
f) Asociación en serie de fuentes de intensidad con elementos pasivos 66
3.6. Conversión de fuente de tensión en fuentes de intensidad y viceversa 67
3.7. Ejercicios 70

Tema 4. **ANÁLISIS DE CIRCUITOS LINEALES** 77
4.1. Método general 77
4.2. Análisis de circuitos eléctricos utilizando el método de mallas 83
4.3. Análisis de circuitos eléctricos utilizando el método de nudos 93
4.4. Ejercicios de autocomprobación 104

Tema 5. **TEOREMAS FUNDAMENTALES DEL ANÁLISIS DE CIRCUITOS** ... 107
5.1. Principio de superposición 108
5.2. Teorema de sustitución 112
5.3. Dipolo equivalente Thévenin y dipolo equivalente Norton . 113
a) Cálculo del valor de la fuente de tensión del equivalente Thévenin 114
b) Cálculo de la intensidad del circuito equivalente Norton 115
c) Cálculo de la resistencia de los equivalentes Thévenin y Norton 115
d) Concordancia de los equivalentes Thévenin y Norton .. 117
5.4. Ejercicios de autocomprobación 126

Tema 6. **MAGNITUDES SINUSOIDALES** 129
6.1. Introducción 130
6.2. Valor eficaz 133
6.3. Notación compleja 134
6.4. Leyes de Kirchhoff 141
6.5. Notación compleja con valores eficaces 144
6.6. Ejercicios de autocomprobación 145

Tema 7. **COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS IDEALES EN CORRIENTE ALTERNA** 147
7.1. Resistencia 148
7.2. Bobina 150
7.3. Condensador 152
7.4. Impedancia compleja 155
a) Impedancia inductiva: Circuito *RL* serie 156
b) Impedancia capacitiva: Circuito *RC* serie 159
c) Admitancia 162
7.5. Asociación de impedancias en serie: Divisor de tensión .. 163
7.6. Asociación de impedancias en paralelo: Divisor de intensidad 164
7.7. Circuito *RLC* serie 166
7.8. Análisis de circuitos en corriente alterna 172
a) Método general o aplicación de las leyes de Kirchhoff 172
b) Método de mallas 173
c) Análisis de circuitos eléctricos utilizando el método de nudos 174
7.9. Teoremas 178
a) Principio de superposición 178
b) Teorema de sustitución 183
c) Dipolo equivalente Thévenin y dipolo equivalente Norton 183
7.10. Ejercicios de autocomprobación 183

Tema 8. **POTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA** 185
8.1. Potencia instantánea y activa consumida 186
8.2. Potencia compleja 187

8.3. Potencia alterna en los elementos: Resistencia 189
8.4. Potencia alterna en los elementos: Bobina 190
8.5. Potencia alterna en los elementos: Condensador 192
8.6. Potencia alterna en los elementos: Impedancia 194
8.7. Balance de potencias 197
8.8. Factor de potencia 200
8.9. Ejercicios de potencia 201

Tema 9. **SISTEMAS TRIFÁSICOS** 217
9.1. Definición 218
9.2. Circuitos trifásicos equilibrados 222
9.3. Valores de fase o simples y valores de línea o compuestos 223
a) Conexión en estrella 225
b) Conexión en triángulo 228
9.4. Solución de circuitos trifásicos equilibrados 230
9.5. Conversión estrella-triángulo 236
9.6. Ejercicios sobre sistemas trifásicos 239

Tema 10. **POTENCIA EN SISTEMAS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS** 243
10.1. Potencia instantánea 243
10.2. Potencia trifásica en función de los valores de fase 244
10.3. Potencia trifásica en función de los valores de línea o compuestos 245
a) Conexión en estrella 246
b) Conexión en triángulo 47
c) Ejemplo 248
10.4. Compensación del factor de potencia 251
a) ¿Por qué compensar el factor de potencia? 251
b) Corrección del factor de potencia en un circuito monofásico 255
c) Compensación del factor de potencia en un circuito trifásico. Batería de condensadores conectada en triángulo 257
d) Compensación del factor de potencia en un circuito trifásico. Batería de condensadores conectada en estrella 259
e) Ejemplo 260
10.5. Medida de la potencia en sistemas trifásicos 261
10.6. Ejercicios de autocomprobación 267

PARTE SEGUNDA
MÁQUINAS ELÉCTRICAS E INSTALACIONES

Tema 11. **PRINCIPIOS GENERALES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS** ... 283
11.1. Introducción ... 283
11.2. Definiciones ... 284
11.3. Clasificación general de las máquinas eléctricas ... 289
11.4. Elementos constructivos básicos. Núcleo ferromagnético: estator, rotor. Arrollamientos ... 289
a) Colector de delgas y el colector de anillos ... 292
11.5. Balance energético y rendimiento. Pérdidas en el cobre, en el hierro y mecánicas ... 295
a) Potencia asignada o nominal ... 296
b) Rendimiento ... 297
11.6. Valores nominales y placa de características ... 298

Tema 12. **TRANSFORMADORES** ... 299
12.1. Introducción ... 299
12.2. Constitución y formas constructivas ... 300
12.3. Transformador ideal ... 301
12.4. Magnitudes referidas ... 303
12.5. El transformador como adaptador de impedancias ... 304
12.6. Circuito equivalente del transformador real ... 308
12.7. Ensayos de vacío y cortocircuito ... 311
a) Ensayo de vacío ... 311
b) Ensayo de cortocircuito ... 314
12.8. Funcionamiento en carga: Caída de tensión interna. Rendimiento y regulación ... 317
12.9. Transformadores trifásicos ... 318
a) Índice horario ... 318
b) Condiciones de conexión en paralelo de transformadores ... 319
12.10. Ejercicios ... 319

Tema 13. **MÁQUINAS ASÍNCRONAS** ... 323
13.1. Introducción ... 323
13.2. Constitución física ... 324
13.3. Campo magnético giratorio. Principio de funcionamiento 326

13.4. Circuito equivalente simplificado 328
13.5. Ensayo en cortocircuito 331
13.6. Ensayo en vacío 333
13.7. Curvas características 335
13.8. Balance de potencias 339
13.9. Arranque de motores de inducción trifásicos: Arranque directo. Arranque por autotransformador. Arranque estrella-triángulo. Arranque mediante resistencias rotóricas 339
13.10. El motor monofásico 341
13.11. Descripción de otros tipos de máquinas eléctricas 342
13.12. Ejemplos de máquinas asíncronas 343

Tema 14. **PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN LAS INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN** 351
14.1. Introducción 351
14.2. Generalidades 353
14.3. Elementos con función de mando y maniobra 356
a) Interruptores 356
b) Contactor 358
c) Disyuntores o interruptor de corte automático 359
d) Seccionador 360
14.4. Elementos de protección 360
a) Fusibles 360
b) Relé y disparador 361
14.5. Tipos de disposición de neutro 364
a) Neutro a tierra sistema TT 366
b) Puesta a tierra esquemas TN 368
c) Neutro aislado. Sistema IT 370
14.6. Protección contra contactos directos 371
14.7. Protección contra contactos indirectos 372

Tema 15. **INSTALACIONES ELÉCTRICAS** 375
15.1. Introducción 375
15.2. Instalaciones receptoras en Baja Tensión 376
15.3. El conductor 376
15.4. Cálculo de las secciones de los conductores eléctricos 377

15.5. Esquema general de una instalación 386
15.6. Instalaciones individuales 388
15.7. Facturación de energía eléctrica en Baja Tensión 390

Bibliografía 393

Anexo I. Leyenda de tipos de instalación recogidos en la Tabla 2.4 395
Anexo II. Álgebra de números complejos 397
Anexo III. Trigonometría 401

TEMA 14

PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN LAS INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN

14.1. Introducción
14.2. Generalidades
14.3. Elementos con función de mando y maniobra

a) Interruptores
b) Contactor
c) Disyuntores o interruptor de corte automático
d) Seccionador

14.4. Elementos de protección

a) Fusibles
b) Relé y disparador

14.5. Tipos de distribución del neutro

a) Neutro a tierra sistema TT
b) Puesta a tierra esquemas TN
c) Neutro aislado. Sistema IT

14.6. Protección contra contactos directos
14.7. Protección contra contactos indirectos

14.1. INTRODUCCIÓN

En estos apuntes se ofrece una visión de los elementos y de las partes que componen una instalación eléctrica de baja tensión. Todas las definiciones aquí recogidas y la terminología utilizada se encuentra en los reglamentos y en las normas de aplicación promulgadas por los distintos organismos competentes y, muy especialmente, en el «Reglamento

Electrotécnico para Baja Tensión» (a partir de ahora le llamaremos por sus siglas RBT) del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto publicado en el boletín oficial del estado número 224 de 18 de septiembre de 2002).

El bloque está formado por el reglamento técnico para baja tensión y las instrucciones técnicas complementarias (a partir de ahora ITC) que desarrollan las distintas partes del reglamento. Además, para apoyar la aplicación práctica del reglamento, el ministerio ha publicado la guía técnica de aplicación del reglamento para baja tensión.

En este curso nos dedicaremos en especial, a las instalaciones de baja tensión de uso industrial que podrá servir para la realización del proyecto eléctrico de una pequeña instalación.

Como especifica el RBT en su artículo 1 su finalidad es la de preservar la seguridad de las personas y los bienes, así como asegurar el buen funcionamiento de dichas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras instalaciones y servicios. Además con su aplicación se contribuye a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones.

En este capítulo nos dedicaremos a la descripción de los elementos básicos que forman la instalación eléctrica, los elementos de protección, dejaremos para el próximo capítulo la descripción de la instalación en su conjunto.

Según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RBT) son instalaciones eléctricas de baja tensión todas aquellas instalaciones que utilizan tensiones de hasta 1000 V en corriente alterna o 1500 V en corriente continua. En particular se denominan según la siguiente tabla.

Tabla 14.1 Definición de baja tensión

Denominación	**Valores límite**	
	Corriente alterna (valor eficaz)	**Corriente continua (valor medio aritmético)**
Muy Baja Tensión	$U_n < 50V$	$U_n \leq 75V$
Tensión usual	$50 < U_n \leq 500V$	$75 < U_n \leq 750V$
Tensión especial	$500 < U_n \leq 1000V$	$750 < U_n \leq 1500V$

Las tensiones nominales usualmente utilizadas en las distribuciones de corriente alterna son:

- 230 V entre fases, para las redes trifásicas de tres conductores (de estas prácticamente solo quedan barrios residuales).
- 230 V entre fase y neutro y 400 V entre fases, para las redes trifásicas de cuatro conductores (antes eran 220/380, pero el cambio implicó una ligera subida de tensiones asumible perfectamente por el material aislante en estas condiciones).

Si en alguna instalación no se puede utilizar alguna de las tensiones normalizadas anteriores, deberán estar preparadas para su utilización en un futuro.

La frecuencia normalizada es fija y de valor 50 Hz.

14.2. GENERALIDADES

Toda instalación eléctrica ha tener un sistema de regulación, mando, control y protección tanto de las instalaciones como de los usuarios. Es por ello que el RBT incluye una serie de normativa a cumplir, y se definen en los artículos 15, 16, 17 y 18, y en las correspondientes ITC que los desarrollan.

La función de mando, o de maniobra, consiste en la puesta en servicio o fuera de servicio de un aparato para su utilización o de una parte de una instalación. Esta función se realiza bien manualmente, mediante unos aparatos llamados **interruptores** o conmutadores (por ejemplo un interruptor de la luz), o bien a distancia, con ayuda de los llamados contactores que accionarán a su vez a los interruptores (por ejemplo el elemento que se aprieta para apagar un ordenador).

La función de protección consiste en evitar poner en peligro o dañar a las personas que utilizan la instalación eléctrica y a los equipos que están conectados a ella. Se distinguen tres tipos de funciones de protección:

- *Función de corte de urgencia*. Así se llama a la protección contra las sobreintensidades (sobrecargas y cortocircuitos). Las protec-

ciones contra las sobreintensidades tienen por objeto evitar que un aumento anormal de la corriente que recorre un conductor o un aparato, se caliente en exceso y pueda deteriorarse el aislamiento del conductor o los circuitos internos del aparato. Para el cálculo de los elementos necesarios para realizar la función de corte de urgencia y proteger una instalación o un elemento, se distingue generalmente entre:

- **Los cortocircuitos**, con valores de intensidad de corriente muy elevados de varias veces la intensidad máxima del elemento, que resultan de contactos de impedancia despreciable entre conductores activos a potenciales diferentes. La sobreintensidad producida por el cortocircuito ha de eliminarse lo más rápidamente posible ya que los calentamientos que produce en los cables puede llegar a producir incendios o dañar de forma perenne tanto el aislamiento como el sistema de chapas que forman los circuitos magnéticos.
- **Las sobrecargas,** resultantes del aumento de la carga de los motores o de la conexión de nuevos consumidores adicionales sobre una línea. Con valores superiores a los conocidos como valores nominales o máximos de las instalación en unas decenas por encima del 100%, y aunque no tan rápidamente como los cortocircuitos, las sobrecargas han de ser eliminadas en un tiempo corto. El calentamiento producido por una sobrecarga es lento por lo que el aparato eléctrico puede funcionar sin temor a ser dañado durante un cierto tiempo. Este tiempo dependerá básicamente del nivel de sobrecarga y del tipo de aparato que sufre la sobrecarga. Un ejemplo de sobrecargas habituales en los motores son las corrientes de arranque, que en condiciones normales, disminuyen muy rápidamente y además, obviamente, los motores están diseñados para aguantarlas. No obstante, en el caso de que duren más de lo previsto (por ejemplo si el rotor está trabado) pueden dañar el aislamiento y, en este caso, es necesario desconectar el motor de su alimentación... Por tanto, se han de seleccionar los elementos de protección de forma que admitan un determinado nivel de sobrecarga, pero sólo durante un cierto tiempo. Esto se consigue normalmente retardando el tiempo de actuación.

- *Función de protección contra contactos directos o indirectos*. Estas protecciones tienen por objeto evitar el choque eléctrico que se produciría al entrar en contacto una persona con una masa (parte metálica de un aparato que, en condiciones normales, está aislada de las partes activas) puesta accidentalmente bajo tensión.
- Y *la función de protección contra sobretensiones transitorias*, que son aparatos de protección de la instalación contra sobretensiones de gran magnitud (como las producidas por el impacto de un rayo en el sistema eléctrico) que se transmiten por la red de distribución. Estos impulsos se deben fundamentalmente a la caída de rayos en las líneas eléctricas o en sus proximidades, induciendo pulsos de tensión en las redes de distribución de amplitud elevada (de 2 a 8 kV) y pequeña duración (1,2 ms de subida y 50 ms de bajada), pero con energía suficiente para destruir circuitos electrónicos y afectar a los aislamientos eléctricos.

Aunque hemos separado en nuestra clasificación las funciones de protección y mando, no siempre las ejecutan elementos diferentes, es decir, para aislar del exterior nuestra casa (y dar un apagón en nuestro hogar) lo podremos hacer activando el llamado Interruptor de Control de Potencia (IPC), cuya misión básica no es la de mando.

Siguiendo este criterio analizaremos los elementos según para lo que se utilice, así veremos los elementos de protección con función de mando y maniobra (por ejemplo el ICP), los elementos de protección con función sólo de protección (por ejemplo los característicos fusibles), y terminaremos analizando cómo se puede hacer para la proteger una instalación contra contactos directos e indirectos —realmente para protegernos de un contacto con un elemento a tensión.

La puesta o conexión a tierra. La reglamentación española exige las instalaciones la realización de un circuito eléctrico aislado del resto y directamente conectado a tierra mediante un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo con una resistencia máxima establecida. Este sistema se utiliza con el fin de evitar que aparezcan tensiones elevadas peligrosas en las proximidades del terreno y permitan el paso a tierra de las corrientes de fallo o las provenientes de una descarga atmosférica.

A su vez los aparatos eléctricos de una determinada potencia deben tener una conexión de las partes metálicas exteriores con el circuito de tierra, a esta conexión de los elementos se les llama masa[1] (si por ejemplo, el frigorífico de casa tiene una deriva, al estar la carcasa del frigorífico conectada a tierra, esta deriva nos evitará un calambre cuando tocamos el frigorífico y además hace funcionar la protección correspondiente).

En algunos casos específicos la reglamentación exige una instalación particular para algún elemento determinado, independiente del resto de puestas a tierra de las instalaciones. Veremos en el epígrafe 14.5 la interacción de esta red con el neutro de la instalación.

Veremos en el siguiente capítulo cómo se instalan y dónde se instalan estos elementos de protección pero antes de comenzar a analizar cómo funcionan los elementos recordemos que el sistema de alimentación general es trifásico, que en general se dispone de corriente trifásica a la entrada del domicilio, taller... La alimentación a cada centro de consumo vivienda, o comercio... se realiza normalmente en corriente monofásica a no ser que la potencia instalada supere los 14.500 vatios, en cuyo caso la alimentación deberá realizarse obligatoriamente en corriente trifásica. En todos los casos una vez dentro de la instalación los circuitos individuales que necesiten corriente monofásica se alimentarán entre fase y neutro.

14.3. ELEMENTOS CON FUNCIÓN DE MANDO Y MANIOBRA

Son elementos de protección con función de mando y maniobra, los interruptores, los disyuntores o interruptores automáticos de corte, los contactores, y los seccionadores.

a) Interruptores

El interruptor es un aparato mecánico de mando manual directo, capaz de establecer, de soportar y de interrumpir la intensidad de co-

[1] Masa. Es cualquier parte conductora accesible de un aparato o instalación eléctrica, que en condiciones normales está aislado de las partes activas, pero que es susceptible de ser puesto bajo tensión como consecuencia de un fallo en las disposiciones tomadas para asegurar su aislamiento.

rriente asignada, en las condiciones normales del circuito, y cumplir eventualmente las condiciones específicas de sobrecarga en servicio y cortocircuito.

Según el número de polos (conductores activos) que contiene se habla de interruptores (ver figura 234):

- unipolares (abren o cierran una fase),
- bipolares (abren o cierran dos fases, normalmente una fase y el neutro),
- tripolares (abren o cierran las tres fases) y
- tetrapolares (abren o cierran las tres fases y el neutro). Cuando el interruptor abre todos los conductores activos (fases y neutro) de una instalación se dice que el corte es omnipolar.

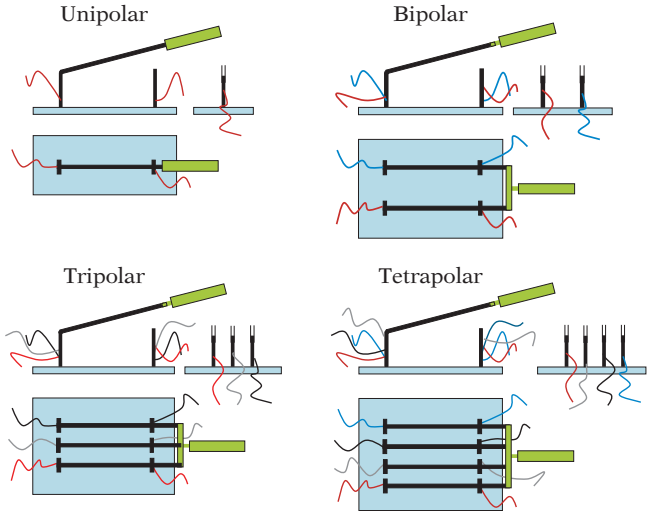


Figura 234. Esquemas básicos de cuatro interruptores de cuchilla en función del número de circuitos que corta (se ha representado para cada uno la planta, el alzado y la vista lateral).

Los interruptores de los aparatos o de los circuitos de distribución de baja tensión alimentados en corriente monofásica son en la mayoría de los casos unipolares (por ejemplo, el caso de pequeños interruptores que cortan el suministro de un pequeño motor o los interruptores de la luz en las viviendas). En estos casos es necesario colocar el interruptor sobre

el conductor de la fase, ya que si se coloca sobre el hilo del neutro puede haber en el aparato una tensión con respecto a tierra que de lugar a una corriente que circule a través del cuerpo humano en caso de contacto.

Un interruptor viene caracterizado por la tensión nominal, por la intensidad nominal de trabajo, y por el poder de cortocircuito. El poder de cortocircuito es el valor de la intensidad de cortocircuito que puede interrumpir sin deterioro de cualquiera de sus partes.

Los interruptores que además tienen como función la separación de circuitos con fines de garantizar el aislamiento efectivo del circuito separado se conocen con el nombre de interruptores-seccionadores y deben cortar todas las fases, incluyendo el neutro en algún tipo de instalaciones y deben ser conformes a la norma UNE-EN 60947-3.

b) Contactor

El contactor es un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica que tiene una función idéntica a la de un interruptor: capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga, pero a diferencia de los interruptores, está accionado por cualquier forma de energía, **menos manual**, y sus elementos móviles de contacto están mantenidos contra los elementos fijos o separado de ellos por la acción de un circuito magnético.

El contactor tiene una posición mecánica de reposo, que corresponde a la que tienen sus contactos cuando el circuito de la bobina está abierto y la bobina, por lo tanto, sin tensión. En la figura 236 se muestran los dos tipos de contactores en posición normal cerrado a) y en posición normal abierto b).

En la figura 235 se muestra esquemáticamente cómo está constituido. Cuando la bobina se pone en tensión (circula intensidad por ella), se produce una fuerza en el circuito magnético que lo hace desplazarse para cerrarlo y anular el entrehierro, el contactor cambia la posición (en el caso de la figura 235 se cierra) de sus contactos respecto a la de reposo; cuando se interrumpe la corriente en la bobina, el circuito magnético se abre y el contactor vuelve a la posición de reposo, ya sea de cierre o de apertura. Este elemento permite realizar la función de mando a distancia, manual o automáticamente, según se actúe sobre el circuito de la bobina.

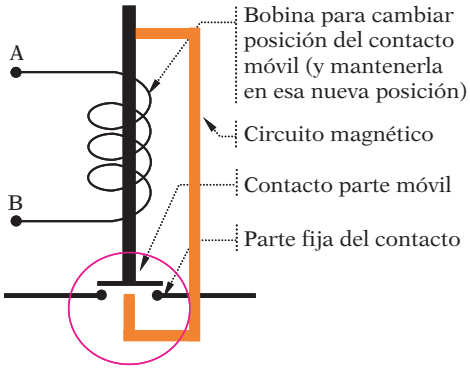


Figura 235. Esquema básico de un contactor.

Mecánicamente los contactores están construidos para efectuar un número de maniobras muy grande. Su poder de corte y de cierre es muy elevado, normalmente 10 veces su intensidad asignada, lo que le permite absorber, por ejemplo, la punta de arranque de un motor asíncrono.

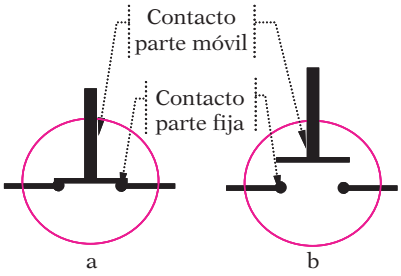


Figura 236. Tipos de contactores.

c) Disyuntores o interruptor de corte automático

El disyuntor o interruptor de corte automático, es un aparato de mando, generalmente manual. Se utiliza principalmente para controlar los circuitos principales de una instalación eléctrica, y no para el mando de una máquina de uso intensivo.

En reposo, los contactos móviles están separados de los contactos fijos. El accionamiento de un pulsador o de una palanca provoca el cierre de los contactos al mismo tiempo que la deformación de un resorte que permanece comprimido mientras dura el cierre de los contactos del aparato. La apertura de los contactos se provoca por el accionamiento de



Figura 236. Disyuntor.

una bieleta, que libera bruscamente la energía almacenada en el resorte, produciendo la separación rápida de los contactos. Esta rapidez de apertura, que no se produce en los contactores, confiere a estos aparatos un poder de corte mucho más elevado que el de los contactores. De este tipo son los generales de una vivienda, en donde manualmente se cierran y se abren apretando un pulsador, o se utiliza la propia palanca para cerrar.

d) Seccionador

El seccionador permite poner fuera de tensión la instalación, o una parte de la misma, para realizar trabajos de reparación en ella. A esta funcionalidad se la denomina función de seccionamiento y consiste en la puesta fuera de tensión de todos los elementos activos.

A diferencia del interruptor, el seccionador no tiene poder de corte, es decir, no debe ser maniobrado en carga (esto es, cuando circula corriente) ya que no puede interrumpir la corriente que lo atraviesa. Solo se utilizan seccionadores sin otra función en sistemas a tensiones elevadas. No se utilizan en las viviendas o instalaciones de pequeño tamaño, en estos casos su función va unida a la del interruptor.

14.4. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

a) Fusibles

Estos aparatos son los encargados de vigilar la magnitud de las corrientes que circulan por los equipos o instalaciones que protegen y de hacer funcionar una alarma o provocar la apertura del circuito en caso

de defecto. El fusible más común , y del que deriva su nombre, abre , por fusión de uno o varios de sus elementos fusibles colocados y calibrados para este efecto, el circuito o los circuitos donde ha sido insertado, cuando la corriente que lo atraviesa supera un valor determinado, durante un tiempo también determinado.

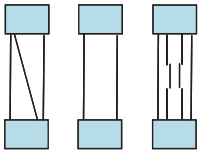


Figura 237. Fusibles.

Se distinguen dos tipos de fusibles: los de uso industrial, que tienen un alto poder de corte (superior a los 50.000 A) y los de uso doméstico, de menor poder de corte y de acción rápida por lo que protegen a la vez contra sobrecargas y contra cortocircuitos.

Ciertos fusibles sometidos a intensidades del orden de 10 veces su intensidad asignada pueden asegurar la protección contra los cortocircuitos teniendo en cuenta su rapidez de funcionamiento.

Los fusibles pueden estar combinados con seccionadores y deben ser conformes a la serie de normas UNE-EN 60269 o con interruptores siendo entonces conformes a la norma UNE-EN 60947-3.

b) Relé y disparador

Estos aparatos son los encargados de vigilar la magnitud de las corrientes que circulan por los equipos o instalaciones que protegen, son la «inteligencia de los circuitos de protección» y su misión es la de dar una orden (bien de apertura, cierre, alarma o señalización) y no la de efectuarla (para eso estar los interruptores).

La diferencia entre el relé y el disparador radica en la forma en la que actúa sobre el dispositivo de salida. Así, el disparador actúa mecánicamente sobre los aparatos de interrupción de la corriente a los que está asociado (interruptores automáticos y contactores). Por el contrario, el relé actúa eléctricamente sobre el circuito de mando del aparato encargado de interrumpir la corriente anormal.

Los principales relés de protección o de disparo son: los relés o disparadores térmicos, los relés o disparadores electromagnéticos, los relés o disparadores magnetotérmicos y los relés o disparadores diferenciales.

En el caso del **disparador térmico**, su funcionamiento se basa en la propiedad de una bilámina formada por dos láminas de metales diferentes con coeficientes de dilatación también diferentes. El paso de la corriente calienta esta bilámina, por efecto Joule (aunque para el caso de fuertes intensidades, sólo está recorrida por una corriente proporcional de unos pocos amperios) (figura 238a). Cuando la intensidad de corriente es superior al valor de reglaje, la bilámina se deforma y actúa sobre el sistema de disparo (figura 238b).

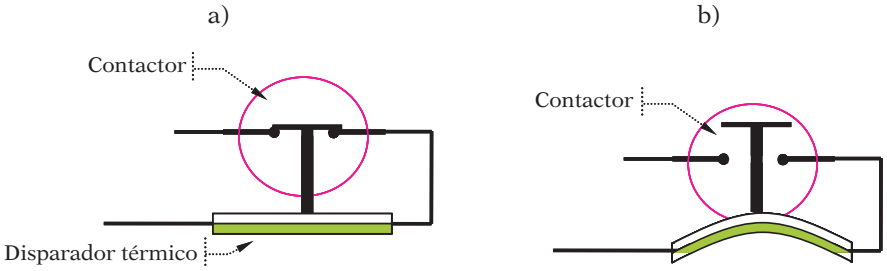


Figura 238 Funcionamiento del disparador térmico.

Este tipo de disparador a causa de su inercia, tiene una acción lenta de tiempo inverso, asegura la protección contra las sobrecargas.

El **disparador electromagnético** está constituido por un electroimán con una pieza móvil. Un aumento brusco de la corriente que recorre las bobinas del relé da lugar al desplazamiento de la pieza móvil, provocando su actuación.

Esta forma de funcionamiento hace que el dispositivo de disparo sea accionado cuando la intensidad sobrepasa el valor de reglaje. Este tipo de relé actúa instantáneamente.

En la figura 239 se muestra un dispositivo en el que el valor de reglaje se realiza mediante la presión de un muelle. Cuando la fuerza originada en el entrehierro es superior a la del muelle, este cede y el núcleo se cierra produciendo en este caso una apertura del contactor.

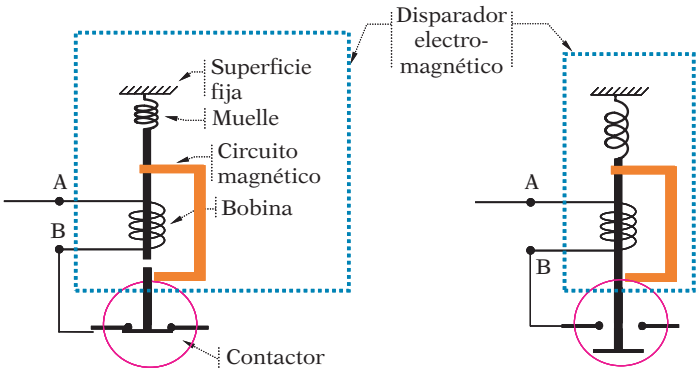


Figura 239. Funcionamiento del disparador electromecánico.

Se denomina **relé o disparador magnetotérmico** al elemento que está constituido por la asociación de un relé electromagnético y de un disparador térmico. Su acción es a la vez instantánea y diferenciada, y su protección es completa contra las sobreintensidades (cortocircuitos y sobrecargas).

El funcionamiento del **dispositivo diferencial residual** (o **diferencial**) se basa en el hecho de que en un circuito sin defecto a tierra, la suma vectorial de las corrientes de los conductores activos es nula. En la figura 240, si las intensidades $i_1 = i_2$ significa que no hay ningún defecto en la instalación, En estas circunstancias no hay variación de flujo en toro magnético, y no se circula intensidad a través del circuito interno. En esta situación, los contactos del dispositivo de corte (contactor en el caso de la figura 240) están cerrados y, por lo tanto, la instalación o el aparato que protege el relé diferencial en tensión.

Cuando aparece una corriente de defecto, es decir, al ponerse en contacto un conductor activo con un elemento (masa, persona, etc.), se establece y cierra un circuito a través de tierra (bien a través del hilo de tierra bien directamente) en este caso $i_1 \neq i_2$ (ya que parte de la intensidad se cierra a través del nuevo circuito. Ahora se produce en el toro magnético un campo proporcional a la diferencia de intensidades. Este campo produce una tensión en la bobina arrollada al toro que hace circular una intensidad entre los puntos A y B de la figura 240. Esta corriente hace actuar el relé que acciona al dispositivo de corte y se abre el circuito (se produce la apertura de los contactos del circuito). Obsérvese que en este caso y según dice la normativa hemos puesto un contactor bipolar.

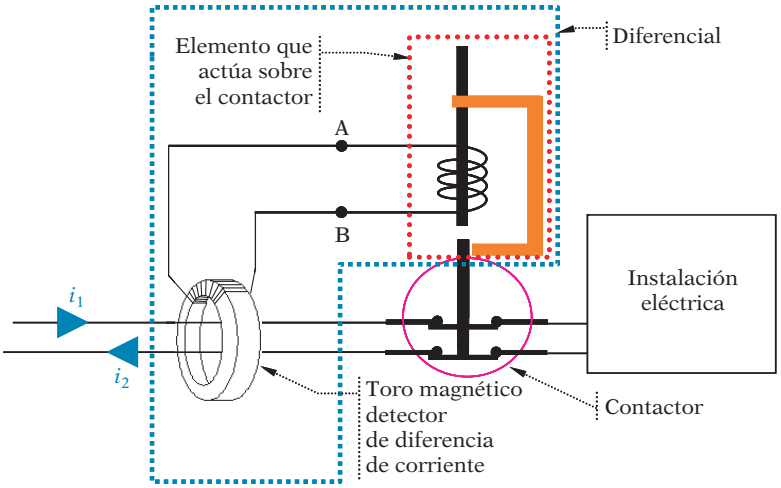


Figura 240.

Un relé diferencial está regulado para funcionar a partir de un cierto valor de la corriente de defecto. Se define así la corriente diferencial nominal residual de desconexión, llamada también sensibilidad del relé, como aquel valor de la corriente derivada a tierra a partir del cual se produce la desconexión de la instalación. Esta desconexión será tanto más rápida cuanto mayor sea el valor de la corriente derivada.

Los interruptores diferenciales (conjunto, en un mismo aparato, formado por un relé diferencial que actúa sobre un interruptor) pueden incorporar también dispositivos de protección contra sobreintensidades conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 61009.

14.5. TIPOS DE DISPOSICIÓN DE NEUTRO

Antes de comenzar con la descripción de los elementos que debemos instalar para proteger a personas y elementos contra contactos directos o indirectos vamos a analizar la principal instalación que permite su utilización, la red de tierra y las formas posibles en la que se conecta al sistema de neutro de la alimentación y como se conectan las masas de los elementos a proteger o de los que hay que protegerse.

La norma que rige la forma de realización de las redes de tierra y su conexión con las masas de los elementos así como al neutro son

la ITC BT 18 para todo tipo de instalaciones y particularmente para instalaciones en viviendas se especifican condiciones adicionales en la ITC-BT 26.

NOTA: Es importante que no se confundan ni se mezclen los conceptos de sistema de alimentación del neutro y sistema de puesta a tierra de los aparatos, aunque en determinadas circunstancias puedan ser los mismos.

Uno de los parámetros básicos para la definición de la red de puesta a tierra que indica la norma es la resistencia de puesta a tierra que llamaremos R_A en esta exposición, y que se define como la suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de las masas.

En la figura 241 se muestra una toma de corriente normal de una vivienda (de hasta 20 A) en donde se indican la posición de los hilos de fase y neutro y la de masa o tierra de los aparatos receptores conectados a ella[2].

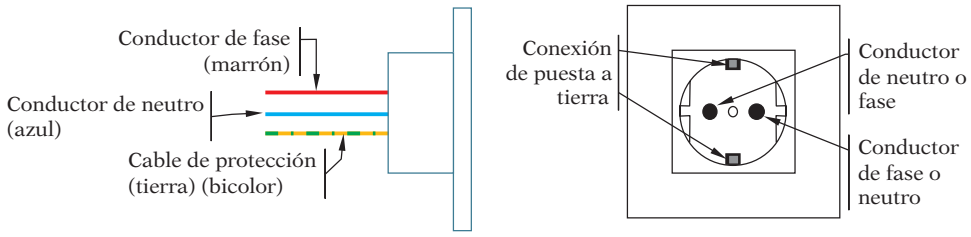


Figura 241 Ejemplo de una toma de corriente de potencia de una vivienda.

No obstante, no todos los aparatos eléctricos hay que conectarlos a tierra. Según indica la ITC BT 26 se deberán conectar al circuito de protección Toda masa metálica importante, existente en la zona de la instalación, y las masas metálicas accesibles de los aparatos receptores, cuando su clase de aislamiento o condiciones de instalación así lo exijan; en general todos los elementos eléctricos en los que un defecto de aislamiento pueda originar en las partes aisladas tensiones que puedan producir daños por contacto.

[2] Según la ITC BT 19, los conductores de fase y tierra tienen que estar perfectamente localizables en la instalación por lo que se utilizarán para baja tensión un código de colores estricto: para las fases MARRÓN, NEUTRO y GRIS (en este orden) AZUL para el NEUTRO y VERDE-AMARILLO para el de tierra.

En las instalaciones de baja tensión habituales, el tipo de distribución de neutro (o la forma en la que se conecta el neutro a tierra), por razones de protección está reglamentado por las ITC BT 18 e ITC BT 24 y se designa por dos letras mayúsculas, la primera indica el tipo de unión del neutro a tierra y la segunda la unión de las distintas masas de los equipos a tierra. En la tabla 14.2 se describen las diferentes posibilidades.

Tabla 14.2 Tipos de conexión a tierra

Primera letra: Conexión del neutro de la alimentación		**Segunda letra:** Conexión de las masas de los equipos	
T	Conexión directa del punto neutro a tierra	**T**	Conexión de las masas a tierra
I	Ausencia de conexión del neutro a tierra, o unión por medio de una impedancia de elevado valor	**N**	Conexión de las masas al neutro, que a su vez está puesto a tierra

Las posibilidades pueden ser tres TT, TN o IT, ya que N exige que el neutro de la alimentación esté a tierra por lo que no puede ser IN.

a) Neutro a tierra sistema TT

Una puesta a tierra múltiple, en puntos repartidos con regularidad, puede ser necesaria para asegurarse de que el potencial del conductor de protección se mantiene, en caso de fallo, lo más próximo posible al de tierra. Por la misma razón, es utilizado **obligatoriamente por las redes de distribución pública.** Por lo tanto toda instalación conectada a un transformador de la compañía de distribución ha de tener esta configuración. Sólo en el caso de que el transformador de baja tensión sea propio y no se comparta con ningún otro usuario, se pueden utilizar otros medios de distribución de neutro.

El esquema de este tipo de conexión se muestra en la figura 242; en él se observa cómo las masas de los equipos están conectadas mediante un conductor de protección (CP) y unidas a tierra en un punto diferente a la toma de tierra del neutro.