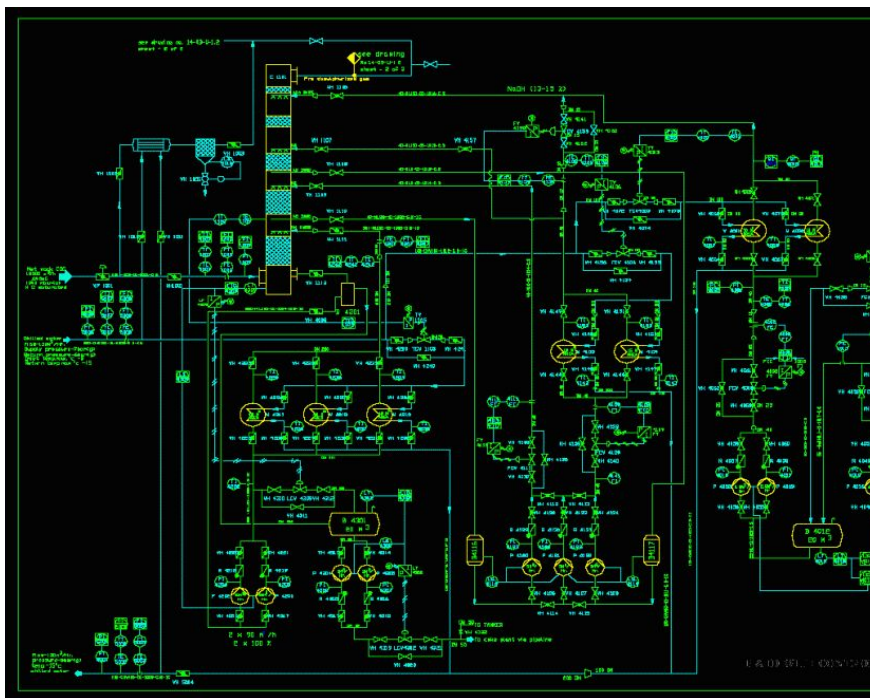


2020

Projeto de Instalação Elétrica Industrial



Técnico em Eletrotécnica

Sumário

Elementos de um Projeto Industrial	3
Concepção do Projeto	5
Condutores Elétricos	10
Sistema de condutores vivos	13
Sistema de aterramento	14
Projeto Elétrico de um Galpão Industrial	18
Cálculo da demanda	21
Motores	21
Iluminação e tomadas em geral	24
Determinação do horário de ponta da indústria	25
Critério da capacidade de condução	30
Critério da queda de tensão	32
Condutos elétricos	35
Tipos de conduto elétricos	35
(a) Eletrodutos	35
(b) Canaletas	38
Motor Elétrico	39
Placa de identificação do motor	41
Proteção Elétrica	47
Proteção	48
Disjuntor	48
Fusíveis	52
Relé bimetálico de sobrecarga	58
Dimensionamentos	60
REFERÊNCIAS	64

Elementos de um Projeto Industrial

Condições de suprimento de energia elétrica

A concessionária local deve prestar ao interessado as informações que lhe são peculiares, tais como:

- (a) Garantia de suprimento de carga, dentro de condições satisfatórias;
- (b) Variações de tensão de suprimento;
- (c) Tipo de sistema de suprimento:

A alimentação na indústria é na grande maioria dos casos, de responsabilidade da concessionária de energia elétrica. Por isso, o sistema de alimentação quase fica sempre limitado as disponibilidades das linhas de suprimento existente na área do projeto. Quando a indústria é de certo porte e a linha de produção exige uma elevada continuidade do serviço, faz-se necessário realizar investimentos adicionais, buscando recursos alternativos de suprimento, tais como construção de um novo alimentador e/ou aquisição de geradores de emergência. As indústrias de uma maneira geral são alimentadas por um dos seguintes sistemas:

(c.1) Sistema de suprimento radial simples: É aquele em que o fluxo de potência tem um sentido único da fonte para a carga. Entretanto, apresenta baixa confiabilidade devido à falta de recursos para manobra, quando da perda do alimentador. Em compensação seu custo é mais reduzido em relação a outros sistemas.

(c.2) Sistema de suprimento com recurso: É aquele que o sentido do fluxo de potência pode variar de acordo com as condições de carga do sistema. Estes sistemas apresentam maior confiabilidade, pois a perda eventual de um dos alimentadores não deve afetar a continuidade do fornecimento exceto durante o período do fornecimento da manobra das chaves. Estes sistemas apresentam custo mais elevado devido ao emprego de equipamento mais caro e, sobretudo pelo dimensionamento dos alimentadores que devem ter capacidade individual suficiente para suprir a carga quando da saída de um deles. Este tipo de sistema pode ser

alimentado por uma ou mais fontes de suprimento da concessionária, que melhorará sobremaneira a continuidade do sistema.

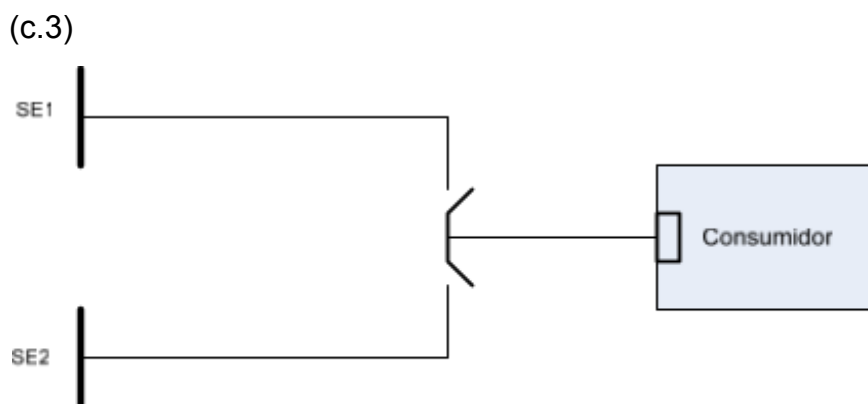


Figura – Sistema de suprimento com recurso

2º – Planta baixa de arquitetura do prédio

Contém toda a área de construção indicando com detalhes divisionais os ambientes de produção industrial, escritório, dependências em geral e outros que compõem o conjunto arquitetônico.

3º – Planta baixa com disposição física das máquinas

Contém a projeção aproximada de todas as máquinas, devidamente posicionada com indicações dos motores e dos locais dos painéis de controle.

4º – Planta de detalhes

Devem conter todas as particularidades do projeto de arquitetura que venham a contribuir na definição do projeto elétrico, tais como:

- (i) Vistas e corte do galpão industrial
- (ii) Detalhes de colunas e vigas de concreto ou outras particularidades da construção
- (iii) Detalhes de montagem de certas máquinas de grandes dimensões.

5º – Planos de expansão

É importante na fase de projeto conhecer os planos expansionistas dos dirigentes da empresa e, se possível, obter detalhes do aumento efetivo da carga a ser adicionada, bem como o local de sua instalação.

Em qualquer projeto de instalação industrial devemos considerar os seguintes aspectos:

- (i) Flexibilidade – É a capacidade de admitir mudanças na localização das máquinas sem comprometer seriamente as instalações existentes;
- (ii) Acessibilidade – Exprime a facilidade de acesso a todas as máquinas e equipamento de manobras existentes;
- (iii) Confiabilidade – Representa o desempenho do sistema quanto as interrupções temporárias e permanentes, bem como assegurar a proteção e a integridade física daqueles que operam.

Concepção do Projeto

Esta fase do projeto requer muita experiência profissional do projetista. Com base na sua decisão o projeto tomará forma e corpo que conduzirão ao dimensionamento dos materiais e equipamentos, filosofia de proteção, etc. De um modo geral, como orientação, pode-se seguir os passos apontados a seguir para a concepção do projeto elétrico.

1º – Divisão das cargas em blocos

Com base na planta baixa com os lay-out das máquinas deve-se dividir a carga em blocos. Cada bloco de carga deve possuir um terminal com alimentação e proteção individualizadas. A escolha do bloco é feita, em princípio, considerando-se os setores individuais de produção, bem como as grandezas da carga de que são constituídos para avaliação da queda de tensão.

Obs.:

- (i) Nesta fase do projeto temos que já ter definido a tensão de alimentação na baixa tensão, sendo as mais utilizadas: 220 V, 380 V, 440 V.

- (ii) Quando um determinado setor de produção está instalado em recinto fisicamente isolado de outros setores, deve-se considerar como um bloco de carga individualizado;
- (iii) Podem-se agrupar vários setores de produção num só bloco de carga, desde que a queda de tensão nos terminais das mesmas seja permissível. Isto se dá muitas vezes quando da existência de máquinas de pequena potência.

2º – Localização do quadro de distribuição terminal

Os quadros de distribuição terminal devem ser localizados em pontos que satisfaçam de um modo geral as seguintes condições:

- (i) No baricentro elétrico do bloco de cargas – O baricentro elétrico é calculado considerando um sistema de coordenadas cartesianas, concentradas em cada ponto, de cargas puntiformes com suas respectivas distâncias à origem.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \times x_i}{\sum_{i=1}^N P_i}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i \times y_i}{\sum_{i=1}^N P_i}$$

$P_i \rightarrow$ Potência individual de cada motor, e

$N \rightarrow$ Quantidade de motores:

- (ii) Próximo à linha geral dos dutos de alimentação;
- (iii) Afastado da passagem sistemática de funcionários;
- (iv) Em ambientes bem iluminados;
- (v) Em locais de fácil acesso;
- (vi) Em locais não sujeitos a gases corrosivos, inundações, trepidações, etc.;
- (vii) Em locais de temperaturas adequadas.

3º – Localização da subestação de transformação

É comum o projetista receber as plantas já com as indicações do local da subestação. Nestes casos, a escolha é feita em função do arranjo arquitetônico da construção e muitas vezes da exiguidade da área. Pode ser também uma decisão visando a segurança da indústria, principalmente quando o seu produto é de alto risco. Observa-se, portanto, que nem sempre o local escolhido para a subestação é o local mais adequado, às vezes, muita afastada do centro de carga, acarretando alimentadores longos e de seção elevada.,

4º – Sistema primário de distribuição interna

Quando uma indústria possui duas ou mais subestações de transformações, alimentada de um ponto suprimento da concessionária, devido a indústria ser formada por duas ou mais unidades de produção, localizadas em galpões fisicamente separados. Em tais casos, é necessário localizar próximo a via pública a Cabine de Medição, que contém equipamentos e instrumentos de medida de energia de propriedade da concessionária.

Pode-se proceder a energização destas subestações utilizando-se um dos seguintes esquemas:

Sistema radial simples;

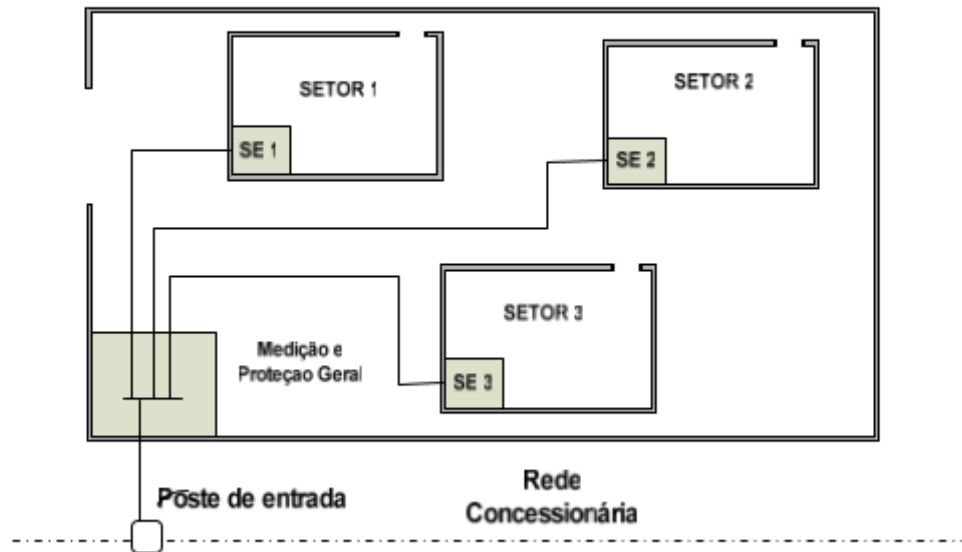


Figura – Sistema radial simples

(ii) Sistema radial com recurso – Este sistema pode ser projetado de acordo com a ilustração abaixo.

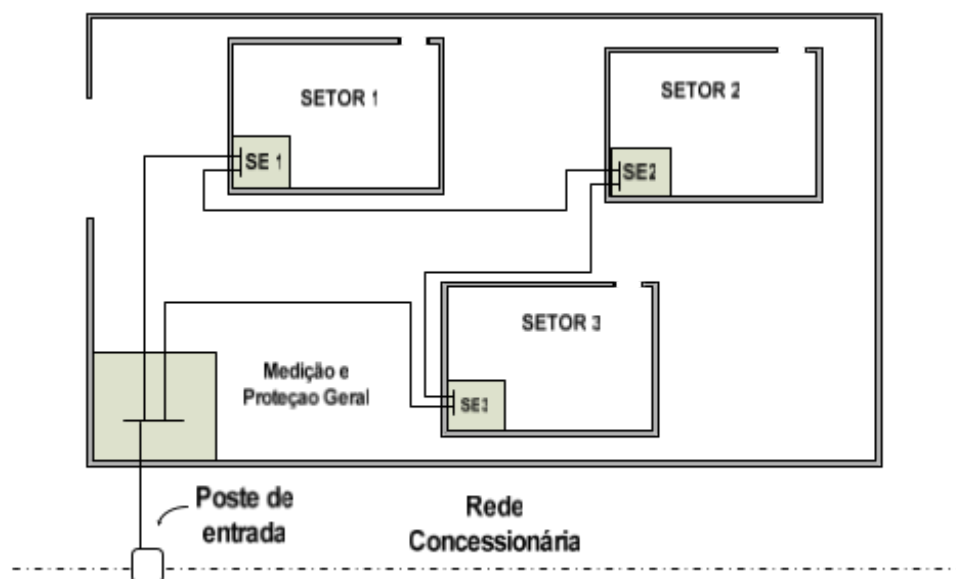


Figura – Sistema radial com recurso

5º – Sistema secundário de distribuição

A figura abaixo mostra o traçado de um circuito terminal de motor.

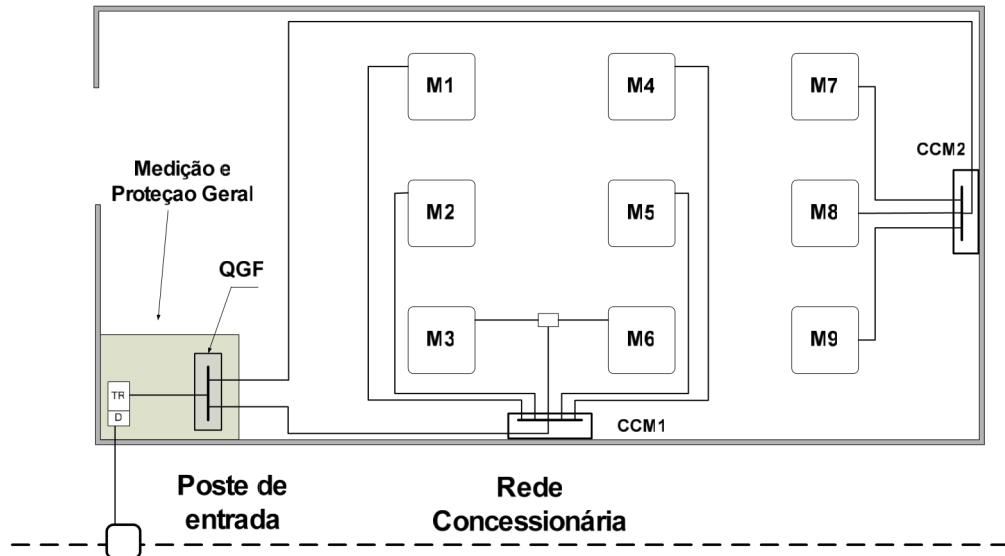


Figura – Sistema secundário de distribuição. QGF (quadro geral de força) e CCM (centro de comando)

A distribuição secundária em baixa tensão numa instalação industrial pode ser dividida em:

(a) Circuitos terminais de motores

O circuito terminal de motores consiste em dois ou três condutores conduzindo corrente numa dada tensão. Os circuitos terminais de motores devem obedecer algumas regras básicas, tais como:

- Conter dispositivos de seccionamento na sua origem para fins de manutenção. O seccionamento deve desligar tanto o motor como seu dispositivo de comando. Podem ser utilizados:

I. Seccionadores;

II. Interruptores;

III. Disjuntores;

IV. Contactores;

V. Fusíveis com terminais apropriados para retirada sob tensão (vi) tomada de corrente.

- Conter um dispositivo de proteção contra curto-circuito na sua origem;
- Conter um dispositivo de comando capaz de impedir uma partida automática do motor devido a queda ou falta de tensão, se a partida for capaz de provocar perigo. Nesse caso recomenda-se a utilização de contactores;
- Conter um dispositivo de acionamento do motor, de forma a reduzir a queda de tensão na partida a um valor igual a 10%, ou de conformidade com as exigências da carga;
- De preferência, cada motor deve ser alimentado por um circuito terminal individual;
- Quando um circuito terminal alimentar mais de um motor ou outras cargas, os motores devem receber proteção de sobrecarga individual. Nesse caso, a proteção contra curto-circuito deve ser feita por um dispositivo único e localizado no início do circuito terminal capaz de proteger condutores de alimentação do motor de menor corrente nominal e que não atue indevidamente sob qualquer condição de carga normal do circuito;
- Quanto a maior potência de um motor alimentado por um circuito terminal individual, mais é recomendável que as cargas de outras naturezas sejam alimentadas por outros circuitos.

(b) Circuito de distribuição

Compreende-se por circuito de distribuição, também chamados de alimentadores, os condutores que derivam do Quadro Geral de Força (QGF) e alimentam um os mais centros de comando (CCM ou QDL). Os circuitos de distribuição devem ser protegidos no ponto de origem através de disjuntores ou fusíveis de capacidade adequada à carga e às correntes de curto-circuito. Os

circuitos devem dispor, no ponto de origem, de um dispositivo de seccionamento, dimensionado para suprir a maior demanda do centro de distribuição e proporcionar condições satisfatórias de manobra.

Condutores Elétricos

O dimensionamento de um condutor deve ser precedido de uma análise detalhada de sua instalação e da carga a ser suprida.

Um condutor mal dimensionado, além de implicar a operação inadequada da carga, representa um elevado risco de incêndio para o patrimônio, principalmente quando associado um deficiente projeto de proteção. Os fatores que envolvem o dimensionamento de um condutor são:

- I. Tensão nominal;
- II. Frequência nominal;
- III. Potência ou corrente da carga a ser suprida;
- IV. Fator de potência da carga;
- V. Tipo de sistema: monofásico, bifásico ou trifásico;
- VI. Método de instalação dos condutores;
- VII. Tipo de carga: iluminação, motores, capacitores, etc.;
- VIII. Distância da carga ao ponto de suprimento;
- IX. Corrente de curto-circuito.

Para que os condutores estejam adequadamente dimensionados é necessário que se projetem os elementos de proteção a eles associados de maneira que a sobrecarga e sobrecorrentes presumidas do sistema não afetem a sua isolação.

Fios e Cabos Condutores

A maioria absoluta das instalações elétricas industriais emprega o cobre como elemento condutor dos fios e cabos elétricos. O uso do condutor de alumínio nesse tipo de instalação é muito reduzido, apesar de o preço de mercado ser

significativamente inferior aos correspondentes condutores de cobre. A própria norma brasileira NBR 5410 restringe a aplicação dos condutores de alumínio quando somente permite o seu uso para seções iguais ou superiores a 10 mm².

De fato, os condutores de alumínio necessitam de cuidados maiores na manipulação e instalação, devido às suas características mecânicas. No entanto, o que torna decisiva a restrição ao seu maior uso é a dificuldade de assegurar uma boa conexão com os terminais dos aparelhos consumidores, já que a maioria destes é própria para conexão com condutores de cobre.

De maneira geral os cabos são isolados com diferentes tipos de compostos isolantes, sendo os mais empregados o PVC (cloreto de polivinila), o EPR (borracha de etileno-propileno) e o XLPE (polietileno reticulado).

Os condutores são chamados de isolados quando dotados de uma camada isolante, de capa de proteção. Por outro lado, são denominados de unipolares os condutores que possuem uma camada isolante, protegida por uma capa, normalmente constituída de material PVC. Quando um cabo é constituído por condutores isolados e o conjunto é protegido por uma capa externa, é denominado de multipolar. Certos condutores, devido à sua qualidade e ao forte esquema de *marketing*, já tornaram suas marcas extremamente populares, como é o caso dos fios e cabos *pirastic* (condutor isolado em PVC) e, também, do *sintenax* (condutor unipolar com isolamento em PVC), ambos de fabricação Pirelli.

As figuras abaixo mostram cabo de cobre isolado de PVC e um cabo de cobre unipolar e um tripolar.

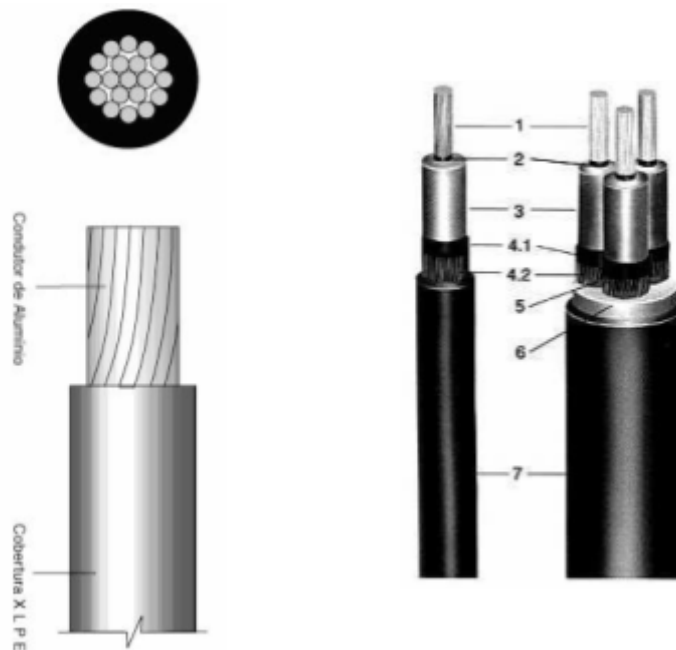


Figura – Tipos de fios e cabos condutores.

A isolação dos condutores isolados é designada pelo valor da tensão nominal entre fases que suportam, padronizadas pela NBR 6148 em 750 V. Já. A isolação dos condutores unipolares é designada pelos valores nominais das tensões que suportam respectivamente entre fase e terra e entre fases, padronizadas pela NBR 6251 em 0,6/1 kV para fios e cabos de baixa tensão e em 3,6/6 kV – 6/10 – 8,7/15 e 12/20 kV para cabos de média tensão.

Sistema de Distribuição

Sistema de condutores vivos

Sistema monofásico a dois condutores (F – N)

É o sistema comumente utilizado em instalações residenciais e em prédios comerciais e residenciais com um número reduzido de unidades de consumo e de pequena carga.

Sistema monofásico a três condutores

É empregado em pequenas instalações residências e comerciais, onde há carga de iluminação e motores. Seu uso é limitado.

Sistema trifásico a três condutores (3F)

É o sistema secundário que pode ser conectado em triângulo ou estrela com o ponto neutro isolado.

Sistema trifásico a quatro condutores (3F - N)

É o sistema secundário de distribuição mais comumente empregado nas instalações elétricas industriais. Normalmente é utilizada a configuração estrela com o ponto neutro aterrado.

Sistema de aterramento

De acordo com a NBR 5410, as instalações de baixa tensão devem obedecer, no que concerne aos aterramentos **funcional** e de **proteção**, a três esquemas de aterramento básicos, sendo designados por uma simbologia que utiliza duas letras fundamentais:

□ **1ª letra:** indica a situação da alimentação em relação à terra

T – um ponto diretamente aterrado

I – nenhum ponto aterrado ou aterrado através de impedância

□ **2ª letra:** indica as características de aterramento das massas

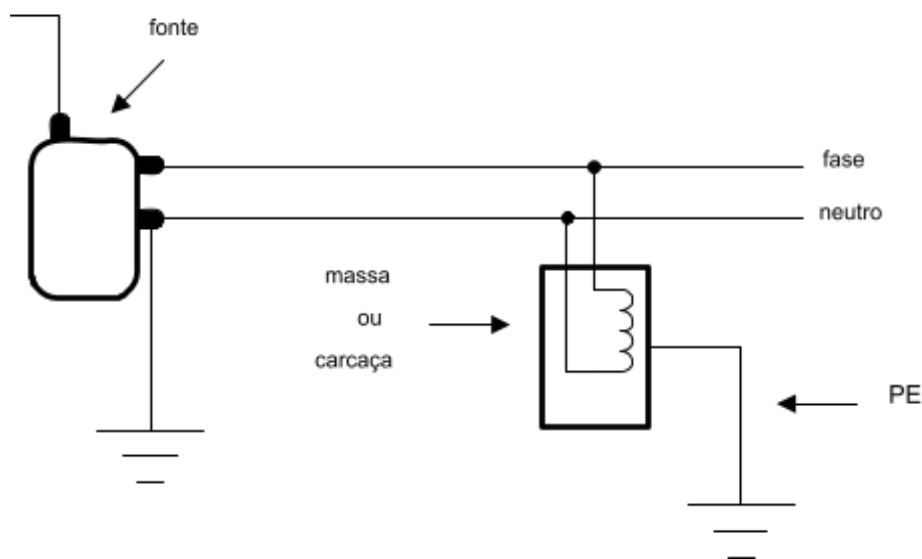
T – massas diretamente aterradas independente do eventual aterramento da alimentação;

N – massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado, geralmente o neutro.

Esquema T T

Existe um ponto da alimentação diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligadas a um eletrodo de aterramento independente do eletrodo de aterramento da alimentação. Trata-se de um esquema concebido de forma que o percurso da corrente proveniente de uma falta fase-massa inclua a terra e que a elevada impedância desse percurso limite o valor daquela corrente. Porém pode trazer perigo para as pessoas que toquem numa massa acidentalmente energizada.

Esquema T T

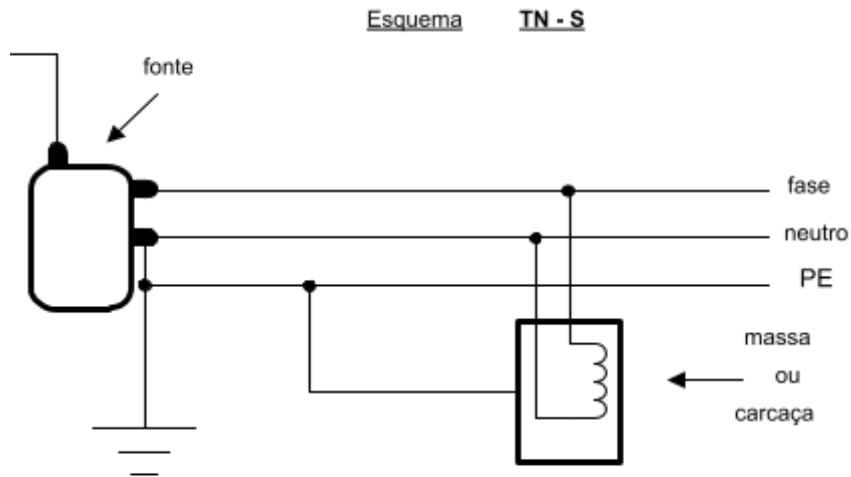


T - Alimentação aterrada

T - Equipamento aterrado independente da alimentação pelo condutor PE

Esquema T N

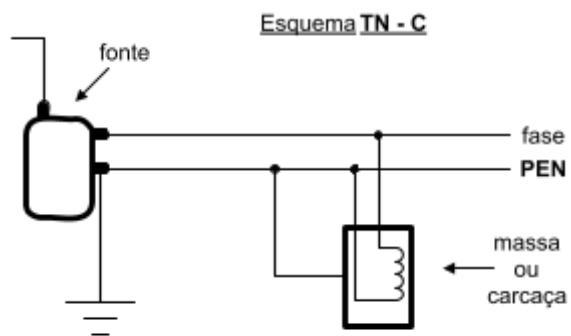
Existe um ponto de alimentação diretamente aterrado, sendo as massas da instalação ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. O esquema é concebido de modo que o percurso de uma corrente de falha fase-massa seja constituído exclusivamente por elementos condutores e, portanto, possua baixíssima impedância.



T- alimentação aterrada

N- equipamento aterrado na alimentação

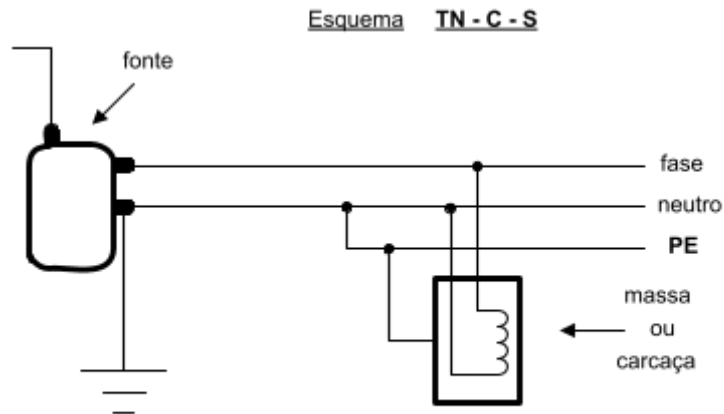
S - condutor PE distinto do condutor neutro



T- alimentação aterrada

N - Equipamento aterrado na alimentação

C - Funções dos condutores PE e neutro combinadas em um único condutor ao longo de todo o sistema



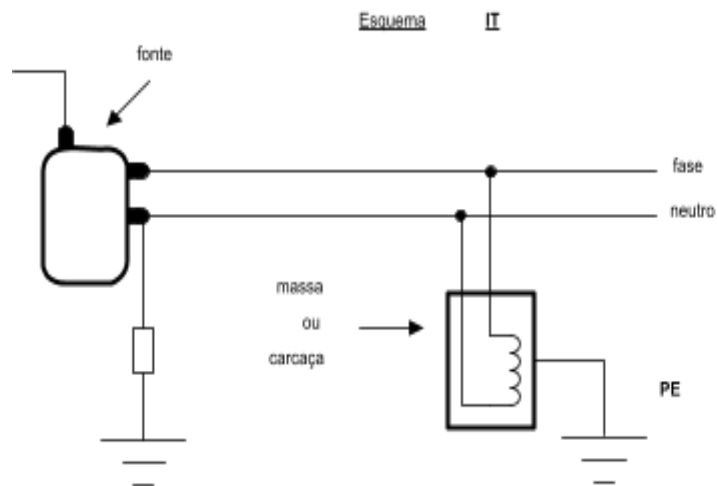
T- alimentação aterrada

N - Equipamento aterrado na alimentação

C-S - Funções dos condutores PE combinadas em um único condutor numa parte do sistema

Esquema I T

Não existe nenhum ponto da alimentação diretamente aterrado; ela é totalmente isolada da terra ou aterrada através de uma impedância de valor elevado. As massas são ligadas à terra por meio de eletrodos de aterramento próprios. Nesse esquema, a corrente resultante de uma falta fase-massa não possuirá intensidade suficiente para trazer perigo para as pessoas que toquem na massa energizada, devido às capacitâncias da linha em relação à terra e a eventual impedância existente entre a alimentação e a terra.



I - Alimentação aterrada através de impedância

T - Equipamento aterrado independente da alimentação pelo condutor PE

Projeto Elétrico de um Galpão Industrial

Projetar o sistema elétrico a seguir, calculando todos os dispositivos de comando, proteção e alimentadores no sistema de baixa tensão.

(a) Planta baixa com os lay-out das máquinas

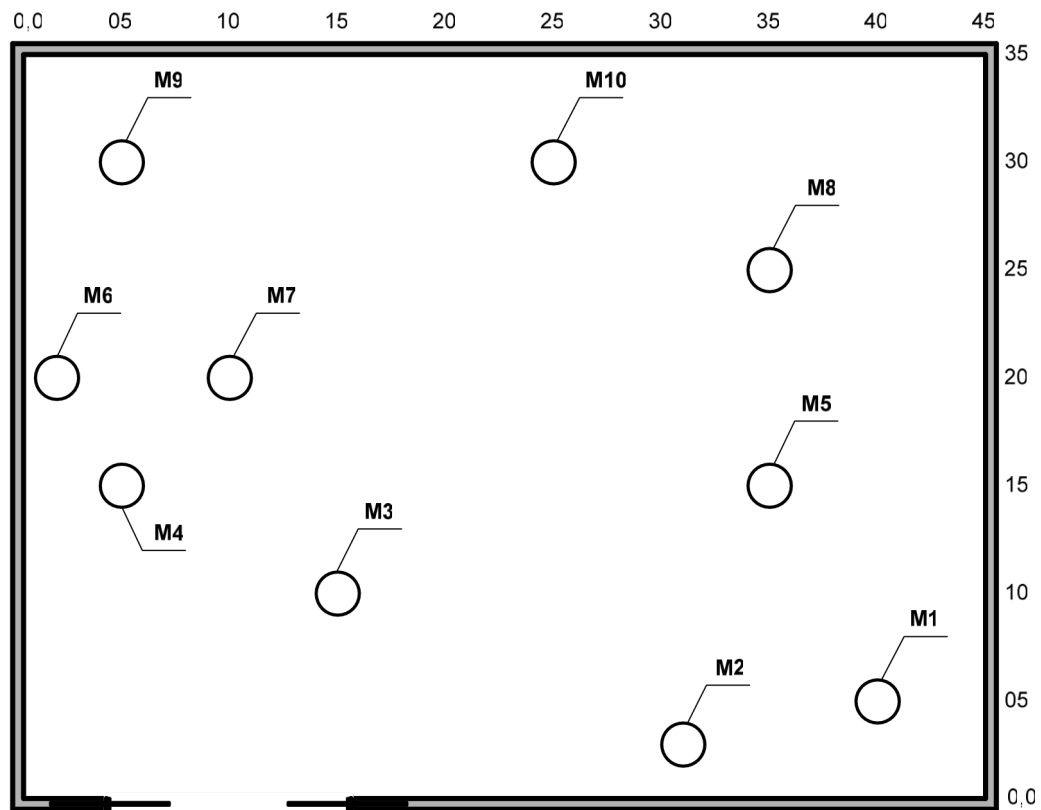


Figura-Planta baixa e layout das máquinas

(b) Dados do sistema a ser projetado

1. Pa: Potência de iluminações, tomadas simples e aparelhos de aquecimento – 30 kW;
2. M1: Motor de indução monofásico, 3 cv, 127/220 V;
3. M2: Motor de indução trifásico, 10 cv, 220/380 V;
4. M3: Motor de indução trifásico, 10 cv, 220/380 V;
5. M4: Motor de indução trifásico, 15 cv, 220/380 V;
6. M5: Motor de indução trifásico, 12,5 cv, 220/380 V;
7. M6: Motor de indução trifásico, 50 cv, 220/380 V;
8. M7: Motor de indução trifásico, 30 cv, 220/380 V;
9. M8: Motor de indução trifásico, 40 cv, 220/380 V;
10. M9: Motor de indução trifásico, 20 cv, 220/380 V;
11. M10: Motor de indução monofásico, 7,5 cv, 220/380 V.

- 12.** Todos os motores possuem placa de identificação
- Regime: S1
 - CAT: N
 - Isol CL: B
 - IP: 54
 - Hz: 60
- 13.** Temperatura ambiente média: $T_a = 40^{\circ}\text{C}$
- 14.** Altitude: menos que 1000 m
- 15.** Sistema de alimentação: Concessionária local
- (a) Há disponibilidade de energia na região;
 - (b) Existe um alimentador passando em frente ao sistema elétrico a ser projetado;
 - (c) Tipo do alimentador – radial simples;
 - (d) É um alimentador somente para consumidores industriais;
 - (e) Frequência - 60 Hz;
 - (f) Tensão nominal na alta tensão – 13,8 kV
 - (g) Ambiente no local de instalação dos motores e quadro – Normal (pouca poeira e umidade)
 - (h) Não há necessidade de sistema de emergência (grupo gerador, banco de baterias, etc.).
- 16.** Sequência de funcionamento

			5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
	CV	Watts										
Pa				60 %			80%			40%		
M1					100%							
M2									100%			
M3				100%						100%		
M4				100%							100%	
M5						100%						
M6							100%					
M7				100%							100%	
M8								100%				
M9								100%				
M10						100%						

Figura-Sequencia do funcionamento

Cálculo da demanda

Motores

$$D_m = \frac{P_m(\text{cv}) \times 0,736}{F_p \times \eta} \times F_u \times F_s \times N$$

$F_p \times \eta$

D_m – demanda dos motores, em kVA

P_m – potência nominal, em cv

F_u – fator de utilização

F_p – fator de potência

F_s – fator de simultaneidade

η - rendimento

N – Quantidade de motores de mesma potência

(a) Fator de simultaneidade

É a relação entre a demanda máxima do grupo de aparelhos e a soma das demandas individuais dos aparelhos do mesmo grupo, num intervalo de tempo considerado. O fator de simultaneidade é sempre inferior que a unidade. A Tabela 1 fornece os fatores de simultaneidade para diferentes potências de motores em agrupamento e outros aparelhos.

(b) Fator de utilização

É o fator pelo qual deve ser multiplicada a potência nominal do aparelho para se obter a potência média absorvida pelo mesmo, nas condições de utilização. A Tabela 2 fornece os fatores de utilização dos principais equipamentos utilizados nas instalações elétricas industriais.

Tabela – Fatores de simultaneidade

Aparelhos (cv)	Número de aparelhos							
	2	4	5	8	10	15	20	50
Motores: $\frac{3}{4}$ a 2,5	0,85	0,80	0,75	0,70	0,60	0,55	0,50	0,40
Motores: 3 a 14	0,80	0,80	0,75	0,75	0,70	0,65	0,55	0,45
Motores; 20 a 40	0,80	0,80	0,80	0,75	0,65	0,60	0,60	0,50
Acima de 40	0,90	0,90	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65	0,60
Retificadores	0,90	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70
Soldadores	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30
Fornos Resistivos	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
Fornos de indução	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-

Tabela – Fatores de utilização

Motores: ¾ a 2,5	0,70
Motores: 3 a 14	0,83
Motores; 20 a 40	0,85
Acima de 40	0,87
Retificadores	1,00
Soldadores	1,00
Fornos Resistivos	1,00
Fornos de indução	1,00

(c) Rendimento

É a relação entre a potência fornecida ao eixo e a potência elétrica de entrada, ou seja,

$$\eta = \frac{P_{util}}{P_{total}} = \frac{P_{mecanica}}{P_{eletrica}}$$

(d) Fator de potência

Relação entre a potência ativa e a potência aparente do motor. Veja Tabela

3.

Tabela - Motores Monofásicos –rendimento e fator de potência

VALORES NOMINAIS DOS MOTORES			
POTÊNCIA	FP	η	CORRENTE (A) (220 V)

NO EIXO (CV)	ABSORVIDA DA REDE (KW)			
1/4	0,39	0,63	0,47	2,8
1/3	0,52	0,71	0,47	3,3
1/2	0,66	0,72	0,56	4,2
3/4	0,89	0,72	0,62	5,6
1,0	1,10	0,74	0,67	6,8
1,5	1,58	0,82	0,70	8,8
2,0	2,07	0,85	0,71	11
3,0	3,07	0,96	0,72	15
4,0	3,98	0,96	0,74	19
5,0	4,91	0,94	0,75	24
7,5	7,46	0,94	0,74	36
10,0	9,44	0,94	0,78	46
12,5	12,10	0,93	0,76	59

Iluminação e tomadas em geral

Primeiros 20 kW: 100%

Acima de 20 kW: 70%

Obs.: A utilização do procedimento acima é válida quando não conhecemos a sequência de funcionamento do sistema. Neste projeto, entretanto, conhecemos a sequência de funcionamento dos equipamentos e da iluminação da indústria, como ilustrado na Figura. Portanto, calcularemos a demanda de acordo com essa sequência.

Tabela – Motores elétricos trifásicos: rendimento e fator de potência

Potência	KOHLBACH-SIEMENS			
	II Polos	IV Polos	VI Polos	VIII Polos

CV	kW	η	Cos φ	η	Cos φ	η	Cos φ	η	Cos φ
1,0	0,75	80,1	0,81	82,7	0,68	80,0	0,63	70,0	0,60
1,5	1,10	82,5	0,87	81,5	0,68	77,0	0,68	77,0	0,60
2,0	1,50	84,0	0,84	84,2	0,76	83,0	0,65	82,5	0,61
3,0	2,20	85,1	0,86	85,1	0,79	83,0	0,69	84,0	0,61
4,0	3,00	85,1	0,92	86,0	0,79	85,0	0,71	84,5	0,62
5,0	3,70	87,6	0,85	87,5	0,78	87,5	0,73	85,5	0,62
6,0	4,50	88,0	0,90	88,5	0,81	87,5	0,75	85,5	0,62
7,5	5,50	88,8	0,85	89,5	0,81	88,0	0,71	85,5	0,62
10,0	7,50	89,5	0,85	90,0	0,83	88,5	0,74	88,5	0,66
12,5	9,00	89,5	0,90	90,0	0,82	88,5	0,76	88,5	0,74
15,0	11,00	90,2	0,88	91,0	0,82	90,2	0,77	88,5	0,74
20,0	15,00	90,2	0,85	91,0	0,87	90,2	0,79	89,5	0,81
25,0	18,50	91,0	0,88	92,4	0,89	91,7	0,82	89,5	0,76
30,0	22,00	91,0	0,90	92,4	0,85	91,7	0,81	91,0	0,73
50,0	37,00	91,7	0,92	93,0	0,88	93,0	0,78	91,0	0,75
60,0	45,00	92,4	0,92	93,0	0,90	93,0	0,80	91,7	0,77
75,0	55,00	93,0	0,94	93,6	0,89	93,6	0,86	91,7	0,78
100,0	75,00	93,0	0,94	94,1	0,90	93,6	0,87	93,0	0,78
125,0	90,00	93,6	0,94	94,5	0,90	94,1	0,87	93,0	0,80
150,0	110,00	94,5	0,90	94,5	0,90	94,1	0,86	93,6	0,82
175,0	130,00	94,7	0,90	95,0	0,86	95,0	0,85	-	-
200,0	150,00	95,0	0,90	95,0	0,86	95,0	0,85	-	-
250,0	185,00	95,4	0,91	95,0	0,87	-	-	-	-

Determinação do horário de ponta da indústria

- (a) primeiro horário de ponta: 05:00 às 11:00 hs
- (b) segundo horário de ponta: 11:00 às 19:00 Hs
- (c) terceiro horário de ponta: 19:00 às 23:00 Hs
- (d) Triângulo das potências - Cálculo da demanda provável da indústria

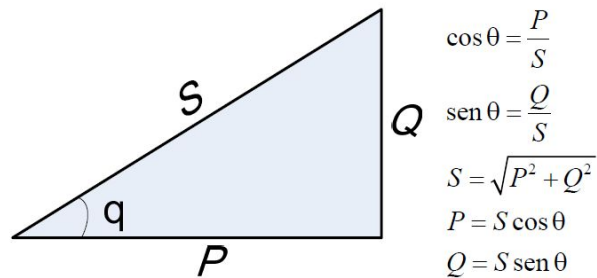


Figura – Triângulo das Potências

P → Potência ativa (kW)

Q → Potência reativa (kVAR)

S → Potência aparente (kVA)

θ → ângulo do fator de potência

Obs.:

- (a) Para iluminação e aquecimento: FP = 1
- (b) Para instalação de motores: FP = 0,92 (valor mínimo)
- (c) Cálculo da demanda levando em consideração o horário de ponta da indústria e escolha do transformador.

Dimensionamento do ramal de ligação aéreo

Tabela – Dimensionamento do ramal de ligação de entrada aérea

Demanda provável (kVA)	Cabo de alumínio nu (CA ou CAA – AWG)	Cobre (mm ²)
2000	4	16
2500	2	25

Dimensionamento do ramal de entrada subterrâneo

Tabela – Dimensionamento do ramal de entrada subterrâneo

Demanda provável (kVA)	Cobre (mm ²)	Eletroduto (diâmetro interno mínimo)	
		mm	polegada
2000	25	80	3"
2500	35	80	3"

Elos Fusíveis para proteção de transformadores

Tabela – Elos fusíveis para proteção de transformadores

Potência do transformador (kVA)	13,8kV	
	ELO	CHAVE (A)
15	0,5H	100
30	1H	100
45	2H	100
75	3H	100
112,5	5H	100
150	5H	100
225	10H	100

CrITÉrios para dimensionamento da seção mínima do condutor fase

A seção mínima dos condutores elétricos deve satisfazer, simultaneamente, aos três critérios seguintes:

- I. Seção mínima;
- II. Capacidade de condução de corrente;
- III. Limite de queda de tensão;

- IV. Sobrecarga
- V. Capacidade de condução da corrente de curto-circuito por tempo ilimitado;
- VI. Contatos indiretos;

Durante a elaboração de um projeto, os condutores são inicialmente dimensionados pelos três primeiros critérios. Assim, quando o dimensionamento das proteções é baseado, entre outros parâmetros, nas intensidades das correntes de falta, é necessário confrontarmos valores destas e os respectivos tempos de duração com os valores máximos admitidos pelo isolamento dos condutores utilizados, cujos gráficos estão mostrados na Figuras 9 e 10, respectivamente para isolações de PVC 70°C e XLPE 90°C.

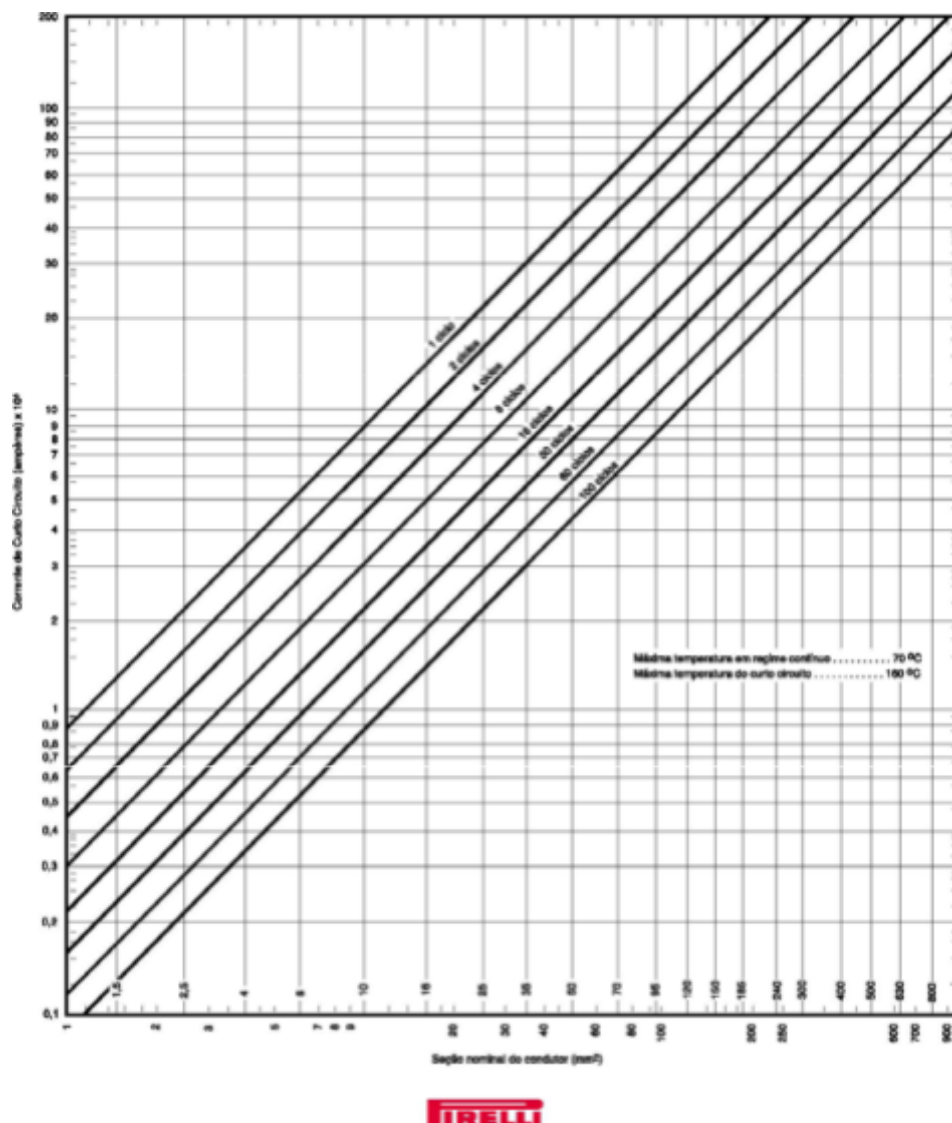


Figura – Corrente máxima de curto circuito para fios e cabos isolados com PVC

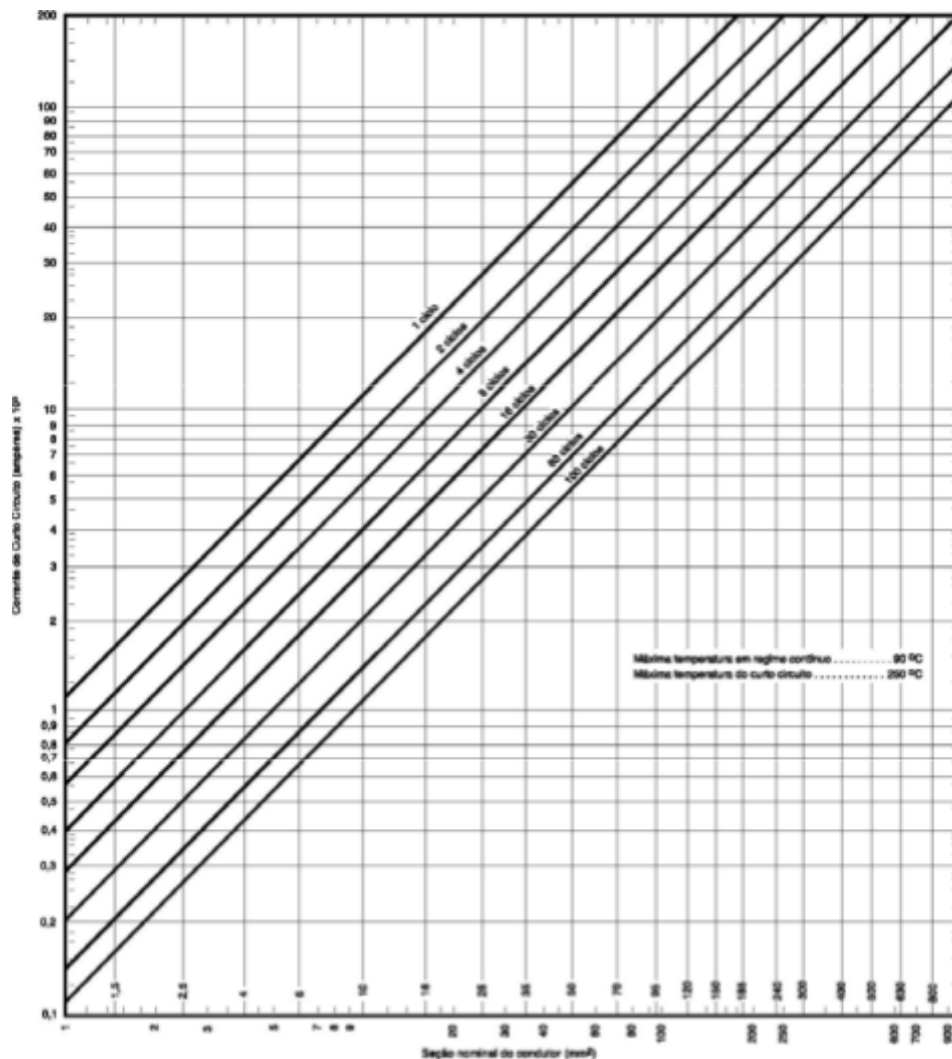


Figura – Corrente máxima de curto circuito para fios e cabos isolados com XLPE

Critério da capacidade de condução

(a) Cálculo da corrente nominal

(i) Circuito trifásico:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times U}$$

Onde U é a tensão entre fase-fase

(ii) Circuito monofásico:

$$I_n = \frac{S}{U}$$

Onde U é a tensão entre fase-neutro ou fase-fase

S - Potência aparente

I_n - Corrente nominal

(b) Corrente admissível

$$I_{ADM} = \frac{I_n}{FCT \times FCA}$$

FCT → Fator de correção de temperatura (ver Tabela 7)

FCA → Fator de correção de agrupamento

I_{ADM} = Corrente admissível

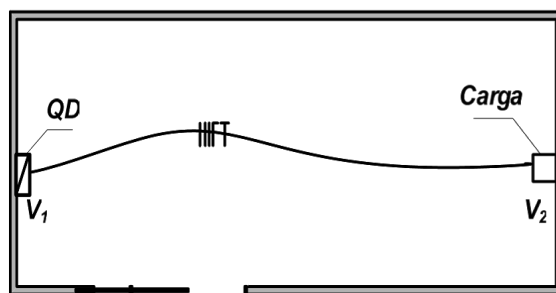
Tabela – Fatores de correção de temperatura ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas e de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas.

Temperatura (°C)	Isolação			
	ambiente		Solo	
	PVC	XLPE / EPR	PVC	XLPE / EPR
10	1,22	1,15	1,10	1,07

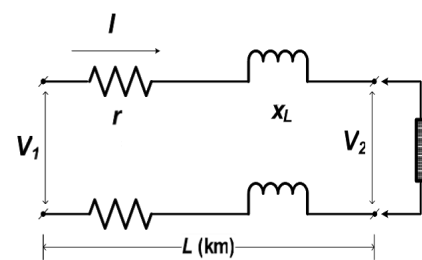
15	1,17	1,12	1,05	1,04
25	1,12	1,08	0,95	0,96
30	1,06	1,04	0,89	0,93
35	0,94	0,96	0,84	0,89
40	0,87	0,91	0,77	0,85
45	0,79	0,87	0,71	0,80
50	0,71	0,82	0,63	0,76
55	0,61	0,76	0,55	0,71
60	0,50	0,71	0,45	0,65
65	-	0,65	-	0,60
70	-	0,58	-	0,53
75	-	0,50	-	0,46
80	-	0,41	-	0,38

Critério da queda de tensão

(a) Circuito monofásico equivalente de corrente alternada para cargas trifásicas equilibradas



(a) Diagrama esquemático



(b) Circuito elétrico monofásico equivalente

Figura-(a) Diagrama unifilar do circuito; (b) circuito elétrico monofásico equivalente.

Para dimensionar as seções dos condutores pela máxima queda de tensão utilizamos o circuito elétrico equivalente e temos que levar em consideração as

quedas de tensões nas resistências e reatâncias indutivas dos fios e cabos. Os diversos valores de queda de tensão, para diferentes seções transversais e nos mais diversos arranjos, encontram-se nas tabelas dos fabricantes.

Quando estes valores não são encontrados, podemos calculá-las utilizando a fórmula abaixo. Os valores da resistência e da reatância estão tabelados na Tabela 8.

(a) Para circuito monofásico:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V_{12}}{V} \times 100 = \frac{2LI(r \cos \theta + x_L \sin \theta)}{V} \times 100$$

(b) para circuito trifásico:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V_{12}}{V} \times 100 = \frac{\sqrt{3}LI(r \cos \theta + x_L \sin \theta)}{V} \times 100$$

$L \rightarrow$ Comprimento do circuito (km)

$r \rightarrow$ Resistência do fio por unidade comprimento (Ω/km)

$x_L \rightarrow$ Reatância indutiva do fio por unidade de comprimento (Ω/km)

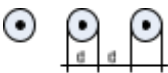
$\theta \rightarrow$ Ângulo do fator de potência da carga

$I \rightarrow$ Corrente monofásica equivalente

$V \rightarrow$ Tensão entre fase e neutro

Tabela - Dados característicos para condutores isolados com cobertura em baixa tensão 1 kV. Valores de r e x_L por unidade de comprimento para condutores de PVC -70 em três disposições mais utilizadas

		$x_L (\Omega / \text{km})$	Diâmetro externo
--	--	----------------------------	---------------------

Seção nominal (mm ²)	$r(\Omega / \text{km})$		 Disposição trifólio	 Cabo tripolar	(mm)
1,5	14,477	0,2322	0,1626	0,124	3,15
2,5	8,866	0,2206	0,1509	0,115	3,60
4	5,516	0,2171	0,1474	0,114	4,50
6	3,685	0,2081	0,1385	0,108	5,10
10	2,189	0,1945	0,1249	0,103	5,75
16	1,376	0,1839	0,1153	0,098	6,75
25	0,870	0,1837	0,1141	0,097	8,35
35	0,627	0,1783	0,1087	0,093	9,40
50	0,463	0,1756	0,1081	0,093	10,85
70	0,321	0,1727	0,1031	0,090	12,50
95	0,231	0,1713	0,1017	0,090	14,65
120	0,184	0,1695	0,09989	0,088	16,23
150	0,149	0,1695	0,09996	0,088	18,17
185	0,120	0,1690	0,09944	0,087	20,18
240	0,0922	0,1652	0,09562	0,086	22,82
300	0,0744	0,1645	0,09486	0,086	25,40
400	0,0593	0,1634	0,09383	-	28,30
500	0,0477	0,1625	0,09289	-	31,80
630	0,0338	0,1615	0,09100	-	35,40

Condutos elétricos

Num sistema elétrico existem diversas maneiras de se transportar os condutores elétricos. Estas canalizações são destinadas a conter exclusivamente condutores elétricos denominamos de *conduto elétrico*.

Tipos de conduto elétricos

(a) Eletrodutos

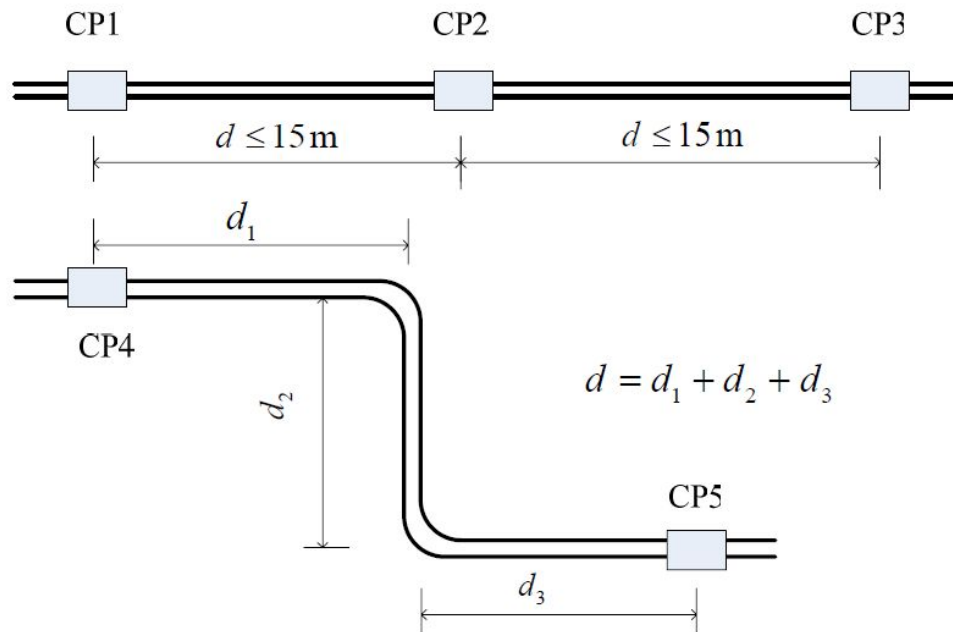
Tubos destinados à construção de condutos elétricos. Normalmente são utilizados eletrodutos de PVC ou ferro esmaltado ou galvanizado.

Os eletrodutos de ferro são geralmente utilizados em instalações aparentes ou embutidos, quando há necessidade de uma proteção mecânica.

A NBR 5410 estabelece que:

- (i) Dentro dos eletrodutos só devem ser instalados fios e cabos, não sendo permitida a utilização de condutores à prova de tempo e cordões flexíveis;
- (ii) O diâmetro externo do duto deve ser igual ou superior a 17 mm;
- (iii) Não haja trecho contínuo (sem interrupções de caixas) retilíneos de eletroduto maiores que 15 m;
- (iv) Nos trechos com curvas, este espaçamento deve ser reduzido de 3 m para cada curva de 90°.

Exemplificando:



(v) Dimensionamento dos eletrodutos

A taxa de ocupação máxima dos eletrodutos é em média 40% da sua área útil. A ocupação máxima do eletroduto pode ser calculada conhecendo-se a área útil do eletroduto, A_E , e a área ocupada por cada condutor, A_{cj} . No caso (mais frequente) de eletroduto circular A_E é dada por

$$A_E = \frac{\pi(d_e - 2e)^2}{4}$$

$d_e \rightarrow$ diâmetro externo do eletroduto

$e \rightarrow$ espessura do eletroduto

A área de cada condutor, A_{cj} , é dada por:

$$A_{cj} = \frac{\pi d_j^2}{4}$$

Onde d_j é o diâmetro do condutor genérico qualquer. Além disso, devemos ter:

$$\sum A_{cj} \leq kA_E$$

Onde k é um fator que segue a tabela abaixo

1 condutor	0,53
2 condutores	0,31
3 ou mais condutores	0,40

Exemplificando: Seja um circuito composto por 2 condutores de 2,5 mm², 2 condutores de 4 mm², 2 condutores de 6 mm² e um condutor de proteção de 6 mm².

Condutor (mm ²)	Área de 1 condutor + isolante (mm ²)
2,5	10,8
4,0	13,9
6,0	18,1

A área total ocupada pelos condutores será:

$$\sum A_{cj} = 2 \times 10,8 + 2 \times 13,9 + 3 \times 18,1 = 103,7 \text{ mm}^2$$

O diâmetro interno do eletroduto será:

$$d_i \geq \sqrt{\frac{4 \times \sum A_{cj}}{k \times \pi}}$$

Assim, temos:

$$d_i \geq \sqrt{\frac{4 \times 103,7}{0,4 \times \pi}} = 18,1 \text{ mm}$$

Pela tabela IEC, nos remete a um $0,4 \times \pi$ eletroduto de tamanho nominal de 25 mm.

(b) Canaletas

A NBR 5410 estabelece que em canaletas só devem ser utilizados cabos unipolares ou cabos multipolares. Os condutores isolados podem ser utilizados, desde que contidos em eletrodutos. Nas instalações em canaletas devem evitar a penetração de líquidos. Quando não for possível, os cabos devem ser instalados no interior de eletrodutos estanques. As canaletas, na maioria das vezes, são construídas em alvenaria. Neste caso, devem aproveitar as dimensões padronizadas do tijolo para construí-las, mesmo que isso resulte numa canaleta com seção superior ao mínimo calculado.

Os cabos instalados em canaletas devem, de preferência, ser dispostos em uma só camada. Também podem ser instalados em prateleiras dispostas em diferentes níveis. Os cabos devem ocupar, no máximo, 30% da área útil da canaleta.

Exemplificando: 21 cabos de 120 mm², isolamento XLPE. Da Tabela temos que o diâmetro externo do cabo é de 19,2 mm.

$$S_{canaleta} = \frac{N_{cond} \pi D_{ext_cont}^2}{4} \times \frac{1}{0,3}$$

$S_{canaleta} \rightarrow$ área da canaleta

N_{cond} → número de condutores

$D_{\text{ext_cond}}$ → diâmetro externo do condutor

Substituindo os valores na equação, temos:

$$S_{\text{canaleta}} = \frac{21 \times \pi \times 19,2^2}{4} \times \frac{1}{0,3} = 20267 \text{ mm}^2$$

Portanto, as dimensões da canaleta são: 200 x 105 mm, ou seja 21000 mm².

Motor Elétrico

É uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica. Há vários tipos, mas devido a simplicidade de construção, custo e manutenção e atender praticamente a qualquer tipo de carga, utiliza-se os motores trifásicos de indução ou assíncronos, na sua grande maioria. O motor de indução ou assíncrono opera normalmente a uma velocidade constante, variando ligeiramente com a aplicação de carga mecânica no eixo. Antes de procedermos a uma caracterização dos motores, faremos algumas considerações sobre as rotações dos mesmos. Sabe-se que o número de rotações nos motores de corrente alternada e a formação de campo girante dependem:

(a) Da frequência, **f**, do sistema que fornece energia elétrica. No Brasil, a legislação pertinente estabeleceu a frequência de 60 Hz;

(b) Do número de polos, **p**, do motor. A rotação síncrona de um motor em rpm é o número de rotações com que, para cada número de polos e da frequência, ele é suscetível de girar. Assim a rotação síncrona, **n**, do motor é dada por:

$$n = \frac{120 f}{p}$$

Onde **f** é a frequência do sistema e **p** é o número de polos do motor.

Nos motores de indução ou assíncronos, ocorre um deslizamento ou defasagem ou escorregamento em relação à rotação síncrona, daí o seu nome, de modo que, as rotações dos motores, dadas pela fórmula acima, passam a serem menores. O escorregamento, **s**, é expresso por:

$$S = \frac{n_{\text{síncrona}} - n_{\text{do motor}}}{n_{\text{síncrona}}}$$

Nos motores assíncronos a corrente que circula no motor é induzida pelo movimento relativo entre os condutores do rotor e campo girante, produzido pela variação da corrente no indutor fixo. São duas as partes essenciais do motor de indução: o indutor fixo (**estator**) e o **rotor** ou induzido. O **estator** consta de um enrolamento alojado em ranhuras existente na periferia do núcleo de ferro laminado (carcaça). A passagem da corrente trifásica vinda da rede gera um campo magnético que gira com velocidade síncrona (campo girante). O **rotor** ou induzido é composto de um núcleo ou tambor de ferro laminado, dotado de ranhuras onde se alojam os fios ou barras de cobre.

A corrente no estator gera um campo girante no interior da qual se acha o rotor. Os condutores do rotor são cortados pelo fluxo magnético do campo girante e neles são induzidas forças eletromotrizes as quais dão origem as corrente elétricas. Estas correntes, por sua vez, reagem sobre o campo girante, produzindo um conjugado motor que faz o rotor girar no mesmo sentido que o campo. É importante ressaltar que a velocidade do rotor nunca pode se tornar igual à velocidade do campo girante, isto é, a velocidade síncrona, pois, se esta fosse atingida, não se produziria correntes induzidas no rotor.

A **N**ational **E**lectrical **M**anufacturing **A**ssociation (**NEMA**) classifica os motores em classes, de A a F.

Em termos gerais deveremos conhecer as características mais importantes do *sistema de alimentação* e da *carga a ser acionada*, tais como:

- a) Característica da rede de alimentação:

- Frequência – 60Hz
- Tensões – 127/220/380/440 Volts
- b) Características dos motores
 - Condições usuais de serviço;
 - Condições especiais de serviço;
 - Placa de identificação;
 - Informativos técnicos do fabricante;
- c) Características da carga a ser acionada
 - Potência no eixo (CV) e altitude (m);
 - Rotação (rpm) e temperatura ambiente (°C);
 - Regime de funcionamento (contínuo, intermitente ou de curta duração)
 - Local da instalação do motor (abrigado, ao tempo, submerso, poeira, umidade, inflamáveis, entre outros fatores).
- Na energização - situação de carga presente (presente, ausente ou parcialmente).

Placa de identificação do motor

Quando um fabricante projeta um motor, ele tem que partir de certos valores adotados para:

- a) Características da rede de alimentação;
- b) Características da carga a ser acionada;
- c) Condições em que o motor vai funcionar.

O conjunto desses valores constitui as “**características nominais do motor**”. O fabricante comunica estas informações ao cliente são através de:

a) Informações padronizadas por norma, que não precisam ser declaradas na placa de identificação, estão as condições sob as quais o motor de fabricação normal foi construído para funcionar, ou seja, as condições usuais de serviço, tais como:

- Meio refrigerante: na maioria dos casos é o ar do meio ambiente;

- Temperatura ambiente não superior a 40°C;
- Localização à sombra;
- Altitude não superior à 100m acima do nível do mar;
- b) Informativos técnicos de motores;
- c) Condições especiais de serviço: Tudo que não se enquadra nas condições usuais de serviço será considerado como condições especiais de serviço.

As mais comuns são:

- Ambiente contendo elementos prejudiciais ao motor, tais como: fumaça umidade excessiva, poeiras condutoras, vapor d'água, ar salgado ou ambiente corrosivo;
- Funcionamento em locais perigosos, locais contendo poeiras, gases ou vapores inflamáveis ou corrosivos;
- Funcionamento em lugar pouco ventilado;
- Exposições à temperatura constantemente inferior à 10°C, os mancais podem necessitar de lubrificantes especiais;
- Exposições à temperatura superior à 40°C, os enrolamentos podem atingir temperaturas prejudiciais a **isolação**. Este fato pode ser compensado por um projeto especial do motor, ou pela redução da potência nominal do motor, conforme a tabela abaixo:

Temperatura Ambiente	Carga Admissível	Temperatura Ambiente	Carga admissível
40°C	100%	55°C	83%
45°C	95%	60°C	67%
50°C	89%	70°C	64%

A seguir iremos identificar todas as informações contidas na placa de identificação do motor necessárias para a elaboração de um projeto industrial.

1. Número de Modelo - **MOD**:

É a referência do fabricante para registro das características nominais do motor e seus detalhes construtivos;

2. Potência Nominal – **CV**:

É a potência que o motor pode fornecer no eixo em regime contínuo, sem que os limites de temperatura dos enrolamentos sejam excedidos aos valores máximos permitidos por norma nas condições usuais de serviço;

3. Tensão Nominal – **V**:

É a tensão da rede para o qual o motor foi projetado. As tensões mais utilizadas são 220, 380 ou 440V;

4. Frequência Nominal – **Hz**:

É a frequência da rede para o qual o motor foi projetado. Por norma, o motor deve funcionar satisfatoriamente quando alimentado com tensão nominal e houver uma variação de 5% na frequência;

5. Corrente Nominal – **A**:

É a corrente que o motor solicita da rede de alimentação, trabalhando à potência nominal sob tensão e frequência nominais. A corrente nominal é calculada pela equação abaixo:

$$I_N = \frac{P(\text{CV}) * 736}{\sqrt{3} * U_N * \cos \phi * \eta}$$

6. Velocidade Nominal – **rpm**:

É a velocidade do motor, funcionando à potência nominal sob tensão e frequência nominais.

7. Fator de Serviço – **FS**:

É um número que pode ser multiplicado pela potência nominal do motor a fim de se obter a carga permissível que o mesmo pode acionar em regime contínuo, dentro de condições estabelecidas por norma;

8. Regime de Funcionamento - **REG**:

Indica a forma de utilização do motor no acionamento de uma carga.

a) **Regime contínuo (S1)**: Os motores em geral, são projetados para trabalhar regularmente com carga constante, por tempo indeterminado, desenvolvendo potência nominal,

b) **Regime S2**: Regime de tempo limitado

c) **Regime S3**: Regime intermitente periódico

9. Classe de Isolamento – **ISOL CL**:

Indicada por norma como a máxima temperatura que o material isolante pode suportar continuamente, sem que seja afetada sua vida útil. A vida útil de um motor está ligada diretamente ao aquecimento das bobinas do enrolamento. O aquecimento, fator principal da redução da vida útil do motor, provoca o envelhecimento gradual e generalizado do isolamento até o limite da tensão a que está submetido, quando o motor ficará sujeito a um curto-circuito interno de consequências desastrosas. São as seguintes as classes de isolamento empregadas em máquinas elétricas:

Classe	Limite de Temperatura	Classe	Limite de Temperatura
A	105°C	F	155°C
E	120°C	H	180°C
B	130°C		

10. Categoria – **CAT**:

Todo motor dimensionado para acionar adequadamente uma determinada carga acoplada ao seu eixo necessita durante a partida, em cada instante, o conjugado motor superior ao conjugado resistente da carga. A Curva do conjugado motor deve guardar uma distância da curva do conjugado resistente, durante o tempo de aceleração do conjunto (motor/carga) até que o motor adquira a velocidade de regime. Este intervalo de tempo é especificado pelo fabricante, acima do qual o motor deve sofrer sobreaquecimento, podendo danificar a isolação dos enrolamentos. Conforme as suas características de conjugado em relação a velocidade, os motores de indução trifásicos são classificados em **categorias**, definidas em norma.

11. Grau de Proteção – **IP**:

Os invólucros dos equipamentos elétricos, conforme as características do local em que serão instalados e de sua acessibilidade devem oferecer um determinado grau de proteção. O grau de proteção reflete na proteção do motor quanto a entrada de corpos estranhos e penetração de água pelos orifícios destinados à entrada e saída do ar refrigerante. A norma define o grau de proteção dos equipamentos elétricos por meio das letras características **IP** seguidas por dois algarismos. O primeiro algarismo indica o grau de proteção quanto a penetração de corpos sólido e contatos acidentais enquanto que, o segundo algarismo indica o grau de proteção contra penetração de água no interior do motor.

Primeiro Algarismo

0	Sem proteção
1	Corpos estranhos a partir de 50mm
2	Corpos estranhos a partir de 12mm
3	Corpos estranhos a partir de 2,5mm
4	Corpos estranhos a partir de 1,0mm
5	Proteção contra acúmulo de poeira

6	Proteção penetração de poeira
---	-------------------------------

Segundo Algarismo

0	Sem proteção
1	Pingos d'água na vertical
2	Pingos d'água até a inclinação de 15° com a vertical
3	Água de chuva até a inclinação de 60° com a vertical
4	Respingos em todas as direções
5	Jatos d'água em todas as direções
6	Imersão temporária

12. Código de Partida – **COD**:

É um número que indica a relação entre a corrente de partida e a corrente nominal, ou seja,

Constante de partida $\Rightarrow$

$$X = \frac{I_P}{I_N}$$

A letra-código é convencionada conforme os valores da relação entre a potência aparente (kVA) demandada à rede e a potência em CV, com o rotor bloqueado (locked rotor), isto é, de acordo com o valor kVA/CV. Naturalmente o motor não opera nestas condições, porém, no instante de partida, ele não está

girando, de modo que esta condição pode ser considerada válida até que o rotor comece a girar. A tabela abaixo indica a letra código

Letra-código	X
A	0,00 – 3,14
B	3,15 – 3,54
C	3,55 – 3,99
D	4,00 – 4,49
E	4,50 – 4,99
F	5,00 – 5,59
G	5,60 – 6,29
H	6,30 – 7,09
J	7,10 – 7,99
K	8,00 – 8,99
L	9,00 – 9,99
M	10,00 – 11,19
N	11,20 – 12,49
P	12,50 – 13,99
R	14,00 e maiores

A corrente nominal e de partida de um motor é dada por:

$$I_N = \frac{P_{CV} \times 736}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta}$$

$$I_P = \frac{X \times P_{CV} \times 1000}{\sqrt{3} \times U}$$

Onde I_N é a corrente nominal e I_p é a corrente de partida do motor.

Proteção Elétrica

Proteção

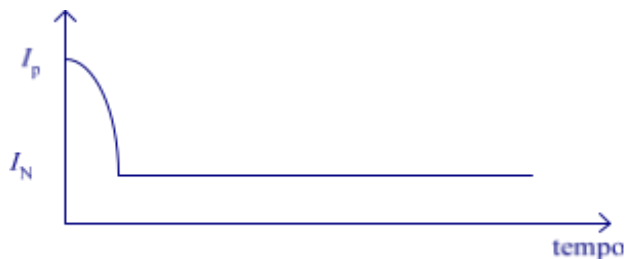
O Dimensionamento dos dispositivos de proteção de um circuito só está adequadamente protegido contra sobrecorrentes quando todos os seus elementos, tais como condutores, chaves e outros, estiverem com suas capacidades térmicas e dinâmicas iguais ou inferiores aos valores limitados pelos dispositivos de proteção correspondentes. Desse modo, torna-se importante analisar as sobrecorrentes e os tempos associados à resposta efetiva da proteção.

Disjuntor

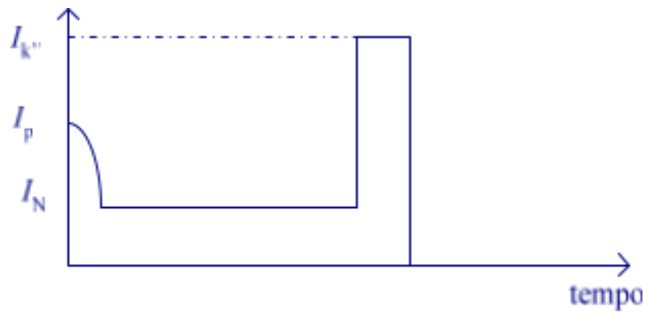
São dispositivos de proteção capazes de proteger circuitos elétricos, tendo como função básica o desligamento do circuito e como função secundária permitir a operação manual, através de alavanca liga/desliga.

Principais características de um disjuntor

(a) Estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais de um circuito;



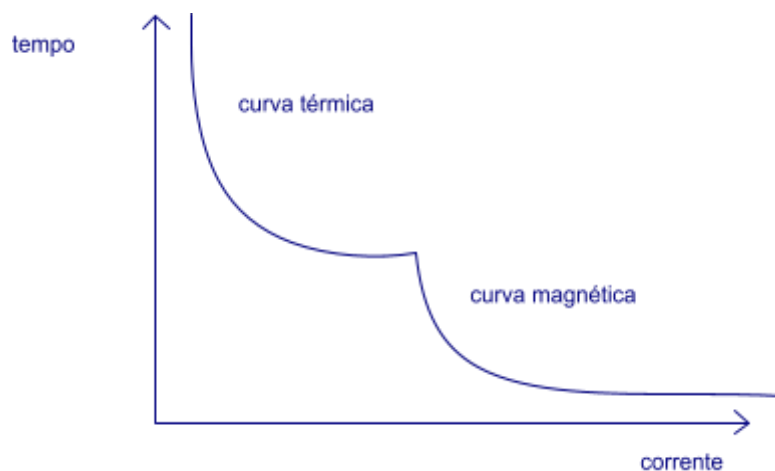
(b) Conduzir por tempo especificado e interromper em condições anormais as correntes de curto-circuito;



(c) Sua operação é repetitiva, ou seja, podem ser religados após ter atuado, sem necessidade de troca;

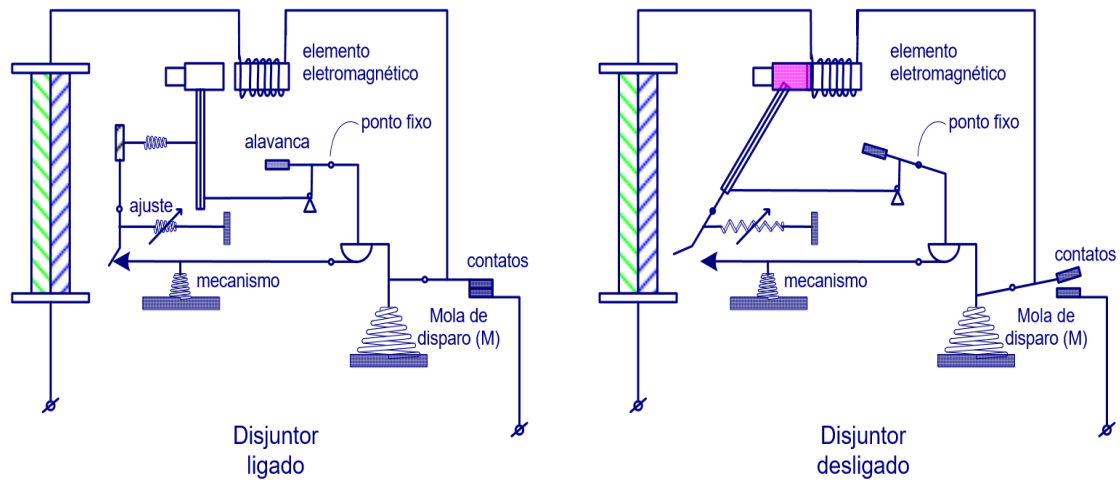
(d) A característica tempo x corrente na maioria das vezes podem ser ajustadas.

(e)



Princípio de Funcionamento

Devido às suas principais características o disjuntor é um equipamento complexo devido principalmente a sua capacidade de interrupção. Apresentaremos de um esquema simplificado o princípio de funcionamento de um disjuntor.



Um mecanismo é movimentado por uma força externa (alavanca ou motor), acionando um bloco de contato, ao mesmo tempo em que distende um jogo de molas (M). Ao fim do curso dos contatos. Uma trava mantém os contatos fechados e o conjunto de molas se distendidas. Qualquer comando no disparador retira a trava, liberando o mecanismo, que provocara a separação brusca dos contatos, por efeito de liberação das molas. Na interrupção da corrente que ocorre durante o período de abertura tem um valor máximo eficaz denominado “capacidade de interrupção do disjuntor” que é um valor sempre em kA, que representa o maior valor eficaz simétrico que o disjuntor pode interromper com plena segurança para o operador e equipamento.

Classificação dos disjuntores

Os disjuntores são classificados em três tipos:

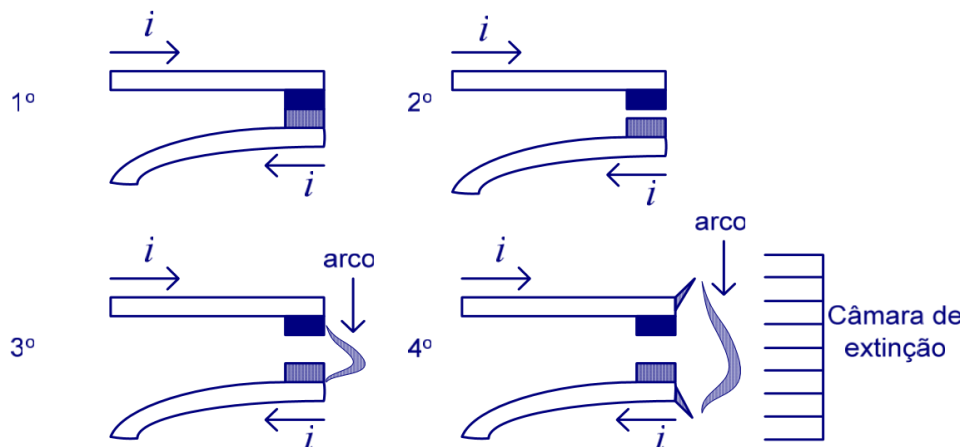
- 1º. DISJUNTOR Standard
- 2º. DISJUNTOR Limitador
- 3º. DISJUNTOR Seletivo

Disjuntor Standard

O princípio de funcionamento do disjuntor Standard é o mesmo apresentado anteriormente, onde a sua capacidade de interrupção (velocidade de abertura dos contatos é exercida exclusivamente pelas forças das molas de disparo). Os disjuntores Standard mais modernos têm um tempo total de corte bastante reduzido (20 ms). Entretanto devemos observar as informações dos fabricantes para cada tipo de disjuntor em suas funções específicas.

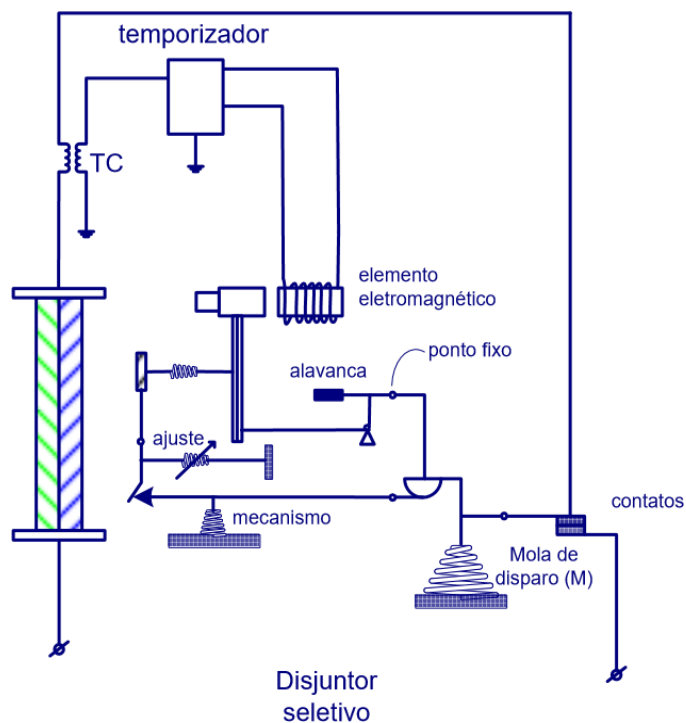
Disjuntor Limitador

À medida que o nível de curto-circuito aumenta num sistema elétrico, disjuntores com capacidades maiores deverão ser projetados para atender a condição do sistema. Entretanto, existem sistemas elétricos com níveis de curto-circuito tão elevados que não se encontra comercialmente disjuntores Standard com esta característica, pois necessitaríamos um mecanismo e técnicas de disparo economicamente inviáveis na sua construção. Para aumentar a capacidade de interrupção sem aumentar exageradamente o tamanho do disjuntor, introduziu-se uma série de modificações construtivas, visando aproveitar o fluxo magnético de interrupção/extinção. Basicamente é um disjuntor Standard com estas modificações construtivas, sendo a mais significativa a alteração no formato das peças de contato.



Disjuntor Seletivo

Para garantir a seletividade em disjuntores instalados em série na condição de curto-circuito, é necessário que o “tempo total de interrupção” do disjuntor mais próximo do defeito, seja menor que o tempo mínimo de impulso do disjuntor imediatamente a montante. Sendo esta condição difícil de ser obtida com a utilização de disjuntores Standard ou seletivo. Com o advento da eletrônica, conseguiu-se obter a seletividade entre disjuntores. A técnica de regular o tempo de atuação do disparador eletromagnético, intercalando-se um circuito RC, que retarda o sinal de desligamento.



Os disjuntores são utilizados principalmente quando:

- a) Espera-se ocorrência periódica de curto-circuito;
- b) Deseja-se o desligamento de todas as fases com o desligamento automático;
- c) For necessário o religamento imediato após o desligamento, desde que eliminado o defeito;
- d) É desejado o comando a distância

Fusíveis

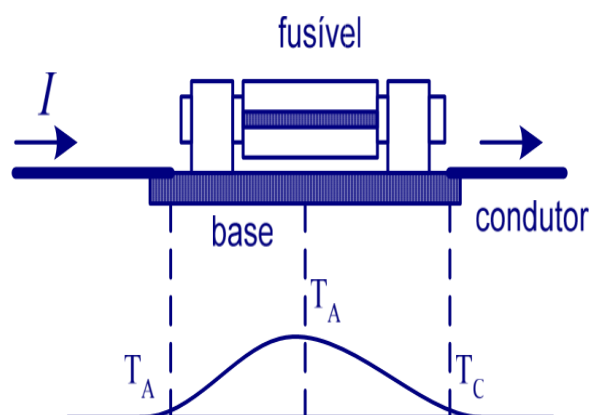
São dispositivos usados com o objetivo de limitar o efeito de uma perturbação, proporcionando a sua interrupção. Os fusíveis são os elementos mais frágeis que são propositadamente intercalados num determinado ponto do circuito elétrico para interromper corrente de sobrecargas violentas. Após a interrupção temos que assegurar que a d.d.p que poderão aparecer na extremidade do elo fundido não venha estabelecer condições de circulação de correntes através do invólucro ou pela interrupção do elo.

Apresentaremos os dois tipos de normalmente encontrados de sobrecarga:

- I. Tipo 1: Sobrecarga moderada ----- I_N até $I_{RBL} = X \cdot I_N$
- II. Tipo 2: Sobrecarga violenta ----- I_{RBL} até $100I_N$

Princípio de Funcionamento

Apresentaremos agora o funcionamento do fusível de alta capacidade de interrupção:



O condutor e o elemento fusível são percorridos por uma corrente admissível que os aquece. A temperatura do condutor deverá assumir um valor constante em

toda a sua extensão. Devido a resistência do elo fusível este sofre um aquecimento maior, atingindo na parte central uma temperatura T_B , o qual a partir deste valor é transferida para o meio ambiente. A temperatura T_A não deve ultrapassar a um determinado valor para não prejudicar a vida útil do isolamento do elemento condutor.

Norma dos fusíveis

As normas de fusíveis definem para diversos tipos, diversas faixas de corrente nominais, os seguintes parâmetros:

- (a) Tempo convencional: t_c :
- (b) Corrente convencional de não fusão (I_{nf}): é o maior valor de corrente, para o qual o dispositivo não atua em menos de 2 horas
- (c) Corrente convencional de fusão (I_f): é o menor valor de corrente para o qual o dispositivo atua em 1 hora.
- (d) Corrente nominal (I_N): corrente elétrica que poderá percorrer permanentemente no elemento sem provocar sua fusão.

Ação de um fusível limitador

Alguns fusíveis tais como o NH, HH, Diazed de elevada capacidade de interrupção, apresentam características de limitação de corrente para determinados níveis de corrente de curto-circuito, que é uma característica importante na proteção de condutores e equipamentos, pois a limitação da intensidade da corrente de curto-circuito implica em valores mais reduzidos das solicitações térmicas e dinâmicas. Estas limitações são conseguidas com a utilização de elos especialmente projetados.

Curva característica de um fusível de ação rápida e retardada

Devido às características próprias dos diversos tipos de carga (resistiva, capacitiva e indutiva), os fusíveis são fabricados em conformidade com estas peculiaridades, para poder desempenhar com mais eficiência possível nas suas funções de proteção.

Para atender a estas condições de carga, os fusíveis são fabricados com duas características distintas de ação: RÁPIDA e RETARDADA.

Os fusíveis de característica rápida são utilizados nos circuitos que operam em condições de corrente nominal, como é o caso de circuitos que suprem cargas resistivas.

Os fusíveis de efeito retardado é o mais adequado aos circuitos sujeitos a sobrecarga periódica, tais como motores e capacitores.

Principais tipos de fusíveis existentes em uma instalação industrial

Os principais tipos de fusíveis utilizados são

a) Tipo Cartucho - São limitadores de corrente usados especialmente para proteger circuitos elétricos em geral, tais como: os condutores, os aparelhos elétricos, os consumidores/instalações residenciais, etc. Exemplos: Diazed, Silized e Neozed. Os tipos Diazed e Neozed têm ação retardada, sendo que esse é utilizado em painéis e aquele é utilizado na proteção dos circuitos de comando. O Silized é ultra-rápido - esse é ideal para a proteção de aparelhos equipados com semicondutores (tiristores e diodos).

b) Tipo Faca - São dispositivos limitadores de corrente, utilizados preferencialmente em instalações industriais, protegendo circuitos elétricos em geral, tais como: os condutores, os aparelhos, os consumidores/prediais, os motores, etc. Exemplo são os fusíveis NH. Esses fusíveis possuem características retardadas em função das partidas de motores trifásicos com rotor em curto-circuito que estão sujeitos a sobrecarga de curta duração. Exemplo: motores trifásicos com rotor em

Estes são os principais tipos de fusíveis existentes, onde os mais utilizados quase que na sua maioria são os de elevada capacidade de interrupção (Tipo Faca),

devido principalmente as suas principais características: elevada capacidade de interrupção, limitadores de corrente, curvas típicas de atuação (fusão).

Através de estudos realizados, foi verificado que a maioria dos motores existentes num sistema industrial, são motores de pequenas potências ($P < 20$ cv). Desse modo, os fusíveis de encaixe calibrado, são os mais utilizados, devido basicamente a quatro fatores:

- I. Atender eletricamente qualquer tipo de instalação existente (curto-circuito, tensão nominal, etc.);
- II. Custo relativamente baixo;
- III. Ocupar pouco espaço nos quadros de força;
- IV. Corrente nominais comercialmente encontrados: 2 – 4 – 6 – 10 – 16 – 20 – 25 – 35 – 50 – 63 – 80 – 100 A).

Base de fixação

- Tipos Diazed, Silized e Neozed: sua fixação compõe-se dos seguintes elementos: base, parafuso de ajuste, anel de proteção e tampa. Podem ser fixados diretamente no trilho ou no espelho do painel, sempre com o auxílio de dois parafusos.



- Tipo NH - é utilizado com uma base de fixação, sendo individuais ou em conjunto com chaves seccionadoras, sendo essas, para abertura em sobre carga ou simples. Após retirado o fusível, a base constitui uma separação visível das fases, tornando dispensável, em alguns casos, a utilização de um seccionador adicional.

OBS.:

- 1) Para as bases com fusíveis tipo NH é recomendável a utilização de um punho apropriado para instalar ou sacar o fusível. Observamos que o equipamento deve ser desligado antes de instalar e/ou retirar o fusível;
- 2) Os tipos de fusíveis Diazed, Silized e Neozed são utilizados para correntes menores e os tipo NH são para correntes maiores;
- 3) Material de enchimento - os corpos dos fusíveis de alta capacidade de interrupção são sempre cheios com quartzo granulado de alta pureza química.

Vantagens dos fusíveis

- a) Elevada capacidade de interrupção;
- b) Para altas correntes funcionam como fusíveis limitadores;
- c) Custo inicial da instalação relativamente baixo.

Desvantagens dos fusíveis

- a) Intervalo de fabricação
- b) O fusível não pode ser testado e nem calibrado;
- c) Favorece funcionamento bifásico em sistema trifásico;
- d) Perigo ao recolocar o fusível;
- e) Reserva;
- f) Custo alto de manutenção.

Os fusíveis são utilizados principalmente quando:

- a) A ocorrência de curto-circuito é remota;

- b) As correntes de curto circuito são tão elevadas que o uso de disjuntores se torna quase impossível devido ao elevadíssimo custo;
- c) É desejado a limitação da corrente com pouco investimento;
- d) Existir pouco espaço.

Relé bimetálico de sobrecarga

Os fusíveis, conforme visto anteriormente, são dispositivos de proteção para atuar (interromper o circuito) quando da ocorrência de um defeito em determinado ponto do sistema, sem do este defeito um curto circuito (fase-terra, fase-fase, trifásico).

Existem determinados tipos de cargas, onde somente os fusíveis não resolvem os problemas, pois no caso de circuitos alimentando motores, as sobrecargas mais frequentes são as moderadas (cobrindo a faixa de corrente nominal até a corrente com rotor bloqueado) em que os fusíveis normalmente não são projetados para atuar nesta faixa.

Para cobrir parcialmente a faixa de sobrecarga moderada, apesar de não ser um elemento ideal, mas de custo relativamente baixo, utiliza-se o RELÉ BIMETÁLICO DE SOBRECARGA.

Os relés bi metálicos de sobrecarga foram desenvolvidos a partir do comportamento de lâminas bi metálicas, onde o seu princípio de operação está fundamentado nas diferentes dilatações que apresentam determinados metais, quando submetidos a uma variação de temperatura.

O elemento bimetálico é composto de duas lâminas de metais diferentes, ligados intimamente através de solda sob pressão ou eletroliticamente. As lâminas se curvam e esta mudança de posição é usada para atuar num mecanismo de disparo do relé ou disjuntor.

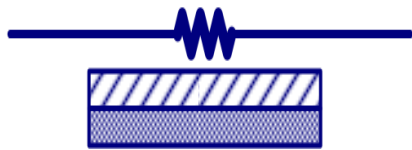
Ação das correntes nas lâminas

Existem diversas maneiras de se aquecer o elemento bimetálico, dependendo basicamente da corrente nominal do relé e da opção do fabricante. Apresentamos a seguir algumas maneiras de se aquecer o elemento bimetálico:

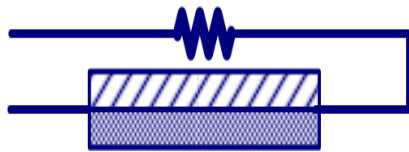
a) Aquecimento direto: as lâminas estão diretamente acopladas no circuito de força, sendo percorrido pela corrente do sistema.



b) Aquecimento indireto: as lâminas são envolvidas por enrolamento de aquecimento.



c) Aquecimento misto: as lâminas são aquecidas pela passagem da corrente e adicionalmente por enrolamento de aquecimento.



d) Aquecimento intercalando TC: dependendo do tipo de proteção em que o TC é empregado, estes poderão possuir várias curvas de saturação. Normalmente os TC's utilizados para fins de proteção opera linearmente até aproximadamente 20 vezes a corrente nominal. Para motores, normalmente utilizam-se os TC's que opera linearmente até aproximadamente 8 vezes o valor nominal.

Relé de temperatura à termistor

Relés de temperatura à termistor são dispositivos de proteção ideais para motores e autotrafo de partida, utilizados em sistemas elétricos industriais. Pois os sensores, quando solicitados de fábrica, são intercalados nos pontos de maior aquecimento do enrolamento. Estes sensores sentem diretamente a temperatura através de variação de resistência dos elementos semicondutores e transmitem

estas informações ao relé de temperatura que, dependendo do valor de ajuste, desliga ou não o sistema controlado.

Os relés de temperatura à termistor são utilizados em sistemas de proteção contra sobrecarga moderadas, assim como o relé bimetálico de sobrecarga, com grande vantagem sobre este, pois são sensores de temperatura e não de corrente elétrica.

Os termistores são detectores térmicos compostos de semicondutoras que varia a sua resistência em função da temperatura. São estes elementos que são intercalados nos enrolamentos dos equipamentos que se deseja proteger, fabricados em dois tipos:

- NTC: coeficiente de temperatura negativa
- PTC: coeficiente de temperatura positiva

Os termistores PTC são construídos a partir de materiais semicondutores especiais, em que estes elementos apresentam grande faixa de liberação elétrons-buracos em razão do decréscimo de temperatura. Portanto quanto maior a temperatura maior será a resistência do PTC.

Dimensionamentos

Disjuntores

A seleção e ajuste dos disjuntores deve ser feita com base nos requisitos previstos pela NBR 5410.

a) Proteção contra sobrecargas

1ª Condição: $I_{aj} \geq I_p$

$I_{aj} \rightarrow$ Corrente de ajuste do disjuntor

$I_p \rightarrow$ Corrente de projeto do circuito

2ª Condição: $I_{aj} \leq I_{nc}$

$I_{aj} \rightarrow$ Corrente de ajuste do disjuntor

$I_{nc} \rightarrow$ Corrente nominal do condutor

3ª Condição: $I_{adc} \leq 1,45 \times I_{nc}$

$I_{adc} = K \times I_{aj} \rightarrow$ Corrente convencional de atuação do disjuntor

$K \rightarrow$ Fator de multiplicação (tabelado e depende do fabricante do disjuntor)

4ª Condição: $T_{ad} > T_{pm}$

$T_{ad} \rightarrow$ Tempo de atuação do disjuntor

$T_{pm} \rightarrow$ Tempo de partida do motor

b) Proteção contra curto-circuitos

5ª Condição: $I_{cs} \leq I_{rd}$

$I_{rd} \rightarrow$ Capacidade de interrupção do disjuntor

$I_{cs} \rightarrow$ Corrente de curto-circuito no ponto considerado da instalação

6ª Condição: $T_{ad} \leq T_{cc}$

$T_{ad} \rightarrow$ Tempo de atuação do disjuntor

$T_{cc} \rightarrow$ Tempo de suportabilidade da isolação do condutor

Relés térmico de sobrecarga

Os relés térmicos de sobrecarga seguem os mesmos critérios já mencionados.

Fusíveis

(a) Circuitos terminais de motores em regime S1

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow$ Corrente de partida do motor

$I_{nf} \rightarrow$ Corrente nominal do fusível

$I_{nm} \rightarrow$ Corrente nominal do motor

$R_{cpm} \rightarrow$ Relação entre a corrente de partida e a corrente nominal do motor

$K \rightarrow$ fator de multiplicação

- Para: $I_{pm} \leq 40A \rightarrow K = 0,5$
- Para: $40 < I_{pm} \leq 500A \rightarrow K = 0,4$
- Para: $I_{pm} > 500A \rightarrow K = 0,3$

(b) Circuito de distribuição de motores

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \sum I_{nm}$$

$I_{pnm} \rightarrow$ Corrente de partida do maior motor

$\sum I_{nm} \rightarrow$ Soma das correntes dos demais motores

(c) Circuito de distribuição de aparelhos

$$I_{nf} \geq \alpha \times \sum I_{na}$$

$\sum I_{na} \rightarrow$ Soma das correntes nominais dos aparelhos

(d) Circuito de distribuição de cargas mistas (aparelhos e motores)

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \sum I_{nm} + \sum I_{na}$$

(e) Circuito de distribuição de capacitores ou banco

$$I_{nf} \leq 1,65 \times I_{nca}$$

$I_{nca} \rightarrow$ Corrente nominal do capacitor ou banco

(f) Comportamento do fusível perante a corrente de partida do motor

$$T_{af} > T_{pm}$$

$T_{af} \rightarrow$ Tempo de atuação do fusível

$T_{pm} \rightarrow$ Tempo de partida do motor

(g) Proteção da isolação dos condutores

$$T_{af} < T_{cc}$$

$T_{af} \rightarrow$ Tempo de atuação do fusível

$T_{cc} \rightarrow$ Tempo de suportabilidade da isolação do condutor

(h) Proteção dos dispositivos de comando e manobra

- Contactor:

$$I_{nf} \leq I_{nfc}$$

- Relé térmico:

$$I_{nf} \leq I_{nfr}$$

- Chave seccionadora interruptora:

$$I_{nf} \leq I_{nfch}$$

$I_{nf} \rightarrow$ Corrente nominal do fusível

$I_{nfc} \rightarrow$ Corrente nominal do fusível a ser pré-ligado ao contactor.

REFERÊNCIAS

ABNT 5410 – 2004, Instalações Elétricas de baixa Tensão

ABNT 5419 – 2005, Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas

API Standard 610-1995, Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemical, and Gas Industry Services.

Catálogo WEG – Motores Elétricos

IEEE 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.

Submódulo 2.8 – Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes.

Gonzalez, M.L. y, Pires, I.A., et ali, Correntes harmônicas em aparelhos eletrodomésticos, VI SBQEE – Seminário Brasileiro sobre Qualidade de energia elétrica, 21 a 24 de agosto de 2005, Belém-PA

Pires, I.A, Caracterização de harmônicos causados por equipamentos eletro-eletrônicos residenciais e comerciais no sistema de distribuição de energia elétrica