
6 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

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, aqui neste material didático, é fornecer ao futuro 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 aluno deve consultar a literatura especializada.

O estudo dos materiais e equipamentos abordados aqui é sucinto.

6.1 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 principais grandezas que caracterizam um determinado equipamento ou material podem ser, assim, resumidas:

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

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

6.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para melhor entendimento da especificação, foi elaborado um diagrama unifilar, mostrado na **figura 42**, 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.

Figura 42

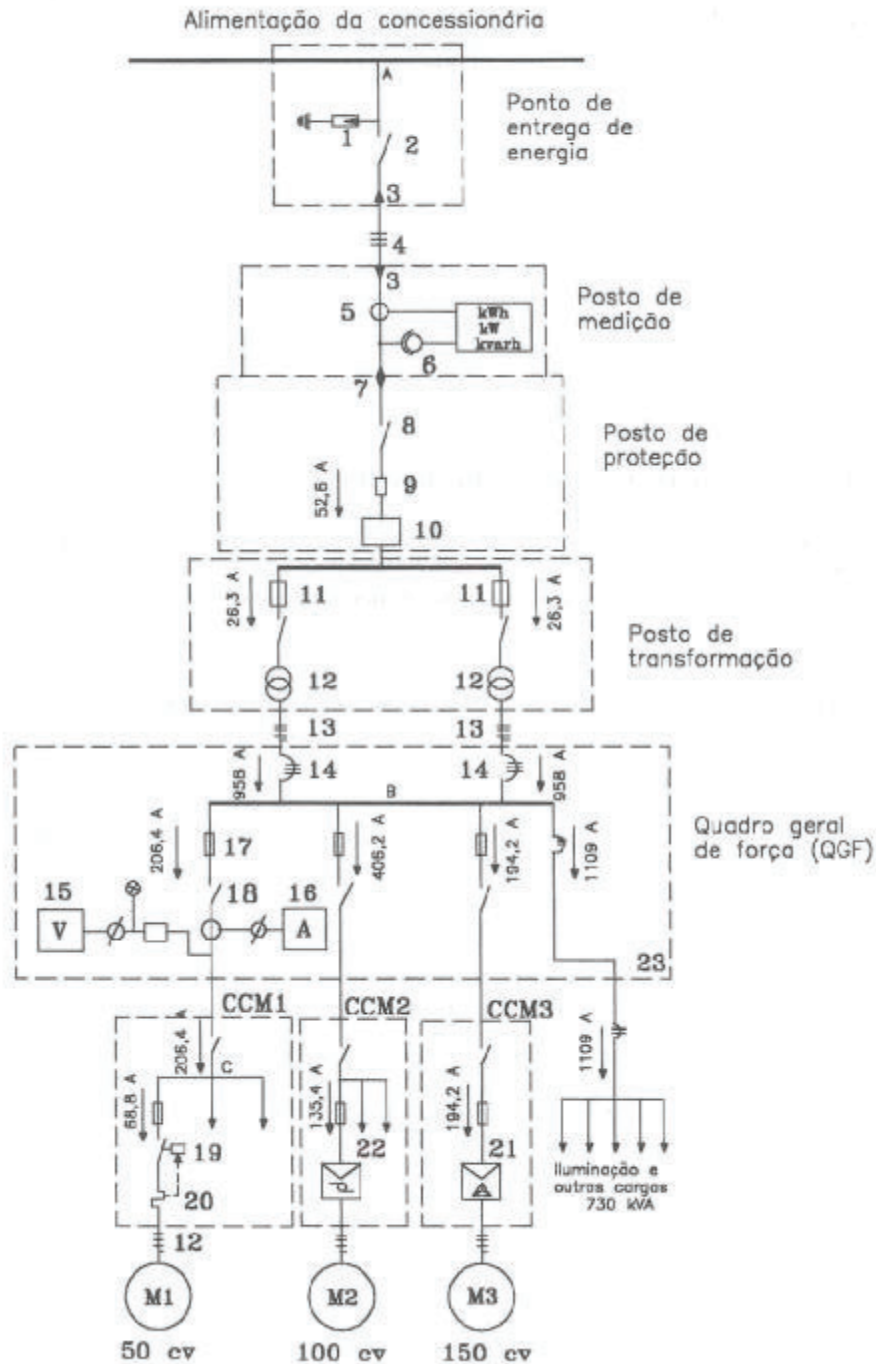


Fig. 42 – Diagrama unifilar

As características do sistema são:

- tensão nominal primária: 13,8 kV;
- tensão nominal secundária: 380 V;
- tensão de fornecimento: 13,8kV;

-
- potência simétrica de curto-circuito no ponto de entrega: 250 MVA;
 - tensão suportável de impulso: 95 KV;
 - tensão máxima de operação entre fase e terra: 12 kV;
 - capacidade de transformação: 2 × 750 kVA;
 - corrente de curto-circuito simétrica no ponto B: 40 kA;
 - corrente de curto-circuito assimétrica no ponto C: 20 kA;
 - motores:
 - M1: 50 cv – 380 V / IV pólos, do tipo rotor em curto-circuito;
 - M2: 100 cv – 380 V / IV polos, do tipo rotor em curto-circuito;
 - M3: 150 cv – 380 V / IV pólos, do tipo rotor em curto-circuito;
 - cargas:
 - iluminação : 100 kVA;
 - outras cargas: 630 kVA.

O diagrama unifilar da **figura 42** é característica de uma instalação elétrica industrial com entrada de serviço subterrânea. Estão mostrados, apenas, os principais elementos de uso mais 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 o 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 aqui, devem satisfazer, no seu todo, as normas da ABNT e, na falta destas, as normas internacionais adotadas no Brasil.

6.2.1 Pára-raios de distribuição 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:

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 (ABNT).

b) Freqüência nominal

É a frequência utilizada no projeto do pára-raios a qual deve coincidir com a frequência 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 μ 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 (ABNT).

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 (ABNT).

f) *Tensão disruptiva à frequência industrial*

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

g) *Tensão disruptiva de impulso normalizada*

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

h) *Tensão residual*

É a tensão que aparece entre os terminais de um pára-raios, durante a passagem da corrente de descarga (ABNT). Basicamente, os pára-raios são constituídos de:

1- Corpo de porcelana

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

2- 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 existem resistores de óxido de zinco.

3- Desligador automático

É composto de um elemento resistivo colocado em série com uma cápsula explosiva protegida por um corpo de baquelite.

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.

4- 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 interrupção regular com uma rápida extinção da corrente subsequente.

5- 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 43** mostra um pára-raios de fabricação nacional, indicando os seus principais elementos.

Figura 43

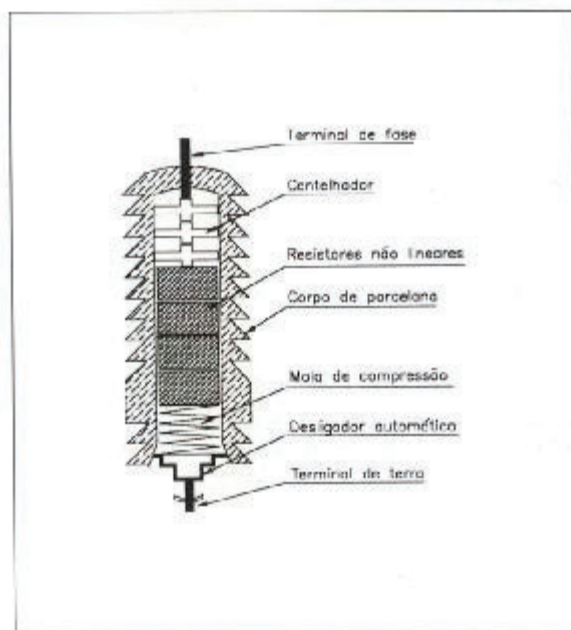


Fig. 43 – Pára-raios a resistor não linear

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 neutro multi-aterrado (sistema a quatro a fios).

Para cada tipo de configuração é necessário que se especifique, adequadamente, o pára-raios. A tabela abaixo indica as suas principais características elétricas.

Tensão nominal (kV eficaz)	Tensão disruptiva à frequência industrial (kV eficaz)	Máxima tensão disruptiva de impulso sob onda normalizada (kV de crista)	Máxima tensão de descarga com onda de 8 × 20 μs (kV de crista)		Máxima tensão disruptiva por manobra (valor de crista)
			5.000 A	10.000 A	
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

6.2.1.1 Especificação sumária

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

- tensão nominal eficaz, em kV;
- frequência nominal;
- máxima tensão disruptiva de impulso sob frente de onda, em kV;
- máxima tensão residual de descarga, com onda de 8 × 20 μs, em kV,
- máxima tensão disruptiva, à frequência industrial, em kV;
- corrente de descarga, em A;
- tipo (distribuição ou estação).

6.2.2 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 de 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 colocado o elo fusível.

Além das características nominais do sistema, a chave fusível deve ser dimensionada em função da capacidade da corrente de curto-circuito 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 44** mostra uma chave fusível, indicando os seus principais elementos.

Figura 44

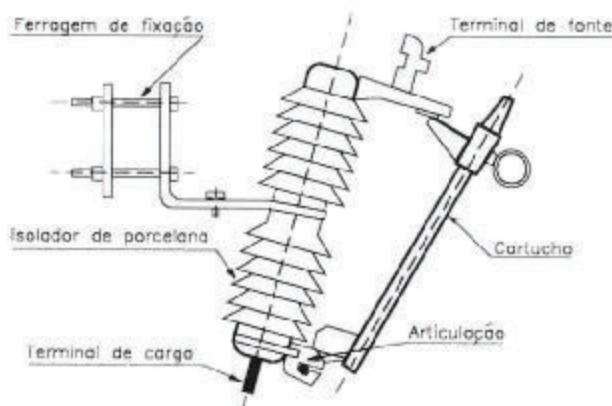


Fig. 45 - Chave fusível indicadora unipolar

6.2.2.1 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;
- máxima tensão de operação, em kV;
- corrente nominal, em A;
- frequência nominal;
- capacidade de ruptura, em kA;
- tensão suportável de impulso, em kV.

6.2.3 Mufla terminal primária 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.

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

Há uma grande variedade de muflas e terminações. As mais conhecidas, porém, são as muflas de corpo de porcelana com enchimento de composto elastomérico e as terminações constituídas de material termocontrátil. As primeiras podem ser fabricadas para condutores unipolares (muflas terminais unipolares) ou para condutores tripolares (muflas terminais trifásicas). O segundo tipo é sempre fabricado na versão unipolar.

A **figura 46** mostra uma mufla terminal unipolar, comumente utilizada em ramal de entrada primário subterrâneo. Já na **figura 47** mostra uma terminação termocontrátil.

Figura 46

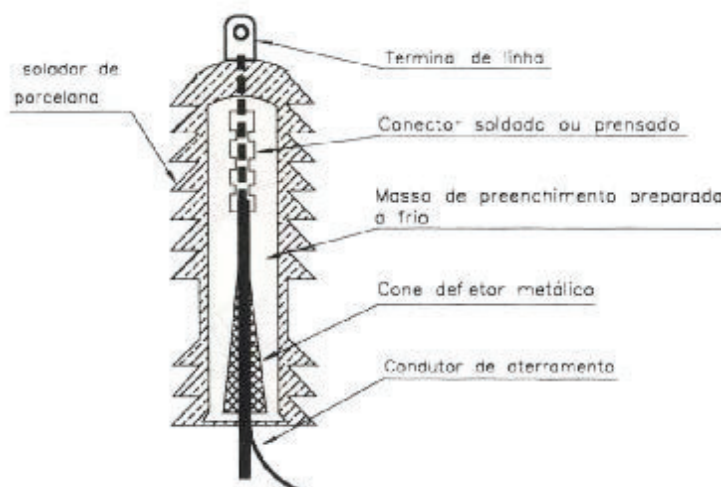


Fig. 46 - Mufla terminal unipolar

Figura 47

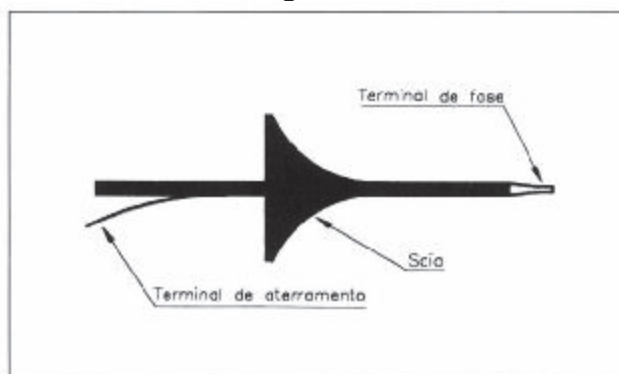


Fig. 47 – Terminal termocontrátil

6.2.3.1 especificação sumária

As muflas e terminações devem ser dimensionadas 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 um conjunto de muflas ou terminações, é necessário conhecer os seguintes elementos:

- tipo;
- condutor isolado a ser conectado, em mm²;
- terminal do condutor externo, em A;
- tensão nominal eficaz, em kV;
- corrente nominal, em A;
- tensão máxima de operação em kV;
- tensão suportável de impulso, em kV;
- uso (interno ou externo)

6.2.4 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 de fita semicondutora é aplicada à 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 fita semicondutora é responsável pela uniformização do campo elétrico radial e transversal, distorcido pela irregularidade da superfície externa do condutor.

A blindagem metálica tem a função de 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 48** mostra a seção transversal de um cabo classe 15 kV isolado com XLPE.

Figura 48

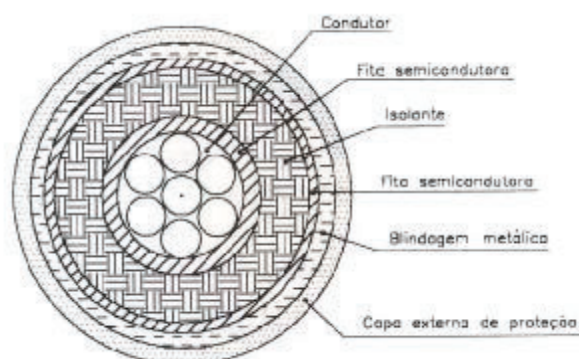


Fig. 48 - Cabo de energia isolado para 15 kV

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 a 4 kV/mm, pode-se concluir que qualquer vazio ou impureza interior ao isolamento fica sujeita à 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, conseqüentemente, provocando efeitos danosos à isolação, cujo resultado é uma falha inevitável para a terra.

A **figura 49** mostra, graficamente, a solicitação que uma bolha provoca à isolação de um condutor.

Figura 49

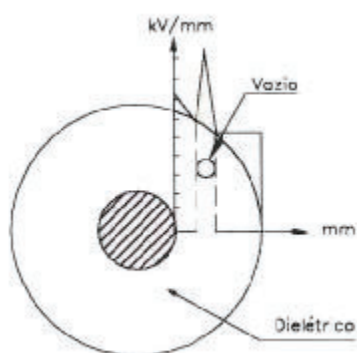


Fig. 49 - Representação gráfica da solicitação que uma bolha provoca à isolação de um condutor

6.2.4.1 Especificação sumária

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

- seção quadrática, em mm²;
- tipo do condutor: cobre ou alumínio;
- tipo de isolamento: polietileno reticulado (XLPE) ou 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, em geral, não superior a 1 hora. A categoria 2 abrange os sistemas não classificados na categoria 1, isto é, sistema com neutro isolado. 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 frequência de operação dessa rede com defeito à terra.

6.2.5 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 normalmente de 5 A. A **figura 50** mostra um transformador de corrente com isolamento de resina epóxi, na qual estão identificados os seus principais elementos de ligação.

Figura 50

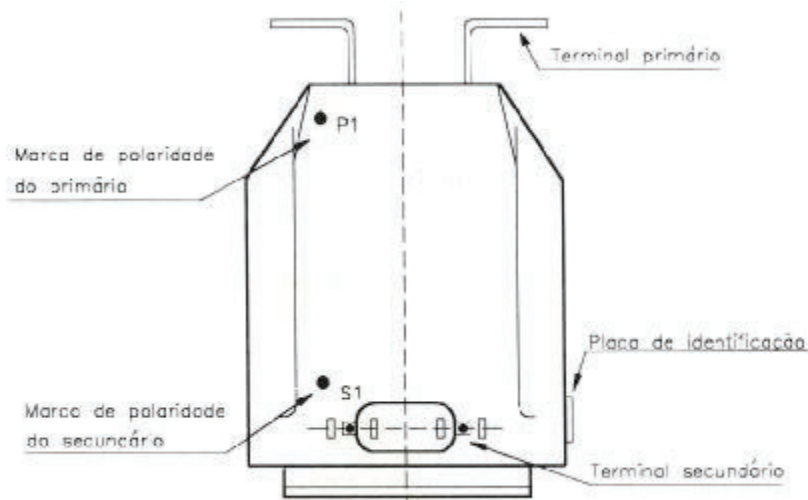


Fig. 50 - Transformador de corrente (TC)

6.2.5.1 Especificação sumária

Para se especificar um TC para medição 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;
- isolamento (em banho de óleo, epóxi etc);
- tensão nominal primária;
- frequência;
- tensão suportável de impulso (TSI);
- fator térmico;
- carga nominal;
- classe de exatidão;
- polaridade.

6.2.6 Transformador de potencial (6)

É um equipamento capaz de reduzir a tensão do circuito para níveis compatíveis com a 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 ser 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 51** representa um TP alimentando um voltímetro.

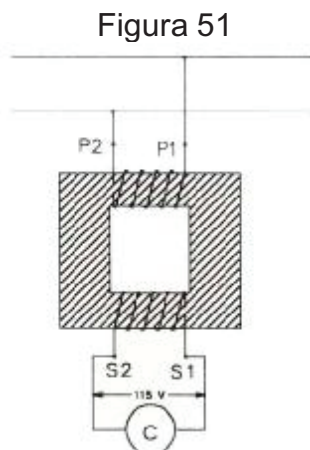


Fig. 51 - Representação de um TP alimentando um voltímetro

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. 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 9.18 mostra um TP de carcaça metálica em banho de óleo para ligação fase-fase (grupo 1).

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-circuito 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.

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 0,3 – 0,6 e 1,2.

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.

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 X_1 tem a mesma polaridade do terminal primário H_1 , num determinado instante, quando X_1 e H_1 são positivos ou negativos, relativamente aos terminais X_2 e H_2 , conforme se pode observar na **figura 52**.

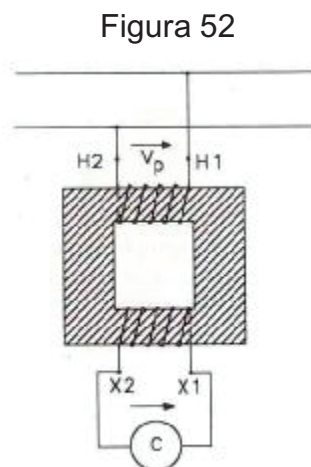


Fig. 52 - Polaridade de um transformador de potencial (TP)

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 H_1 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 X_1 .

6.2.6.1 Especificação sumária

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

- isolamento (em banho de óleo, ou epóxi)
- uso (interno ou externo);
- 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.

6.2.7 Bucha de passagem (7)

Quando se deseja passar um circuito aéreo de um cubículo fechado ao seu vizinho, normalmente são utilizadas buchas de passagem que são constituídas de um isolador de louça, tendo como fixação o seu ponto médio, conforme se mostra na **figura 53**.

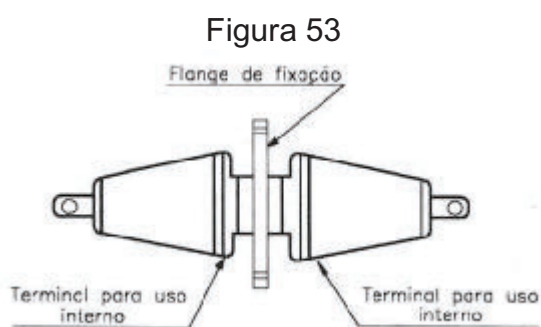


Fig. 53 - Bucha de passagem para uso interno-interno

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

a) Bucha de passagem para uso interno-interno

É aquela em que os dois ambientes onde será instalada a bucha de passagem sejam abrigados. A **figura 53** mostra uma bucha de passagem para

uso interno-interno. Como exemplo, pode-se citar a bucha de passagem ligando os cubículos de medição (totalmente fechado) e o cubículo de disjunção (abeto) numa subestação de alvenaria.

b) Bucha de passagem para uso externo-interno

É aquela que conecta um circuito aéreo, ao tempo, a um circuito aéreo abrigado. A **figura 54** ilustra uma bucha de passagem para uso externo-interno.

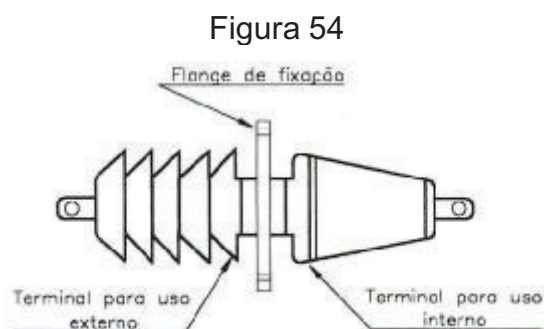


Fig. 54 - Bucha de passagem para uso externo-interno

Como exemplo, pode-se citar a bucha de passagem ligando a rede aérea primária ao cubículo de medição de uma subestação de alvenaria. A parte da bucha exposta ao tempo deve ter a isolação dotada de saias.

6.2.7.1 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 externo-interno).

6.2.8 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 55** representa uma chave seccionadora tripolar, do tipo passante, própria para instalação em cubículo blindado.

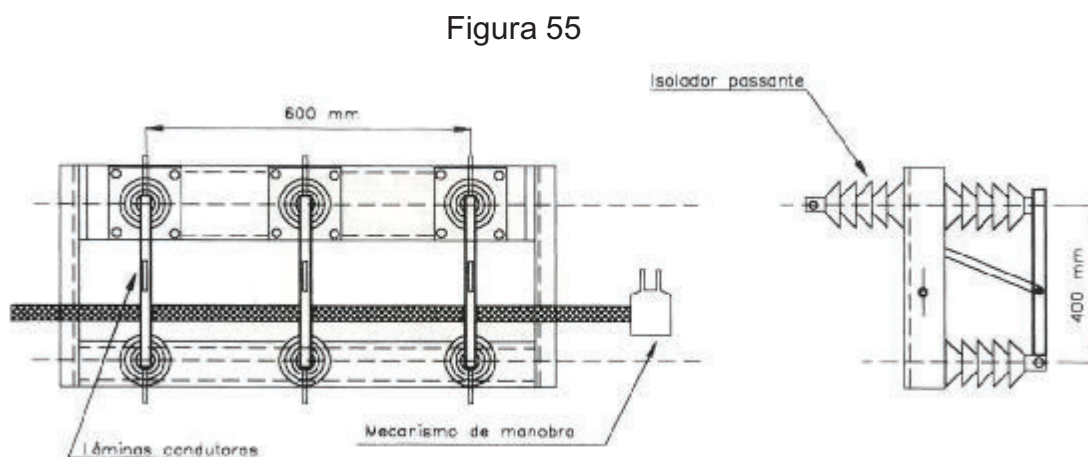


Fig. 55 - Chave seccionadora tripolar de alta tensão

6.2.8.1 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 a seco, em kV;
- tensão suportável sob chuva, 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).

Em geral, as chaves seccionadoras, para a classe de tensão de 15 kV, têm corrente nominal de 400 A. também são providas de contatos auxiliares, cujo número deve ser especificado em função do tipo de serviço que irá desempenhar.

6.2.9 Relé primário de ação direta (9)

Os relés primários de ação direta são normalmente utilizados em subestação de consumidor de pequeno e médio portes (3.000 kVA). Nesses relés, a corrente de carga age diretamente sobre a sua bobina de acionamento, cujo deslocamento de êmbolo, imerso no campo magnético formado por essa corrente, faz movimentar o mecanismo de acionamento do disjuntor, conforme se mostra esquematicamente na **figura 56**.

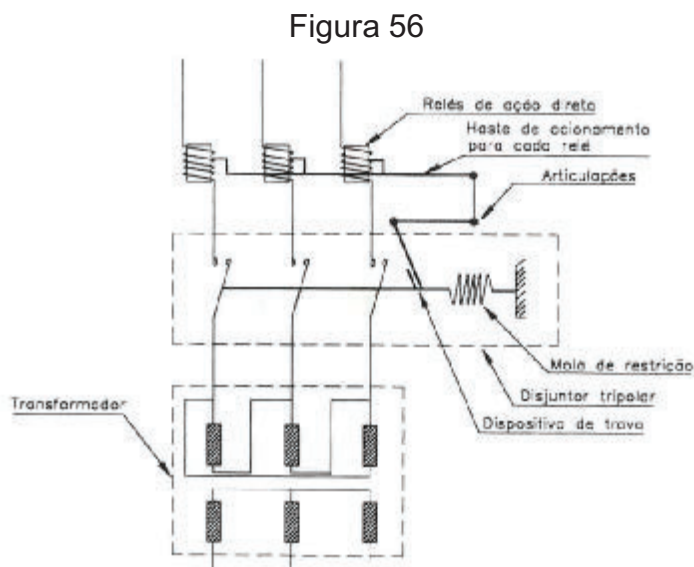


Fig. 56 - Esquema para utilização de relés de ação direta

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 **figura 57**.

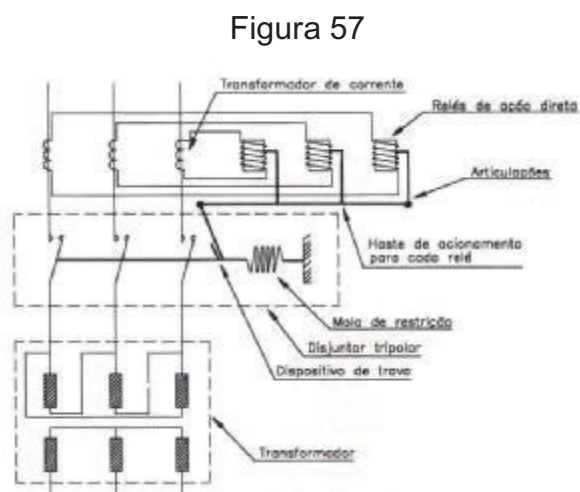


Fig. 57 - Esquema para utilização dos relés primários de ação direta usando TCs

Ao contrário dos relés de ação direta, existem os relés de ação indireta, 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 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 (1) conjunto retificador-carregador-flutuador, um (1) banco de baterias e uma área fechada para abrigo desses elementos, o que torna essa proteção extremamente onerosa, e utilizada apenas em subestações de capacidade superior a 3.000 k VA, em média.

6.2.10 Disjuntor de potência (10)

É um equipamento destinado à manobra e à proteção de circuitos primários, capaz de interromper grandes potência de curto-circuito 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 se citados:

- disjuntores a grande volume de óleo;
- disjuntores a pequeno volume de óleo;
- disjuntores a hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Na ordem cronológica de construção de disjuntores, surgiram, primeiramente, dos 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 de nosso estudo.

Os disjuntores a hexafluoreto de enxofre (SF₆), em geral, são fabricados para níveis de tensão elevados (15kV e acima). A interrupção da corrente se dá no interior de um recipiente estanque, que contém SF₆ a uma pressão aproximada de 16 kg/cm² 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 58** mostra um disjuntor a pequeno volume de óleo, fixado no carrinho de apoio.

Figura 58

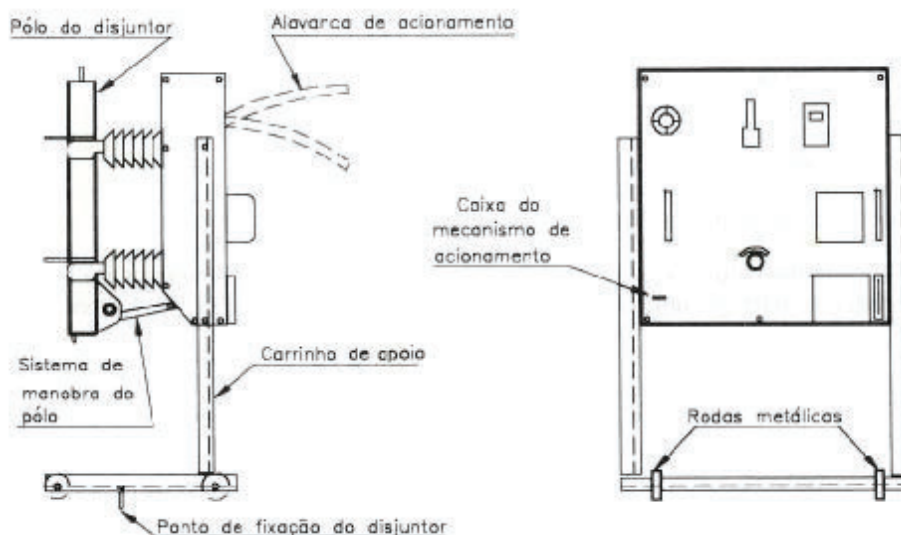


Fig. 58 - Disjuntor a pequeno volume de óleo

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 óleo que é 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, assim 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 atingir 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.

6.2.10.1 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;
- frequência nominal;
- tipo de comando: manual ou motorizado;
- tensão suportável de impulso, em kV;
- acionamento: frontal;
- montagem: fixa ou extraível;
- construção: aberta ou blindada.

6.2.11 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-circuito 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-circuito 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 se mostra na **figura 59**, ou em bases incorporadas aos seccionadores sobre os quais vão atuar.

Figura 59

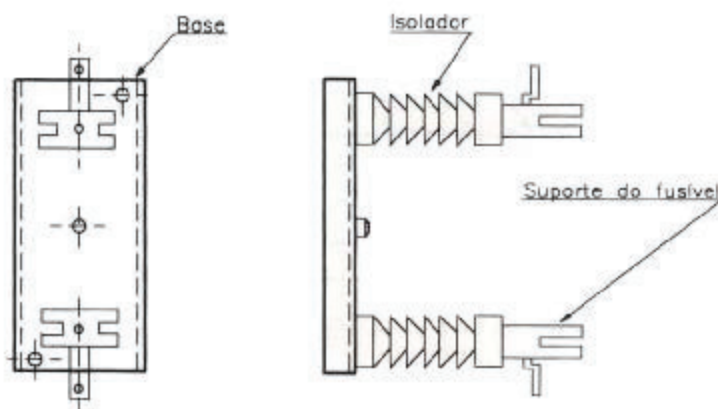


Fig. 59 - Base para fusível limitador de corrente

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 num 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 60**. Em vez do percursor, há fusíveis que trazem apenas um dispositivo de sinalização ótica, indicando a condição de disparo.

Figura 60

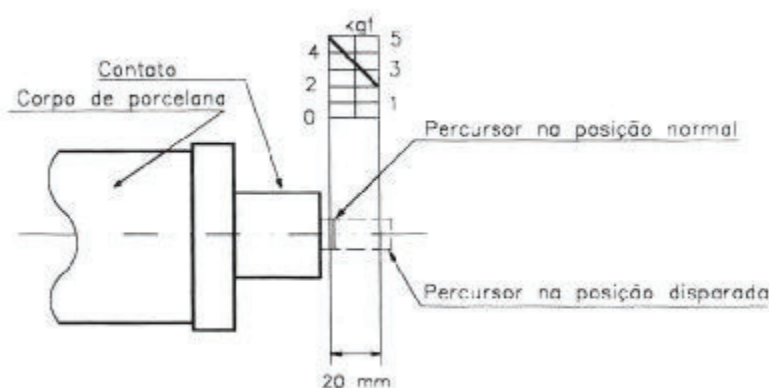


Fig. 60 - Curva de disparo do percursor

A **figura 61** fornece alguns detalhes construtivos deste tipo de fusível.

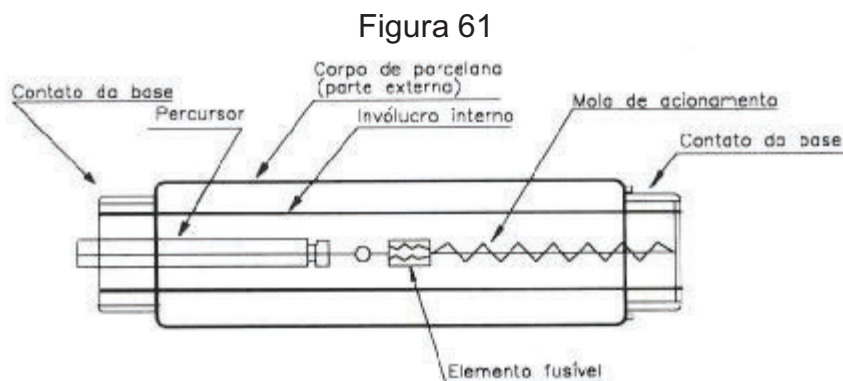


Fig. 61 - Fusível limitador de corrente

6.2.11.1 Especificação sumária

No pedido do 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 percussor;
- designação da base na qual irá operar.

6.2.12 Transformador de potência (12)

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

Quanto à forma construtiva, os transformadores se classificam em:

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

Esse estudo 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.

Os transformadores podem ser, quanto ao número de fases;

- monobucha (F-T);
- monofásicos (F-N);
- bifásicos (2F);
- trifásicos (3F).

Ao longo deste material didático só se fará referência aos transformadores trifásicos, devido à sua quase total utilização em sistemas industriais, no Brasil.

A **figura 62** apresenta um transformador trifásico com a indicação de todos os seus elementos externos.

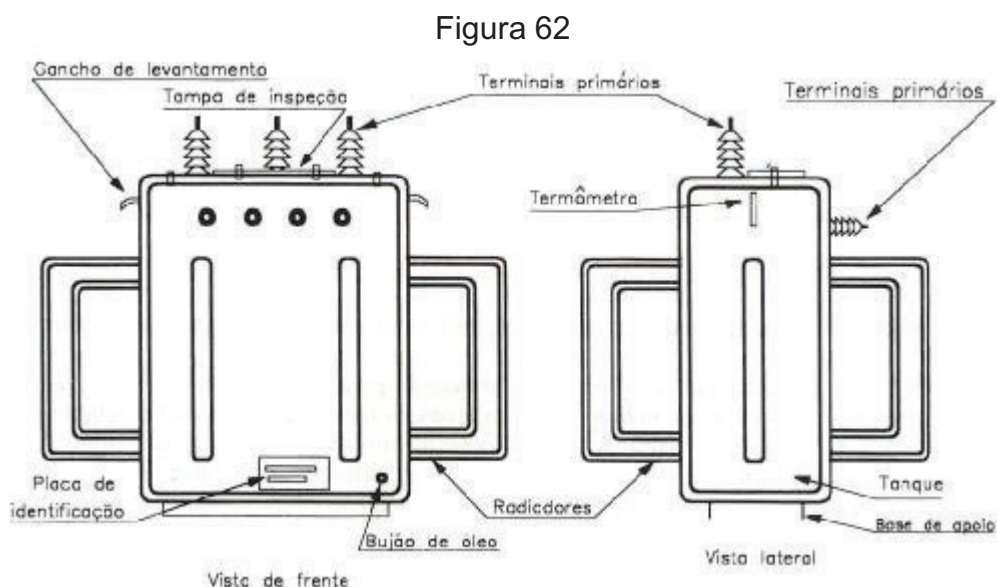


Fig. 62 - Transformador de distribuição

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 devolvendo-o ao exterior, num ciclo contínuo, segundo o fenômeno de convecção.

O óleo mineral para transformador deve apresentar uma alta rigidez dielétrica, excelente fluidez e 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, o Governo Federal proibiu a sua utilização em novos equipamentos elétricos.

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. Atualmente, as indústrias de transformadores nacionais utilizam o óleo do tipo parafínico para unidades transformadoras da classe de 15 kV.

6.2.12.1 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);
- ligação dos enrolamentos;
- impedância percentual;
- acessórios desejados (especificar).

9.3.13 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:

1) Fios e cabos com encordoamento simples

Quando o condutor é formado por um único fio ou por duas ou mais camadas de fios de mesma seção transversal, concêntricas a um fio, cada camada ou coroa possui o mesmo número de fios da camada anterior, à qual se somam seis tentos, ou seja: 7 fios (1 + 6); 19 fios (1 + 6 + 12); 37 fios (1 + 6 + 12 + 18).

2) 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.

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

- seções de 1,5 a 6 mm²: encordoamento redondo normal;
- seções superiores a 6 mm²: encordoamento redondo compactado.

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

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 etileno-propileno (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.

6.2.13.1 Especificação sumária

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

- seção nominal, em mm²;
- 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.

6.2.14 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-circuito.

Quanto ao tipo de construção, os disjuntores podem ser:

1) 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.

2) 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. Esses disjuntores são do tipo descartável, pois, quando quaisquer dos seus componentes apresentam defeito, tornam-se imprestáveis.

Quanto ao tipo de operação, os disjuntores podem ser:

a) Disjuntores termomagnéticos

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

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-circuito.

d) Disjuntores limitadores de corrente

São aqueles que limitam o valor e duração das correntes de curto-circuito, 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-circuito de valor elevado, fazendo o disjuntor abrir antes que o relé eletromagnético seja sensibilizado.

A **figura 63** mostra a parte interior de um disjuntor, enfocando os contatos e a câmara de interrupção.

Figura 63

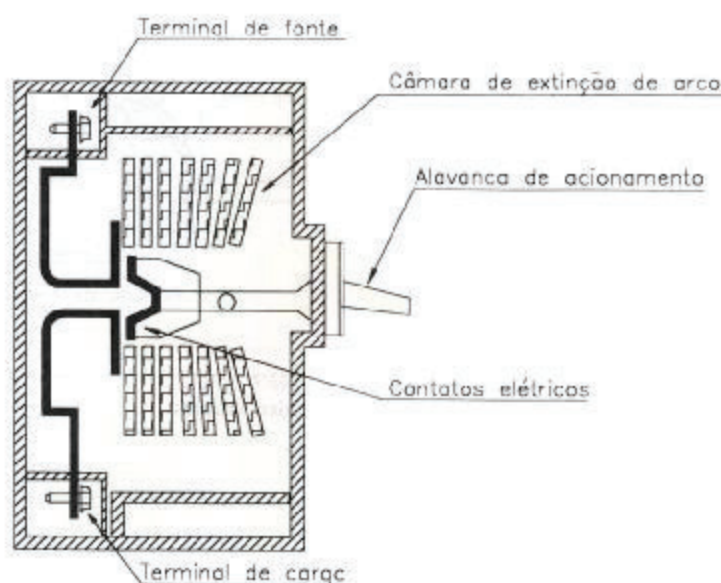


Fig. 63 - Disjuntor limitador de corrente de baixa tensão

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, como ocorre com os elementos fusíveis.

A proteção de circuitos através de disjuntores leva uma grande vantagem, relativamente 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 em geral inferior à fusível, principalmente as unidades de corrente nominal abaixo de 1.500 A. Quando instalados em pontos do circuito cuja corrente nominal 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 câmara de extinção de arco que, em geral, constituem e 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.

A **figura 64** mostra a parte frontal de um disjuntor de baixa tensão, indicando os dispositivos de ajuste dos disparadores térmicos e eletromagnéticos.

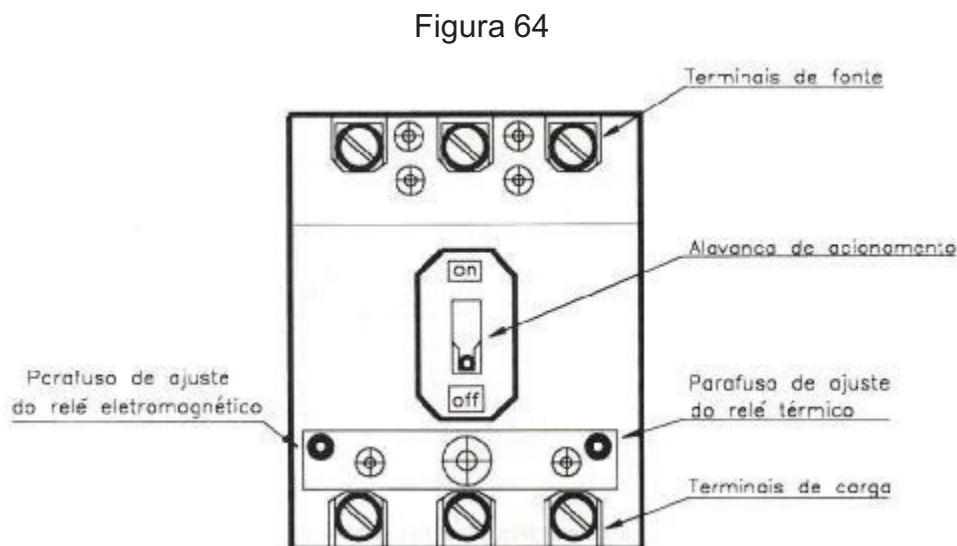


Fig. 64 - Vista frontal de um disjuntor de baixa tensão

6.2.14.1 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;
- frequência nominal;
- faixa de ajuste dos disparadores;
- tipo (termomagnético, limitador de corrente, magnético, térmico);
- acionamento (manual ou motorizado).

6.2.15 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 atura

sobre os dois núcleos referidos que, por estarem submetidos a polaridades iguais, tendem a se repelir. Estando um dos núcleos fixos, conseqüentemente 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 65** mostra, esquematicamente, um corte longitudinal de um voltímetro de ferro móvel cuja aplicação é mais acentuada.

Figura 65

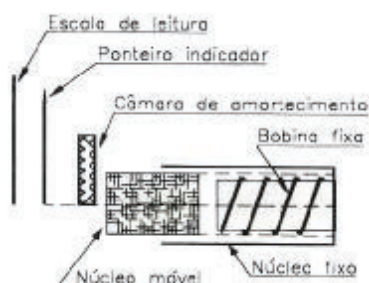


Fig. 65 - Corte longitudinal de um voltímetro de ferro móvel

Os voltímetros são comercializados mais comumente com as seguintes dimensões:

- 144 × 144 mm – abertura do painel: 138 × 138 mm;
- 96 × 96 mm – abertura do painel: 92 × 92 mm;
- 72 × 72 mm – abertura do painel: 69 × 69 mm.

Existem, também, voltímetros com dimensões retangulares e mais raramente com formato circular. A **figura 66** mostra um voltímetro de aplicação em painéis de controle com escala de 0 a 500 V.

Figura 66

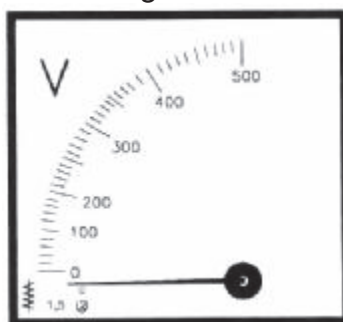


Fig. 66 - Voltímetro

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.

6.2.15.1 Especificação sumária

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

- dimensões;
- fundo de escala;
- tipo (ferro móvel, bobina móvel);
- frequência nominal.

6.2.16 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.

Os amperímetros, normalmente, são fabricados para suportarem 50 vezes a carga nominal durante 1s, 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.

Raramente são utilizados instrumentos para ligação direta ao circuito a ser medido. Os transformadores de corrente 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.

As **figuras 66 e 67** mostram, respectivamente, a vista frontal de um amperímetro e a indicação das faixas de escala para medição e sobrecarga.

Figura 67

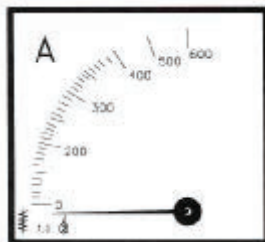


Fig. 67 - Amperímetro

Figura 67

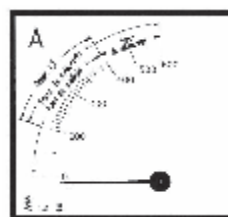


Fig. 67 - Amperímetro

6.2.16.1 Especificação sumária

É necessário que se estabeleçam no pedido de compra para amperímetros, no mínimo, os seguintes elementos:

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

6.2.17 Fusível de baixa tensão (17)

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

O IEC 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 \times 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 valor 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:

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 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 resistivas.

Já o fusível de efeito retardado é mais adequado aos circuitos sujeitos a sobrecargas periódicas, como no caso de motores e capacitores.

A **figura 68** mostra os diversos elementos componentes de um fusível do tipo Diazed. Já as **figuras 69 e 70** mostram, respectivamente, um fusível do tipo NH e a sua base correspondente.

Figura 68

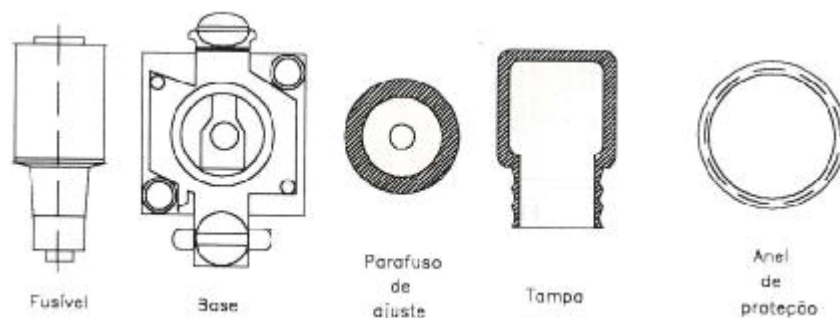


Fig. 68 - Conjunto fusível diazed

Figura 69

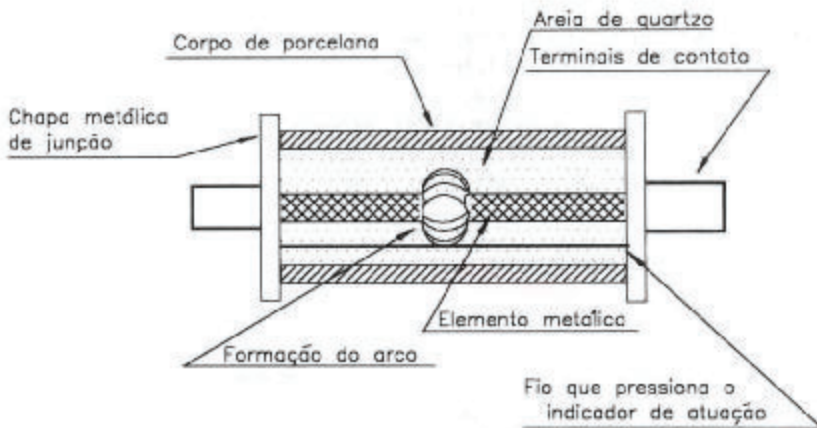


Fig. 69 - Fusível NH

Figura 70

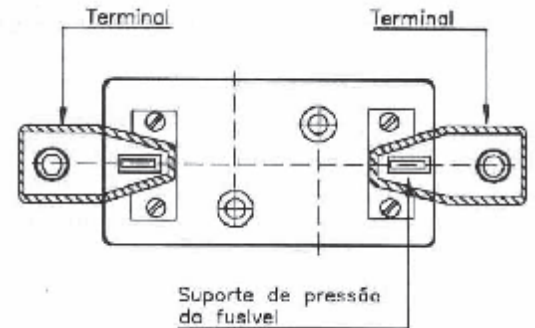


Fig. 70 - Base para fusível NH

6.2.17.1 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 \times corrente (rápido ou com retardo);
- componentes (fusível Diazed: base, tampa, parafuso de ajuste, anel de proteção e fusível).

6.2.18 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 tal 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 que é 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-se desligar tanto os motores como o dispositivo de controle.

Sobre o dispositivos de seccionamento pode-se estabelecer:

- a posição dos contatos ou dos outros meios e 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.

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

$$I_{sec} = 1,15 \times I_{nom. motor}$$

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

$$I_{sec} = 1,35 \times I_{cap}$$

A **figura 71** mostra uma chave seccionadora de abertura em carga, indicando-se os seus principais componentes.

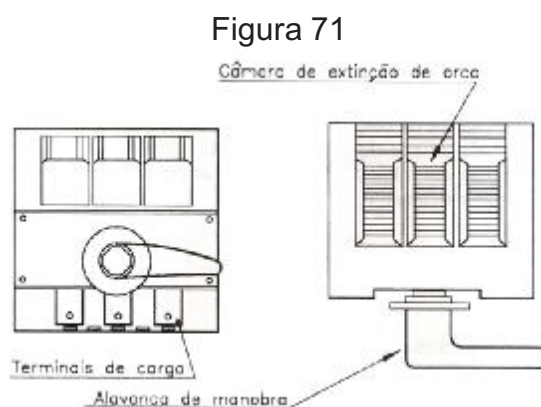


Fig. 71 - Chave seccionadora tripolar de baixa tensão

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

6.2.18.1 Especificação sumária

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

- tensão nominal;
- corrente nominal;
- corrente térmica;
- corrente dinâmica;
- acionamento (manual rotativo ou motorizado);
- contatos auxiliares (se necessário);
- operação (em carga ou a vazio);
- vida mecânica mínima;
- frequência nominal.

6.2.19 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 de que se compõe.

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, conforme se pode observar, esquematicamente, na **figura 72**.

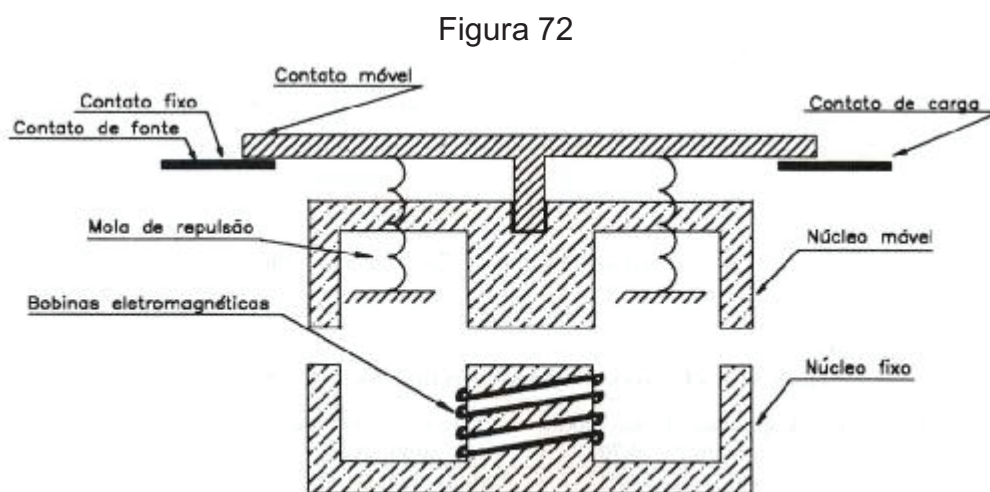


Fig. 72 - Componente de um contator

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 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 imprestáveis, porém, os contatores de corrente nominal elevada possibilitam, em geral, a reposição dos contatos danificados.

6.2.19.1 Especificação sumária

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

- tensão nominal;
- frequência nominal;
- corrente nominal;
- número mínimo de manobras;
- tensão nominal da bobina;
- número de contatos, NA e NF.

6.2.20 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 bimetálicos 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.

Em geral, essa proteção só é obtida se o motor estiver funcionando com carga diferente de 40% a 60% de seu valor nominal.

Os relés de sobrecarga, quando aquecidos à temperatura de serviço, têm, nas suas curvas características de disparo, os tempos reduzidos, em geral, a 25% ou a 50% dos tempos indicados, dependendo do fabricante. Os relés de sobrecarga devem ser protegidos contra as elevadas correntes de curto-circuito. 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,

6.2.21 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 pra operação manual ou automática. No primeiro caso, o tempo para a mudança da conexão estrela pra triângulo é definido pelo operador, enquanto nas chaves automáticas toda operação é comandada por um relé de tempo que atua sobre os contatores 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 bimetalico;
- 2 botoeiras;
- 1 relé de tempo;
- 1 lâmpada de sinalização verde;
- 1 lâmpada de sinalização vermelha;
- 1 transformador de comando
- Indicadores de medidas de tensão e corrente;

A **figura 73** representa e esquema de comando de uma chave estrela-triângulo automática.

Figura 73

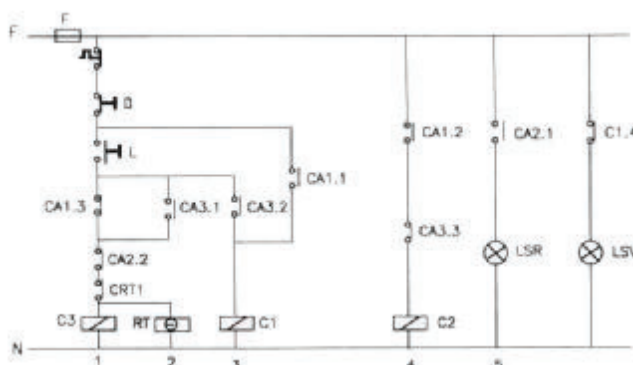


Fig. 73 - Esquema elétrico de comando de uma chave estrela-triângulo

A **figura 74** mostra o diagrama de ligação da chave estrela-triângulo, anteriormente descrita.

Figura 74

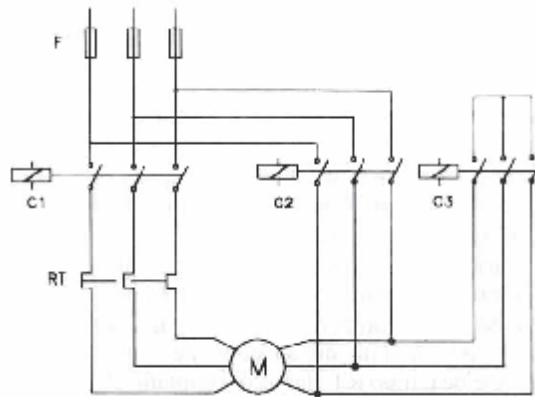


Fig. 74 - Esquema elétrico de ligação dos contatores de uma chave estrela-triângulo

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

6.2.21.1 Especificação sumária

Na compra de uma chave estrela-triângulo 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 de manobras desejadas;
- tipo de operação (manual ou automática);
- tipo de execução (blindada ou aberta);
- medidores indicadores (para execução blindada).

6.2.22 Chave compensadora (22)

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.

A **figura 75** representa o esquema de comando de uma chave compensadora automática.

Figura 75

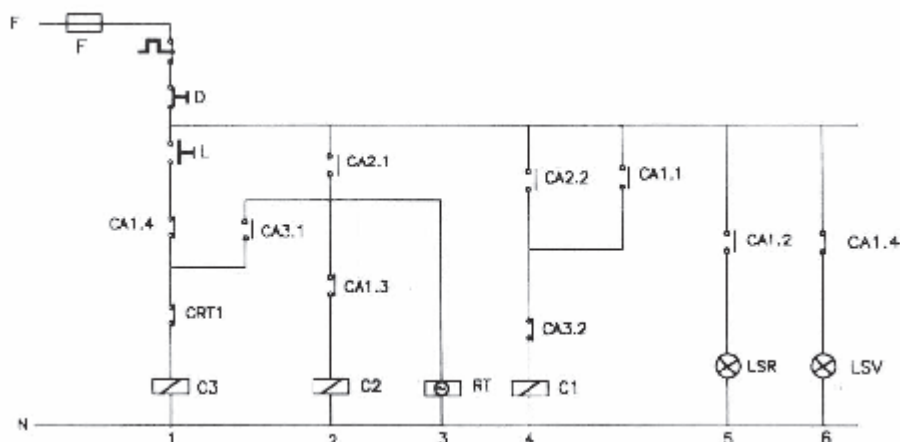


Fig. 75 - Esquema elétrico de comando de uma chave compensadora automática

A sua operação é iniciada quando, pressionando-se a botoeira L, se energiza a bobina do contator C3, conectando o autotransformador ATR em estrela e energizando a bobina do contator C2 e do relé de tempo RT, através do contato auxiliar CA3.1, na **figura 76**.

Figura 76

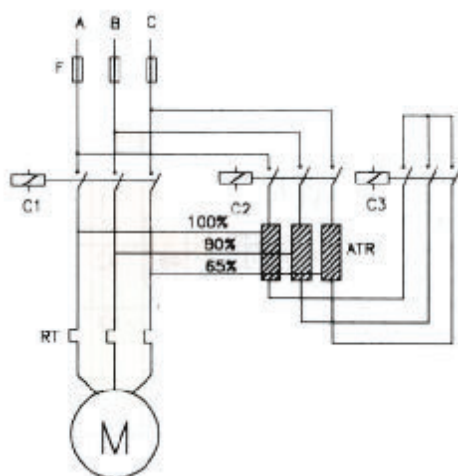


Fig. 76 - Esquema elétrico de força de uma chave compensadora automática

Normalmente, este tipo de partida é empregado em motores de potência elevada, acionando cargas com alto índice de atrito, tais como britadores, máquinas acionadas por correias, calandras e semelhantes.

As derivações, normalmente encontradas nos autotransformadores de chaves compensadoras, são de 65% e 80%.

Relativamente às chaves estrela-triângulo, podem-se enumerar algumas vantagens e desvantagens da chave compensadora.

a) Vantagens:

- na derivação 65%, a corrente de partida na linha se aproxima do valor da corrente de acionamento, utilizando chave estrela-triângulo;
- a comutação da derivação de tensão reduzida para a tensão de suprimento não acarreta elevação da corrente, já que o autotransformador se comporta, neste instante, semelhantemente a uma reatância que impede o crescimento da mesma;
- variações gradativas de tape, para que se possa aplicar a chave adequadamente à capacidade do sistema de suprimento.

b) Desvantagens:

- custo superior ao da chave estrela-triângulo;
- dimensões normalmente superiores às chaves estrela-triângulo, acarretando o aumento no volume dos Centros de Controle de Motores (CCM).

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

9.3.22.1 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);
- frequência 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).

6.2.23 Painéis para instalações elétricas (23)

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, podem ser classificados em:

➤ **IP 53**

São aqueles protegidos contra acúmulo de poeira prejudicial ao equipamento e água de chuva até a inclinação de 60° com a vertical.

➤ **IP 54**

São aqueles à prova de poeira e respingos em todas as direções. 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-circuito no sistema.

Existe, entre os fabricantes, uma tendência generalizada de padronização das dimensões dos painéis, através da construção de módulos, que podem ser acoplados, para formarem 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. 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 µ. 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 77** mostra a vista frontal de um painel de comando.

Figura 77

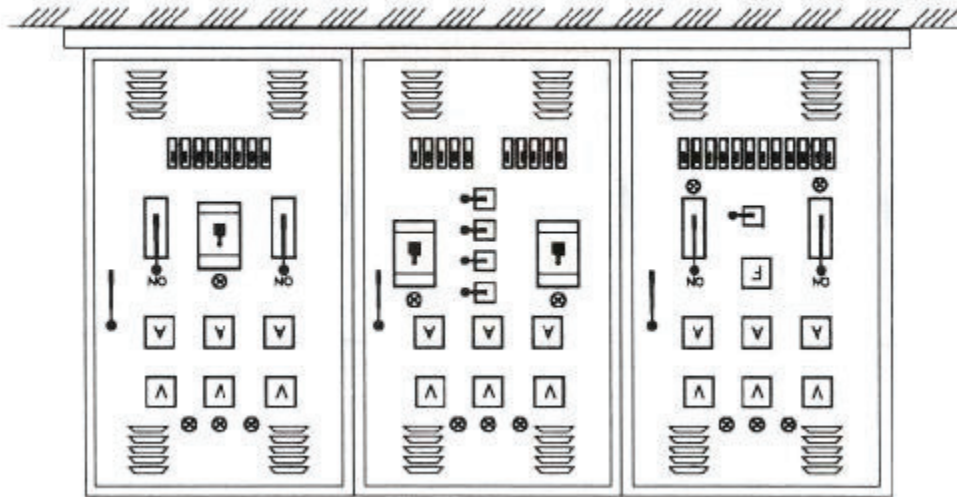


Fig. 78 - Vista frontal de um painel de comando

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

REFERÊNCIAS

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS (João Mamede Filho 4º Edição)

ELETROTÉCNICA – APLICAÇÃO E INSTALAÇÕES ELÉTRICAS
INDUSTRIAIS (Délio Pereira Guerrini 2º Edição Revisada)