

## 9.1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento e a especificação corretos de materiais, equipamentos e dispositivos constituem fatores determinantes no desempenho de uma instalação elétrica industrial.

Materiais e equipamentos não especificados adequadamente podem acarretar sérios riscos à instalação, bem como comprometê-la sob o ponto de vista de confiabilidade, além, é claro, dos prejuízos de ordem financeira com a paralisação temporária de alguns setores de produção.

O que se pretende, neste capítulo, é fornecer ao projetista os elementos mínimos necessários para a especificação de vários materiais e equipamentos empregados mais comumente nas instalações elétricas industriais, assim como descrevê-los de modo sumário, de tal sorte que seja facilitada a elaboração correta da relação de material para a obra. Não se pretende jamais fornecer detalhes de especificação. Se isso for necessário, o leitor deve consultar a literatura especializada.

O estudo dos materiais e equipamentos abordados neste capítulo é sucinto. Se o leitor desejar conhecer com maior profundidade o assunto, pode consultar o livro do autor *Manual de Equipamentos Elétricos*, 3.ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2005, que trata com detalhes de grande parte dos pontos aqui enfocados.

## 9.2 ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA ESPECIFICAR

Para se proceder à especificação de materiais e equipamentos, é necessário conhecer os dados elétricos em cada ponto da instalação, bem como as características do sistema. De modo geral, as grandezas mínimas que caracterizam um determinado equipamento ou material podem ser, assim, resumidas:

- tensão nominal;
- corrente nominal;
- frequência nominal;
- potência nominal;
- tensão suportável de impulso;
- capacidade de corrente simétrica e assimétrica de curto-circuito.

As outras grandezas elétricas e/ou mecânicas fundamentais e particulares a cada tipo de equipamento serão mencionadas nos itens pertinentes.

## 9.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para melhor entendimento da especificação, foi elaborado um diagrama unifilar, mostrado na Figura 9.1, referente a uma instalação elétrica industrial, contendo os principais materiais, equipamentos e dispositivos que devem ser especificados sumariamente em função das características de cada ponto do sistema onde estão localizados.

As características do sistema são:

- tensão nominal primária: 13,80 kV;
- tensão nominal secundária: 380 V;
- tensão de fornecimento: 13,80 kV;
- potência simétrica de curto-círcuito no ponto de entrega (ponto A): 250 MVA;
- tensão suportável de impulso: 95 kV;
- tensão máxima de operação entre fase e terra: 12 kV;
- capacidade de transformação:  $2 \times 750$  kVA;
- corrente de curto-círcuito simétrica na barra B: 40 kA;
- corrente de curto-círcuito simétrica na barra C: 20 kA;
- motores:
  - M1: 50 cv - 380 V/IV pólos, do tipo rotor em curto-círcuito;
  - M2: 75 cv - 380 V/IV pólos, do tipo rotor em curto-círcuito;
  - M3: 100 cv - 380 V/IV pólos, do tipo rotor em curto-círcuito;
  - M4: 125 cv - 380 V/IV pólos, do tipo rotor em curto-círcuito;
  - M5: 200 cv - 380 V/IV pólos, do tipo rotor em curto-círcuito.
- cargas:
  - iluminação: 100 kVA;
  - outras cargas: 630 kVA.

O diagrama unifilar da Figura 9.1 é característico de uma instalação elétrica industrial com entrada de serviço subterrânea. Estão mostrados, apenas, os principais elementos de uso mais

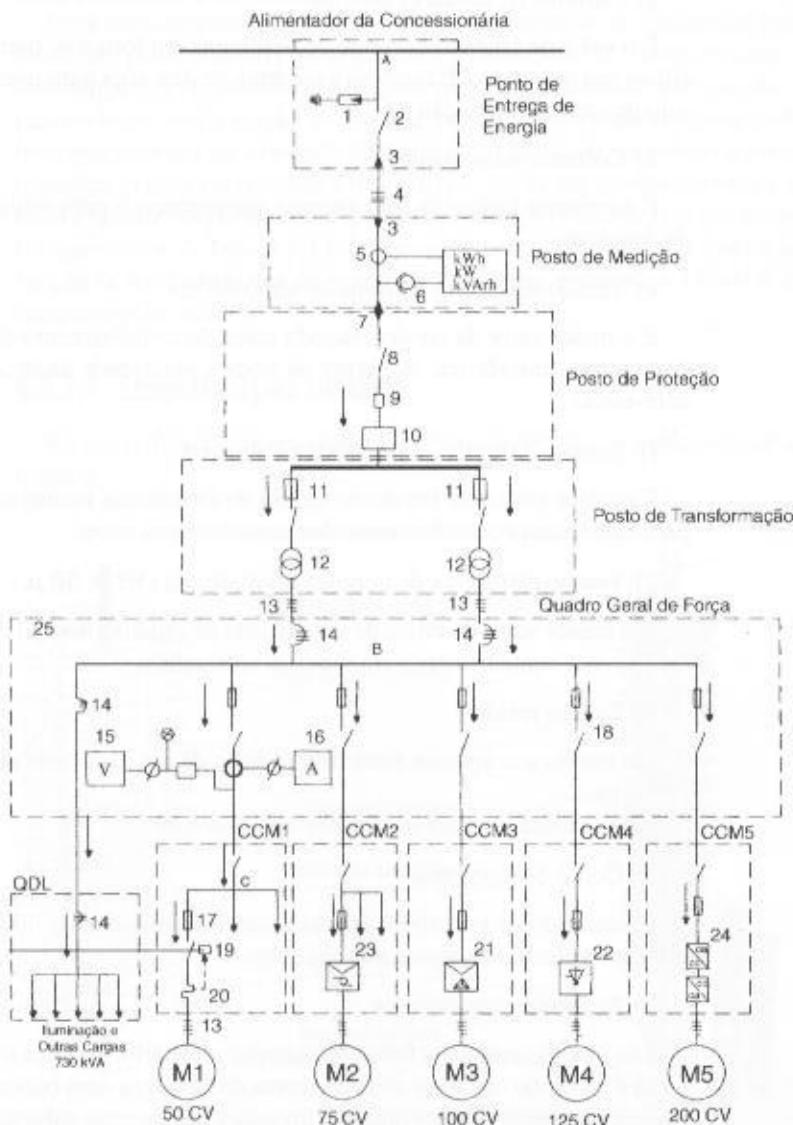


FIGURA 9.1  
Diagrama unifilar

comum numa planta industrial, cujo conhecimento é de importância relevante para a difícil tarefa de projetar e especificar.

É necessário observar que cada elemento especificado está identificado no diagrama unifilar através de um número colocado no texto, entre parênteses.

Deve-se, também, alertar para o fato de que todos os materiais e equipamentos *especificados sumariamente* neste capítulo devem satisfazer, no seu todo, às normas da ABNT e, na falta destas, às da IEC.

### 9.3.1 Pára-raios de Distribuição a Resistor Não-linear (1)

É um equipamento destinado à proteção de sobretensão provocada por descargas atmosféricas ou por chaveamento na rede. São as seguintes as características fundamentais de um pára-raios definidas pela ABNT.

a) Tensão nominal

É a máxima tensão eficaz, de freqüência nominal, aplicável entre os terminais do pára-raios e na qual este deve operar corretamente.

b) Freqüência nominal

É a freqüência utilizada no projeto do pára-raios a qual deve coincidir com a freqüência da rede a que será ligado.

c) Corrente de descarga nominal

É o valor de crista da corrente de descarga com forma de onda de 8/20  $\mu$ s, utilizado para classificar um pára-raios. É também a corrente de descarga para iniciar a corrente subsequente no ensaio de ciclo de operação.

d) Corrente subsequente

É a corrente fornecida pelo sistema que percorre o pára-raios depois da passagem da corrente de descarga.

e) Tensão disruptiva de impulso atmosférico

É o maior valor da tensão atingida antes do centelhamento do pára-raios, quando uma tensão de impulso atmosférico, de forma de onda e polaridade dadas, é aplicada entre os terminais do pára-raios.

f) Tensão disruptiva à freqüência industrial

É o valor eficaz da tensão de ensaio de freqüência industrial que, aplicado aos terminais do pára-raios, causa centelhamento dos centelhadores série.

g) Tensão disruptiva de impulso normalizada ( $1,2 \times 50 \mu$ )

É o menor valor de crista de uma tensão de impulso normalizada que, aplicado a um pára-raios, provoca centelhamento em todas as aplicações.

h) Tensão residual

É a tensão que aparece entre os terminais de um pára-raios durante a passagem da corrente de descarga.

Basicamente, os pára-raios são constituídos de:

a) Corpo de porcelana

Constituído de porcelana de alta resistência mecânica e dielétrica, no qual estão alojados os principais elementos ativos do pára-raios.

b) Resistores não-lineares

São blocos cerâmicos feitos de material refratário, química e eletricamente estáveis. Esse material é capaz de conduzir altas correntes de descarga com baixas tensões residuais. Entretanto, o resistor não-linear oferece uma alta impedância à corrente subsequente. São formados de carboneto

de silício, que apresenta um coeficiente de temperatura negativo, isto é, sua condutibilidade aumenta com a temperatura. Também os resistores podem ser fabricados com óxido de zinco.

c) Desligador automático

É composto de um elemento resistivo colocado em série com uma cápsula explosiva protegida por um corpo de baquelite. Sua função é desconectar o cabo de aterramento do pára-raios quando este é percorrido por uma corrente de alta intensidade capaz de provocar sua explosão. Isto ocorre, em geral, quando o pára-raios está defeituoso, como, por exemplo, perda de vedação.

O desligador automático é projetado para não operar com a corrente de descarga e a corrente subsequente. Também serve como indicador de defeito do pára-raios.

d) Centelhador série

É constituído de um ou mais espaçamentos entre eletrodos, dispostos em série com os resistores não-lineares, e cuja finalidade é assegurar sob quaisquer condições uma característica de disruptão regular com uma rápida extinção da corrente subsequente.

e) Protetor contra sobrepressão

É um dispositivo destinado a aliviar a pressão interna devida a falhas ocasionais do pára-raios e cuja ação permite o escape dos gases antes que haja rompimento da porcelana.

A Figura 9.2 mostra um pára-raios, indicando os seus principais elementos. Já a Figura 9.3 mostra um pára-raios montado em cruzeta, indicando os elementos usados na montagem e conexão. A Figura 9.4 apresenta graficamente as variações de corrente e tensão durante a operação de um pára-raios à resistência não-linear.

Uma característica particularmente interessante de ser conhecida para se especificar corretamente um pára-raios é o tipo de aterramento do neutro do transformador de força da subestação de distribuição da concessionária, o que caracterizará a tensão máxima de operação do sistema. Dependendo da configuração do sistema distribuidor, o transformador pode estar conectado em estrela não aterrada ou triângulo (sistema a três fios), ou em estrela aterrada efetivamente, ou com impedância inserida (sistema a três fios) ou, ainda, em estrela aterrada e neutro multiaterrado (sistema a quatro fios). Para cada tipo de configuração é necessário que se especifique adequadamente o pára-raios. A Tabela 9.1 fornece os elementos de orientação para a seleção dos pára-raios em função da tensão máxima de operação do sistema, enquanto a Tabela 9.2 indica as suas principais características elétricas.

### 9.3.1.1 Especificação sumária

Na especificação de um pára-raios é necessário que se indiquem, no mínimo, os seguintes elementos:

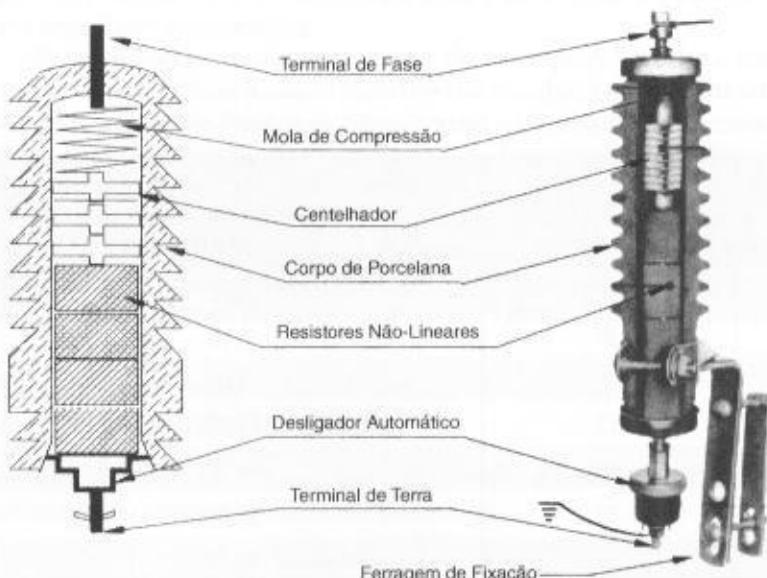


FIGURA 9.2

Este é o interior de um pára-raios a resistor não-linear

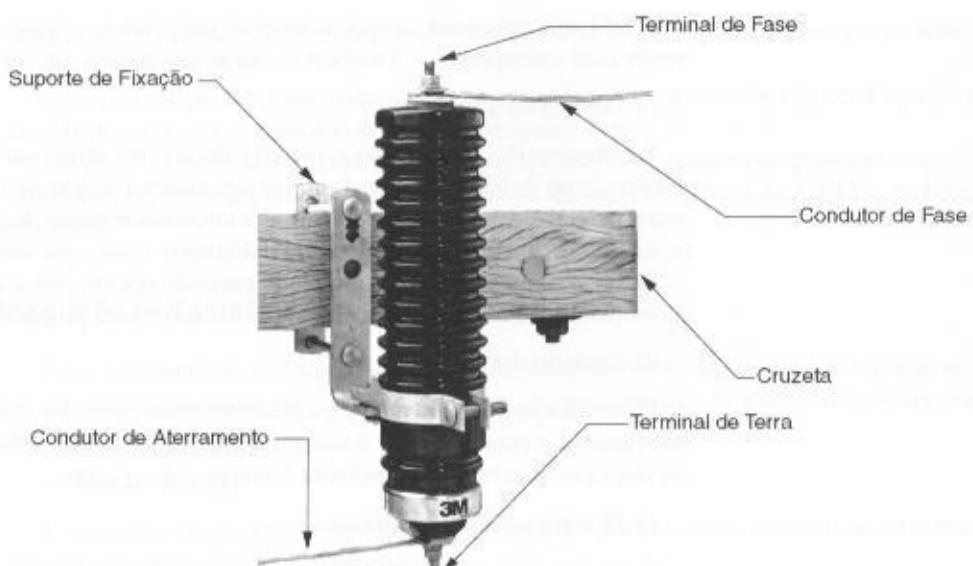


FIGURA 9.3

Montagem de um pára-raios a resistor não-linear

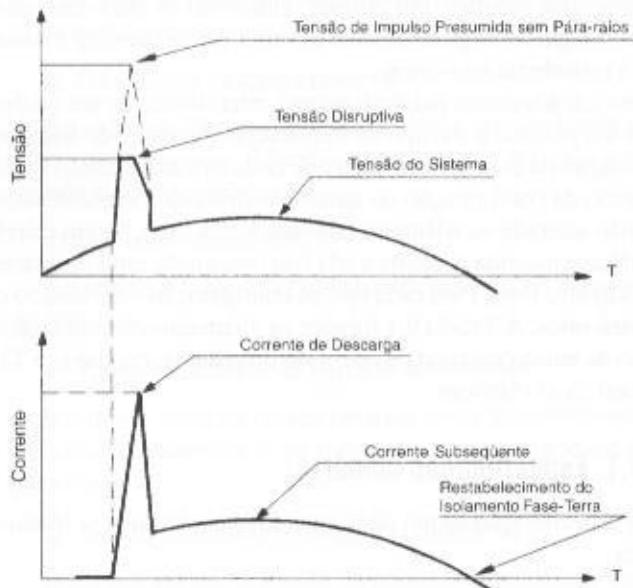


FIGURA 9.4

Atuação de um pára-raios

TABELA 9.1

Seleção de pára-raios

Tensão Nominal do Pára-raios (kV)	Sistema Delta ou Y a Três Fios (kV)	Sistema Y - Três Fios com Neutro Efetivamente Aterrado no Transformador de Alimentação (kV)	Sistema Y - Quatro Fios com Neutro Multiaterrado (kV)
3	3	3,60	4,50
6	6	7,20	9,00
9	9	11,00	12,80
12	12	15,00	18,00
15	15	18,00	18,00
27	27	32,00	36,50
39	39	47,00	-

TABELA 9.2

Características elétricas dos pára-raios

Tensão Nominal (kV eficaz)	Tensão Disruptiva à Freqüência Industrial (kV eficaz)	Máxima Tensão Disruptiva de Impulso sob Onda Normalizada ( $1,2 \times 50 \mu s$ ) (kV de crista)	Máxima Tensão de Descarga com Onda de $8 \times 20 \mu s$ (kV de crista)		Máxima Tensão Disruptiva por Manobra (kV valor de crista)
			5.000 A Distribuição	10.000 A Estação	
3	4,4	21	18,0	13,0	8,25
6	9,0	40	31,0	22,6	15,50
9	13,5	58	46,0	32,5	23,50
12	18,0	70	54,0	43,0	31,00
15	22,5	80	64,0	54,0	39,00
27	40,5	126	99,0	97,0	70,00
39	58,5	-	141,0	141,0	101,00

- tensão nominal eficaz, em kV;
- freqüência nominal;
- máxima tensão disruptiva de impulso sob onda normalizada ( $1,2 \times 50 \mu s$ ), em kV;
- máxima tensão residual de descarga, com onda de  $8 \times 20 \times \mu s$ , em kV;
- máxima tensão disruptiva, à freqüência industrial, em kV;
- corrente de descarga, em A;
- tipo (distribuição ou estação).

Com base no diagrama unifilar da Figura 9.1, tem-se:

**Pára-raios do tipo distribuição, a resistor não-linear, com desligador automático, tensão nominal de 12 kV, corrente de descarga nominal de 5.000 A, máxima tensão disruptiva a impulso sob onda normalizada de 70 kV, máxima tensão residual de descarga de 54 kV e máxima tensão disruptiva à freqüência industrial de 18 kV.**

### 9.3.2 Chave Fusível Indicadora Unipolar (2)

É um equipamento destinado à proteção de sobrecorrente de rede, desde o ponto de entrega de energia até o disjuntor geral da subestação.

Seu elemento fusível, denominado elo fusível, deve coordenar com os outros elementos de proteção do sistema da concessionária local. Caso contrário, a chave fusível deve ser substituída por uma chave seccionadora.

É constituída, na versão mais comum, de um corpo de porcelana, com dimensões adequadas à tensão de isolamento e à tensão suportável de impulso, e no qual está articulado um tubo, normalmente fabricado em fenolite ou fibra de vidro, que consiste no elemento fundamental que define a capacidade de interrupção da chave. Dentro desse tubo, denominado cartucho, é instalado o elo fusível.

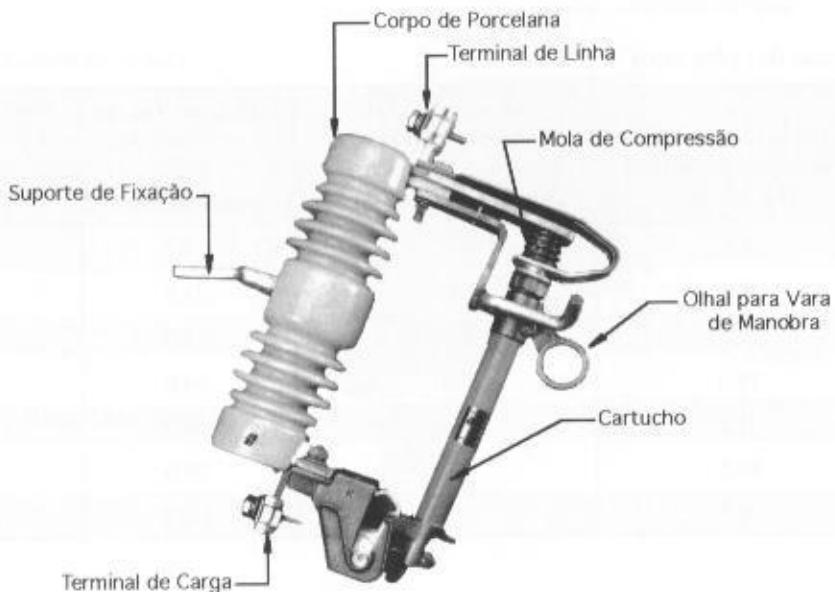
Além das características nominais do sistema, a chave fusível deve ser dimensionada em função da capacidade da corrente de curto-círcito no ponto de sua instalação. Quanto maior a corrente de defeito, maiores são os esforços dinâmicos que o cartucho terá de suportar, e isto determina a sua capacidade de ruptura. A Figura 9.5 mostra uma chave fusível, indicando os seus principais elementos.

#### 9.3.2.1 Especificação sumária

Para que uma chave fusível indicadora unipolar seja corretamente adquirida, devem ser especificados, no mínimo, os seguintes dados:

- tensão nominal eficaz, em kV;
- corrente nominal, em A;

**FIGURA 9.5**  
Chave fusível indicadora unipolar



- frequência nominal;
- capacidade de ruptura, em kA;
- tensão suportável de impulso, em kV.

De acordo com o diagrama unifilar da Figura 9.1 pode-se designar a chave ali indicada como:

**Chave fusível indicadora unipolar, corrente nominal 100 A, tensão nominal 15 kV, tensão suportável de impulso de 95 kV e capacidade simétrica de curto-círcuito 10 kA.**

### 9.3.3 Terminal Primário ou Terminação (3)

É um dispositivo destinado a restabelecer as condições de isolamento da extremidade de um condutor isolado quando este for conectado a um condutor nu.

Os terminais primários têm a finalidade de garantir a deflexão do campo elétrico, obrigando que os gradientes de tensão radial e longitudinal se mantenham dentro de determinados limites.

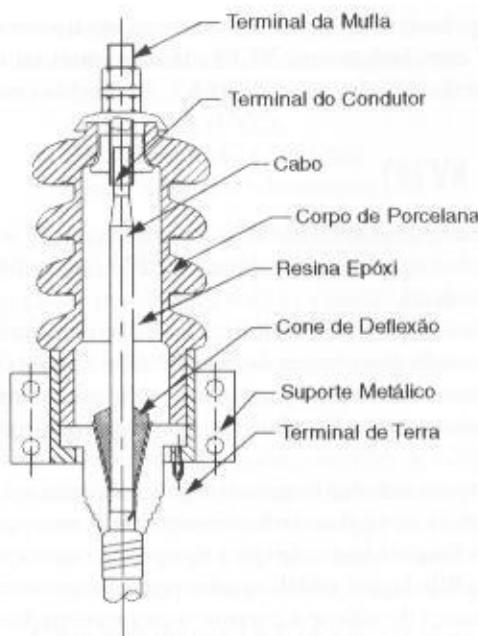
Há uma grande variedade de terminais primários. Os mais conhecidos, porém, são as muflas de corpo de porcelana com enchimento de composto elastomérico. São fabricados também terminais primários constituídos de material termocontrátil denominados de terminações termocontráteis ou, ainda, são fabricadas as chamadas terminações a frio. As primeiras são aplicadas sobre o condutor usando uma fonte de calor (maçarico com controle de chama), enquanto o segundo tipo é aplicado diretamente sobre o cabo, bastando retirar o dispositivo de plástico quearma o tubo da terminação.

O sistema de contração a frio mantém a terminação “pretensionada” até o momento da instalação. Durante a aplicação, ela é contraída sob pressão no cabo, permanecendo fixa durante toda a sua vida útil. Disponíveis em vários tamanhos, podem servir a cabos desde seções de 6 a 1.000 mm<sup>2</sup>. Tanto as terminações termocontráteis como as terminações a frio podem ser utilizadas em ambientes internos ou externos. A Figura 9.6 mostra os componentes de uma mufla terminal unipolar comumente utilizada em ramal de entrada primário subterrâneo. A Figura 9.7 apresenta o aspecto externo da mufla vista na figura anterior. Já a Figura 9.8 mostra uma terminação termocontrátil.

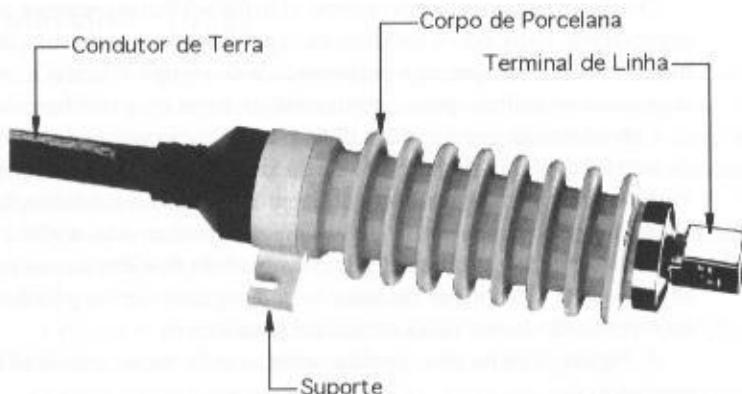
#### 9.3.3.1 Especificação sumária

Os terminais primários devem ser dimensionados em função da seção transversal e do tipo de cabo a ser utilizado, das características elétricas do sistema e do local de utilização. Logo, na aquisição de uma terminação, é necessário conhecer os seguintes elementos:

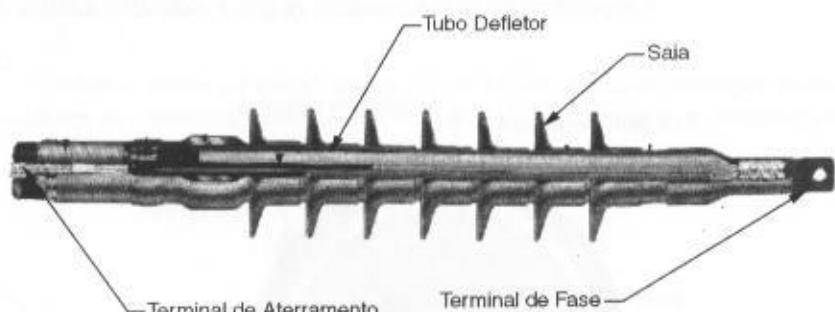
- tipo;
- condutor isolado a ser conectado, em mm<sup>2</sup>;



**FIGURA 9.6**  
Elementos de um mufla terminal primária



**FIGURA 9.7**  
Vista externa de uma mufla terminal unipolar



**FIGURA 9.8**  
Terminal termocontrátil unipolar

- tensão nominal eficaz, em kV;
- corrente nominal, em A;
- tensão suportável de impulso, em kV;
- uso (interno ou externo).

De acordo com o diagrama unifilar da Figura 9.1, pode-se assim designar o terminal primário ali indicado:

**Mufla terminal primária unipolar, uso externo, do tipo composto elastomérico, para cabo isolado de 35 mm<sup>2</sup> com isolamento XLPE, tensão nominal de 15 kV, corrente nominal de 100 A, tensão suportável de impulso de 95 kV, fornecida com kit completo.**

### 9.3.4 Cabo de Energia Isolado para 15 kV (4)

Atualmente, os cabos primários isolados mais comumente utilizados em instalações elétricas industriais são os de cobre, com isolação à base de PVC, de polietileno reticulado ou, ainda, os de borracha etileno-propileno.

Os cabos isolados da classe de tensão de 15 kV são constituídos de um condutor metálico revestido de uma camada de fita semicondutora por cima da qual é aplicada a isolação. Uma segunda camada de fita semicondutora é aplicada sob a blindagem metálica que pode ser composta de uma fita ou de fios elementares. Finalmente, o cabo é provido de uma capa externa de borracha, normalmente o PVC.

A primeira fita semicondutora é responsável pela uniformização do campo elétrico radial e transversal, distorcido pela irregularidade da superfície externa do condutor. A segunda fita semicondutora tem a finalidade de corrigir o campo elétrico sobre a superfície da isolação devido às irregularidades da blindagem metálica sobreposta a esta isolação.

A blindagem metálica destina-se a garantir o escoamento das correntes de defeito para a terra.

Já a capa externa do cabo tem a função de agregar a blindagem metálica e dotar o cabo de uma proteção mecânica adequada, principalmente durante o puxamento no interior de dutos. A Figura 9.9 mostra a seção transversal de um cabo classe 15 kV isolado com XLPE.

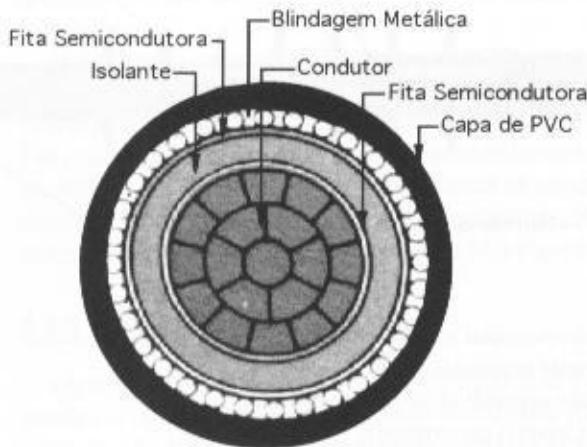
O esforço provocado pelo campo elétrico se distribui na camada isolante de forma exponencial decrescente, atingindo o máximo na superfície interna da isolação e o mínimo na superfície externa da mesma. Para que haja uniformidade do campo elétrico, a camada isolante deve estar livre de impurezas ou bolhas, pois, caso contrário, estas estariam funcionando em série com a isolação.

Considerando que a rigidez dielétrica do vazio nunca é superior a 1 kV/mm e que o gradiente da borracha XLPE, por exemplo, está situado entre 3 e 4 kV/mm, pode-se concluir que qualquer vazio ou impureza interior ao isolamento fica sujeito a solicitações superiores à rigidez dielétrica. Como a tensão a que está submetido o cabo é alternada, a bolha fica submetida a duas descargas por ciclo, o que corresponde a um bombardeio de elétrons nas paredes do vazio, desenvolvendo-se uma certa quantidade de calor e, consequentemente, provocando efeitos danosos à isolação, cujo resultado é uma falha inevitável para a terra.

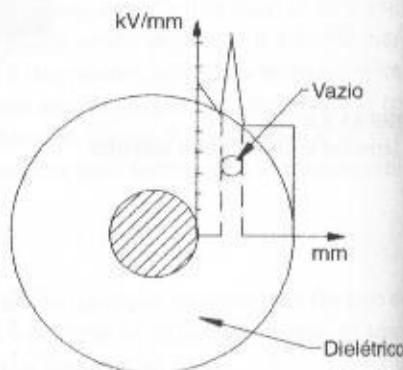
A Figura 9.10 mostra, graficamente, a solicitação que uma bolha provoca à isolação de um condutor.

#### 9.3.4.1 Especificação sumária

A especificação de um condutor requer a indicação mínima dos seguintes parâmetros:



**FIGURA 9.9**  
Cabo de energia isolado para 15 kV



**FIGURA 9.10**  
Bolha de ar em dielétrico sólido

- seção quadrática, em  $\text{mm}^2$ ;
- tipo do condutor: cobre ou alumínio;
- tipo de isolamento: polietileno reticulado (XLPE), etileno-propileno (EPR) ou, ainda, o cloreto de polivinila (PVC);
- tensão nominal da isolamento;
- tensão suportável de impulso.

A norma brasileira NBR 6251 identifica as tensões de isolamento através de dois valores ( $V_0$  /  $V_1$ ). O primeiro valor identifica a tensão eficaz entre condutor e terra ou blindagem, enquanto o segundo permite determinar a tensão eficaz entre fases dos condutores (por exemplo, 8,7/15 kV).

A mesma norma classifica os sistemas elétricos em duas categorias definidas segundo a possibilidade de uma falta fase-terra. A categoria 1 compreende os sistemas previstos para operarem, durante um curto intervalo de tempo, em condições de falta para a terra geralmente não superior a uma hora. A categoria 2 abrange os sistemas não classificados na categoria 1, isto é, sistema com neutro isolado e que suporta condições de falta para a terra num tempo de oito horas. Logo, a isolamento dos condutores deve ser escolhida em função dessas características dos sistemas. Para sistemas com neutro efetivamente aterrado, a isolamento dos condutores deve ser escolhida para a categoria 1, a não ser que seja esperada uma elevada freqüência de operação dessa rede com defeito à terra.

Considerando a carga do diagrama da Figura 9.1, o cabo pode ser assim descrito:

**Cabo isolado para 8,7/15 kV, em cloreto de polivinila (PVC), condutor de cobre, seção transversal de 25  $\text{mm}^2$ .**

### 9.3.5 Transformador de Corrente - TC (5)

Os transformadores de corrente estão divididos em dois tipos fundamentais: transformadores de corrente para serviço de medição e transformadores de corrente para serviço de proteção.

O transformador de corrente é um equipamento capaz de reduzir a corrente que circula no seu primário para um valor inferior no secundário compatível com o instrumento registrador de medição (medidores).

Os transformadores de corrente são constituídos de um enrolamento primário feito normalmente de poucas espiras de cobre, um núcleo de ferro e um enrolamento secundário para a corrente nominal padronizada, freqüentemente de 5 A.

A Figura 9.11 mostra um transformador de corrente com isolamento de resina epóxi, na qual estão identificados os seus principais elementos de ligação.

O valor da corrente secundária do TC varia segundo a corrente circulante no primário. Assim, um transformador de corrente de 100-5 A inserido num circuito com corrente de 80 A fornece uma corrente secundária de:

$$\frac{100}{5} = \frac{80}{I_{sc}} \rightarrow I_{sc} = 4 \text{ A}$$

Cuidados devem ser tomados para não deixar em aberto os terminais secundários dos transformadores de corrente quando da desconexão dos equipamentos de medida a eles ligados, pois, do

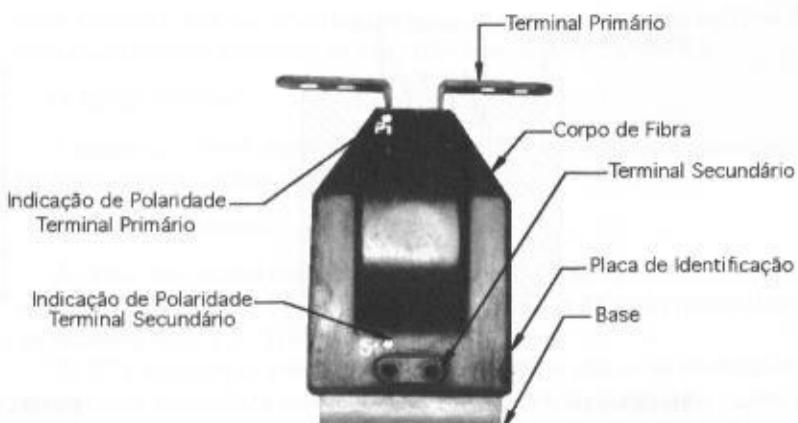


FIGURA 9.11  
Transformador de corrente (TC)

contrário, surgirão tensões elevadas, devido ao fato de não haver o efeito desmagnetizante no secundário, tomando a corrente de excitação o valor da corrente primária e originando um fluxo muito intenso no núcleo, provocando elevadas perdas no ferro. Isto poderá danificar a isolação do TC e levar perigo à vida das pessoas. Pode-se acrescentar também que, ao se retirar a carga do secundário do TC, a impedância secundária passa a ter valor igual a  $\infty$ . Para manter a igualdade da Equação 9.2,  $V_m = Z_m \times I_{mz}$ , é necessário  $V_m$  crescer indefinidamente, o que não ocorre porque o fluxo no ferro é limitado por sua relutância magnética. A Figura 9.12 mostra esquematicamente um TC ligado a um amperímetro, detalhando a chave C que permite curto-circuitar os terminais secundários do equipamento quando da retirada do aparelho.

Os TCs podem ser classificados de acordo com a disposição do enrolamento primário e a construção do núcleo.

a) TC do tipo barra

É aquele em que o primário é constituído por uma barra fixada através do núcleo, conforme mostrado na Figura 9.13.

b) TC do tipo enrolado

É aquele em que o enrolamento primário é constituído de uma ou mais espiras envolvendo o núcleo, conforme se vê na Figura 9.14.

c) TC do tipo janela

É aquele constituído de uma abertura através do núcleo por onde passa o condutor, fazendo a vez do enrolamento primário, conforme se observa na Figura 9.15.

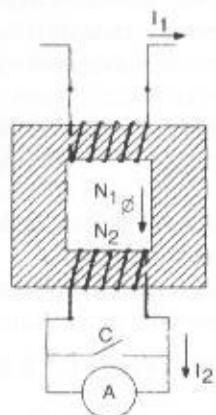


FIGURA 9.12  
Chave do secundário do TC

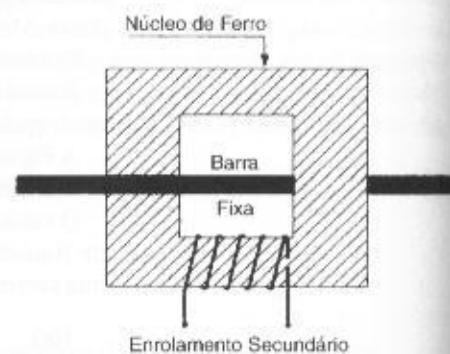


FIGURA 9.13  
TC do tipo barra

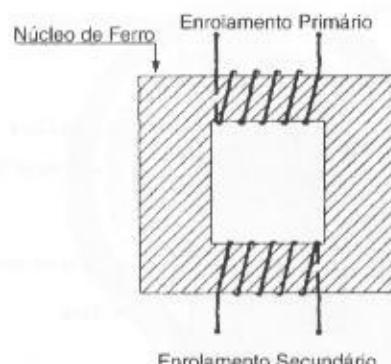


FIGURA 9.14  
TC do tipo enrolado

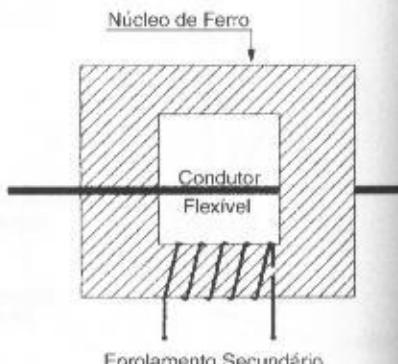


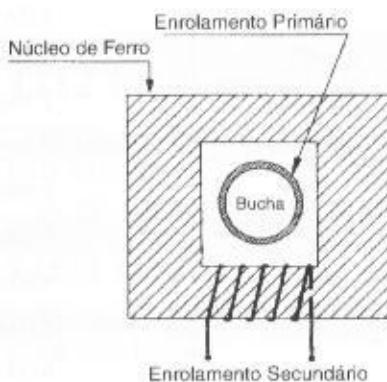
FIGURA 9.15  
TC do tipo janela

## d) TC do tipo bucha

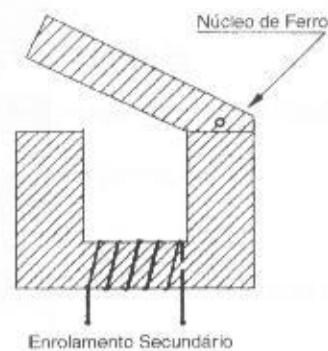
É aquele cujas características são semelhantes ao TC do tipo barra, porém a sua instalação é feita na bucha dos equipamentos (transformadores, disjuntores etc.) que funciona como enrolamento primário. A Figura 9.16 caracteriza esse tipo de TC.

## e) TC do tipo núcleo dividido

É aquele cujas características são semelhantes ao TC do tipo janela, em que o núcleo pode ser separado para permitir envolver um condutor que funciona como o enrolamento primário, conforme mostrado na Figura 9.17.



**FIGURA 9.16**  
TC do tipo bucha



**FIGURA 9.17**  
TC do tipo núcleo dividido

### 9.3.5.1 Transformadores de corrente para serviço de medição

Os transformadores de corrente para serviço de medição devem ser projetados para assegurar a proteção aos aparelhos a que estão ligados (amperímetros, medidores de energia: kWh, kVAh etc.). Durante a ocorrência de um curto-círcuito é necessário que a corrente no secundário do TC não aumente na mesma proporção da corrente primária. Por efeito de saturação do núcleo magnético, a corrente secundária é limitada a valores que não danifiquem os aparelhos, normalmente quatro vezes a corrente nominal.

Os transformadores de corrente para medição apresentam as seguintes características:

## a) Corrente secundária nominal

Normalmente, a corrente nominal secundária dos TCs é de 5 A. Em casos específicos, são construídos TCs com corrente nominal igual a 1 A destinados à aferição de medidores.

## b) Corrente primária nominal

É aquela para a qual o TC foi projetado. Na especificação de um TC, deve-se escolher a corrente primária nominal próxima do valor da corrente de carga máxima do circuito. As correntes nominais padronizadas pela norma estão baseadas na Tabela 9.3.

## c) Carga nominal

É aquela que deve suportar nominalmente o enrolamento secundário do TC e na qual estão baseadas as prescrições de sua exatidão.

## d) Classe de exatidão

É o valor percentual máximo de erro que o TC pode apresentar na indicação de um aparelho de medição em condições especificadas em norma. Os TCs são fabricados com as seguintes classes de exatidão: 0,2 - 0,3 - 0,6 e 1,2.

Os TCs de medição para faturamento devem ter classe de exatidão 0,3, enquanto os TCs destinados, por exemplo, à medição para fins de determinação dos custos com energia elétrica em certos setores de carga elevada de uma indústria podem ter classe de exatidão 0,6. Já os TCs para

**TABELA 9.3**

Correntes nominais primárias dos TCs

Corrente Primária	RTC	Corrente Primária	RTC
5	1:1	300	60:1
10	2:1	400	80:1
15	3:1	500	100:1
20	4:1	600	120:1
25	5:1	800	160:1
30	6:1	1.000	200:1
40	8:1	1.200	240:1
50	10:1	1.500	300:1
60	12:1	2.000	400:1
75	15:1	2.500	500:1
100	20:1	3.000	600:1
125	25:1	4.000	800:1
150	30:1	5.000	1.000:1
200	40:1	6.000	1.200:1
250	50:1	8.000	1.600:1

uso em instrumentos de indicação de medidas, como, por exemplo, amperímetros, podem ter classe de exatidão 1,2.

e) Fator térmico

É o fator pelo qual se deve multiplicar a corrente nominal primária do TC, a fim de se obter uma corrente secundária capaz de ser conduzida permanentemente sem que os limites de elevação de temperatura especificados por norma sejam excedidos e mantidos os limites de sua classe de exatidão.

f) Corrente térmica nominal

Conhecida também como corrente de curta duração, é a corrente máxima que pode circular no primário do TC estando o secundário em curto-círcuito durante o período de um segundo, sem que seja excedida a elevação de temperatura especificada por norma.

g) Corrente dinâmica nominal

É a corrente máxima, valor de crista, que pode circular no primário do TC estando o secundário em curto-círcuito durante o período do primeiro ciclo, sem que isso resulte danos eletromecânicos.

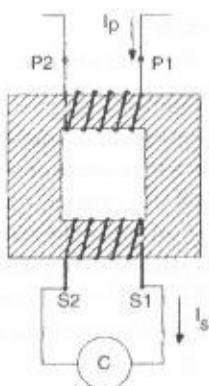
h) Polaridade

Para os TCs que alimentam aparelhos de medida de energia, é de extrema importância o conhecimento da polaridade, devido à necessidade da ligação correta das bobinas desses instrumentos.

Diz-se que um TC tem polaridade subtrativa se a corrente que circula no primário do terminal P1 para P2 corresponde a uma corrente secundária circulando no instrumento de medida do terminal S1 para S2, conforme mostrado na Figura 9.18. Normalmente, os TCs têm os terminais dos enrolamentos, primário e secundário, de mesma polaridade postos em correspondência, conforme pode ser observado na Figura 9.11.

Se para uma corrente  $I_p$  circulando no primário de P1 para P2 corresponder uma corrente secundária no sentido inverso ao indicado na Figura 9.18, diz-se que o TC tem polaridade aditiva.

**FIGURA 9.18**  
Representação da polaridade de um TC



### 9.3.5.2 Transformadores de corrente para serviço de proteção

São equipamentos a que devem ser conectados os relés do tipo ação indireta, ou simplesmente relés secundários.

A seguir serão descritas as principais características dos TCs de proteção.

#### 9.3.5.2.1 Classe

Os transformadores de corrente, ou simplesmente TCs, destinados a serviço de relés dividem-se em duas classes:

a) TCs de classe B

São aqueles cujo enrolamento secundário apresenta uma reatância que pode ser desprezada. Nessa classe, estão enquadrados, por exemplo, os TCs com núcleo toroidal, ou simplesmente TCs de bucha, TCs tipo janela etc.

b) TCs de classe A

São aqueles cujo enrolamento secundário apresenta reatância que não pode ser desprezada. Nessa classe, estão todos os TCs que não se enquadram na classe B.

#### 9.3.5.2.2 Fator de sobrecorrente

É um fator que expressa a relação entre a máxima corrente com a qual o TC mantém a sua classe de exatidão nominal e a sua corrente nominal. A Tabela 9.4 fornece as principais características dos TCs normalizados pela ABNT. A Equação (9.1) determina o valor da corrente mínima que deve ter o primário do TC relativamente à corrente de curto-círcuito simétrica, de valor efetivo.

$$I_{np} = \frac{I_{cs}}{F_s} \quad (9.1)$$

**TABELA 9.4**

Características elétricas dos TCs de proteção para  $F_s = 20$

Carga Nominal (VA)	Impedância (Ohm)	Tensão Nominal Secundária (V)	TC Normalizado da Classe A	TC Normalizado da Classe B
C 2,5	0,1	10	A10	B10
C 5,0	0,2	20	A20	B20
C 12,5	0,5	50	A50	B50
C 25	1,0	100	A100	B100
C 50	2,0	200	A200	B200
C 100	4,0	400	A400	B400
C 200	8,0	800	A800	B800

$I_{np}$  – corrente nominal primária do TC, em A;

$I_{cs}$  – corrente de curto-círcuito simétrica, de valor efetivo, em A;

$F_s$  – fator de sobrecorrente.

É preciso lembrar que os TCs para proteção somente devem entrar em saturação para valores de elevada indução magnética, o que corresponde a uma corrente de 20 vezes a corrente nominal primária, conforme a NBR 5364 - Transformadores de corrente - Especificação. Deve-se observar então que, para que a proteção atue dentro dos requisitos predeterminados, a corrente secundária do TC deve corresponder exatamente, através da relação de transformação, ao valor da corrente que circula no seu primário até o limite especificado de 20 vezes a corrente nominal. Caso não seja obedecida esta prescrição, o TC entrará em saturação, modificando a resposta da proteção.

### 9.3.5.2.3 Classe de exatidão

Os TCs para serviço de relés devem ser enquadrados em uma das seguintes classes de exatidão:

- classe 5: com erro percentual de 5%;
- classe 10: com erro percentual de 10%.

Diz-se que um TC está dentro de sua classe de exatidão nominal quando, por exemplo, o erro percentual não for superior a 5% para a classe de exatidão 5, desde a sua corrente nominal até uma corrente dada pelo produto da corrente nominal pelo fator de sobrecorrente.

### 9.3.5.2.4 Carga admissível

É a carga máxima admitida no secundário do TC, sem que o erro percentual ultrapasse o valor especificado para a sua classe de exatidão.

$$Z_{nc} = \frac{V_{ns}}{I_{ns}} \quad (9.2)$$

$Z_{nc}$  – carga máxima admitida no secundário do TC, em  $\Omega$ ;

$V_{ns}$  – tensão nominal secundária do TC, em V;

$I_{ns}$  – corrente máxima no secundário do TC, em A.

A tensão nominal secundária do TC é aquela medida nos terminais da carga ligada a este, quando a corrente secundária é igual a 20 vezes a corrente nominal secundária, e na qual o erro de relação de transformação não seja superior ao valor especificado. A Tabela 9.4 relaciona as cargas dos TCs com as respectivas tensões nominais. Para exemplificar o conceito, considerar o TC 10A400 da Tabela 9.4. A tensão no secundário do mesmo quando a corrente é igual a 20 vezes a corrente nominal secundária vale:

$$V_{ns} = Z_{nc} \times I_{ns}$$

$$Z_{nc} = 4 \text{ (Tabela 9.4)}$$

$$I_{ns} = 5 \text{ A (corrente nominal secundária)}$$

$$I_{ns} = 20 \times 5 = 100 \text{ A}$$

$$V_{ns} = 4 \times 100 = 400 \text{ V}$$

### 9.3.5.2.5 Limite da corrente de curta duração

É a maior corrente primária simétrica, de valor eficaz, que o transformador de corrente é capaz de suportar com o enrolamento secundário em curto-círcuito, durante um tempo especificado. Os limites da corrente de curta duração podem assim ser dimensionados:

#### a) Corrente térmica

É o valor da corrente de curto-círcuito para o qual a temperatura máxima especificada do enrolamento não seja excedida. É dada pela Equação (9.3).

$$I_{ter} = I_{cs} \times \sqrt{T_{op} + 0,0042} \text{ A} \quad (9.3)$$

$I_{ter}$  – corrente de curto-círcuito para efeito térmico, em A;

$I_{cs}$  – corrente inicial simétrica de curto-circuito de valor eficaz, em A;  
 $T_{op}$  – tempo de operação da proteção, em s.

Chama-se fator térmico de curto-circuito a relação entre a corrente térmica do TC e a sua corrente nominal primária, ou seja:

$$F_{tc} = \frac{I_{ter}}{I_{np}} \quad (9.4)$$

$F_{tc}$  – fator térmico de curto-circuito;  
 $I_{np}$  – corrente nominal primária do TC, em A.

Em geral, os fatores térmicos de TCs são: 80-120-160-240-320-400.

### b) Corrente dinâmica

É o maior valor de crista da corrente de curto-circuito segundo o qual os esforços eletrodinâmicos resultantes não danifiquem mecanicamente o transformador de corrente.

Segundo a NBR 5364, o valor da corrente dinâmica deve ser de:

$$I_{din} = 2,5 \times I_{ter} \quad (9.5)$$

Em função do valor do radicando da Equação (9.3), devem ser estabelecidas as seguintes condições de resistência aos curtos-circuitos para efeitos térmico e dinâmico.

$$T_{np} = T_{op} + 0,042 \quad (9.6)$$

a) Se  $T_{np} = 1$ , deve-se ter:

$$I_{ter} = I_{cs} \rightarrow I_{din} = 2,5 \times I_{ter}$$

b) Se  $T_{np} < 1$ , deve-se ter:

$$I_{din} \geq I_{cr}$$

$I_{cr}$  – corrente de crista, em A.

Neste caso, o TC está protegido para o valor da corrente térmica.

c) Se  $T_{np} > 1$ , deve-se ter:

$$I_{ter} \geq I_{cr} \rightarrow I_{din} = 2,5 \times I_{ter}$$

---

## EXEMPLO DE APLICAÇÃO (9.1)

Considerar a proteção de sobrecorrente no primário de transformador de 2.500 kVA - 13.800/380 V onde se utiliza um TC de alimentação do sistema de relés. A corrente de curto-circuito no primário do transformador é de 4.000 A e o tempo de atuação da proteção é de 1,5 s.

### a) Cálculo da RTC

$$I_{ter} \cdot \frac{2.500}{\sqrt{3} \times 13,80} = 104,5 \text{ A} \rightarrow \text{RTC} = 125 - 5 = 25$$

Sendo  $F_{tc} = 20$ , tem-se através da Equação (9.1):

$$I_{np} = \frac{I_{cs}}{F_{tc}} = \frac{4.000}{20} = 200 \text{ A} \rightarrow \text{RTC} = 200 - 5 = 40$$

### b) Cálculo da corrente térmica mínima do TC

De acordo com a Equação (9.3), tem-se:

$$I_{ter} = I_{cr} \times \sqrt{T_{np} + 0,042} \rightarrow I_{ter} = 4.000 \times \sqrt{1,5 + 0,042} \rightarrow I_{ter} = 4.967 \text{ A}$$

Logo, o fator térmico é dado pela Equação (9.4):

$$F_{tc} = \frac{I_{ter}}{I_{np}} = \frac{4.967}{200} = 24,8$$

## c) Cálculo da corrente dinâmica mínima do TC

De acordo com a Equação (9.5), tem-se:

$$I_{dm} = 2,5 \times I_{er} = 2,5 \times 4,967 = 12,417 \text{ A}$$

## d) Condições de resistência aos curtos-circuitos para efeitos térmicos e dinâmicos

Como  $T_{top} > 1,0$ , estão satisfeitas as condições de curto-círcuito para efeitos térmicos e dinâmicos.

### 9.3.5.3 Especificação sumária

Para se especificar um TC é necessário que se indiquem, no mínimo, os seguintes elementos:

- tipo (barra, enrolado, bucha etc.);
- uso (interior ou exterior);
- classe de tensão;
- relação de transformação;
- isolação (em banho de óleo, epóxi etc.);
- tensão nominal primária;
- freqüência;
- tensão suportável de impulso (TSI);
- fator térmico;
- carga nominal;
- classe;
- classe de exatidão;
- fator térmico de curto-círcuito;
- polaridade.

Para o circuito da Figura 9.1 pode-se descrever o TC como:

**Transformador de corrente para uso em medição, do tipo enrolado, classe de tensão 15 kV, relação de transformação de 75-5 A, carga nominal de 12,5 VA (valor dos medidores de kWh e kVArh), classe de exatidão 0,30, tensão suportável de impulso 95 kV, polaridade subtrativa e fator térmico 1,2, classe B, para uso interno.**

## 9.3.6 Transformador de Potencial (6)

É um equipamento capaz de reduzir a tensão do circuito para níveis compatíveis com a tensão máxima suportável pelos aparelhos de medida.

A tensão nominal primária do TP é função da tensão nominal do sistema elétrico ao qual está ligado. A tensão secundária, no entanto, é padronizada e tem valor fixo de 115 V. Variando-se a tensão primária, a tensão secundária varia na mesma proporção.

Os TPs podem ser construídos para serem ligados entre fases de um sistema ou entre fase e neutro ou terra. Os TPs devem suportar uma sobretensão permanente de até 10% sem que lhes ocorra nenhum dano. São próprios para alimentar instrumentos de impedância elevada, tais como voltímetros, bobinas de potencial de medidores de energia etc. A Figura 9.19 representa um TP alimentando um voltímetro.

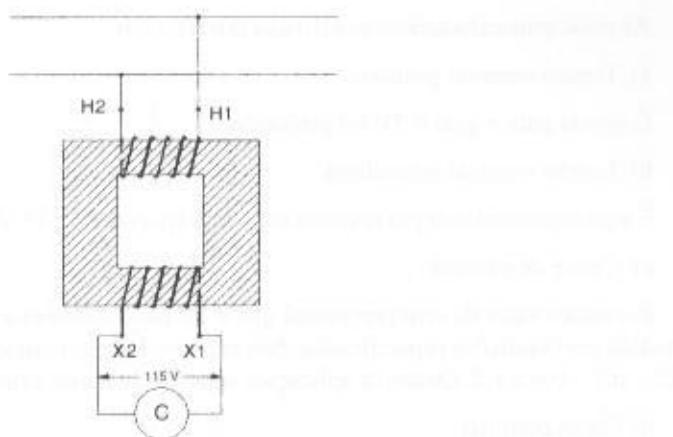
Em serviço de medição primária, os TPs, em geral, alimentam um medidor de kWh, com indicação de demanda e um medidor de kVArh. As cargas aproximadas desses instrumentos são dadas na Tabela 9.5.

Quando forem utilizados TPs para medição de faturamento e indicativa, é necessário que se determine o valor da carga dos instrumentos a ser conectada, a fim de se poder especificar a carga correspondente do TP, o que pode ser dado na Tabela 9.6.

A norma classifica os TPs em três grupos de ligação. O grupo 1 abrange os TPs projetados para ligação entre fases, sendo o de maior aplicação na medição industrial de média tensão. O grupo 2 corresponde aos TPs projetados para ligação entre fase e neutro em sistemas com o neutro aterrado sob impedância.

Os TPs podem ser construídos para uso ao tempo ou abrigado. Também são fornecidos em caixa metálica, em banho de óleo ou em resina epóxi. Os primeiros são apropriados para instalações em cubículos de medição em alvenaria e/ou em cubículos metálicos de grandes dimensões; o segundo tipo é próprio para cubículos de dimensões reduzidas. A Figura 9.20 mostra um TP de carcaça metálica em banho de óleo para ligação fase-fase (grupo 1).

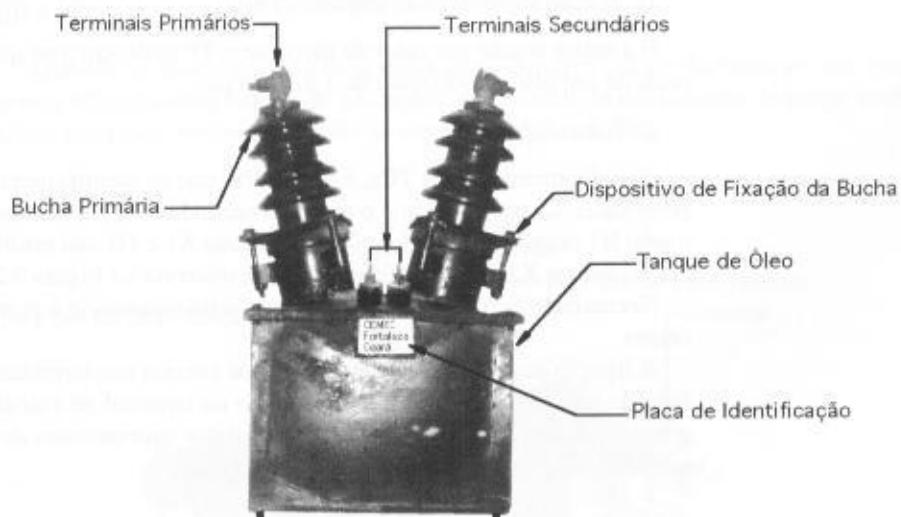
**FIGURA 9.19**  
TP alimentando uma carga (voltímetro)



**TABELA 9.5**  
Cargas de aparelhos de medição

Aparelhos	Potência Ativa (W)	Potência Reativa (var)	Potência Aparente (VA)
Voltímetro	7,0	0,9	7,0
Motor p/ conjunto de demanda	2,2	2,4	3,2
Autotransformador defasador	3,0	13,0	13,3
Watímetro	4,0	0,9	4,1
Freqüencímetro	5,0	3,0	5,8
Fasímetro	5,0	3,0	5,8
Cossifímetro	-	-	12,0
Medidor de kWh (BP)	2,0	7,9	8,1
Medidor de kVArh (BP)	3,0	7,7	8,2
Medidor de indução (demanda)	2,2	2,4	3,2

**FIGURA 9.20**  
Transformador de potencial (TP)



Ao contrário dos TCs, quando se desconecta a carga do secundário em um TP, os seus terminais devem ficar em aberto, pois, se um condutor de baixa resistência for ligado, ocorrerá um curto-círcuito franco, capaz de danificar a isolamento do mesmo.

As principais características elétricas dos TPs são:

a) Tensão nominal primária

É aquela para a qual o TP foi projetado.

b) Tensão nominal secundária

É aquela padronizada por norma e tem valor fixo igual a 115 V (TP de medição de faturamento).

c) Classe de exatidão

É o maior valor de erro percentual que o TP pode apresentar quando ligado a um aparelho de medida em condições especificadas. São construídos, normalmente, para a classe de exatidão de 0,2 – 0,3 – 0,6 e 1,2. Quanto à aplicação, segue os mesmos princípios orientados para os TCs.

d) Carga nominal

É a carga admitida no secundário do TP sem que o erro percentual ultrapasse os valores estipulados para a sua classe de exatidão. A Tabela 9.6 indica as cargas nominais padronizadas dos TP's e as respectivas impedâncias.

**TABELA 9.6**

Cargas nominais padronizadas dos TPs

Designação	Potência Aparente (VA)	Fator de Potência	Resistência (Ohm)	Indutância (mH)	Impedância (Ohm)
P 12,5	12,5	0,70	115,2	3.042,0	1.152
P 25	25,0	0,70	403,2	1.092,0	576
P 75	75,0	0,85	163,2	268,0	192
P 200	200,0	0,85	61,2	101,0	72
P 400	400,0	0,85	30,6	50,4	36

e) Potência térmica

É o valor da maior potência aparente que o TP pode fornecer em regime contínuo sem que sejam excedidos os limites especificados de temperatura.

f) Tensão suportável de impulso (TSI)

É a maior tensão em valor de pico que o TP pode suportar quando submetido a uma frente de onda de impulso atmosférico de  $1,2 \times 50 \mu s$ .

g) Polaridade

Semelhantemente aos TCs, é necessário que se identifiquem nos TPs os terminais de mesma polaridade. Logo, diz-se que o terminal secundário X1 tem a mesma polaridade do terminal primário H1 num determinado instante, quando X1 e H1 são positivos ou negativos, relativamente aos terminais X2 e H2, conforme se pode observar na Figura 9.21.

Normalmente, os TPs mantêm os terminais secundário e primário de mesma polaridade adjacentes.

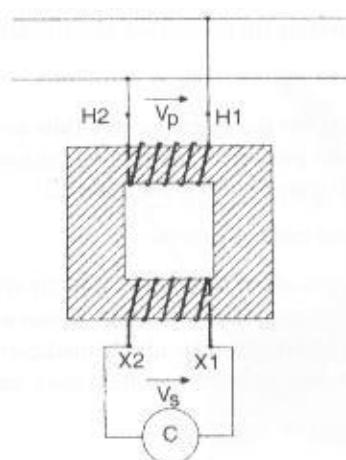
A ligação das bobinas dos medidores de energia nos terminais secundários de um TP deve ser feita de tal modo que, se H1 corresponde ao terminal de entrada ligado ao circuito primário, o terminal de entrada da bobina de potencial dos instrumentos deve ser conectado ao terminal secundário X1 para TC de polaridade subtrativa.

### 9.3.6.1 Especificação sumária

É necessário que sejam definidos, no mínimo, os seguintes parâmetros para se especificar corretamente um TP, ou seja:

- isolação (em banho de óleo, ou epóxi);

**FIGURA 9.21**  
Representação da polaridade de um TP



- uso (interior ou exterior);
- tensão suportável de impulso (TSI);
- tensão nominal primária, em kV;
- tensão nominal secundária, em V (115 V);
- frequência nominal;
- classe de exatidão requerida;
- carga nominal (baseada na carga das bobinas dos instrumentos a serem acoplados);
- polaridade.

Com base na Figura 9.1, o TP pode ser assim descrito:

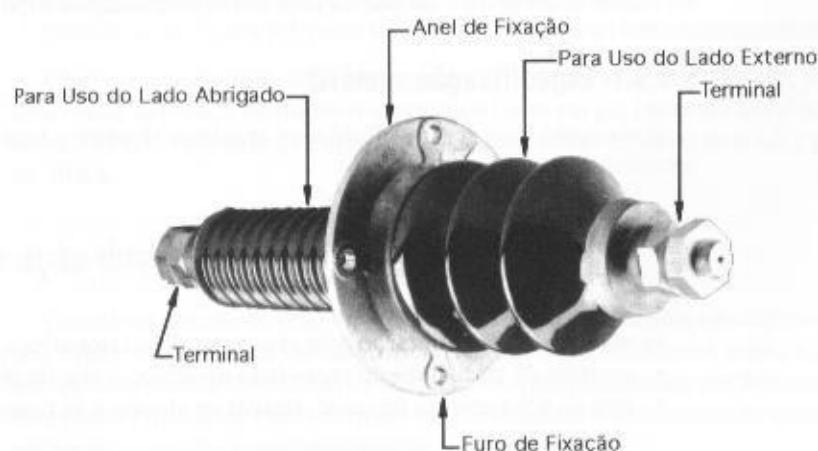
**Transformador de potencial para medição de energia, isolação em epóxi, uso interno, frequência nominal de 60 Hz, tensão nominal primária de 13.800 V, tensão nominal secundária de 115 V, classe de exatidão 0,3, carga nominal P 25, polaridade subtrativa e tensão suportável de impulso 95 kV.**

### 9.3.7 Medidores de Energia

Por se tratar de aparelhos de uso exclusivo das concessionárias, este livro não contemplará suas especificações sumárias.

### 9.3.8 Bucha de Passagem (7)

Quando se deseja passar um circuito aéreo de um cubículo fechado ao seu vizinho, normalmente são utilizadas buchas de passagem constituídas de um isolador de louça, tendo como fixação o seu ponto médio, conforme se mostra na Figura 9.22.



**FIGURA 9.22**  
Bucha de passagem para uso interno-interno ou interno-externo

Quanto ao uso, as buchas de passagem podem ser classificadas em:

- a) Bucha de passagem para uso interno-interno

É aquela que deve ser aplicada em locais em que os dois ambientes sejam abrigados. Como exemplo, pode-se citar a bucha de passagem ligando os cubículos de medição e o cubículo de disjunção numa subestação de alvenaria (veja o Capítulo 12).

- b) Bucha de passagem para uso interno-externo

É aquela que conecta um circuito aéreo ao tempo a um circuito aéreo abrigado. A Figura 9.22 ilustra uma bucha de passagem para uso interno-externo. Como exemplo, pode-se citar a bucha de passagem ligando a rede aérea primária ao cubículo de medição de uma subestação de alvenaria (veja o Capítulo 12). A parte da bucha exposta ao tempo deve ter a isolação dotada de saias, conforme Figura 9.22.

### 9.3.8.1 Especificação sumária

É necessário que sejam definidos, no mínimo, os seguintes elementos para se poder especificar uma bucha de passagem.

- corrente nominal, em A;
- tensão nominal, em kV;
- tensão suportável a seco, em kV;
- tensão suportável sob chuva, em kV;
- tensão suportável de impulso (TSI), em kV;
- uso (interno-interno ou interno-externo).

Com base na Figura 9.1 pode-se assim especificar uma bucha de passagem:

**Bucha de passagem para uso interno-interno, tensão nominal de 15 kV, corrente nominal de 100 A, tensão suportável de impulso (TSI) de 95 kV, tensão suportável a seco de 56 kV e tensão suportável sob chuva de 44 kV.**

## 9.3.9 Chave Seccionadora Primária (8)

É um equipamento destinado a interromper, de modo visível, a continuidade metálica de um determinado circuito. Devido a seu poder de interrupção ser praticamente nulo, as chaves seccionadoras devem ser operadas com o circuito a vazio (somente tensão). Também são fabricadas chaves seccionadoras interruptoras, do tipo manual ou automática, que são capazes de desconectar um circuito operando a plena carga.

As chaves seccionadoras podem ser construídas com um só pólo (unipolares) ou com três pólos (tripolares). As primeiras são próprias para utilização em redes aéreas de distribuição; o segundo tipo, normalmente, é utilizado em subestações de instalação abrigada em cubículo de alvenaria ou metálico.

A Figura 9.23 representa uma chave seccionadora tripolar, própria para instalação em posto de alvenaria. Já a Figura 9.24 mostra uma chave seccionadora tripolar de abertura em carga.

### 9.3.9.1 Especificação sumária

É necessário que sejam definidos os seguintes elementos para se poder especificar uma chave seccionadora tripolar.

- corrente nominal, em A;
- tensão nominal, em kV;
- tensão suportável de impulso (TSI), em kV;
- uso (interno ou externo);
- corrente de curta duração para efeito térmico, valor eficaz, em kA;
- corrente de curta duração para efeito dinâmico, valor de pico, em kA;
- tipo de acionamento (manual: através de alavanca de manobra, ou motorizada).

FIGURA 9.23

Chave seccionadora tripolar de alta tensão

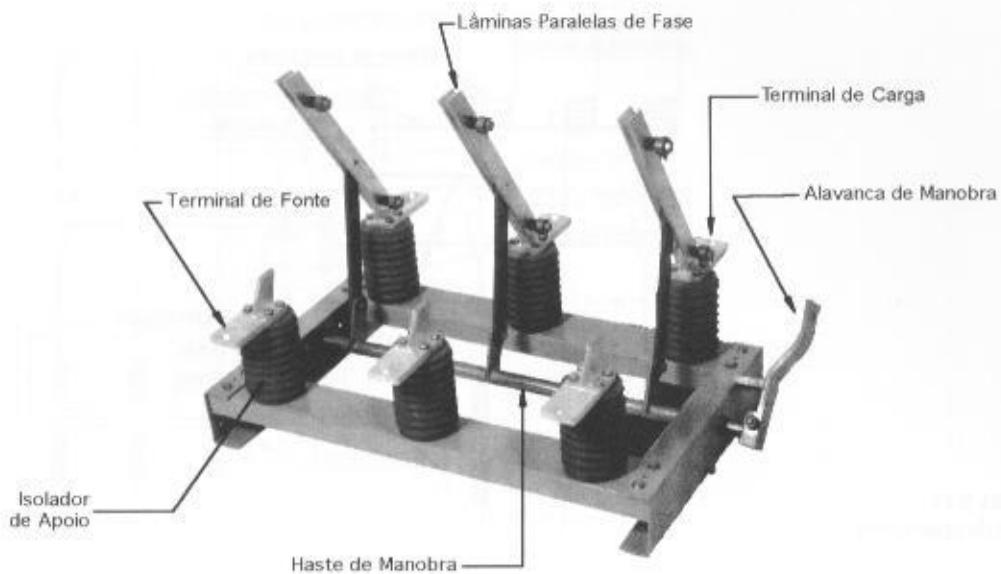
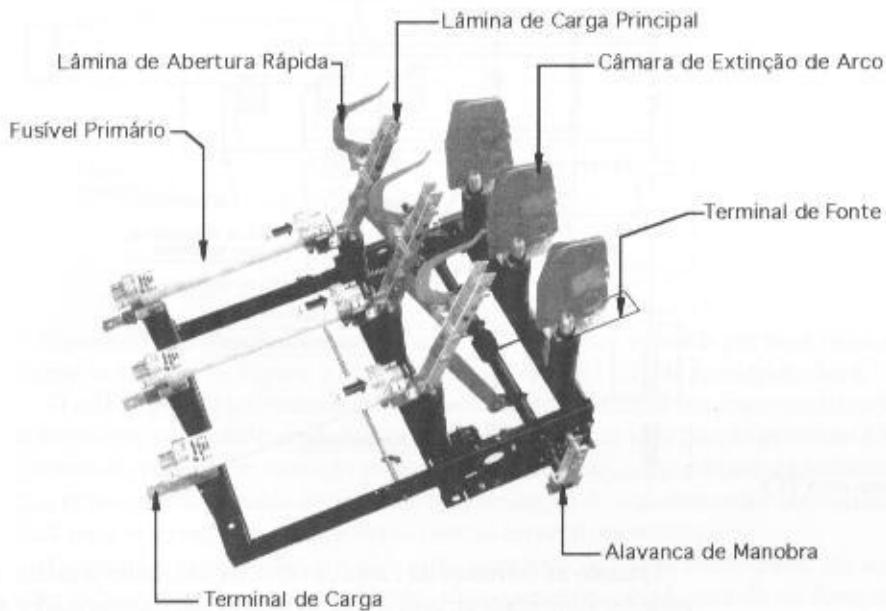


FIGURA 9.24

Chave seccionadora tripolar de alta tensão



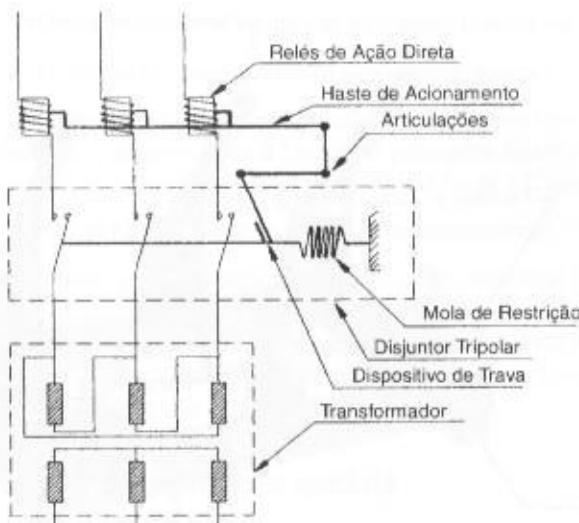
Em geral, as chaves seccionadoras tripolares para a classe de tensão de 15 kV têm corrente nominal de 400 A. Também são providas de contatos auxiliares, cuja quantidade deve ser especificada em função do tipo de serviço que irá desempenhar.

Com base na Figura 9.1 pode-se, assim, descrever a chave seccionadora.

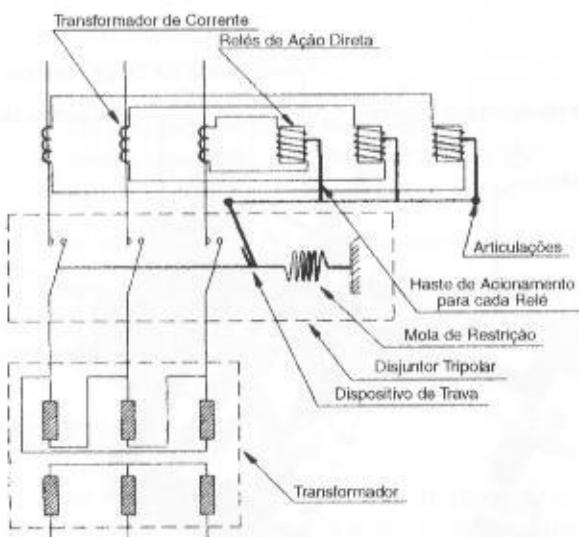
**Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, uso interno, acionamento manual através de alavanca de manobra, operação sem carga, corrente nominal de 400 A, classe de tensão 15 kV, corrente de curta duração para efeito térmico de 8 kA e para efeito dinâmico de 20 kA.**

### 9.3.10 Relé primário de ação direta (9)

Os relés primários de ação direta são normalmente utilizados em subestação de consumidor de pequeno e médio portes (aproximadamente 3.000 kVA). Nesses relés, a corrente de carga age diretamente sobre a sua bobina de acionamento, cujo deslocamento do êmbolo, imerso no campo magnético formado por essa corrente faz movimentar o mecanismo de acionamento do disjuntor, conforme se mostra esquematicamente na Figura 9.25.



**FIGURA 9.25**  
Relés de ação direta



**FIGURA 9.26**  
Relés de ação direta com TCs

Quando as correntes de carga envolvidas são muito grandes, a bobina de acionamento do relé pode ser alimentada através do secundário de um transformador de corrente, conforme a Fig. 9.26.

Ao contrário dos relés de ação direta, existem os relés de ação indireta ou relés secundários, cuja bobina de acionamento está ligada diretamente ao secundário dos transformadores de corrente; o comando de disparo do disjuntor é feito, porém, através da energização de sua bobina de abertura por um sistema normalmente de corrente contínua.

Esse sistema de proteção requer, além dos relés propriamente ditos (dois ou três relés de fase e um relé de neutro), dois ou três transformadores de corrente para proteção, um conjunto retificador-carregador-flutuador, um banco de baterias e uma área fechada para abrigar desses elementos, o que torna essa proteção extremamente onerosa e utilizada apenas em subestações de capacidade superior a 3.000 kVA, em média.

Também existem relés secundários providos de fonte capacitativa para energização da bobina do disjuntor.

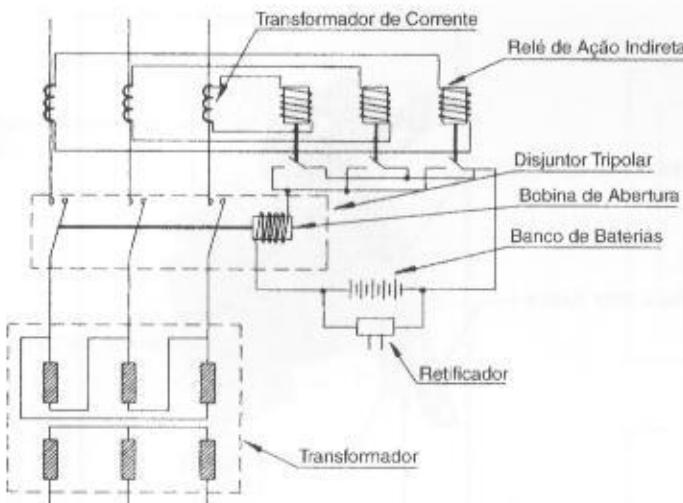
A Figura 9.27 mostra o esquema simplificado de uma proteção de ação indireta.

Esta seção tratará somente dos relés de ação direta, que podem ser assim classificados:

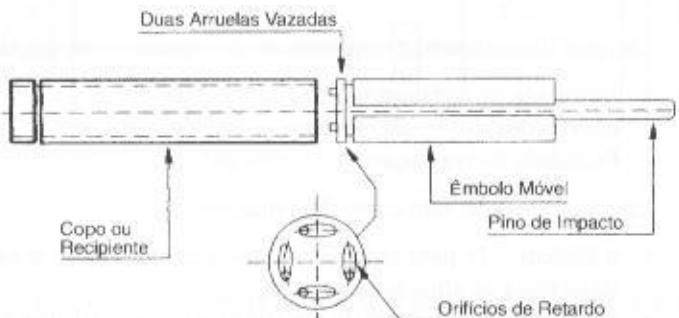
a) Relés de sobrecorrente fluidodinâmicos

São constituídos de uma bobina de grossas espiras ligadas em série com o circuito a ser protegido. No interior da bobina pode-se deslocar um êmbolo metálico em cuja extremidade inferior fixado um sistema de duas arruelas providas de furos de diâmetros adequados. A descentralização ou não desses furos, obtida através da rotação de uma das arruelas em torno do seu eixo, permite

**FIGURA 9.27**  
Esquema para utilização de relés de ação indireta



**FIGURA 9.28**  
Mecanismo de disparo de um relé fluidodinâmico



o disparo do relé através de duas curvas, cada uma delas definida por uma faixa de atuação, conforme se observa na Figura 10.57, referente ao tipo RM2F, de fabricação Sace.

O relé dispõe de um êmbolo que está contido no interior de um copo metálico dentro do qual se coloca certa quantidade estabelecida de óleo de vaselina, cuja função principal é impedir o deslocamento do êmbolo em transitórios de curtíssima duração, como é o caso do fechamento do disjuntor que propicia uma elevada corrente de magnetização do transformador correspondente. A Figura 9.28 mostra o conjunto copo-êmbolo com as respectivas arruelas.

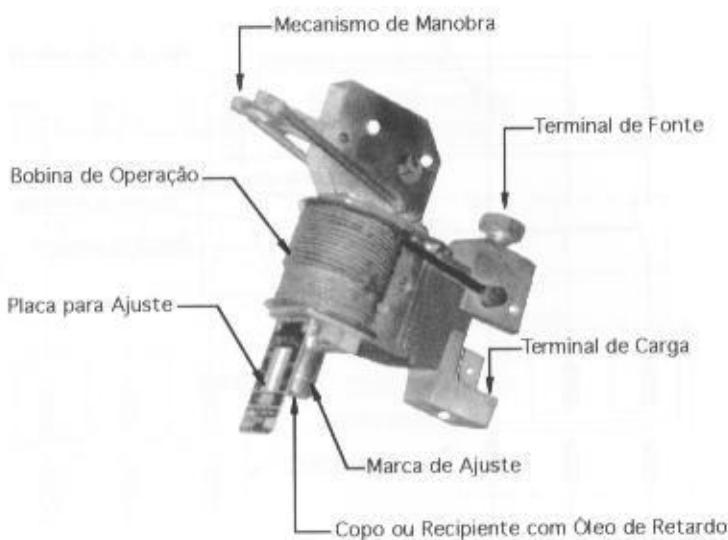
Quando os orifícios das arruelas estão ajustados de forma coincidente, diz-se que o relé está com o diafragma de regulação aberto. Caso contrário, isto é, quando os furos são ajustados de modo não coincidente, diz-se que o relé está com o diafragma de regulação fechado. Na primeira condição, a curva de temporização é mais rápida devido à facilidade de escoamento do óleo por entre os furos durante o movimento de ascensão do êmbolo. No segundo caso, como o escoamento do óleo somente se dá ao redor das arruelas, a temporização é mais lenta.

A temporização desses relés é obtida introduzindo-se mais ou menos o copo ou recipiente no interior da bobina de corrente, modificando, dessa forma, o comprimento do núcleo de ferro (êmbolo móvel) no interior da bobina mencionada. Quanto mais inserido está o copo e, consequentemente, o êmbolo, menor é o tempo de atuação do relé para uma mesma corrente no circuito, considerando ainda o efeito temporizador do óleo.

O disparo do relé se dá quando a extremidade superior do êmbolo, atraída fortemente para o interior da bobina devido a uma elevação do módulo da corrente acima do valor ajustado, se choça com o dispositivo de travamento do mecanismo de disparo do relé que ationa o sistema de hastes, provocando a abertura do disjuntor. Uma escala graduada impressa numa chapinha indica o múltiplo da corrente ajustada em relação à nominal. A calibração é feita fazendo-se coincidir a marca fendas do corpo do recipiente com o valor impresso na chapinha, que deve ser igual à corrente que se quer ajustar para a atuação do disjuntor.

O mecanismo de disparo do relé é preso às hastes de destravamento do mecanismo do disjuntor através de articulações apropriadas. A Figura 9.29 mostra o perfil de um relé fluidodinâmico, do tipo RM2F de fabricação Sace, destacando as suas principais partes componentes.

**FIGURA 9.29**  
Relé fluidodinâmico



Os relés fluidodinâmicos apresentam as seguintes vantagens:

- facilidade de instalação;
- custo reduzido;
- facilidade de regulação.

Em contrapartida, têm como desvantagens:

- a inadequação para sistemas seletivos em virtude de a sua operação se dar dentro de uma larga faixa de atuação;
- a manutenção periódica do óleo de vaselina a fim de mantê-lo dentro de suas características iniciais, pois a construção do relé propicia uma leve penetração de poeira dentro do copo;
- a obrigatoriedade da desenergização do sistema durante a sua manutenção, já que o relé está em série com o circuito principal;
- a inadequação para instalações industriais, onde a presença de máquinas de solda é preponderante, pois as fortes correntes de serviço provocam pequenos deslocamentos no êmbolo móvel, que não retorna a sua posição original devido à elevada frequência das operações de trabalho, favorecendo o desligamento intempestivo do disjuntor.

Um dos cuidados que devem ser tomados na utilização dos relés fluidodinâmicos é a colocação do óleo de vaselina no recipiente que acompanha cada unidade e que é armazenado num pequeno frasco com a quantidade certa para cada unidade correspondente. É que a corrente de magnetização do transformador, que chega ao valor médio de oito vezes a corrente nominal, provoca a atuação dos relés, justamente por falta do elemento de retardamento.

#### b) Relés de sobrecorrente eletromagnéticos

Existem alguns modelos de relés eletromagnéticos de largo uso nas instalações elétricas industriais e comerciais de média tensão. Seu uso nas subestações de potência das concessionárias de energia elétrica é praticamente nulo, devido à sua dificuldade de coordenação com os elos fusíveis de distribuição e com os demais relés de aplicação rotineira dessas instalações. São, porém, largamente utilizados em pequenas e médias subestações industriais.

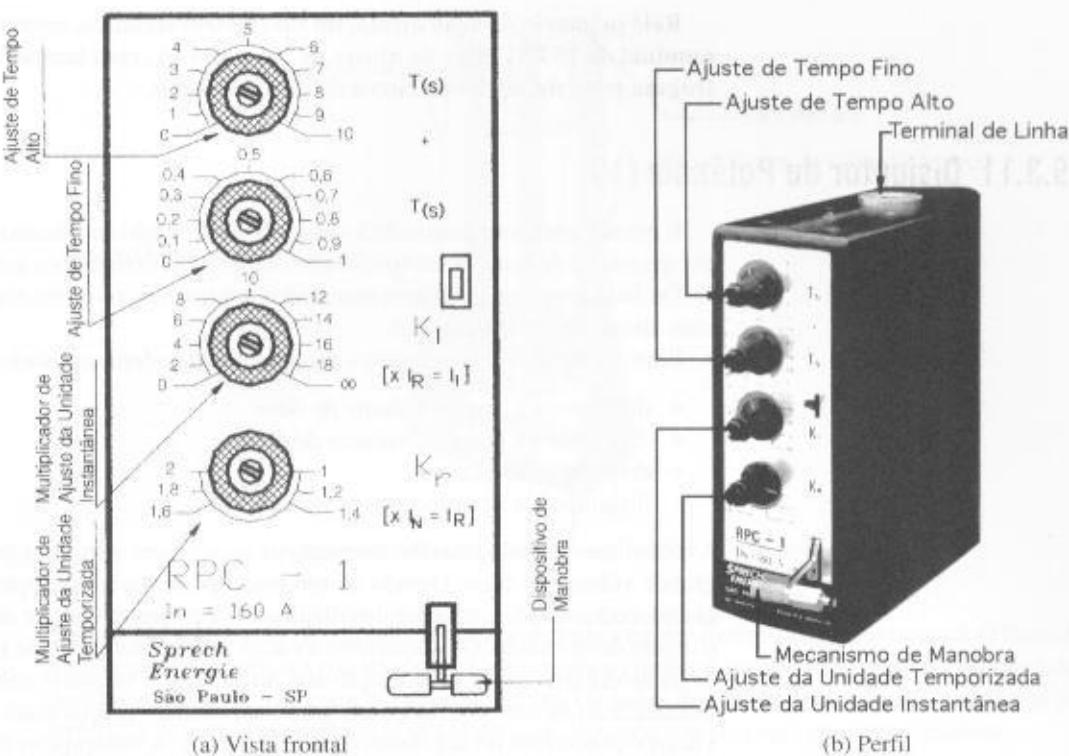
Como exemplos de relés eletromagnéticos podem ser citados os relés de fabricação Sace modelo RM2R. Seu aspecto externo é semelhante ao dos relés fluidodinâmicos vistos anteriormente. Possui uma bobina de grossas espiras, cujo valor das correntes nominais coincide com o dos relés RM2F.

A temporização dos relés RM2R é dada através de um sistema de relojoaria que permite ajuste entre 1 e 5 s.

#### c) Relés de sobrecorrente estáticos

São dispositivos fabricados de componentes estáticos, montados em caixa metálica blindada para evitar a interferência do campo magnético dos condutores de alta tensão, em cujos bornes dos disjuntores são instalados.

**FIGURA 9.30**  
Relé eletrônico



Esses relés dispensam alimentação auxiliar, o que torna a sua aplicação bem mais conveniente nas subestações industriais e comerciais de pequeno e médio portes, em tensão inferior a 38 kV. O relé RPC-1 de fabricação Sprecher Energie é um exemplo desse tipo de relé, cujas características técnicas são exibidas no Capítulo 10. O ajuste de suas funções é efetuado através de seletores localizados no seu painel frontal, cada um deles contendo uma escala adequada. Para melhor entendimento, observar a Figura 9.30 que mostra um relé eletrônico detalhando os ajustes localizados em sua parte frontal, conforme Figura 9.30 (a), e sua vista em perfil, conforme Figura 9.30 (b). Esses relés são constituídos basicamente de três módulos, tal como se apresenta o relé RPC-1 da Sprecher Energie, ou seja:

– Transformadores de corrente

Cada unidade possui um transformador de corrente que determina a corrente nominal do relé e que deve ser compatível com a corrente máxima do circuito a ser protegido.

– Circuitos eletrônicos

É composto de um conjunto de placas de elementos estáticos, onde se processa toda a lógica de atuação do relé.

– Dispositivos de saída

É formado por um sistema mecânico que atua mediante um sinal elétrico enviado pelo processador lógico do relé. Esses relés são montados em cada pôlo do disjuntor. Devido à vibração do disjuntor no momento da desconexão de seus terminais, é aconselhável realizar a ligação do relé ao barramento da subestação através de um condutor flexível.

A característica de atuação dos relés RPC-1 não é afetada pela umidade, poeira e temperatura do meio ambiente no nível em que é afetado o relé fluidodinâmico. As características elétricas e os ajustes correspondentes estão definidos no Capítulo 10.

### 9.3.10.1 Especificação sumária

Sem entrar no assunto de proteção do sistema, o relé primário da Figura 9.1 poderá ser assim descrito:

Relé primário de ação direta, do tipo eletromecânico, corrente nominal de 100 A, tensão nominal de 15 kV, faixa de ajuste de (60 a 120) A, com temporizador fluidodinâmico e diafragma para definição da curva de temporização.

### 9.3.11 Disjuntor de Potência (10)

É um equipamento destinado à manobra e à proteção de circuitos primários capaz de interromper grandes potências de curto-círcito durante a ocorrência de um defeito.

Os disjuntores estão sempre associados a relés, sem os quais não passariam de simples chaves com alto poder de interrupção.

Entre os tipos mais conhecidos de disjuntores podem ser citados:

- disjuntores a grande volume de óleo;
- disjuntores a pequeno volume de óleo;
- disjuntores a vácuo;
- disjuntores a hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ ).

Na ordem cronológica de construção de disjuntores, surgiram, primeiramente, os disjuntores a grande volume de óleo. Devido ao seu baixo poder de interrupção, estão sendo gradativamente abandonados desde o advento dos disjuntores a pequeno volume de óleo que, basicamente, serão o objeto deste estudo. Os disjuntores a vácuo vêm gradativamente ganhando mercado no segmento de média tensão em substituição aos disjuntores a pequeno volume de óleo. Os disjuntores a hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ ), em geral, apresentam preços mais elevados que os disjuntores a vácuo e concorrem no segmento de média tensão. A interrupção da corrente dá-se no interior de um recipiente estanque que contém  $SF_6$ , a uma pressão aproximada de 16 kg/cm<sup>2</sup> para disjuntores de dupla pressão.

Atualmente, as modernas instalações industriais de média tensão (classe 15 kV) utilizam largamente disjuntores tripolares a pequeno volume de óleo. São constituídos dos seguintes elementos:

- carrinho de apoio (não necessário ao seu funcionamento);
- pólos que abrigam os elementos de contato e a câmara de interrupção;
- suporte metálico de sustentação dos pólos e do mecanismo de comando.

A Figura 9.31 mostra um disjuntor a grande volume de óleo, enquanto a Figura 9.32 fornece os detalhes de um disjuntor a pequeno volume de óleo, ambos fixados no carrinho de apoio.

O princípio de interrupção dos disjuntores, em geral, está na absorção da energia que se forma durante a abertura dos seus contatos. Uma parte do óleo em torno do arco se transforma em gases, notadamente o hidrogênio, o acetileno e o metano, provocando uma elevada pressão na câmara hermeticamente fechada proporcional ao valor da corrente interrompida. Essa pressão gera um grande fluxo de



FIGURA 9.31  
Disjuntor a grande volume de óleo.

FIGURA 9.32

Disjuntor a pequeno volume de óleo



óleo dirigido sobre o arco, extinguindo-o e devolvendo a rigidez dielétrica ao meio isolante. O fluxo de óleo atua sobre o arco em jato transversal para correntes muito elevadas de interrupção, ou jato axial para pequenas correntes capacitivas ou indutivas. Os gases, formados durante uma operação de interrupção de corrente, novamente se condensam deixando muitas vezes pequenos resíduos.

Uma das funções principais dos dispositivos de extinção de arco é desionizar a zona de interrupção quando a corrente atinge o ponto zero do ciclo alternado, evitando-se que haja formação de um novo arco, principalmente quando a abertura do circuito se dá na presença de correntes capacitivas.

Os disjuntores a pequeno volume de óleo podem ser fabricados para montagem fixa ou extraível com operação de fechamento manual ou automática.

Cabe alertar que em projetos industriais não devem ser admitidos relés de religamento no acionamento de disjuntores. Desde que se efetue o desligamento do disjuntor, a equipe de manutenção da instalação deve identificar a causa, sanar o defeito para depois restabelecer o circuito.

A capacidade de interrupção de um disjuntor está ligada diretamente à sua tensão de serviço. Assim, se um disjuntor estiver operando num circuito cuja tensão seja inferior à sua tensão nominal, a sua capacidade de interrupção será, proporcionalmente, reduzida.

Existem vários fabricantes nacionais de disjuntores da classe de 15 kV. A Tabela 9.7 indica as principais características dos disjuntores a óleo de fabricação Sace, do tipo RP. Para maiores informações, deve-se consultar o catálogo do fabricante.

TABELA 9.7

Características dos disjuntores a óleo – 15 kV – RP Sace

Descrição	Características				Unidade
Corrente nominal	400		630		A
Tensão nominal	11,4	15,2	11,4	15,2	kV
Freqüência	50/60		50/60		Hz
Poder de ruptura nominal	250		250		MVA
Corrente nominal de ruptura	12,7	9,5	12,7	9,5	kA
Corrente nominal de fechamento	38				kA
Tempo de interrupção	0,085				s
Tempo de abertura	0,070				s
Tempo de fechamento	0,060				s
Tensão suportável de impulso	125				kV

### 9.3.11.1 Especificação sumária

No pedido de um disjuntor devem constar, no mínimo, as seguintes informações:

- tensão nominal, em kV;
- corrente nominal, em A;
- capacidade de interrupção nominal, em kA;
- tempo de interrupção;
- freqüência nominal;
- tipo de comando: manual ou motorizado;
- tensão suportável de impulso, em kV;
- acionamento: frontal ou lateral;
- montagem: fixa ou extraível;
- construção: aberta ou blindada.

Relativamente ao diagrama unifilar base da Figura 9.1, tem-se:

**Disjuntor tripolar, a pequeno volume de óleo, comando manual, acionamento frontal, montagem fixa sobre carrinho, construção aberta, tensão nominal de utilização de 15,2 kV, corrente nominal de 400 A, capacidade de interrupção simétrica de 250 MVA, tensão suportável de impulso de 125 kV e freqüência de 60 Hz.**

### 9.3.12 Fusíveis Limitadores de Corrente (11)

Os fusíveis limitadores primários são dispositivos extremamente eficazes na proteção de circuitos de média tensão devido às suas excelentes características de tempo e corrente.

São utilizados na proteção de transformadores de força acoplados, em geral, a um seccionador interruptor ou, ainda, na substituição do disjuntor geral de uma subestação de consumidor de pequeno porte, quando associados a um seccionador interruptor automático.

A principal característica desse dispositivo de proteção é a sua capacidade de limitar a corrente de curto-círcuito devido aos tempos extremamente reduzidos em que atua. Além disso, possui uma elevada capacidade de ruptura, o que torna este tipo de fusível adequado para aplicação em sistemas onde o nível de curto-círcuito é de valor muito alto.

Normalmente, os fusíveis limitadores podem ser utilizados tanto em ambientes internos como externos, dependendo apenas das características de uso dos seccionadores aos quais estão associados.

Os fusíveis limitadores primários são constituídos de um corpo de porcelana vitrificada, ou simplesmente esmaltada, de grande resistência mecânica, dentro do qual estão os elementos ativos desse dispositivo.

Os fusíveis limitadores primários são instalados em bases próprias individuais, conforme mostrado na Figura 9.33, ou em bases incorporadas aos seccionadores sobre os quais vão atuar, conforme Figura 9.24.

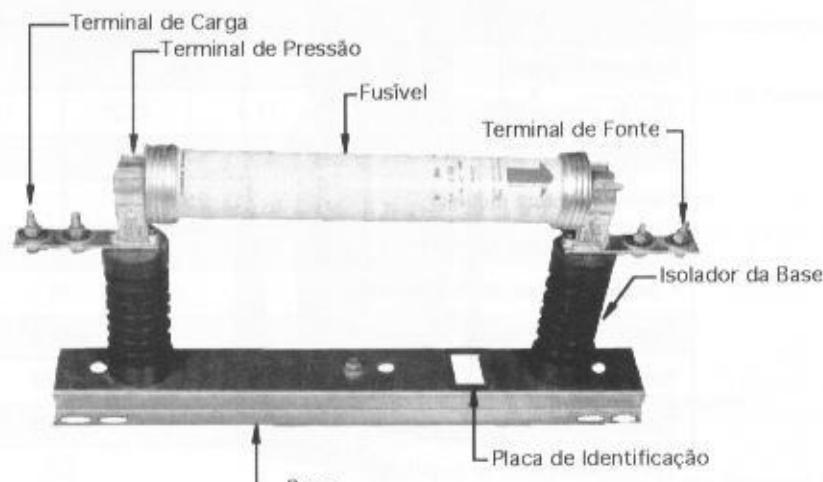


FIGURA 9.33

Base para fusível limitador de corrente.

TABELA 9.8

Dimensões das bases (ordem de grandeza)

Tensão Nominal (kV)	Dimensões (mm)		
	A	B	C
7,2	246	275	292
12	374	275	292
17,5	374	290	292
24	568	330	443
36	605	410	537

A Tabela 9.8 fornece, em ordem de grandeza, as principais dimensões das bases mencionadas.

Os fusíveis se compõem, geralmente, de vários elementos metálicos ligados em paralelo, apresentando ao longo do seu comprimento seções estreitas. Estão envolvidos no interior de um corpo cilíndrico de porcelana por uma homogênea camada de areia de quartzo de granulometria bastante reduzida e que se constitui no meio extintor.

Desta forma, quando o elemento fusível queima, o arco decorrente desta ação funde a areia de quartzo que envolve o local da ruptura, resultando um corpo sólido que ocupa o espaço aberto entre as extremidades que ficam do lado da fonte e da carga, garantindo a interrupção da continuidade do circuito elétrico.

Certos tipos de fusível são dotados de um percursor numa de suas extremidades que, após a fusão do elemento metálico, provoca disparo do seccionador interruptor ao qual está acoplado. A força resultante do percursor pode ser obtida a partir do diagrama da Figura 9.34. Em vez do percursor, há fusíveis que trazem apenas um dispositivo de sinalização ótica, indicando a condição de disparo.

A Figura 9.35 fornece alguns detalhes construtivos deste tipo de fusível, enquanto a Figura 9.36 mostra a parte externa do mesmo fusível.

Como poderá ser visto posteriormente, é importante a observância das características elétricas dos fusíveis limitadores primários, principalmente no seu comportamento quanto às pequenas correntes de interrupção. Essas características são:

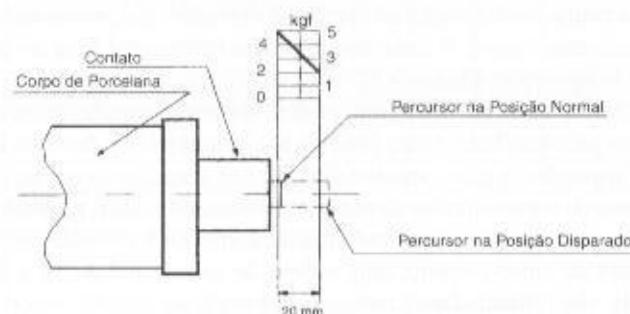


FIGURA 9.34  
Curva de disparo do percursor

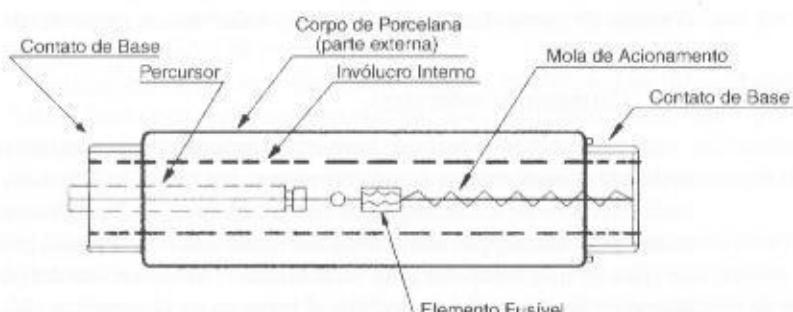


FIGURA 9.35  
Parte interna de um fusível primário

**FIGURA 9.36**  
Parte externa de um fusível primário



a) Corrente nominal

É aquela que o elemento fusível deve suportar continuamente sem que seja ultrapassado o limite de temperatura estabelecido.

As correntes nominais variam freqüentemente em função do fabricante, porém com diferenças relativamente pequenas. Da mesma forma, são as dimensões dos fusíveis e, consequentemente, as suas bases. A Tabela 9.9 fornece as correntes nominais dos fusíveis limitadores em função da tensão nominal.

Quando a corrente do circuito for superior a 150 A, podem ser utilizados dois fusíveis limitadores em paralelo.

b) Tensão nominal

É aquela para a qual o fusível foi dimensionado, respeitadas as condições de corrente e temperatura especificadas.

Os fusíveis limitadores apresentam duas tensões nominais, sendo uma indicativa da tensão de serviço e outra da sobretensão permanente do sistema. Em geral, esses fusíveis são fabricados para as seguintes tensões nominais: 3/3,6 - 6/7,2 - 10/12 - 15/17,5 - 20/24 - 30/36 kV.

c) Correntes de interrupção

São aquelas capazes de sensibilizar a sua operação. As correntes de interrupção podem ser reconhecidas em duas faixas distintas: correntes de curto-círcuito e correntes de sobrecarga.

- Correntes de curto-círcuito

São assim consideradas as correntes elevadas que provocam a atuação do fusível em tempos extremamente curtos. A interrupção dessas correntes é feita no primeiro semicírculo da onda, conforme se mostra na Figura 9.37.

As correntes de curto-círcuito podem ser interrompidas antes que atinjam o seu valor de crista. Por esta peculiaridade, esses fusíveis são denominados fusíveis limitadores de corrente. É de extrema importância essa característica para os sistemas elétricos, já que os esforços resultantes das correntes de curto-círcuito são extremamente reduzidos, podendo-se dimensionar os equipamentos com capacidade de corrente dinâmica inferior à corrente de crista do sistema em questão. As correntes de curto-círcuito, cuja ordem de grandeza é de 15 a 30 vezes a corrente nominal dos fusíveis, são limitadas num tempo inferior a 5 ms.

Através dos gráficos da Figuras 10.23 e 10.24 podem ser determinados os valores das correntes de curto-círcuito limitadas pelos fusíveis em função de sua corrente nominal, considerando a corrente de curto-círcuito simétrica, de valor eficaz, presente no sistema no ponto de sua instalação.

- Correntes de sobrecarga

Os fusíveis limitadores de corrente primária não apresentam um bom desempenho quando solicitados a atuar perante baixas correntes, em torno de 2,5 vezes a sua corrente nominal, valores característicos de sobrecarga nos sistemas elétricos. Desta forma, a norma IEC define a corrente mínima de interrupção como sendo o menor valor da corrente presumida que um fusível limitador é capaz de interromper a uma dada tensão. Para correntes inferiores à mínima de interrupção, o tempo de fusão do elemento fusível torna-se extremamente elevado, podendo atingir frações de

TABELA 9.9

Correntes nominais dos fusíveis para várias tensões

Correntes Nominais dos Fusíveis (A)	Tensão Nominal (kV)									
	3/3,6		6/7,2		10/12		15/17,5		20/24	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2,50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
4,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
5,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
6,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
8,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
10,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
12,50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
16,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
32,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
40,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
50,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
63,00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
75,00	×		×	×	×	×	×	×	×	×
80,00	×		×	×	×	×	×	×	×	×
125,00	×		×	×	×		×	×		
160,00	×		×	×	×		×	×		
200,00	×		×	×			×	×		
250,00	×		×	×						
315,00	×		×	×						
400,00	×		×	×						
500,00	×		×	×						

Os fusíveis apresentam os seguintes tamanhos: 1 - 192 × 225 mm; 2 - 192 × 225 mm; 3 - 292 × 225 mm; 4 - 442 × 475 mm; 5 - 292 × 325 mm; 6 - 292 × 325 mm; 7 - 442 × 475 mm; 8 - 537 × 570 mm; 9 - 442 × 475 mm; 10 - 537 × 570 mm; × - indicação de que existe comercialmente o fusível

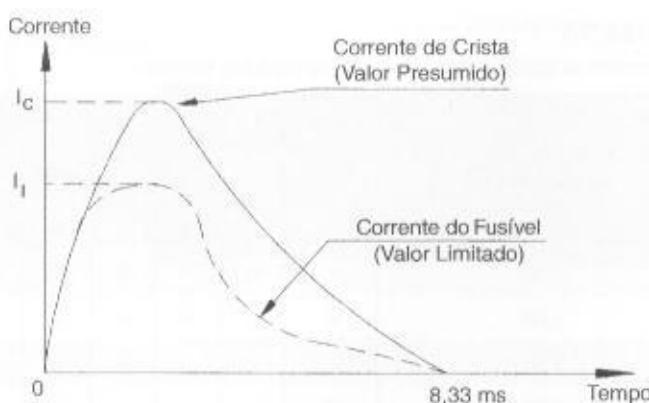
horas, liberando, deste modo, uma elevada quantidade de energia que poderia levar à ruptura o corpo de porcelana. Isso se deve ao fato de que os diversos elementos do fusível, possuindo coeficientes de dilatação diferentes e submetidos às mesmas condições térmicas, se dilatam de maneira desigual, resultando forças internas extremamente elevadas que podem culminar com a explosão do invólucro de porcelana.

Adicionalmente a esse fenômeno surgem, porém, outras dificuldades de natureza dielétrica. Assim, para correntes um pouco acima da corrente mínima de fusão, pelo fato de o elemento fusível não se fundir uniformemente, verificam-se alguns pontos de reacendimento dada a redução da rigidez dielétrica do meio isolante, em virtude da geração de energia decorrente do tempo excessivamente longo de duração da corrente.

Ante o exposto, os fusíveis limitadores primários não apresentam uma resposta satisfatória para correntes baixas com características de sobrecarga, podendo, em muitos casos, chegar à ruptura do invólucro. Uma maneira de evitar isso é dotar os circuitos elétricos de elementos de sobrecarga

**FIGURA 9.37**

Representação senoidal do corte do fusíveis limitadores



capazes de atuar para as correntes perigosas aos fusíveis limitadores antes que estes atinjam as condições anteriormente descritas.

Como consequência dos reacendimentos devidos às baixas correntes, surgem sobretensões elevadas no sistema que podem comprometer o desempenho da proteção.

#### d) Efeitos das correntes de curto-circuito

Como se sabe, as correntes de curto-circuito solicitam demasiadamente os sistemas elétricos através de dois parâmetros: a corrente térmica e a corrente dinâmica.

- Corrente térmica de curto-circuito

Como os fusíveis limitadores atuam num tempo extremamente curto, os efeitos térmicos da corrente de curto-circuito são muito reduzidos, já que dependem do tempo que a corrente perdeu no circuito.

- Corrente dinâmica de curto-circuito

Os efeitos dinâmicos das correntes de curto-circuito podem afetar mecanicamente as chaves, barramentos, isoladores suportes etc., podendo esses equipamentos chegar à ruptura. Como os fusíveis limitadores, dependendo da corrente, não permitem que a corrente de curto-circuito atinja seu valor de pico, como se mostra na Figura 9.37, o sistema fica aliviado de receber uma carga mecânica, às vezes extremamente elevada.

#### e) Capacidade de ruptura

Os fusíveis limitadores apresentam uma elevada capacidade de ruptura que normalmente supera os valores encontrados na maioria dos casos práticos. A corrente nominal de ruptura é geralmente fornecida pelo fabricante para um fator de potência de curto-circuito muito baixo, da ordem de 0,15. Esse valor deve ser comparado com os valores obtidos nos circuitos, nos pontos onde serão instalados os fusíveis limitadores. A Tabela 9.10 fornece como valor médio a capacidade de ruptura dos fusíveis limitadores.

**TABELA 9.10**

Capacidade de ruptura dos fusíveis limitadores

Tensão Nominal (kV)	Potência (MVA)
3/3,6	700
7,2/12	1000
15/17,5	1000
20/24	1000
30/36	1500

### 9.3.12.1 Especificação sumária

No pedido de um fusível limitador de corrente devem constar no mínimo as seguintes informações:

- tensão nominal, em kV;
- corrente nominal, em A;
- capacidade de interrupção nominal, em kA;
- fornecimento com o sinalizador ótico e/ou pino percursor;
- designação da base na qual irá operar.

A sua especificação sumária pode assim ser formulada:

**Fusível limitador de corrente provido de sinalizador ótico, tensão nominal de 15/17,5 kV, corrente nominal de 50 A, capacidade mínima de interrupção de 10 kA.**

### 9.3.13 Transformador de Potência (12)

É um equipamento que, por meio de indução eletromagnética, transfere energia de um circuito chamado primário para um ou mais circuitos denominados secundário ou terciário, respectivamente, sendo mantida a mesma freqüência, porém com tensões e correntes diferentes.

Quanto ao meio isolante, os transformadores se classificam em:

- transformadores imersos em óleo mineral isolante;
- transformadores a seco.

Este livro contemplará somente os transformadores imersos em óleo, devido à quase exclusividade de sua utilização em projetos industriais. Os transformadores a seco são empregados mais especificamente em instalações de prédios de habitação ou em locais de alto risco para a vida das pessoas e do patrimônio. São construídos, em geral, em resina epóxi.

Um transformador imerso em óleo mineral é composto basicamente de três elementos:

- tanque ou carcaça;
- parte ativa (núcleo e enrolamentos);
- acessórios (terminais, ganchos, registros etc.).

O seu funcionamento está fundamentado nos fenômenos de mútua indução magnética entre os dois circuitos (primário e secundário) eletricamente isolados, porém magneticamente ligados.

A equação fundamental de operação de um transformador é:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2} \quad (9.7)$$

$N_1$  – número de espiras do enrolamento primário;

$N_2$  – número de espiras do enrolamento secundário;

$V_1$  – tensão aplicada nos terminais da bobina do primário;

$V_2$  – tensão de saída nos terminais da bobina do secundário;

$I_1$  – corrente que circula no enrolamento primário;

$I_2$  – corrente que circula no enrolamento secundário.

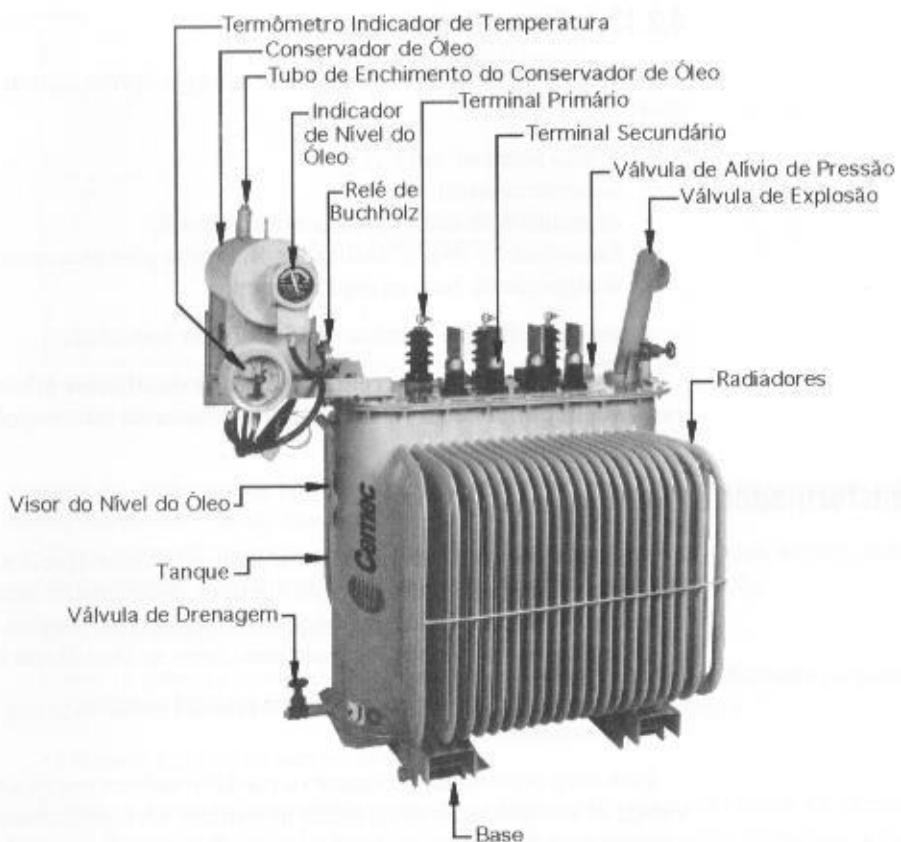
Os transformadores podem ser, quanto ao número de fases:

- monobucha (F-T);
- monofásico (F-N);
- bifásico (2F);
- trifásico (3F).

Ao longo deste livro só se fará referência aos transformadores trifásicos, devido à sua quase total utilização em sistemas industriais, no Brasil. A Figura 9.38 apresenta um transformador trifásico a óleo mineral de fabricação CEMEC (Fortaleza – Ceará) com a indicação de todos os seus elementos externos.

Quanto às características elétricas, os transformadores podem assim ser estudados:

**FIGURA 9.38**  
Transformador de distribuição



a) Potência nominal

É a potência que o transformador fornece continuamente a uma determinada carga, sob condições de tensão e freqüência nominais, dentro dos limites de temperatura especificados por norma. A determinação da potência nominal do transformador em função da carga que alimenta é dada pela Equação (9.8).

$$P_t = \frac{\sqrt{3} \times V_t \times I_c}{1.000} \text{ (kVA)} \quad (9.8)$$

$V_t$  – tensão secundária de alimentação da carga, em V;

$I_c$  – corrente da carga conectada, em A.

As potências nominais padronizadas e usuais estão discriminadas na Tabela 9.11.

b) Tensão nominal

É o valor eficaz da tensão para a qual o transformador foi projetado segundo perdas e rendimento especificados. Este livro se restringe a abordar transformadores projetados para a classe 15 kV.

Em geral, os transformadores são dotados de derivações ou tapes utilizados quase sempre para elevar a tensão de saída do secundário, devido a uma tensão de fornecimento abaixo do valor requerido.

O tape de maior valor define a tensão nominal primária do transformador, isto é, a tensão para a qual foi projetado. Normalmente, o número máximo de derivações fica limitado a três, variando de 3,0 a 9,6% da tensão nominal especificada para o equipamento. Como exemplo, citando um transformador de tensão nominal de 13.800 V, os tapes disponíveis são 12.600, 13.200 e 13.800 V.

É importante lembrar que é constante o produto da tensão e corrente no primário e secundário. Considerar, por exemplo, um transformador de 225 kVA, tensão nominal de 13.800/380 V, operando numa rede com tensão nominal primária de mesmo valor, por motivo de abaixamento da tensão de fornecimento, o transformador foi religado no tape de 12.600 V; logo, a corrente se aumentada de:

$$V_{i1} \times I_{i1} = V_{i2} \times I_{i2}$$

$V_{i1}$  – tensão no primário no tape 1;

$V_{i2}$  – tensão no primário no tape 2;

$I_{i1}$  – corrente no tape 1;

$I_{i2}$  – corrente no tape 2.

$$13.800 \times I_{i1} = 12.600 \times I_{i2}$$

$$I_{i1} = \frac{225}{\sqrt{3} \times 13,80} = 9,4 \text{ A}$$

$$13.800 \times 9,4 = 12.600 \times I_{i2} \rightarrow I_{i2} = 10,29 \text{ A}$$

Se a tensão de fornecimento fosse de 12.400 V, a tensão secundária assumiria o valor de:

$$V_i = \frac{12.400}{12.600} \times 380 = 374 \text{ V}$$

c) Tensão nominal de curto-círcuito

É medida curto-circuitando-se os terminais secundários do transformador e alimentando-o no primário com uma tensão que faça circular nesse enrolamento a corrente nominal. O valor percentual desta tensão em relação à nominal é numericamente igual ao valor da impedância em percentagem, ou seja:

$$V_{pc} = \frac{V_{ncp}}{V_{npt}} \times 100 (\%) \quad (9.9)$$

$Z_{pc}$  – tensão nominal de curto-círcuito, em % ou impedância percentual;

$V_{ncp}$  – tensão nominal de curto-círcuito aplicada aos terminais do enrolamento primário, em V;

$V_{npt}$  – tensão nominal primária do transformador, em V;

Caso se deseje conhecer a impedância do transformador em valor ôhmico, pode-se usar a Equação (9.10).

$$Z_{\Omega} = \frac{10 \times Z_{pc} \times V_{npt}^2}{P_m} (\Omega) \quad (9.10)$$

$P_m$  – potência nominal do transformador, em kVA;

$V_{npt}$  – tensão nominal primária do transformador, em kV.

Uma impedância percentual de 5,5% correspondente a um transformador de 1.000 kVA – 13.800/380 V tem como impedância ôhmica o valor de:

$$Z_{\Omega} = \frac{10 \times 5,5 \times 13,80^2}{1.000} = 10,4 (\Omega)$$

d) Componentes percentuais da tensão nominal de curto-círcuito

É determinada a partir da composição vetorial dos componentes de tensão resistiva e reativa, ou seja:

- Componente de tensão resistiva percentual ou resistência percentual

É o componente ativo da tensão percentual, cujo valor é dado pela Equação (9.11).

$$R_{pt} = \frac{P_{cu}}{10 \times P_m} (\%) \quad (9.11)$$

$P_{cu}$  – perdas ôhmicas de curto-círcuito, ou simplesmente perdas no cobre, em W (Tabela 9.11);

$P_m$  – potência nominal do transformador, em kVA.

- Componente de tensão reativa percentual ou reatância percentual

TABELA 9.11

Dados característicos de transformadores trifásicos em óleo para instalação interior ou exterior – classe 15 kV – primário em estrela ou triângulo e secundário em estrela – 60 Hz

Potência (kVA)	Tensão (V)	Perdas (W)		Rendimento (%)	Regulação (%)	Impedância (%)
		A Vazio	Cobre			
15	220 a 440	120	300	96,24	3,32	3,5
30	220 a 440	200	570	96,85	3,29	3,5
45	220 a 440	260	750	97,09	3,19	3,5
75	220 a 440	390	1.200	97,32	3,15	3,5
112,5	220 a 440	520	1.650	97,51	3,09	3,5
150	220 a 440	640	2.050	97,68	3,02	3,5
225	380 ou 440	900	2.800	97,96	3,63	4,5
300	220	1.120	3.900	97,96	3,66	4,5
	380 ou 440		3.700	98,04	3,61	4,5
500	220	1.700	6.400	98,02	3,65	4,5
	380 ou 440		6.000	98,11	3,6	4,5
750	220	2.000	10.000	98,04	4,32	5,5
	380 ou 440		8.500	98,28	4,2	5,5
1.000	220	3.000	12.500	98,10	4,27	5,5
	380 ou 440		11.000	98,28	4,19	5,5
1.500	220	4.000	18.000	98,20	4,24	5,5
	380 ou 440		16.000	98,36	4,16	5,5

Conhecido o valor da tensão percentual de curto-círcuito do transformador, fornecido pelo fabricante, aplica-se a Equação (9.12) para se obter o valor da tensão reativa percentual, ou seja

$$X_{pt} = \sqrt{Z_{pt}^2 - R_{pt}^2} \quad (9.12)$$

$Z_{pt}$  – impedância percentual de placa do transformador.

#### e) Perdas elétricas

Os transformadores apresentam perdas elétricas pequenas quando comparadas com suas potências nominais. Mas sendo uma máquina que opera, em geral, continuamente, a energia desperdiçada pode ser relevante e, portanto, considerada nas avaliações energéticas, conforme Capítulo 15.

As perdas dos transformadores referem-se a perdas no núcleo e a perdas nos enrolamentos.

### EXEMPLO DE APLICAÇÃO (9.2)

Considerar um transformador de 225 kVA, 13.800–380/220 V do qual se deseja saber os valores percentuais das quedas de tensão resistiva e reativa.

$$R_{pt} = \frac{P_{re}}{10 \times P_{st}} = \frac{2.800}{10 \times 225} = 1,24\%$$

$$X_{pt} = \sqrt{Z_{pt}^2 - R_{pt}^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,24^2} = 4,32\%$$

$$P_{re} = 2.800 \text{ W (Tabela 9.11)}$$

$$Z_{pt} = 4,5\% \text{ (Tabela 9.11)}$$

## f) Regulação

Representa a variação de tensão no secundário do transformador, desde o seu funcionamento a vazio até a operação a plena carga, considerando a tensão primária constante.

Também denominada queda de tensão industrial, pode ser calculada em função dos componentes ativo e reativo, da impedância percentual do transformador, do fator de potência e do fator de carga, conforme a Equação (9.13).

$$R = F_c \times \left[ R_{pr} \times \cos\psi + X_{pr} \times \sin\psi + \frac{(X_{pr} \times \cos\psi - R_{pr} \times \sin\psi)^2}{200} \right] \quad (9.13)$$

$R$  – regulação;

$F_c$  – fator de carga;

$\psi$  – ângulo do fator de potência.

O valor da tensão no secundário do transformador, correspondente às condições de carga a que está submetido, é dado pela Equação (9.14), ou seja:

$$V_{st} = V_{nst} \times \left( 1 - \frac{R}{100} \right) \text{ (V)} \quad (9.14)$$

$V_{nst}$  – tensão nominal do secundário, em V.

## EXEMPLO DE APLICAÇÃO (9.3)

Considerar um transformador de 225 kVA, 13.800–380/220 V operando numa instalação cujo fator de carga é 0,75. Deseja-se determinar o valor da regulação ou variação de tensão no secundário, sabendo-se que o fator de potência da carga é 0,80. Os valores de  $R_{pr}$  e  $X_{pr}$  foram calculados no exemplo anterior.

$$R = 0,75 \times \left[ 1,24 \times 0,80 + 4,32 \times 0,6 + \frac{(4,32 \times 0,80 - 1,24 \times 0,6)^2}{200} \right] \rightarrow R = 2,71\%$$

Logo, a tensão secundária vale:

$$V_{st} = 380 \times \left( 1 - \frac{2,71}{100} \right) = 369,7 \text{ V}$$

## g) Rendimento

É a relação entre a potência elétrica fornecida pelo secundário do transformador e a potência elétrica absorvida pelo primário. Pode ser determinado pela Equação (9.15).

$$\eta = 100 - \frac{100 \times (P_{fe} + F_c^2 \times P_{cu})}{F_c \times P_{nt} \times \cos\psi + P_{fe} + F_c^2 \times P_{cu}} \quad (9.15)$$

$P_{fe}$  – perdas no ferro, em kW;

$\psi$  – ângulo do fator de potência.

## EXEMPLO DE APLICAÇÃO (9.4)

Tomando como exemplo as condições previstas anteriormente, determinar o rendimento do transformador de 225 kVA.

$$\eta = 100 - \frac{100 \times (0,90 + 0,75^2 \times 2,80)}{0,75 \times 225 \times 0,80 + 0,90 + 0,75^2 \times 2,8}$$

$$\eta = 100 - 1,8 = 98,2\%$$

$$P_{fe} = 0,90 \text{ kW (Tabela 9.11)}$$

$$P_{cu} = 2,8 \text{ kW (Tabela 9.11)}$$

Para determinar o rendimento máximo de um transformador, deve-se modular a carga de modo a se obter um fator de carga dado pela Equação (9.16).

$$F_c = \sqrt{\frac{P_{je}}{P_{ca}}} \quad (9.16)$$

Logo, aplicando-se a fórmula anterior ao transformador de 225 kVA, tem-se um fator de carga igual a:

$$F_c = \sqrt{\frac{0,90}{2,80}} \quad 0,566 \rightarrow F_c = 56,6\% \text{ de carregamento}$$

#### h) Deslocamento angular

É a diferença entre os fasores que representam as tensões entre o ponto neutro (real ou ideal) e os terminais correspondentes de dois enrolamentos, quando um sistema de seqüência positiva de tensão é aplicado aos terminais de tensão mais elevada, na ordem numérica desses terminais. Admite-se que os fasores giram no sentido anti-horário.

Sendo, por convenção, os terminais primários e secundários dos transformadores indicados, respectivamente, pelas referências H1 – H2 – H3 e X0 – X1 – X2 – X3, os vários diagramas podem ser confrontados diretamente, estabelecendo-se que se trace, primeiramente, o triângulo das tensões concatenadas primárias, posicionando para cima o vértice H2, correspondente à fase central, quando está o vértice H1 em adiantamento e o vértice H3 em atraso. A Figura 9.39 representa um exemplo de conexão em que o deslocamento angular vale  $30^\circ$ .

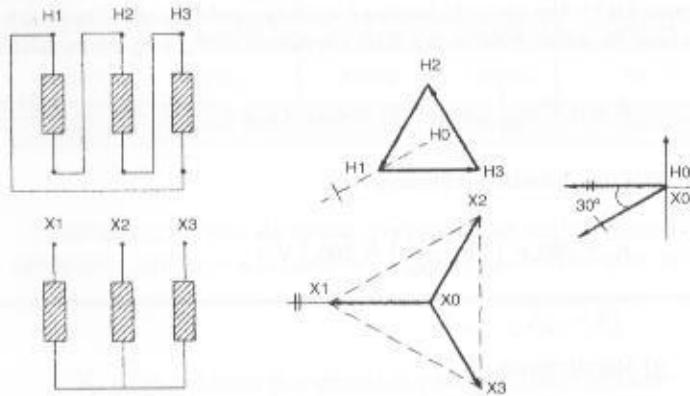


FIGURA 9.39

Exemplo de medida do deslocamento angular

A Figura 9.40 mostra as ligações dos transformadores trifásicos e os respectivos defasamentos angulares.

#### i) Líquido isolante

O líquido isolante nos transformadores tem a função de transferir o calor gerado pelas partes internas do equipamento para as paredes do tanque e dos radiadores, que são resfriadas naturalmente ou por ventilação forçada, fazendo com que o óleo volte novamente ao interior retirando calor e passando ao exterior, num ciclo contínuo, segundo o fenômeno de convecção.

O óleo mineral para transformador deve apresentar uma alta rigidez dielétrica e excelente fluidez, além de manter as suas características naturais praticamente inalteradas perante temperaturas elevadas.

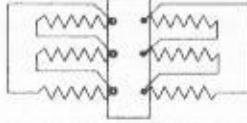
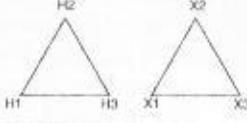
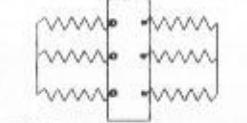
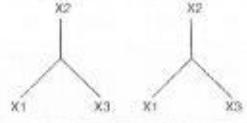
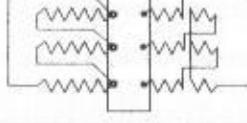
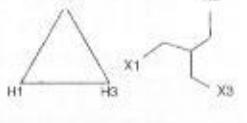
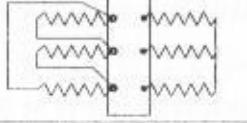
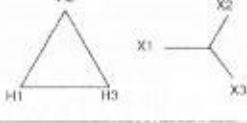
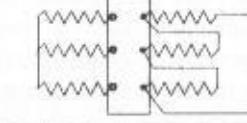
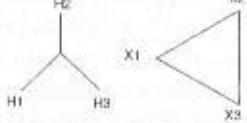
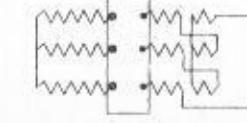
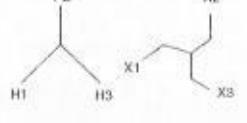
O óleo mineral é inflamável e, portanto, cuidados devem ser tomados na instalação de transformadores. No caso de projetos industriais de produtos de alto risco de incêndio, usando-se transformadores a óleo, estes devem ser localizados distantes e fora da área de risco.

Existe, entretanto, um tipo de líquido isolante, chamado *ascarel*, cujas propriedades elétricas se assemelham às do óleo mineral, com a vantagem de não ser inflamável. Devido ao seu alto poder de poluição, está proibida a sua utilização no território nacional.

Quando for estritamente necessária a instalação de transformadores não inflamáveis, devem ser especificados transformadores a seco ou a silicone.

Os transformadores podem conter óleo mineral do tipo parafínico ou naftênico.

**FIGURA 9.40**  
Ligações de transformadores trifásicos

Ligações dos Enrolamentos		Diagrama de Ligação	Esquema de Ligação	Defasamento Angular (Em graus)
AT	BT			
Triângulo D	Triângulo d			0
Estrela Y	Estrela y			0
Triângulo D	Ziguezague z			0
Triângulo D	Estrela y			30
Estrela Y	Triângulo d			30
Estrela Y	Ziguezague z			30

### j) Tanque ou carcaça

O tanque dos transformadores varia de formato desde a aparência ovalar até a forma retangular. Os transformadores de maior potência possuem radiadores que servem para aumentar a área de dissipação de calor para o meio exterior.

Transformadores de potência igual ou superior a 500 kVA, em geral, são providos de tanque de expansão de óleo montado na parte superior da carcaça.

### k) Limites de temperatura de operação

Os transformadores devem operar dentro de suas características nominais, desde que a temperatura do meio ambiente não exceda aos limites definidos em norma.

Quando instalados em altitudes superiores a 1.000 m, os limites de temperatura são reduzidos, devido à diminuição da densidade do ar que, em consequência, reduz a transferência de calor para o meio exterior.

A NBR 5416 estabelece no item 4.1 a limitação de temperatura dos transformadores de potência.

### I) Carregamento

Como abordado no Capítulo 1, o ciclo de carga de uma instalação é diário e irregular, existindo um período em que a carga solicitada alcança um valor superior aos demais durante o período diário, ao que se chama ponta de carga ou valor máximo de demanda.

A NBR 5416 estabelece as condições de carregamento de transformadores de potência e apresenta as tabelas apropriadas para a determinação da perda de vida útil, em função da duração da ponta, da temperatura ambiente e do carregamento percentual inicial. A Tabela 9.12 indica o carregamento de transformadores de 55°C (limite de elevação de temperatura) com um carregamento inicial de 70%.

Ainda da NBR 5416, pode-se acrescentar:

A carga equivalente da ponta de carga é o valor médio quadrático obtido da Equação (9.17) para o período limitado sobre o qual a maior parte da ponta irregular real parece existir. A duração estimada da ponta de carga tem considerável influência sobre o cálculo da carga equivalente. Se a duração for superestimada, o valor médio quadrático da ponta poderá ficar consideravelmente abaixo da ponta de demanda máxima. Como precaução contra superaquecimento devido a sobrecargas breves e altas durante o período da ponta, o valor médio quadrático não deve ser menor que 90% da demanda máxima integrada no período de meia hora.

$$C_{eq} = \sqrt{\frac{P_1^2 \times T_1 + P_2^2 \times T_2 + \dots + P_n^2 \times T_n}{T_1 + T_2 + \dots + T_n}} \quad (9.17)$$

$P_1, P_2, \dots, P_n$  – vários degraus de carga em percentagem, pu, kVA ou corrente real;  
 $T_1, T_2, \dots, T_n$  – durações respectivas dessas cargas.

Sugere-se que o intervalo de duração de carga seja de uma hora para aplicação da Equação (9.17).

Esse método pode ser usado para converter um ciclo de carga irregular, como mostrado na Figura 9.41, para um ciclo de carga retangular. Neste caso, a carga básica é 70% e a ponta 140% da potência nominal.

Através da Tabela 9.12 pode-se observar que a carga permitível após um carregamento contínuo de 70%, com temperatura ambiente de 30°C, é de 167% durante uma hora. Portanto, o transformador suportará esse ciclo de carga sem redução de sua vida normal esperada.

O cálculo do carregamento máximo do transformador, com base no que foi exposto, se faz bastante útil durante um período de contingência, quando se perde uma unidade de transformação mas é necessário que a indústria continue em operação com as unidades remanescentes durante um certo período, que pode, inclusive, ser determinado.

### m) Acessórios

- Relé de Buchholz

Também conhecido como relé de gás, tem a finalidade de sinalizar o painel de controle e/ou acionar o equipamento de proteção quando há presença de gás no interior do transformador, em geral, devido à perda de isolamento.

O relé de Buchholz é montado na parte intermediária do tubo de conexão, entre o tanque do transformador e o tanque de expansão. É provido de flutuadores que, ao serem atingidos pelas bolhas de gás, provocam fechamento de dois contatos elétricos responsáveis pelo acionamento do circuito de sinalização e ainda podem permitir a abertura do disjuntor de proteção do transformador.

São utilizados, normalmente, em unidades superiores a 750 kVA.

- Termômetro simples

Indica a temperatura da camada superior do óleo.

- Desumidificador de ar

Tem a finalidade de impedir a entrada de umidade através da abertura de passagem de ar que se dá sobre a superfície do líquido de refrigeração do transformador.

**FIGURA 9.41**

Representação de uma curva de carga correspondente à carga inicial de 70%

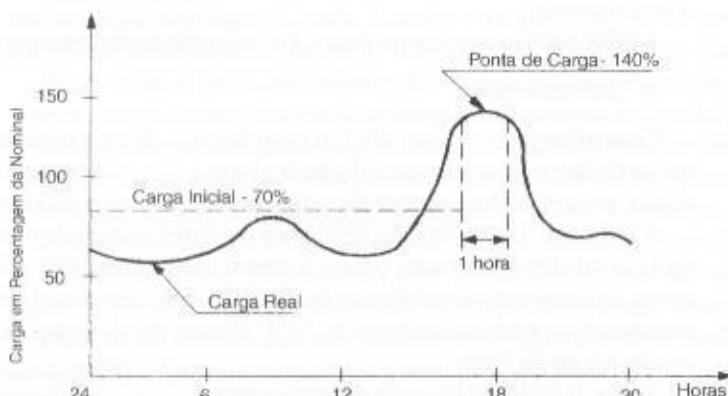


TABELA 9.12

Carregamento de transformadores 55°C - ONAN - Carga inicial - 70%

Temp. Ambiente (°C)		10			20			30			40			50		
A	B	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E
0,5	Normal 0,25	200	125	50	200	135	60	188 200	136	68 70	170 200	134 155	76 80	141 191	126 159	82 88
1	Normal 0,25	194 200	132 137	60 61	181 200	131 147	67 71	167 196	130 154	73 80	150 183	127 153	80 87	123 168	119 151	84 94
2	Normal 0,25 0,50	171 194 200	126 149 155	67 77 79	159 183 191	125 148 155	73 82 85	146 172 180	124 147 155	78 88 91	130 159 168	121 145 153	82 93 96	106 146 155	113 144 151	85 98 101
4	Normal 0,25 0,50 1,00	151 171 177 184	119 141 149 156	71 82 86 90	140 161 168 174	118 140 148 155	75 87 91 94	128 151 158 165	117 139 147 154	79 91 95 99	114 140 147 155	114 138 145 153	83 95 99 103	94 127 136 144	107 136 144 152	84 99 103 107
8	Normal 0,25 0,50 1,00 2,00	136 154 160 166 172	111 131 138 145 153	70 81 85 89 94	126 145 151 157 163	110 131 137 145 152	74 85 89 93 97	115 135 141 148 155	108 130 136 144 152	77 89 93 97 102	102 125 131 138 145	106 129 135 143 151	80 93 97 101 105	85 114 121 128 136	102 128 135 142 150	82 97 101 105 110
24	Normal 0,25 0,50 1,00 2,00 4,00	122 139 144 149 155 161	97 115 121 128 135 142	62 73 77 80 84 89	112 130 135 141 147 153	96 115 121 128 135 142	67 77 81 84 89 93	101 120 126 132 138 145	96 115 121 128 134 142	71 81 85 89 93 97	90 110 116 122 129 135	96 115 120 127 134 141	75 86 89 93 97 101	77 99 105 112 120 126	95 114 120 127 134 141	79 90 93 97 101 105

A - duração da ponta em horas; B - perda de vida útil, em %; C - carga da ponta, em %; D - Temperatura do ponto mais quente em °C; E - Temperatura do topo do óleo em °C.

### 9.3.13.1 Especificação sumária

O pedido de compra de um transformador deve conter, no mínimo, os seguintes elementos:

- potência nominal;
- tensão nominal primária;
- tensão nominal secundária;
- derivações desejadas (tapes);
- perdas máximas no ferro e no cobre;
- ligação dos enrolamentos;
- tensão suportável de impulso;
- impedância percentual;
- acessórios desejados (especificar).

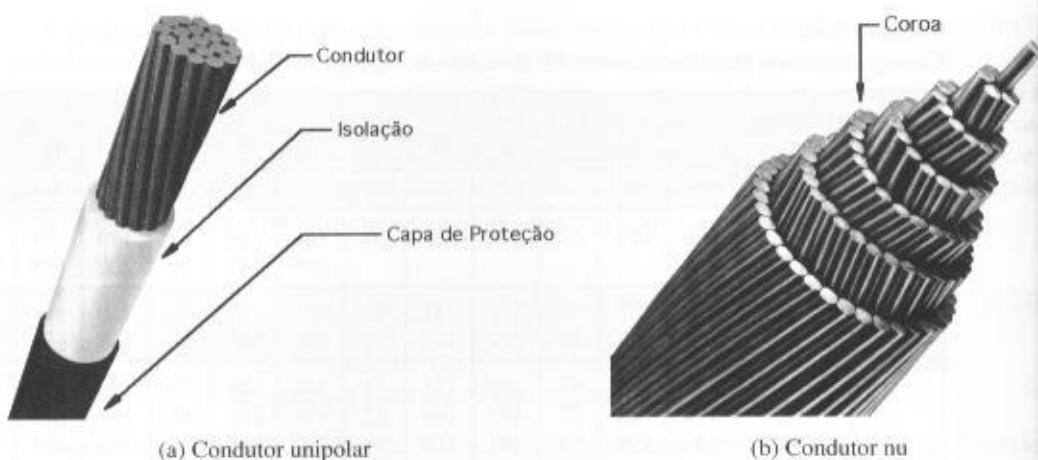
Com base no diagrama unifilar da Figura 9.1, tem-se:

**Transformador trifásico de 750 kVA, tensão nominal primária 13.800 V, tensão nominal secundária 380 Y/220 V, com derivações 13.800/13.200/12.600 V, dispondendo de ligação dos enrolamentos em triângulo primário e em estrela secundária com neutro acessível, impedância nominal percentual de 5,5 %, freqüência de 60 Hz, perdas máximas no cobre de 8.500 W, perdas máximas no ferro de 2.000 W e tensão suportável de impulso 95 kV.**

## 9.3.14 Cabos de Baixa Tensão (13)

Os condutores isolados são constituídos de fios de cobre mole em que a resistência mecânica à tração não é fator preponderante. Podem mais comumente ser assim construídos:

**FIGURA 9.42**  
Formação dos condutores



a) Fios e cabos com encordoamento simples

Quando o condutor é formado por um único fio ou por duas ou mais camadas de fios (coroas) de mesma seção transversal, concêntricas a um fio, conforme mostrado pela Figura 9.42 (a) e (b).

b) Cabos redondos com encordoamento compacto

São aqueles resultantes da compactação do cabo de encordoamento simples através de uma matriz, reduzindo a sua seção transversal e os espaços existentes entre os fios, conforme visto na Figura 9.9.

Em geral, os cabos singelos apresentam os seguintes tipos de encordoamento:

- seções de 1,5 a 6 mm<sup>2</sup>: encordoamento redondo normal;
- seções superiores a 6 mm<sup>2</sup>: encordoamento redondo compactado.

Os cabos são, em geral, isolados com dielétricos sólidos, cujo comportamento térmico e mecânico está classificado a seguir.

a) Termoplásticos

São materiais isolantes que, ao serem submetidos a uma elevação de temperatura, se mantêm em estado sólido até 120°C, tornando-se pastosos e finalmente líquidos se esta sofrer acréscimos sucessivos.

O dielétrico termoplástico mais comumente utilizado é o cloreto de polivinila (PVC).

b) Termofixos

São materiais isolantes que, ao serem submetidos a temperaturas elevadas, acima do seu limite, se carbonizam, sem passarem pelo estado líquido.

Comparativamente ao isolamento termoplástico, o dielétrico termofixo permite, para uma mesma seção transversal de um condutor, uma capacidade nominal de corrente significativamente superior.

Os dielétricos termofixos mais comumente utilizados são o polietileno reticulado (XLPE) e a borracha etilenopropileno (EPR).

Muito se tem discutido sobre as vantagens de um ou outro isolante. Os cabos isolados em EPR são mais flexíveis do que aqueles isolados em XLPE. Outras vantagens são anuladas quando se está trabalhando em tensão secundária.

### 9.3.14.1 Especificação sumária

O pedido de aquisição de um condutor secundário deve conter no mínimo as seguintes informações:

- seção nominal, em mm<sup>2</sup>;
- classe de tensão;
- natureza do material condutor (cobre ou alumínio);
- material da isolação;

- material da capa de proteção;
- tipo (isolado, unipolar, bipolar, tripolar, quadripolar);
- tamanho da bobina.

Com base no diagrama unifilar da Figura 9. 1, tem-se:

**Cabo de cobre unipolar isolado em PVC, 750 V, seção transversal de 300 mm<sup>2</sup>, capa de PVC, em bobina de 100 m.**

### 9.3.15 Disjuntor de Baixa Tensão (14)

É um equipamento de comando e de proteção de circuitos de baixa tensão, cuja finalidade é conduzir continuamente a corrente de carga sob condições nominais e interromper correntes anormais de sobrecarga e de curto-círcito.

#### 9.3.15.1 Quanto ao tipo de construção

##### a) Disjuntores abertos

São aqueles em que o mecanismo de atuação, o dispositivo de disparo e outros são montados em estrutura, normalmente metálica, do tipo aberto. Em geral, são disjuntores trifásicos de corrente nominal elevada e próprios para montagem em quadros e painéis. Podem ser acionados manualmente ou a motor. São utilizados como chaves de comando e de proteção de circuitos de distribuição de motores, de transformadores e de capacitores. Nesse tipo de disjuntor, seus vários componentes podem ser substituídos em caso de avaria.

##### b) Disjuntores em caixa moldada

São aqueles em que o mecanismo de atuação, o dispositivo de disparo e outros são montados dentro de uma caixa moldada em poliéster especial ou fibra de vidro, oferecendo o máximo de segurança de operação e elevada rigidez, e ocupando um espaço por demais reduzido em quadros e painéis.

#### 9.3.15.2 Quanto ao tipo de operação

##### a) Disjuntores termomagnéticos

São aqueles dotados de disparadores térmicos de sobrecarga e eletromagnéticos de curto-círcuito.

##### b) Disjuntores somente térmicos

São destinados exclusivamente à proteção contra sobrecargas.

##### c) Disjuntores somente magnéticos

São semelhantes aos disjuntores termomagnéticos quanto ao aspecto externo. Diferenciam-se destes por serem dotados somente do disparador eletromagnético. São utilizados quando se deseja proteção apenas contra correntes de curto-círcito.

##### d) Disjuntores limitadores de corrente

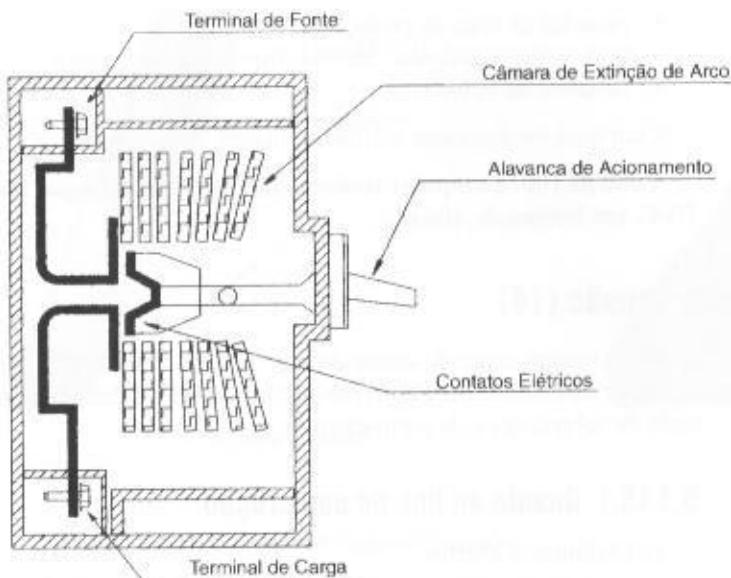
São aqueles que limitam o valor e duração das correntes de curto-círcito, proporcionando uma redução substancial dos esforços térmicos e eletrodinâmicos. Nesses disjuntores, os contatos são separados pelo efeito das forças eletrodinâmicas de grande intensidade que se originam nas correntes de curto-círcito de valor elevado, fazendo o disjuntor abrir antes que o relé eletromagnético seja sensibilizado. A Figura 9.43 mostra esquematicamente a parte interior de um disjuntor, enfocando os contatos e a câmara de interrupção.

#### 9.3.15.3 Quanto ao tipo de construção do elemento térmico

##### a) Disjuntores sem compensação térmica

São aqueles calibrados a uma temperatura de 25°C. Esses disjuntores, quando utilizados em ambientes cuja temperatura é superior a 25°C, normalmente comum nas instalações em quadros e

**FIGURA 9.43**  
Vista interior do disjuntor limitador de corrente de baixa tensão



painéis, devem ter a sua corrente nominal corrigida de tal modo que fique reduzida a 70% de seu valor. Isso se deve ao efeito térmico duplo a que o bimetal é submetido, tanto pela temperatura ambiente, quanto pela dissipação de calor próprio produzido pela corrente de carga.

#### b) Disjuntores tropicalizados

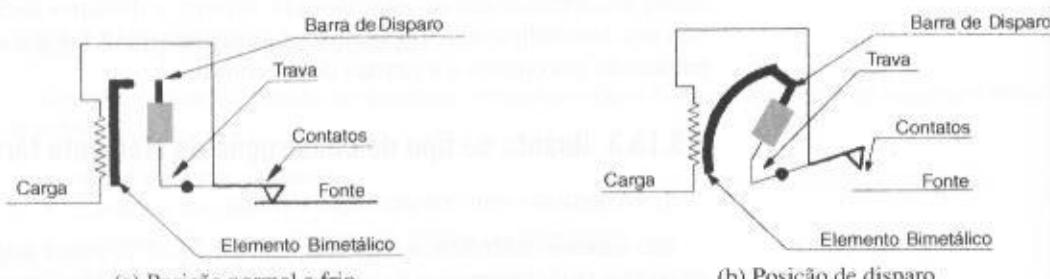
São aqueles calibrados, em média, a uma temperatura de 50°C. Alguns fabricantes calibraram os seus disjuntores para uma temperatura de 50°C, enquanto outros admitem uma temperatura de 55°C.

Os disjuntores tropicalizados, quando utilizados em ambientes cuja temperatura é igual ou inferior aos limites anteriormente mencionados, podem ser carregados até a uma corrente correspondente ao seu valor nominal. Para temperaturas superiores, porém, o que pode ocorrer em quadros e painéis de distribuição industriais, a corrente nominal dos disjuntores deve ser corrigida de modo ficar reduzida a 80% de seu valor.

### 9.3.15.4 Principais elementos de proteção de um disjuntor

#### a) Disparador térmico simples

É constituído de um elemento bimetálico que consiste em duas lâminas de metal soldadas, com diferentes coeficientes de dilatação térmica. Quando sensibilizadas por uma determinada quantidade de calor resultante de uma corrente de valor superior ao estabelecido para esta unidade, essas lâminas se curvam de modo que o metal de maior dilatação térmica adquire a posição que corresponde ao maior arqueamento da lâmina, provocando o deslocamento da barra de disparo que destrava o mecanismo que mantém a continuidade do circuito. Assim, a alavanca do disjuntor assume a posição disparado, intermediária entre as posições ON (ligado) e OFF (desligado). A Figura 9.44 indica, esquematicamente, a atuação do elemento bimetálico simples, tanto na posição de operação normal, quanto na posição de disparo.



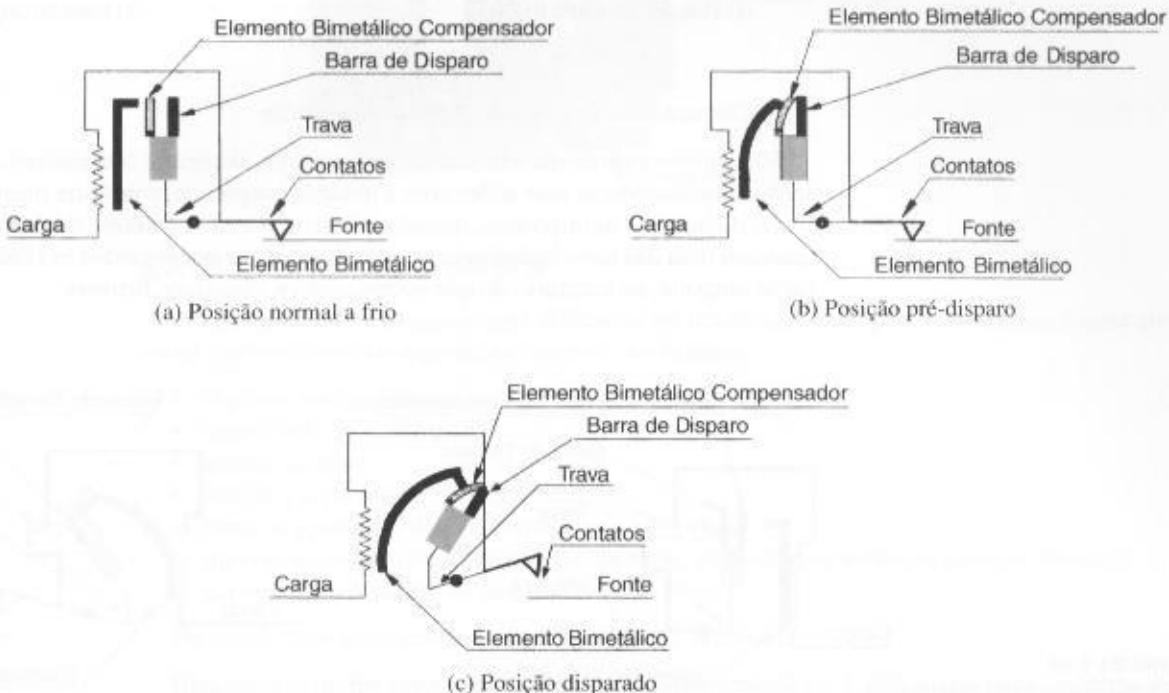
**FIGURA 9.44**  
Disparador térmico simples

### b) Disparador térmico compensado

É constituído de um elemento térmico principal que atua mecanicamente sobre outro elemento térmico compensador que neutraliza o efeito da elevação de temperatura do ambiente em que o disjuntor está operando.

Esse sistema proporciona a utilização da corrente nominal do disjuntor até a uma temperatura de 50°C, em média. A Figura 9.45 ilustra a atuação do mecanismo de compensação desse disparador que, no restante, se assemelha ao disparador térmico simples.

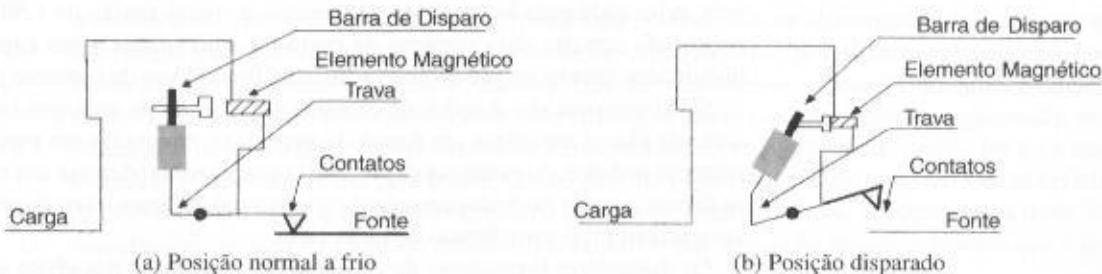
**FIGURA 9.45**  
Disparador térmico compensado



### c) Disparador magnético

É constituído de uma bobina que, quando atravessada por uma determinada corrente de valor superior ao estabelecido para essa unidade, atrai o induzido e se processa a ação de desengate do mecanismo que mantém a continuidade do circuito, fazendo com que os contatos do disjuntor se separem. A Figura 9.46 indica o estado de operação.

**FIGURA 9.46**  
Disparador magnético



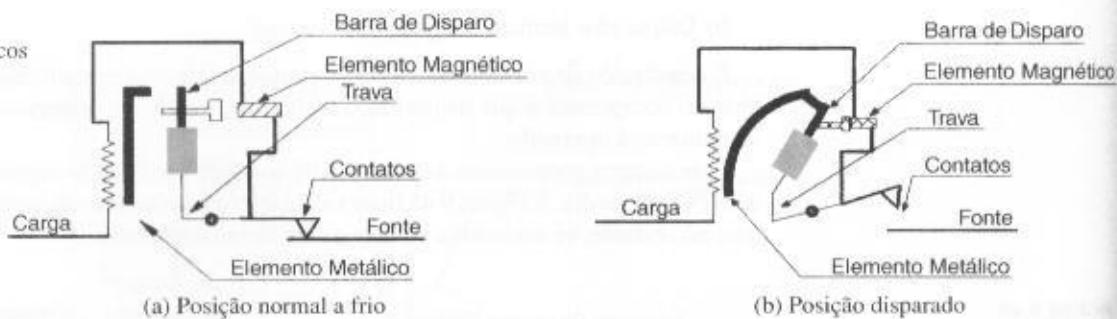
Os disparadores magnéticos apresentam erro de operação em torno de  $\pm 10\%$  em relação ao valor da corrente de ajuste.

### d) Disparadores termomagnéticos não compensados

Nos disjuntores em que se combinam as ações térmica e magnética, o dispositivo de disparo do bimetálico está mecanicamente acoplado ao dispositivo magnético de curto-círcuito, proporcionando uma atuação combinada que pode ser vista através das curvas de característica de tempo  $\times$  corrente no Capítulo 10. A Figura 9.47 ilustra este tipo de atuação.

FIGURA 9.47

Disparadores termomagnéticos não compensados



e) Disparadores termomagnéticos compensados

São aqueles cuja unidade térmica é composta dos elementos bimetálicos simples e de compensação, combinando as suas ações com a unidade magnética, conforme ilustração da Figura 9.48.

Os disjuntores multipolares, quando submetidos a uma corrente de defeito ou sobrecarga em qualquer uma das fases isoladamente, abrem simultaneamente todos os pólos, evitando uma operação unipolar, ao contrário do que ocorre com os elementos fusíveis.

FIGURA 9.48

Disparadores termomagnéticos compensados



A proteção de circuitos através de disjuntores leva uma grande vantagem quando comparada à proteção através de fusíveis. As características de tempo  $\times$  corrente dos disjuntores podem ser ajustáveis, ao contrário dos fusíveis, que ainda podem ter as suas características de tempo  $\times$  corrente alteradas quando submetidos à intensidade de corrente próxima à do valor de fusão. Entretanto, os disjuntores apresentam uma capacidade de interrupção geralmente inferior à dos fusíveis, principalmente as unidades de corrente nominal abaixo de 1.500 A. Quando instalados em pontos do circuito cuja corrente de curto-círcuito supera a sua capacidade de interrupção, os disjuntores devem ser pré-ligados a fusíveis limitadores de corrente para protegê-los.

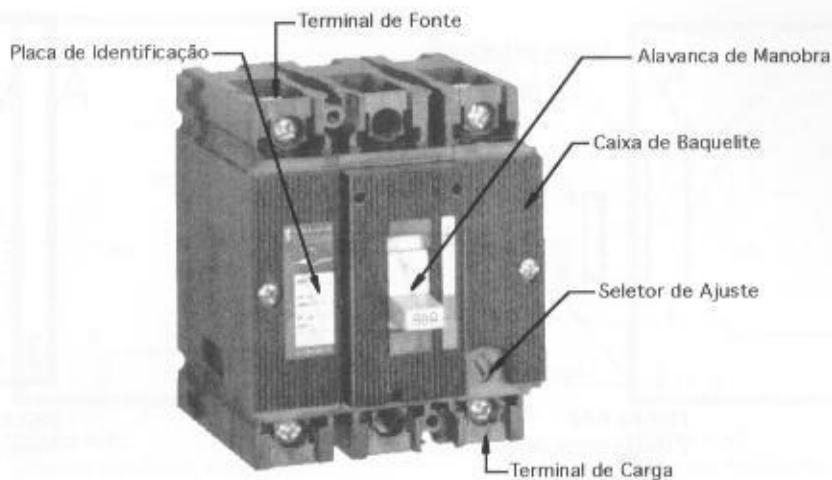
Os disjuntores são dotados de câmaras de extinção de arco que, em geral, consistem em uma série de placas metálicas em forma de veneziana, montadas em paralelo entre dois suportes de material isolante. As ranhuras das referidas placas sobrepõem-se aos contatos, atraindo o arco que se forma, a partir do deslocamento do contato móvel, para o seu interior, confinando-o e dividindo-o num tempo aproximado de meio ciclo.

Os disjuntores limitadores de corrente, quando atuam por efeito eletrodinâmico, o fazem em tempo aproximado de 2 ms. Como são dotados, também, de disparadores eletromagnéticos, estes são ajustados acima do valor que corresponde à atuação eletrodinâmica.

A Figura 9.49 mostra a parte frontal de um disjuntor de baixa tensão, indicando os dispositivos de ajuste dos disparadores térmicos e eletromagnéticos.

Os detalhes de dimensionamento de disjuntores e os ajustes necessários dos disparadores térmicos e eletromagnéticos serão abordados no Capítulo 10.

**FIGURA 9.49**  
Vista frontal de um disjuntor de baixa tensão



### 9.3.15.5 Especificação sumária

A aquisição de um disjuntor, para utilização em um determinado ponto do sistema, requer que sejam discriminados os seguintes elementos, no mínimo:

- corrente nominal de operação;
- capacidade de interrupção;
- tensão nominal;
- freqüência nominal;
- faixa de ajuste dos disparadores;
- tipo (termomagnético, limitador de corrente, somente magnético ou somente térmico);
- acionamento (manual ou motorizado).

De acordo com o diagrama unifilar da Figura 9.1, tem-se:

**Disjuntor tripolar termomagnético, corrente nominal de 1.250 A, corrente mínima de interrupção de 45 kA, faixa de ajuste do relé térmico (700 a 1.250) A, faixa de ajuste do relé eletromagnético (4.000 a 8.000) A, acionamento manual frontal, freqüência nominal de 60 Hz e tensão nominal 660 V.**

### 9.3.16 Voltímetro de Ferro Móvel (15)

É destinado ao registro instantâneo da tensão em sistemas de corrente alternada ou contínua.

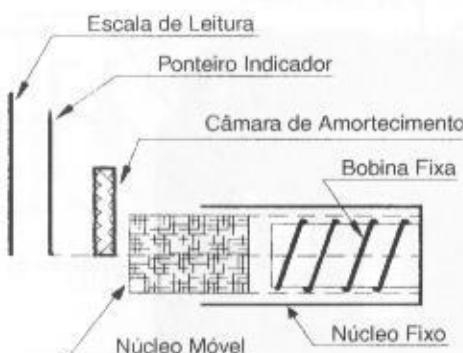
Compõe-se de uma bobina fixa que age magneticamente sobre dois núcleos concêntricos de ferro doce não magnetizados, sendo um fixo e outro móvel. Ao ser alimentada a bobina, cria-se um campo magnético que atua sobre os dois núcleos referidos que, por estarem submetidos a polaridades iguais, tendem a se repelir. Estando fixo um dos núcleos, consequentemente o núcleo móvel a que está preso um ponteiro indicador sofrerá um deslocamento angular, registrando, em escala adequada, o valor correspondente da tensão do circuito. Quanto mais intenso for o campo magnético da bobina, maior será a deflexão do referido ponteiro. Quando o núcleo móvel deflete em torno do seu eixo, movimenta também a câmara de amortecimento, o ponteiro e a mola de compressão que tem a finalidade de fazer o conjunto voltar à posição inicial, à medida que a intensidade do campo diminui.

A Figura 9.50 mostra esquematicamente um corte longitudinal de um voltímetro de ferro móvel cuja aplicação é mais acentuada, enquanto a Figura 9.51 apresenta a vista frontal do mesmo voltímetro.

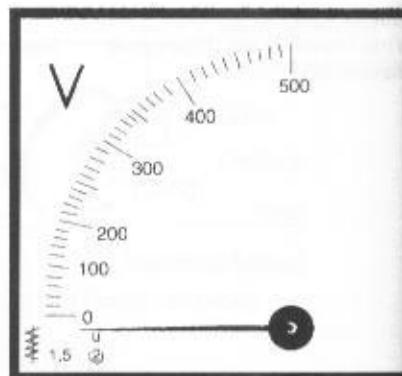
Os voltímetros são comercializados mais comumente com as seguintes dimensões:

- 144 × 144 mm – abertura do painel: 138 × 138 mm;
- 96 × 96 mm – abertura no painel: 92 × 92 mm;
- 72 × 72 mm – abertura no painel: 69 × 69 mm.

Existem também voltímetros com dimensões retangulares e mais raramente com formato circular. A Figura 9.51 mostra um voltímetro de aplicação em painéis de controle com escala de 0 a 500 V.



**FIGURA 9.50**  
Componentes de um voltímetro



**FIGURA 9.51**  
Vista frontal de um voltímetro

O valor de fundo de escala deve ser pelo menos 25% superior ao valor da tensão nominal do sistema.

Os voltímetros são ligados diretamente à rede em sistemas de baixa tensão ou através de transformadores de potencial em sistemas primários.

### 9.3.16.1 Especificação sumária

É necessário que na compra de voltímetros se estabeleçam os seguintes elementos:

- dimensões;
- fundo de escala;
- tipo (ferro móvel, bobina móvel - não descrito neste livro);
- freqüência nominal.

O voltímetro representado no diagrama unifilar da Figura 9.1 pode ser assim descrito:

**Voltímetro de ferro móvel, dimensões 96 × 96 mm, escala de 0 a 500 V e freqüência de 60 Hz.**

## 9.3.17 Amperímetro de Ferro Móvel (16)

É destinado à indicação instantânea de corrente, tanto em sistemas de corrente contínua como em sistemas de corrente alternada.

O seu princípio de funcionamento corresponde ao que já foi exposto para o voltímetro de ferro móvel.

Os amperímetros são comercializados com as mesmas dimensões padronizadas para os voltímetros. Normalmente, são fabricados para suportarem 50 vezes a carga nominal durante 1 s, 4 vezes a carga nominal aproximadamente durante 3 min, e 2 vezes a carga nominal durante 10 min.

Em geral, deve-se dimensionar o fundo de escala de um amperímetro para o mínimo de 150% do valor da corrente prevista para o circuito a ser medido.

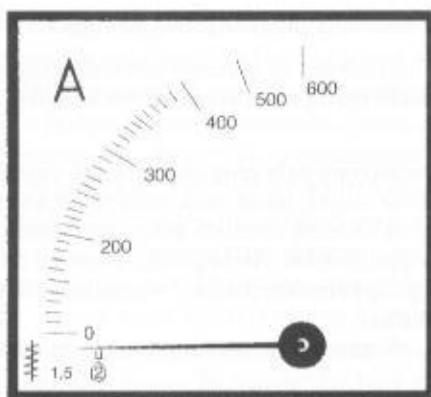
Os amperímetros, em geral, são conectados aos barramentos dos painéis através de transformadores de corrente que podem ser dimensionados em função da corrente de carga do ponto onde será instalado. Os amperímetros de conexão direta são fabricados para corrente nominal de, no máximo, 100 A.

A Figura 9.52 mostra a vista frontal de um amperímetro, enquanto a Figura 9.53 indica as faixas de escala para medição e sobrecarga.

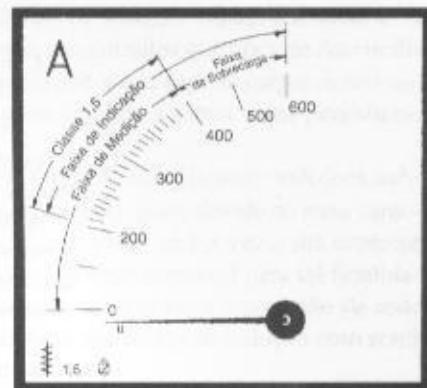
Em geral, os amperímetros conectados através de transformadores de corrente são comercializados com as escalas indicadas na Tabela 9.13.

### 9.3.17.1 Especificação sumária

É necessário que se estabeleçam no pedido de compra para amperímetros, no mínimo, os elementos relacionados na página seguinte.



**FIGURA 9.52**  
Vista frontal de um amperímetro



**FIGURA 9.53**  
Faixa das escalas de um amperímetro

**TABELA 9.13**  
Escala de amperímetros

Dimensões (mm)	Escala	Dimensões (mm)	Escala
	100/5		600/5
	200/5		800/5
96 × 96	400/5		1.000/5
	600/5	144 × 144	1.500/5
	1.000/5		2.000/5
	100/5		3.000/5
144 × 144	200/5		4.000/5
	400/5		5.000/5

- dimensões;
  - fundo de escala ou faixa de escala;
  - tipo;
  - frequência nominal.

O amperímetro indicado no diagrama unifilar da Figura 9.1 pode ser assim descrito:

Amperímetro de ferro móvel, dimensões 96 × 96 mm, fundo de escala de 400 A e frequência de 60 Hz.

### 9.3.18 Fusível de Baixa Tensão (17)

É um dispositivo dotado de um elemento metálico com seção reduzida na sua parte média, normalmente colocado no interior de um corpo de porcelana hermeticamente fechado contendo areia de quartzo de granulometria adequada.

Segundo a IEC 269, os fuscíveis para aplicações industriais apresentam a seguinte classificação:

- gI – são fusíveis limitadores de corrente que têm a capacidade de interromper desde a corrente mínima de fusão até a capacidade nominal de interrupção;
  - gII – obedecem às mesmas características anteriores diferindo, no entanto, daquelas, nos seguintes aspectos:
    - até  $I_{nf} = 50$  A, os fusíveis gII são mais rápidos do que os fusíveis gI;
    - entre  $100 \leq I_{nf} < 1.000$  A, os fusíveis gI e gII têm as mesmas características;
    - nas aplicações domésticas, as capacidades de interrupção dos fusíveis gI e gII são divergentes.

Os fusíveis gI e gII se caracterizam pela proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos.

- aM – são fusíveis limitadores de corrente que têm a capacidade de interromper a corrente desde um determinado múltiplo da sua corrente nominal até a sua capacidade de interrupção.

Os fusíveis aM se caracterizam pela proteção somente contra as correntes de curtos-circuitos. Por isso, é necessário que se utilize, neste caso, uma proteção contra sobrecarga.

A IEC ainda classifica os fusíveis como de aplicação doméstica e industrial. Os primeiros são acessíveis a pessoas não qualificadas. Ao segundo, somente devem ter acesso pessoas autorizadas. Essa classificação implica as características construtivas dos fusíveis quanto ao acesso às partes vivas no caso de substituição.

O elemento metálico, em geral, é de cobre, prata ou estanho. O corpo de porcelana é de alta resistência mecânica.

A atuação de um fusível é proporcionada pela fusão do elemento metálico quando percorrido por uma corrente de valor superior ao estabelecido na sua curva de característica tempo × corrente. Após a fusão do elemento fusível, a corrente não é interrompida instantaneamente, pois a indutância do circuito a mantém por um curto intervalo de tempo, circulando através do arco formado entre as extremidades do elemento metálico sólido.

A areia de quartzo, que é o elemento extintor do fusível, absorve toda a energia calorífica produzida pelo arco, cujo vapor do elemento metálico fundido fica envolvido por esta, resultando no final um corpo sólido isolante que mantém a extremidade do fusível ligado à carga eletricamente separada da outra extremidade ligada à fonte. As principais características elétricas dos fusíveis são:

a) Corrente nominal

É aquela que pode percorrer o fusível por tempo indefinido sem que este apresente um aquecimento excessivo. O valor da corrente de fusão de um fusível é normalmente estabelecido em 60% superior ao valor indicado como corrente nominal.

b) Tensão nominal

É aquela que define a tensão máxima de exercício do circuito em que o fusível deve operar regularmente.

c) Capacidade de interrupção

É o valor máximo eficaz da corrente simétrica de curto-circuito que o fusível é capaz de interromper, dentro das condições de tensão nominal e do fator de potência estabelecido.

Os fusíveis do tipo NH e diazed devem operar satisfatoriamente nas condições de temperatura ambiente para as quais foram projetados. Quanto mais elevada a temperatura a que está submetido, mais rapidamente o elemento fusível alcança a temperatura de fusão.

Os fusíveis do tipo NH apresentam características de limitação da corrente de impulso. Isto é particularmente válido na proteção da isolação dos condutores e equipamentos de comando e manobra, pois a limitação da intensidade da corrente de curto-círcito implica valores mais reduzidos das solicitações térmicas e eletrodinâmicas sofridas por estes. Através das Figuras 10.26 e 10.27, pode-se determinar esta limitação entrando-se com o valor da corrente de curto-círcito simétrica (valor inicial efetivo), calculado no ponto de instalação do fusível ( $I_{ex} = 40$  kA da Figura 10.27) no eixo das ordenadas, traçando-se uma reta até atingir a curva do fusível ( $I_s = 224$  A), e, então, obtendo-se o valor da corrente limitada ( $I_l = 20$  kA). Sem o fusível, a corrente de curto-círcito atingiria o valor de crista igual a 80 kA. O gráfico é particularmente válido para fator de potência de curto-círcito igual ou inferior a 0,7.

Quando as correntes de curto-círcito são de grande intensidade, a aplicação de disjuntores torna-se onerosa na maioria dos casos. Portanto, a utilização de fusíveis limitadores de corrente é bastante comum como proteção contra as correntes de defeito, deixando-se a proteção contra sobrecarga para a responsabilidade do disjuntor, cuja capacidade de ruptura poderá ser bastante reduzida e, portanto, de custo inferior.

A atuação dos fusíveis do tipo diazed e NH obedece às características de tempo × corrente que são definidas pelas normas específicas como sendo a curva média de fusão × corrente que caracteriza o tempo médio correspondente à fusão do elemento fusível.

Os fusíveis NH e diazed são providos de indicadores de atuação do elemento fusível. O indicador é constituído de um fio ligado em paralelo ao elemento fusível, que quando se funde provoca a fusão do fio mencionado que sustenta uma mola pressionada, provocando a liberação do dispositivo indicador, normalmente caracterizado pela cor vermelha.

Os fusíveis são fabricados com duas características distintas de atuação: rápida e retardada. O fusível de característica rápida é mais comumente empregado nos circuitos que operam em condições de corrente inferior à corrente nominal, como é o caso de circuitos que suprem cargas resisitivas. Já o fusível de efeito retardado é mais adequado aos circuitos sujeitos a sobrecargas periódicas, como no caso de motores e capacitores.

A aplicação dos fusíveis limitadores como elemento de proteção dos circuitos elétricos submetidos a correntes que definem uma sobrecarga não é aconselhável, pois, devido às suas características de abertura para corrente com intensidade variando em torno de 1,4 vez a sua corrente nominal, não se obtém desses dispositivos uma margem de segurança aceitável para tal finalidade. Assim, esses fusíveis devem somente ser dimensionados tendo em vista a proteção da rede para correntes de curto-círcuito, ou de sobrecarga caracterizada por motor de indução com rotor bloqueado, apesar de representar uma proteção pouco segura.

A Figura 9.54 mostra os diversos elementos componentes de um fusível do tipo diazed. Já a Figura 9.55 apresenta os detalhes construtivos dos fusíveis NH, enquanto a Figura 9.56 mostra, respectivamente, o fusível do tipo NH e a sua base correspondente.

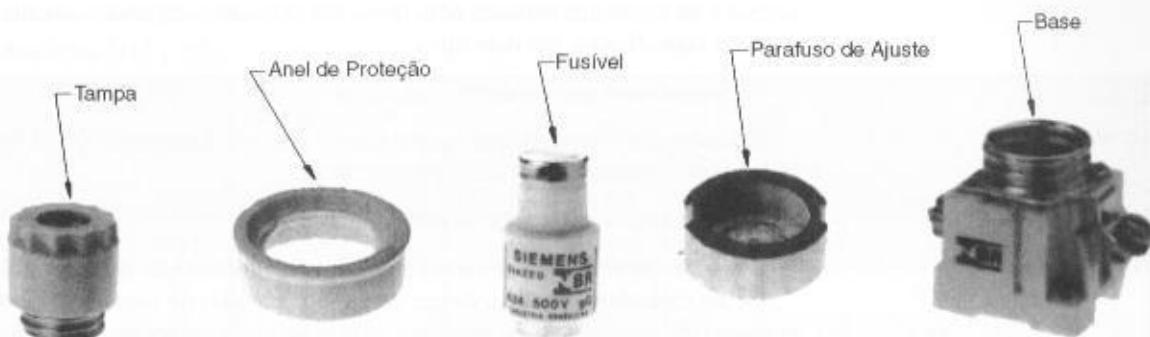


FIGURA 9.54  
Conjunto fusível diazed

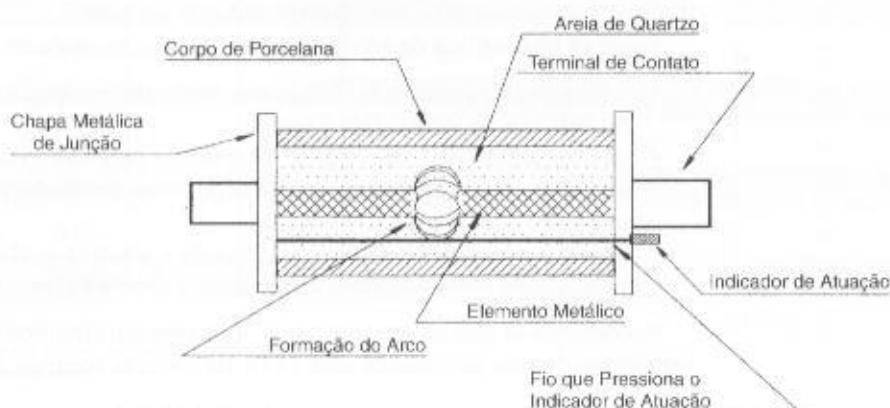


FIGURA 9.55  
Fusível tipo NH

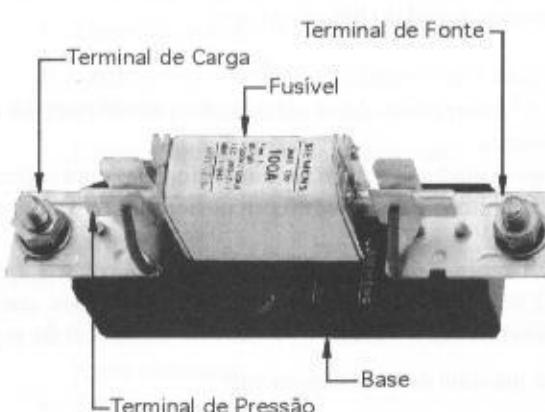


FIGURA 9.56  
Base para fusível NH

### 9.3.18.1 Especificação sumária

No pedido de compra de um fusível, devem constar, no mínimo, os seguintes elementos:

- corrente nominal;
- tamanho da base (fusível NH);
- capacidade de ruptura;
- característica da curva tempo × corrente (rápido ou com retardo);
- componentes (fusível diazed: base, tampa, parafuso de ajuste, anel de proteção e fusível).

O fusível indicado no diagrama da Figura 9.1 pode ser assim descrito:

**Fusível tipo NH, corrente nominal de 160 A, capacidade de ruptura de 100 kA, base tamanho 2, tipo retardado.**

### 9.3.19 Chave Seccionadora Tripolar de Baixa Tensão (18)

É um equipamento capaz de permitir a abertura de todos os condutores não aterrados de um circuito, de modo que nenhum pólo possa ser operado independentemente. Os seccionadores podem ser classificados em dois tipos:

- a) Seccionador com abertura sem carga

É aquele que somente deve operar com o circuito desenergizado ou sob tensão. É o caso das chaves seccionadoras com abertura sem carga.

- b) Seccionador sob carga ou interruptor

É aquele capaz de operar com o circuito desde a condição de carga nula até a de carga plena.

Os seccionadores de atuação em carga são providos de câmaras de extinção de arco e de um conjunto de molas capaz de imprimir uma velocidade de operação elevada.

A principal função dos seccionadores é permitir que seja feita manutenção segura numa determinada parte do sistema. Quando os seccionadores são instalados em circuitos de motores devem desligar tanto os motores como o dispositivo de controle.

Sobre os dispositivos de seccionamento, pode-se estabelecer:

- a posição dos contatos ou dos outros meios de seccionamento deve ser visível do exterior ou indicada de forma clara e segura;
- os dispositivos de seccionamento devem ser projetados e/ou instalados de forma a impedir qualquer restabelecimento involuntário. Esse restabelecimento poderia ser causado, por exemplo, por choque ou vibrações;
- devem ser tomadas medidas para impedir a abertura inadvertida ou desautorizada dos dispositivos de seccionamento apropriados à abertura sem carga.

Recomenda-se que os seccionadores utilizados em circuitos de motores de até 600 V devem ser dimensionados pelo menos para 115% da corrente nominal, isto é:

$$I_{sec} = 1,15 \times I_{nom} \quad (9.18)$$

Quando são instalados em circuitos de capacitor, devem ser dimensionados pelo menos para 135% da corrente nominal do banco, ou seja:

$$I_{sec} = 1,35 \times I_{cap} \quad (9.19)$$

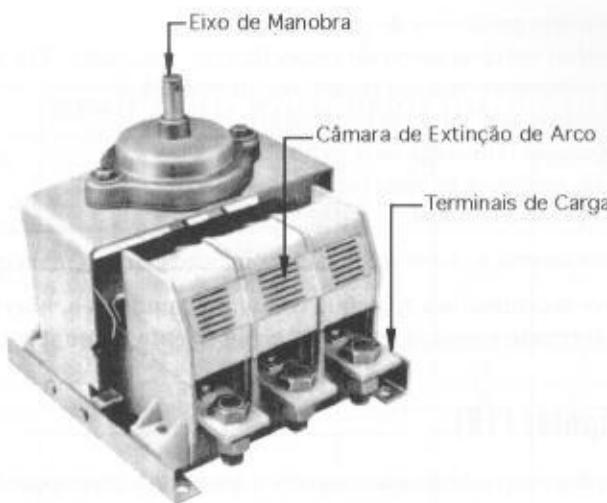
A Figura 9.57 mostra uma chave seccionadora de abertura em carga, indicando-se os seus principais componentes.

As chaves seccionadoras devem ser dimensionadas para suportar, durante o tempo de 1 s a corrente de curto-círcuito, o valor eficaz (corrente térmica) e o valor de crista da mesma corrente (corrente dinâmica).

A Tabela 9.14 fornece as principais características elétricas das chaves seccionadoras dos tipos 5TH e S32 de fabricação Siemens. Para outros detalhes, consultar catálogo específico do fabricante. De acordo com a Tabela 9.14, deve-se esclarecer as seguintes definições:

- Corrente máxima de estabelecimento

**FIGURA 9.57**  
Chave seccionadora tripolar de baixa tensão



**TABELA 9.14**  
Chaves seccionadoras dos tipos 5HT e S32 – Siemens

Tipo	Corrente Nominal (A)			Corrente de Interrupção para FP = 0,35		Corrente Máxima de Estabelecimento	Corrente Presumida de Curto-circuito com Fusíveis	Corrente de Corte com Fusíveis	Fusíveis Máximos Permitidos
	AC21	AC22	AC23	440 V	500 V				
-	500 V	500 V	380 V	A	A	kA	kA	kA	A
5TH0 1040	40	40	32	304	-	1,36	50	8,2	63
5TH0 1063	63	63	45	304	-	2,15	50	9,55	80
5TH0 1125	125	125	60	480	-	4,25	50	13,5	125
S32-160/3	160	160	102	-	507	17	50	16	160
S32-250/3	250	250	139	-	1.020	22	50	27	250
S32-400/3	400	400	190	-	1.020	26	50	42	400
S32-630/3	630	630	382	-	2.530	59	50	54	630
S32-1000/3	1.000	1.000	447	-	2.530	78	50	70	1.000
S32-1250/3	1.250	1.250	870	-	3.780	110	50	70	1.250
S32-1600/3	1.600	1.250	870	-	3.780	110	50	-	-

AC21 - para ligação de cargas ôhmicas, incluindo pequenas sobrecargas

AC22 - para ligação de cargas mistas, ôhmicas e indutivas, incluindo pequenas sobrecargas

AC23 - para ligação de motores e outras cargas indutivas

É o valor de crista do primeiro semiciclo, num pólo da chave, durante o período transitório que se segue numa operação de fechamento.

- Corrente presumida de curto-circuito

É a corrente que circularia no circuito se cada pólo da chave fosse substituído por um condutor de impedância desprezível.

- Corrente de corte ou de interrupção

É aquela que se estabelece no circuito no início do processo de interrupção.

### 9.3.19.1 Especificação sumária

A compra de uma chave seccionadora deve acompanhar pelo menos os seguintes elementos:

- tensão nominal;
- corrente nominal;

- corrente presumida de curto-círcuito;
- fusível máximo admitido (especificar);
- acionamento (manual rotativo ou motorizado);
- contatos auxiliares (se necessário);
- operação (em carga ou a vazio);
- vida mecânica mínima (se necessário);
- frequência nominal.

Relativamente à chave seccionadora indicada no diagrama unifilar da Figura 9.1, tem-se:

**Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal 500 V, corrente nominal de 250 A, acionamento manual rotativo, sem contatos auxiliares.**

### 9.3.20 Contator Magnético Tripolar (19)

É um dispositivo de atuação magnética destinado à interrupção de um circuito em carga ou a vazio.

O seu princípio de funcionamento baseia-se na força magnética que tem origem na energização de uma bobina e na força mecânica proveniente do conjunto de molas preso à estrutura dos contatos móveis.

Quando a bobina é energizada, a força eletromecânica desta sobrepõe-se à força mecânica das molas, obrigando os contatos móveis a se fecharem sobre os contatos fixos aos quais estão ligados os terminais do circuito. A Figura 9.58 mostra as principais partes de um contator acoplado a um relé térmico.

Os contatores são construídos para suportar um elevado número de manobras. São dimensionados em função da corrente nominal do circuito, do número de manobras desejado e da corrente de desligamento no ponto de instalação.

A corrente de partida dos motores não tem praticamente nenhuma influência sobre a vida útil dos contatos dos contatores. No entanto, o ricochete pode reduzir drasticamente a duração dos contatos. Em geral, os contatores pequenos, quando têm os seus contatos danificados, tornam-se inutilizáveis; porém, os contatores de corrente nominal elevada possibilitam, em geral, a reposição dos contatos danificados.

A Figura 9.59 mostra um diagrama de comando de um contator de comando local com recurso de comando a distância, muito característico na aplicação de motores elétricos.

A Tabela 9.15 permite a escolha dos contatores da série 3TF de fabricação Siemens.

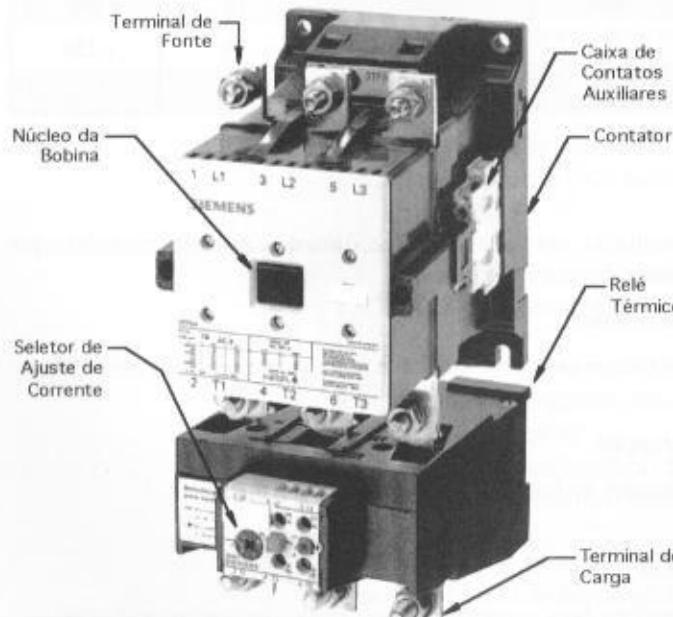


FIGURA 9.58

Componentes de um contator

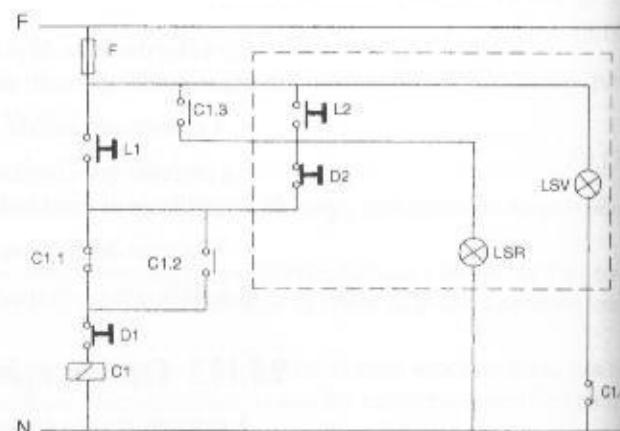


FIGURA 9.59

Esquema de comando de um contator

TABELA 9.15

Seleção de contadores do tipo 3TF – Siemens

Dados Técnicos	Tipo	3TF40 10	3TF41 10	3TF42 10	3TF43 10	3TF44 11	3TF45 11	3TF46 22	3TF47 22	3TF48 22	3TF49 22
		Tensão (V)	9	12	16	22	32	38	45	63	75
Corrente permanente em A	Até 690 V	21	21	32	32	65	65	90	100	120	120
CATEGORIA AC1: Manobra de cargas resistivas para FP superior 0,95	220	3	4	6	7,5	10	15	20	25	30	30
CATEGORIA AC2: Manobra de motores com rotor bobinado, em serviço normal	380	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60
CATEGORIA AC3: Manobra de motores com rotor de curto-círcuito, em regime normal. Potência em cv	440	6	7,5	10	15	25	30	30	50	60	60
CATEGORIA AC4: Manobra de motores com interrupção da corrente de partida com frenagem por contracorrente com inversão da rotação. Potência em cv	220	1	1,5	2	3	5	6	7,5	10	12,5	15
CATEGORIA AC4: Manobra de motores com interrupção da corrente de partida com frenagem por contracorrente com inversão da rotação. Potência em cv	380	1,5	2	4	5	10	12,5	15	15	20	25
CATEGORIA AC4: Manobra de motores com interrupção da corrente de partida com frenagem por contracorrente com inversão da rotação. Potência em cv	440	2	3	5	5	10	12,5	15	20	25	30
Fusível máximo - DZ ou NH (A)		16	16	25	25	63	63	100	125	160	160
Dados Técnicos	Tipo	3TF50 22	3TF51 22	3TF52 22	3TF53 22	3TF54 22	3TF55 22	3TF56 22	3TF57 22	3TF65 44	3TF69 44
		Tensão (V)	110	140	170	205	250	300	400	475	630
Corrente permanente em A	Até 690 V	170	170	230	240	325	325	425	600	700	910
CATEGORIA AC1: manobra de cargas resistivas para FP superior 0,95	220	50	60	75	75	100	125	150	200	250	350
CATEGORIA AC2: Manobra de motores com rotor bobinado, em serviço normal	380	75	100	125	150	175	200	250	300	450	600
CATEGORIA AC3: Manobra de motores com rotor de curto-círcuito, em regime normal. Potência em cv	440	75	100	125	150	200	250	300	350	500	600
CATEGORIA AC4: Manobra de motores com interrupção da corrente de partida com frenagem por contracorrente com inversão da rotação. Potência em cv	220	20	20	30	30	40	50	60	60	125	150
CATEGORIA AC4: Manobra de motores com interrupção da corrente de partida com frenagem por contracorrente com inversão da rotação. Potência em cv	380	30	40	50	60	75	75	100	100	200	200
CATEGORIA AC4: Manobra de motores com interrupção da corrente de partida com frenagem por contracorrente com inversão da rotação. Potência em cv	440	40	50	60	75	75	100	125	125	250	250
Fusível máximo - DZ ou NH (A)		224	224	224	224	224	400	400	500	1000	1250

### 9.3.20.1 Especificação sumária

Na compra de contadores devem ser fornecidos, no mínimo, os seguintes elementos:

- tensão nominal;
- freqüência nominal;
- corrente nominal;
- número mínimo de manobras;
- tensão nominal da bobina;
- número de contatos: NA (normalmente aberto) e NF (normalmente fechado).

Assim, com base no diagrama unifilar da Figura 9.1, pode-se descrever o contator como:

**Contator magnético tripolar para motor de 50 cv/380 V, tensão nominal 500 V, corrente nominal 75 A, número de manobras mínimo de 50.000, com bobina para tensão de 220 V, freqüência de 60 Hz, com dois contatos NA e 2 NF.**

### 9.3.21 Relé Bimetálico de Sobrecarga para Contatores (20)

São dispositivos dotados de um par de lâminas construídas com metais de diferentes coeficientes de dilatação linear que, quando sensibilizados pelo efeito térmico produzido por uma corrente de intensidade ajustada aquecendo o bimetal, provocam, pela dilatação térmica de suas lâminas, a operação de um contato móvel.

Os relés bimetais de sobrecarga são constituídos de modo a permitir ajustes de corrente nominal dentro de determinadas faixas que podem ser escolhidas conforme o valor da corrente e a natureza da carga. Quanto maior for o valor da corrente de sobrecarga, menor será o tempo decorrido para a atuação do relé térmico.

Normalmente, os relés de sobrecarga são acoplados a contatores, de largo emprego no acionamento de motores elétricos, podendo também manobrar circuitos em geral. Também os relés de sobrecarga são destinados à proteção de motores trifásicos que, por uma razão qualquer, como a queima de um fusível numa determinada fase, operam com alimentação bifásica.

Os relés de sobrecarga, quando aquecidos à temperatura de serviço, têm os tempos reduzidos nas suas curvas características de disparo, geralmente a 25% ou a 50% dos tempos indicados, dependendo do fabricante.

Os relés de sobrecarga devem ser protegidos contra as elevadas correntes de curto-círcuito. Normalmente, os fabricantes fornecem a capacidade máxima dos fusíveis que devem ser empregados no circuito para garantir a integridade do relé e que, em nenhuma hipótese, deve ser superada.

A Tabela 10.2 fornece as principais características dos relés 3UA de fabricação Siemens. Também no Capítulo 10 estão definidos os critérios para proteção através dos relés de sobrecarga, incluindo-se aí as curvas de atuação.

### 9.3.21.1 Especificação sumária

Para qualificar um relé são necessários, no mínimo, os seguintes dados:

- potência do motor que vai proteger;
- faixa de ajuste desejada;
- fusível máximo a ser usado;
- tipo do contator ao qual vai ser acoplado.

Relativamente à Figura 9.1, pode-se especificar assim o relé térmico.

**Relé térmico de sobrecarga para motor de 50 cv/380 V, faixa de ajuste de 63-90 A, acoplado ao contator (especificar o contator) e fusível máximo de proteção de 125 A, tipo aM.**

### 9.3.22 Chave Estrela-triângulo (21)

É um equipamento destinado à partida, com redução de corrente, de motores trifásicos, do tipo indução com disponibilidade de seis bornes para ligação.

As chaves estrela-triângulo são fabricadas para a operação manual ou automática. No primeiro caso, o tempo para a mudança da conexão estrela para triângulo é definido pelo operador, enquanto

to nas chaves automáticas toda operação é comandada por um relé de tempo que atua sobre os contadores componentes da chave, de acordo com o ajuste selecionado.

As chaves estrela-triângulo automáticas são compostas de:

- 3 fusíveis no circuito de comando;
  - 3 fusíveis no circuito de força;
  - 3 contatores;
  - 1 relé bimetálico;
  - 2 botoeiras;
  - 1 relé de tempo;
  - 1 lâmpada de sinalização verde;
  - 1 lâmpada de sinalização vermelha;
  - indicadores de medidas de tensão e corrente;
  - 1 transformador de comando.

A Figura 9.60 representa o diagrama de comando de uma chave estrela-triângulo automática. A sua operação é iniciada quando o contator C3 é energizado pelo acionamento da botoeira L que, em seguida, volta à sua posição inicial (aberta). Nesse instante, o contato auxiliar CA3.2 é fechado, permitindo a operação do contator C1, que se mantém fechado pelo seu próprio contato auxiliar CA1.1, iniciando, desse modo, o processo de partida do motor na configuração estrela. Já acionado pelo fechamento da botoeira L, o relé de tempo RT inicia a sua operação. Decorrido o tempo previsto para que o motor adquira a velocidade próxima à velocidade de regime, o relé de tempo RT abre o contato CRT1, desenergizando o contator C3 cujo contato CA3.3 é acionado, e energizando a bobina do contator C2. Nesse instante, o motor inicia o funcionamento na ligação triângulo.

A Figura 9.61 mostra o diagrama de ligação da chave estrela-triângulo anteriormente descrita.

As chaves estrela-triângulo têm o seu uso limitado pela frequência de manobras permitida pelo relé de sobrecarga. Em geral, essa limitação condiciona as chaves a um máximo de 15 manobras por hora.

Os contadores C1, C2 e C3 podem ser dimensionados de acordo com as seguintes expressões:

- Contator C1 e C2

$$I_{nr} = \frac{I_{nm}}{\sqrt{3}} \quad (9.20)$$

$I_{nomin}$  = corrente nominal do contador, em A;

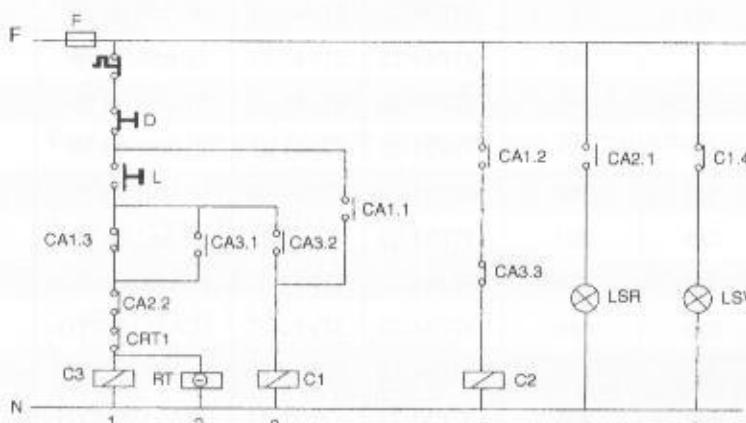
$I_n$  = corrente nominal do motor, em A

- #### • Contactor C3

$$I_{nc} = \frac{I_{nm}}{3} \text{ (A)} \quad (9.21)$$

- Relé bimetálico

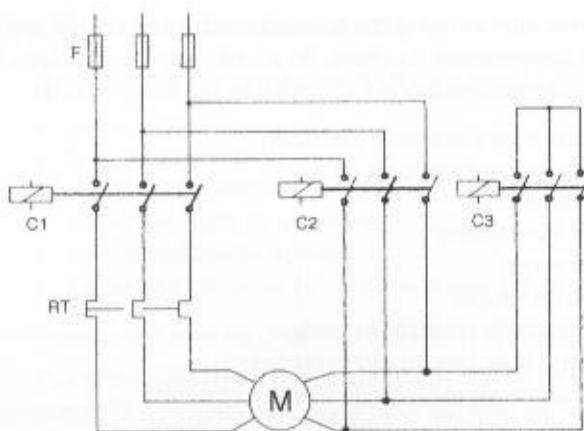
$$R_i = 0.58 \times I_{\text{nm}} \quad (9.22)$$



**FIGURA 9.60**  
Esquema de comando de uma  
dave estrela-triângulo

FIGURA 9.61

Esquema de ligação dos contadores de uma chave estrela-triângulo



A Tabela 9.16 permite a escolha das chaves estrela-triângulo de fabricação Siemens em função da potência nominal do motor.

### 9.3.22.1 Especificação sumária

Na compra de uma chave estrela-triângulo é necessário que se forneçam, pelo menos, os dados relacionados na página seguinte.

TABELA 9.16

Escolha das chaves estrela-triângulo – Siemens

Motores Trifásicos				Contatores Tipo 3TF		Relé de Sobrecarga		Fusível Máximo Retardado (A)		
Potências Máximas Nominais Admissíveis em Serviço AC3 (cv)			Corrente	C1 e C2	C3	Tipo 3UA	Faixa de Regulagem	A	DZ	NH
220 V	380 V	440 V	A							
10	15	20	28	3TF42-22	3TF40-11	3UA52 00-2A	10 - 16	25	25	
12,5	20	25 - 30	36	3TF43-22	3TF41-11	3UA52 00-2C	16 - 25	25	25	
15	25	-	38	3TF43-22	3TF42-11	3UA52 00-2C	16 - 25	25	25	
-	30	-	43	3TF44-22	3TF42-11	3UA55 00-2D	20 - 32	50	50	
20	40	40	56	3TF44-22	3TF43-11	3UA55 00-2D	20 - 32	63	63	
25	-	50	63	3TF45-22	3TF43-11	3UA55 00 - 2R	32 - 40	63	63	
30	50	60	74	3TF46-22	3TF44-11	3UA58 00 - 2F	32 - 50	80	80	
40	60 - 75	75	105	3TF47-22	3TF45-11	3UA58 00-2P	50 - 63	80	80	
50	-	100	120	3TF48-22	3TF46-22	3UA58 00-2U	63 - 80	125	125	
60	100	-	145	3TF49-22	3TF47-22	3UA58 00-8W	70 - 88	160	160	
75	125	125 - 150	180	3TF50-22	3TF47-22	3UA60 00-3H	90 - 120	160	160	
-	150	175	215	3TF51-22	3TF48-22	3UA61 00-3K	120 - 150	160	160	
100	175	200	250	3TF51-22	3TF49-22	3UA61 00-3K	120 - 150	224	224	
125	200	250	290	3TF52-22	3TF50-22	3UA62 00-3M	150 - 180		224	
150	250	300	350	3TF53-22	3TF51-22	3UA45 00-8YG	160 - 250		224	
-	300	350	410	3TF54-22	3TF51-22	3UA45 00-8YG	160 - 250		224	
175	-	-	430	3TF54-22	3TF52-22	3UA45 00-8YG	160 - 250		224	
200	350	400	475	3TF55-22	3TF52-22	3UA45 00-8YH	200 - 320		315	

- tensão nominal (a da rede);
- corrente nominal (ou potência do motor);
- freqüência nominal;
- tensão do circuito de comando;
- número de manobras desejadas;
- tipo de operação (manual ou automática);
- tipo de execução (blindada ou aberta);
- medidores indicadores (para execução blindada).

Relativamente à chave estrela-triângulo representada na Figura 9.1, tem-se:

**Chave estrela-triângulo automática, tensão nominal 380 V, para motor de potência nominal de 100 cv, freqüência nominal de 60 Hz, tensão do circuito de comando 220 V, número de manobras mínimo por hora = 5, execução blindada corrente nominal de 145 A, provida de um amperímetro de 300-5 A.**

### 9.3.23 Chaves de Partida Estática (22)

Atualmente este tipo de chave está ganhando o mercado de instalações industriais em substituição as chaves estrela-triângulo e compensadora, devido as suas vantagens operacionais e de desempenho. Assim, podem-se conseguir melhores resultados no controle da partida dos motores elétricos de indução comparativamente às tradicionais chaves de partida anteriormente mencionadas.

Muitos dados técnicos da chave de partida estática foram estudados no Capítulo 7, Seção 7.6.4. Para aplicação dessas chaves, é necessário que se conheça os seguintes procedimentos.

- a) Dados da instalação
  - tensão de alimentação do motor;
  - freqüência;
  - temperatura do ambiente onde irá operar o motor.
- b) Dados do motor
  - potência nominal;
  - tensão nominal;
  - corrente nominal;
  - velocidade angular;
  - conjugado nominal;
  - curva conjugado  $\times$  velocidade angular na partida direta;
  - curva corrente  $\times$  velocidade angular na partida direta.
- c) Dados da carga
  - potência da carga;
  - velocidade angular;
  - momento de inércia;
  - curva conjugado  $\times$  velocidade angular;
  - característica do conjugado da carga
    - constante;
    - linear;
    - quadrática;
    - decrescente.

Para caracterizar qual o tipo de conjugado para diferentes tipos de carga, estudar a Seção 7.3.2.

- d) Condições de partida
  - quantidade de partida por hora;
  - intervalo mínimo entre partidas sucessivas;
  - corrente máxima admitida pela instalação, em função da queda de tensão permitida, de acordo com a Seção 7.7.1;
  - tempo de partida máximo desejado.

A Tabela 9.17 fornece os elementos básicos de uma chave de partida estática de fabricação WEG.

TABELA 9.17

Seleção da chave de partida estática SSW-02 – WEG

Modelo	Corrente do Motor		Tensão da Rede					
	(3 × in por 30 s)	(4,5 × in por 30 s)	220 V		380 V		440 V	
			Potência do Motor					
	A	A	kW	cv	kW	cv	kW	cv
SSW-02.16	16	11	4	5,5	7,5	10	10	12,5
SSW-02.25	25	16	7	9	11	15	14,5	20
SSW-02.30	30	25	8	10	15	20	20	25
SSW-02.45	45	30	12	15	22	30	30	40
SSW-02.60	60	45	17	20	30	40	40	55
SSW-02.75	75	50	22	30	37	50	50	68
SSW-02.85	85	75	26	35	45	60	60	82
SSW-02.120	120	100	37	50	63	85	83	110
SSW-02.145	145	120	45	60	75	100	100	130
SSW-02.170	170	145	52	70	90	125	120	160
SSW-02.205	205	170	63	85	110	150	145	190
SSW-02.225	255	190	76	100	132	175	175	240
SSW-02.290	290	205	87	120	150	200	200	275
SSW-02.340	340	255	107	145	186	250	245	335
SSW-02.410	410	175	130	175	225	300	300	380
SSW-02.475	475	410	150	200	260	350	340	450
SSW-02.580	580	410	182	240	315	450	415	550
SSW-02.670	670	450	216	295	375	500	490	650
SSW-02.800	800	540	260	350	450	600	590	800
SSW-02.900	900	600	317	450	550	725	725	950
SSW-02.1100	1.100	750	364	500	630	850	830	1.050
SSW-02.1400	1.400	950	462	600	800	1.050	1.050	1.300

Com base nesses dados e seguindo a metodologia de cálculo da Seção 7.6.4, pode-se especificar a chave de partida estática da seguinte forma:

**Chave de partida estática para motor de 125 cv/380 V/IV pólos, freqüência 60 Hz, para carga diretamente solidária ao eixo do motor e de conjugado constante, para máximo de 5 partidas por hora.**

### 9.3.24 Chave Compensadora (23)

É um equipamento destinado à partida com tensão reduzida de motores de indução trifásicos. As chaves compensadoras são normalmente constituídas de:

- 3 fusíveis no circuito de comando;
- 3 fusíveis no circuito de força;
- 3 contatores;
- 1 autotransformador;

- 1 relé bimetálico;
- 2 botoeiras;
- 1 relé de tempo;
- 1 lâmpada de sinalização verde;
- 1 lâmpada de sinalização vermelha;
- 1 transformador de comando.

O Capítulo 7 aborda também este assunto no que diz respeito à sua aplicação e ao conjugado de partida do motor, fazendo comparações com as chaves estrela-triângulo. A Figura 9.62 representa o diagrama de comando de uma chave compensadora automática. A sua operação é iniciada quando, pressionando-se a botoeira L, se energiza a bobina do contator C3, conectando o autotransformador ATR (Figura 9.63) em estrela e energizando a bobina do contator C2 e do relé de tempo RT através do contato auxiliar CA3.1.

Com a abertura natural da botoeira L, através da ação de sua mola, as bobinas dos contatores C2, C3 e do relé de tempo RT continuam energizadas por meio do contato auxiliar CA2.1 do contator C2. O motor, então, inicia o arranque sob tensão reduzida, de acordo com o ajuste do tape do autotransformador ATR.

Decorrido um determinado tempo previamente ajustado de maneira que o motor adquira uma velocidade próxima da velocidade nominal, o relé de tempo RT abre o seu contato CRT1 desligando o contator C3, permitindo que o motor fique energizado com tensão de alimentação reduzida, ainda por algumas espiras do autotransformador. O contator C1 é energizado pelo contato auxiliar CA3.2, acionado pela operação de retorno do contator C3. O contator C1, quando operado, abre o contato auxiliar CA1.3, desenergizando o contator C2, permitindo, assim, que o motor fique submetido à tensão normal de alimentação.

A Figura 9.63 mostra o diagrama de ligação da chave compensadora anteriormente descrita. Os contatores C1, C2 e C3 podem ser dimensionados de acordo com as seguintes expressões:

- Contator C1

$$I_{nc} = I_{nm} \quad (9.23)$$

- Contator C2

$$I_{nc} = R_{tr}^2 \times I_{nm} \quad (9.24)$$

$R_{tr}$  – maior tape de ajuste (por exemplo, de 80%).

- Contator C3

$$I_{nc} = R_{tr} \times (1 - R_{tr}) \times I_{nm} \quad (9.25)$$

$R_{tr}$  – menor tape de ajuste (por exemplo, 65%).

A Tabela 9.18 permite que se escolha as chaves compensadoras de fabricação Siemens em função da potência nominal do motor.

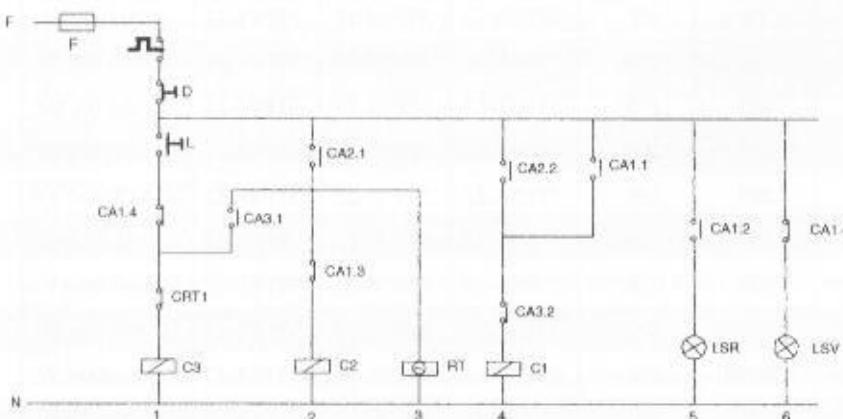
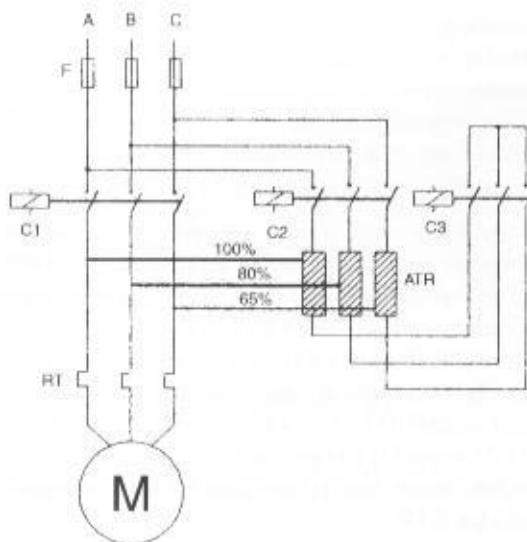


FIGURA 9.62

Esquema de comando de uma chave compensadora automática

FIGURA 9.63

Esquema trifilar de chave compensadora automática



A utilização de chaves compensadoras e os ajustes de tapes do autotransformador foram abordados no Capítulo 7. Além disso, foram também analisadas as questões técnicas e econômicas quanto à aplicação alternativa das chaves compensadoras e estrela-triângulo.

As chaves compensadoras têm o seu uso limitado pela freqüência de manobras permitida. Em geral, essa limitação condiciona as chaves a um máximo de cinco operações por hora, com duração não superior a 15 s, podendo ser duas seguidas com intervalos de cinco minutos.

TABELA 9.18

Seleção de chaves compensadoras – Siemens

Motores Trifásicos				Contatores Tipo 3TF			Relé de Sobrecarga		Fusível Máximo Retardado (A)					
Potências Máximas Nominais Admissíveis em Serviço AC3 (cv)			Corrente				Tipo 3UA	Faixa de Regulagem						
220 V	380 V	440 V	C1	C2	C3									
15	25	30	38	3TF45-22	3TF44-22	3TF41-11	3UA55 00-2R	32 - 40	63	63				
20	30	30	50	3TF46-22	3TF45-22	3TF42-11	3UA58 00-2F	32 - 50	125	63				
25	40	40-50	63	3TF47-22	3TF46-22	3TF43-11	3UA58 00-2P	50 - 63	125	80				
30	50	60	74	3TF48-22	3TF47-22	3TF43-11	3UA58 00-2U	63 - 80	160	125				
30	60	60	84	3TF49-22	3TF47-22	3TF44-11	3UA58 00-8W	70 - 88	160	125				
40-50	75	75	120	3TF50-22	3TF49-22	3TF45-11	3UA60 003H	90 - 120	224	160				
50-60	100	100	145	3TF51-22	3TF50-22	3TF46-22	3UA61 00-3K	120 - 150	224	160				
75	125	125	175	3TF52-22	3TF51-22	3TF47-22	3UA62 00-3M	150 - 180	224	200				
75	150	150	205	3TF53-22	3TF51-22	3TF48-22	3UA45 00-8YG	160 - 250	224	200				
100	175	200	250	3TF54-22	3TF52-22	3TF49-22	3UA45 00-8YH	200 - 320	315	224				
125	200	250	300	3TF55-22	3TF53-22	3TF50-22	3UA45 00-8YH	200 - 320	315	224				
125-150	250-300	300	400	3TF56-22	3TF54-22	3TF51-22	3UA45 00-8YJ	250 - 400	500	315				
175-200	300-350	350-400	475	3TF57-22	3TF55-22	3TF52-22	3UA46 008YK	320 - 500	500	315				
250	400-450	450-500	600	3TF58-14	3TF56-22	3TF53-22	3UA46 00-8YL	400 - 630	630	500				
300	500	550	700	3TF69-44	3TF57-22	3TF54-22	3RB12 62-OL	200 - 820	1000	500				
350	500-600	600-750	820	3TF69-44	3TF58-14	3TF55-22	3RB12 62-OL	200 - 820	1250	630				

### 9.3.24.1 Especificação sumária

Na compra de uma chave compensadora é necessário que se forneçam, pelo menos, os seguintes dados:

- tensão nominal (a da rede);
- corrente nominal (ou potência do motor);
- freqüência nominal;
- tensão do circuito de comando;
- número mínimo de manobras desejadas;
- tipo de operação (manual ou automática);
- indicadores de medidas de tensão e corrente (para o tipo de execução blindado).

Relativamente à chave compensadora indicada no diagrama unifilar da Figura 9.1, tem-se:

**Chave compensadora automática, tensão nominal 380 V, para motor de 75 cv/380 V/IV polos, freqüência nominal de 60 Hz, tensão do circuito de comando 220 V, número mínimo de manobras por hora = 5, execução blindada, provida de um amperímetro de 300-5 A.**

### 9.3.25 Chave Inversora de Freqüência (24)

É utilizada no controle da velocidade dos motores de indução que, desta forma, podem substituir com as vantagens que lhes são peculiares os motores de corrente contínua nos processos industriais nos quais é importante a variação de velocidade.

As chaves inversoras de freqüência estão sendo aplicadas também com um objetivo adicional de tornar mais eficiente o uso da energia em certos tipos de aplicações, como, por exemplo, ventiladores industriais, nos quais se pode reduzir a velocidade, mantendo o torque constante, ao mesmo tempo reduzindo a potência disponibilizada pelo motor na medida exata das necessidades da carga.

No Capítulo 7 foi estudada a chave inversora de freqüência com ênfase à aplicação de partida de motores trifásicos. Nesta seção serão abordados os aspectos construtivos.

A chave inversora, conforme Figura 7.37, é composta por dois módulos com funções distintas, porém integrados num só equipamento. O primeiro módulo conectado diretamente à rede de energia é formado por um ponte retificadora a diodos de 4 a 6 pulsos. A ponte transforma a tensão e a corrente alternadas em valores contínuos que alimentam o segundo módulo, chamado de inversor, que tem a função de transformá-los em corrente e tensão na forma de blocos retangulares, utilizando técnicas de controle vetorial de fluxo.

O inversor fornece aos terminais do motor tensão e freqüência variáveis que permitem ser trabalhadas de forma a manter o torque constante, reduzir a potência de operação e a corrente de partida etc.

Devido ao processo de geração da onda de tensão na forma anteriormente mencionada, as chaves inversoras provocam sérias distorções harmônicas no sistema de alimentação, prejudicando a operação dos bancos de capacitores instalados na indústria, degradando a qualidade da energia.

É importante acrescentar que, no caso de motores que operam com contracorrente, a energia gerada nesse processo é disponibilizada à rede elétrica, através da ação do circuito de potência da chave que permite a reversão da polaridade da corrente contínua.

Por meio do chaveamento do inversor é gerada uma corrente trifásica na forma de uma onda senoidal retangular. O inversor autocontrolado funciona de acordo com o princípio básico da comutação por sucessão de fases em que após o disparo de um tiristor, o mesmo que anteriormente conduzia corrente, é desligado.

O conversor de freqüência possui um controle eletrônico dedicado ao inversor autocontrolado representado por um regulador de freqüência, cuja referência é o valor da tensão de corrente alternada de saída, resultando uma freqüência de saída do inversor proporcional à tensão de referência aplicada aos terminais da chave. Se for mantida uma proporção entre a tensão e a freqüência aplicada aos terminais do motor, mantém-se constante o fluxo da máquina.

À medida que a tecnologia da comutação avança, novos componentes surgem comercialmente. De início empregaram-se os SCRs (*Silicon Controlled Rectifier*) que comutavam a uma freqüência de 300 Hz. Na sequência do desenvolvimento tecnológico, surgiram os transistores com freqüência de chaveamento superior, vindo em seguida os GTOs (*Gate Turn-off*) e, finalmente, foram

desenvolvidos os modernos comutadores com freqüência de chaveamento da ordem de 20 kHz, denominados IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).

Os inversores de freqüência possuem como características básicas uma freqüência variável, em geral, de 1 a 100 Hz. Podem ser fornecidos nos modelos de tensão imposta ou de corrente imposta. O interfaceamento para sinais externos de controle é normalmente feito através da variação de corrente de 4 a 20 mA ou de tensão entre 0 e 10 V. O controle de velocidade pode ser feito através de potenciômetro instalado no próprio inversor.

As principais características das chaves inversoras são:

- freqüência máxima de saída: 100 Hz;
- faixa de controle;
- faixa de referência: 0–10 V, 0–2 mA ou, ainda, 4–20 mA;
- torque de partida ajustável;
- relação tensão/corrente ajustável;
- funções de supervisão e proteção.

A Tabela 9.19 fornece os elementos necessários para selecionar uma chave inversora de freqüência de fabricação WEG.

O uso das chaves inversoras se faz sentir notadamente nas seguintes atividades industriais:

- elevação e transporte de cargas;
- bobinamento e desbobinamento de papéis;
- laminação de aço;
- extrusão de materiais plásticos.

### 9.3.25.1 Especificação sumária

Com base o diagrama da Figura 9.1, tem-se:

**Chave inversora de freqüência para motor de 200 cv/380 V/IV pólos, para uso a torque constante, faixa de referência por corrente de 0–20 mA, dotada dos elementos de proteção térmica de sobrecarga e de curto-círcuito.**

## 9.3.26 Painéis para Instalações Elétricas (25)

São caixas metálicas convenientemente construídas para abrigar equipamentos de seccionamento, proteção, comando, sinalização, instrumentos de medida ou outros destinados ao controle e supervisão da instalação.

Quanto ao grau de proteção (veja a Seção 1.6), podem ser classificados em:

- Instalações internas

São aquelas protegidas com graus de proteção IP20–IP31 e IP42 empregados mais comumente.

- Instalações ao tempo

São aquelas à prova de poeira e respingos em todas as direções podendo ser utilizados IP54 e IP55.

Também são construídos painéis à prova de explosão destinados a locais de grande risco, dotados de recursos que impossibilitam acidentes eventuais.

Normalmente, os painéis contêm barramentos condutores suportados por isoladores fixados na estrutura metálica apropriada. Cuidados devem ser tomados tanto nas dimensões das barras coletoras quanto na distância entre os seus apoios, a fim de evitar deformações durante a ocorrência de curto-círcuito no sistema. O cálculo dos esforços eletromecânicos está detalhado no Capítulo 5.

Existe, entre os fabricantes, uma tendência generalizada de padronização das dimensões dos painéis através da construção de módulos, que podem ser acoplados para formar um quadro de distribuição do tamanho desejado.

Os painéis devem conter internamente uma resistência elétrica, a fim de evitar a formação de umidade sobre os equipamentos elétricos ali instalados.

TABELA 9.19

Características técnicas das chaves inversoras CFW-06 da WEG

Inversor			Motor Máximo Aplicável				
Modelo	Corrente Nominal (A)		Tensão (V)	Torque Constante		Torque Variável	
	Torque Constante	Torque Variável		(cv)	(kW)	(cv)	(kW)
18 / 220 - 230	18	22		6	4,4	7,5	5,5
25 / 220 - 230	25	32		7,5	5,5	10	7,5
35 / 220 - 230	35	41		12,5	9,2	15	11
52 / 220 - 230	52	64	220	20	15	25	18,5
67 / 220 - 230	67	80		25	18,5	30	22
87 / 220 - 230	87	107		30	22	40	30
107 / 220 - 230	107	126		40	30	50	37
158 / 220 - 230	158	182		60	45	75	55
18 / 380 - 480	18	22		10	7,5	12,5	9,2
25 / 380 - 480	25	32		15	11	20	15
35 / 380 - 480	35	41		20	15	25	18,5
52 / 380 - 480	52	64		30	22	40	30
67 / 380 - 480	67	80		50	37	50	37
87 / 380 - 480	87	107		60	45	75	55
107 / 380 - 480	107	126		75	55	75	55
158 / 380 - 480	158	182		100	75	125	92
200 / 380 - 480	200	225	380	125	92	150	110
230 / 380 - 480	230	260		150	110	175	130
320 / 380 - 480	320	350		200	150	250	185
400 / 380 - 480	400	430		270	200	300	225
450 / 380 - 480	450	500		300	225	350	250
570 / 380 - 480	570	630		400	280	450	315
700 / 380 - 480	700	770		500	355	550	400
900 / 380 - 480	900	1.000		700	500	750	560
18 / 380 - 480	18	22		12,5	9,2	15	11
25 / 380 - 480	25	32		20	15	25	18,5
35 / 380 - 480	35	41		25	18,5	30	22
52 / 380 - 480	52	64		40	30	50	37
67 / 380 - 480	67	80		50	37	60	45
87 / 380 - 480	87	107		60	45	75	55
107 / 380 - 480	107	126		75	55	100	75
158 / 380 - 480	158	182	440	125	92	150	110
200 / 380 - 480	200	225		150	110	175	130
230 / 380 - 480	230	260		175	130	200	150
320 / 380 - 480	320	350		250	185	270	200
400 / 380 - 480	400	430		300	225	350	250
450 / 380 - 480	450	500		350	250	450	330
570 / 380 - 480	570	630		450	330	550	400
700 / 380 - 480	700	770		600	450	700	500
900 / 380 - 480	900	1.000		750	560	850	630

As superfícies das chapas de que são construídos os painéis devem sofrer o seguinte tratamento:

a) Pré-tratamento

Consiste na imersão em tanques contendo desengraxante alcalino, desencapante ou fostatizante.

b) Proteção e acabamento

Consiste na aplicação de tinta em pó à base de epóxi (ou equivalente) por processo eletrostático, com espessura aproximada de 70  $\mu\text{m}$ .

A superfície acabada deve ser resistente à abrasão, à gordura, à água, à umidade e às intempéries, bem como aos produtos químicos agressivos.

A Figura 9.64 mostra esquematicamente a vista frontal de um painel de comando. São utilizadas chapas de aço em geral de n.º 12 e 14 USSG.

Quanto à execução, são providos de porta frontal ou traseira, e parte lateral ou traseira aparafusadas.

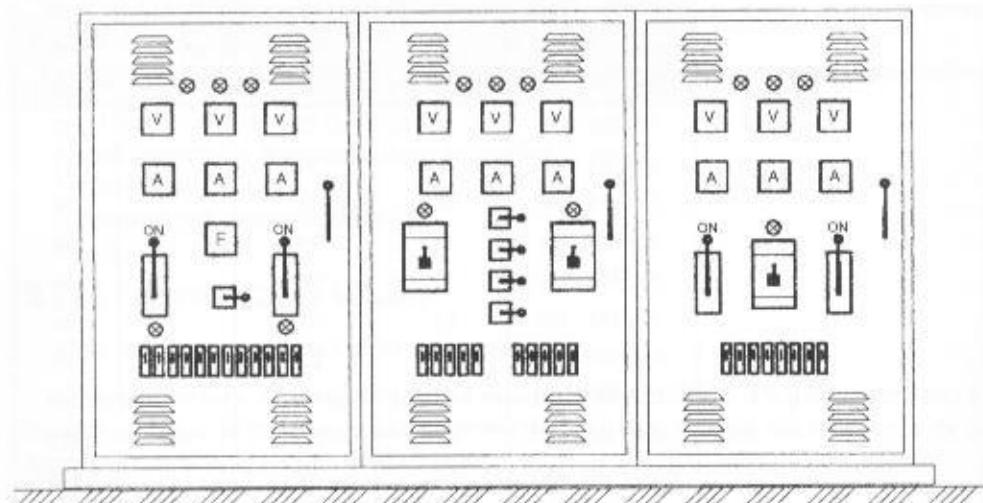


FIGURA 9.64

Vista frontal de um painel de comando