

ANÁLISE DE DISPOSITIVOS DE MANOBRA E DE PROTEÇÃO DE BAIXA TENSÃO

Conceitos, equipamentos e aplicações industriais.

OBJETIVOS.

Dentro das **aplicações de potência** da eletricidade, a **parte industrial** é sem dúvida uma das mais importantes, sobretudo porque representa a transformação da energia elétrica como parte de um produto, que por sua vez pode tanto ser de consumo quanto representar um novo meio de produção.

Como tal, é freqüentemente integrante das atividades exercidas pelos profissionais da área, seja na forma de **projetos elétricos, instalação dos equipamentos e acessórios**, quanto de **manutenção** dos mesmos, esse último fator fundamental para que se obtenha elevada **rentabilidade e racionalização** dos procedimentos industriais, e com isso **custos e preços otimizados**.

Dentro desses enfoques, o presente texto se destina a integrar os seus leitores tanto no conceito técnico e construtivo dos principais componentes dessas áreas de atividade, quanto fornecer os dados que permitam estabelecer e desenvolver os **critérios de raciocínio**, que vão levar a escolha da **melhor solução** que o caso em análise requer.

Destina-se esse conteúdo também a ser parte de um programa de ensino de **2º Grau** e de **3º Grau**, na **área de potência**, e como tal, sem prejuízo da parte de aplicações profissionais, **citar e justificar fatores fundamentais** que devem estar presentes no conjunto de conhecimentos que seus leitores devem possuir. Baseado nesses fatos, durante o próprio desenrolar das análises, mais conceitos serão comentados e integrados ao objetivo maior que é o de criar uma **elevada capacidade de raciocínio**, entendendo e aplicando o **“porque”** de certos projetos apresentarem problemas, por não terem sido adequadamente detalhados na hora do projeto, da instalação e da manutenção.

PRÉ-REQUISITOS.

Entendendo-se o conteúdo que segue como parte de um PROGRAMA DE ENSINO REGULAR ou de um curso de complementação a profissionais já formados, é útil lembrar que o funcionamento de dispositivos mencionados a seguir vem baseados em princípios eletromagnéticos e físicos, que são:

- Conceito e formulação de tensão, corrente e potência elétricas, tanto em corrente contínua quando alternada ;
- Significado de potência ativa, reativa e aparente;
- Defasamento angular tensão-corrente e conseqüente significado do fator de potência;
- Fenômeno da indução eletromagnética e da força eletromotriz induzida.
- Criação de campos magnéticos, linhas de campo magnético e forças de atração / repulsão magnética;
- Causas do aparecimento de correntes parasitas em núcleos magnéticos e meios de limitá-las e as perdas magnéticas;
- Resistividade elétrica, fatores que a definem (mobilidade do elétron, número de elétrons livres e carga unitária do elétron, além da temperatura) e, resistência elétrica;
- Perdas Joule e conseqüente elevação de temperatura. Conseqüências;
- Conceito de reatâncias capacitiva e indutiva, e de impedância elétricas.

EQUAÇÕES BÁSICAS.

Potência ativa .

$P = U \cdot I \cdot k$ onde P = potência ativa (atenção: não use o termo WATTAGEM)
 U = tensão elétrica (atenção: não use o termo VOLTAGEM)
 I = corrente elétrica (atenção: não use o termo AMPERAGEM)
 k = fator que depende do tipo de rede, a saber:

$k = 1$, no caso de corrente continua

k = fator de potência x rendimento, no caso de corrente alternada monofásica

k = raiz quadrada de três x fator de potência x rendimento, no caso de corrente alternada trifásica.

Unidade de medida: o **watt** (W), e, em fase de alteração, o **cavalo-vapor** (cv). O cavalo-vapor (cv) está sendo eliminado na caracterização da potência de motores, pois não é unidade de medida elétrica e sim mecânica.

Nota: os termos WATTAGEM, VOLTAGEM e AMPERAGEM não devem ser usados, por não constarem da terminologia da ABNT.

Potência reativa

Definição : Em regime permanente senoidal, é a parte imaginária da potência complexa

$P_r = U \cdot I$, onde U e I tem o mesmo significado indicado acima

Unidade de medida: o **volt-ampére** (VA)

Potência aparente.

Definição: Produto dos valores eficazes, da tensão e da corrente.

Nota : em regime permanente senoidal, é o módulo da potência complexa

Unidade de medida: também o **volt-ampére** (VA).

Potência complexa.

Definição: Para tensão e corrente senoidais, é o produto do fasor tensão pelo conjugado do fasor corrente.

Unidade de medida: produto vetorial de **volt-ampére** (VA)

Perdas.

Definição: Diferença entre a potência de entrada e a de saída.

Observe-se que existem diversos tipos de perdas, tais como no cobre (as do condutor, ou perdas joule), no ferro (as do núcleo magnético), dielétricas (as do material isolante) ou ainda, as perdas em carga, em vazio e as totais.

Característica comum dessas perdas é a de se apresentarem na forma de uma elevação de temperatura (aquecimento), a qual deve ser acrescida á temperatura ambiente, e a soma das duas deve ser perfeitamente **suportada pelos materiais utilizados** na construção do componente ou equipamento por um tempo especificado na norma respectiva.

A correlação entre o nível de temperatura suportável, as perdas , a corrente admissível e a potência disponível, levam a algumas conclusões importantes, a saber:

1. Quanto **maior a temperatura admissível** nos materiais utilizados (sobretudo nos isolantes, que são mais críticos nesse aspecto), **maior a potência disponível** no componente ou equipamento.
2. Quanto maior a **temperatura ambiente**, atuando sobre um dado equipamento, **menor é a potência disponível**, e
3. Quanto **mais intensa a refrigeração** (troca de calor) que atua sobre o equipamento, **maior é a potência disponível**.

Essas conclusões podem ser muito importantes quando do **dimensionamento e instalação de um equipamento**, e nos levam a necessidade de um levantamento completo das condições ambientais, no local da instalação.

Perdas joule.

São dadas por:

$$P_j = I^2 \cdot R, \text{ onde } \begin{array}{l} P_j = \text{perdas joule, medidas em watts (W),} \\ I = \text{corrente passante (A)} \\ R = \text{resistência do circuito (} \Omega \text{)} \end{array}$$

Unidade de medida: o **watt** (W)

Resistência elétrica.

$R = \text{resistividade elétrica (} \rho \text{)} \times \text{comprimento do condutor (} l \text{)} / \text{seção condutora (} s \text{)}.$

O valor dessa resistência, e também da resistividade, é dependente da temperatura: quanto maior a temperatura, maior o valor de R.

Unidades de medida:

- Da resistência elétrica, o **ohm** (Ω)
- Da resistividade elétrica, o **ohm x milímetro quadrado / metro** ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)
- Da seção, **em milímetros quadrados** (mm^2).

Aquecimento dos componentes.

O aquecimento é dado por :

$$Q = I^2 \cdot t,$$

onde **Q** é o aquecimento, medido em **joules** (J) ou em **calorias** (cal). A caloria é uma unidade de medida ainda admitida temporariamente. A unidade oficial é o joule. Lembrar que 1 cal = 4,1868 j.

Essas são algumas das formulas que devem ser lembradas, durante a análise do que segue.

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA.

Ao tratarmos de assuntos técnicos, como no presente caso, é de fundamental importância que o futuro profissional seja orientado no sentido de saber que **o atendimento às Normas Técnicas é condição primeira e básica para o correto desempenho de suas atividades**. Em outras palavras, não atender a norma nos seus projetos, construção de componentes, instalação de sistemas e sua manutenção, leva a soluções inadmissíveis no meio técnico e vão prejudicar a confiabilidade da atuação desse profissional.

Consequentemente, todo aquele que exerce ou vai exercer uma atividade técnica, deve estar atualizado no que diz respeito às normas publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, analisar e aplicar seus conteúdos, ficando o profissional com a liberdade de utilizar soluções comprovadamente melhores do que as definidas nessas normas. **Portanto, as condições citadas nas normas são CONDIÇÕES MÍNIMAS a serem atendidas.**

As normas técnicas brasileiras, de acordo com a regra básica estabelecida dentro da ABNT, devem estar coerentes com as normas internacionais da Comissão Eletrotécnica Internacional – IEC, que engloba todas as normas da área elétrica com exceção das ligadas a transmissão de pulsos, como é o caso das de telecomunicações no seu todo. Isso, para que não haja conflitos em termos internacionais, seja dos produtos aqui produzidos, seja de tecnologias importadas. Entretanto, em algumas áreas de produtos, como é o caso de transformadores de distribuição, e como consequência da tradição que foi implantada há muito tempo por fabricantes, outras normas poderão excepcionalmente ser a referência.

As normas da ABNT vem caracterizadas por um conjunto de letras (NBR) e números que as identificam. As letras NBR significam **Normas Brasileiras de Referência**, sendo que em termos de conteúdo, assim se apresentam:

- As **NORMAS GERAIS**, aplicadas às **metodologias de instalação e de projeto**.
Por exemplo, a norma de **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO – NBR 5410**.
- As **ESPECIFICAÇÕES**, que indicam **as condições técnicas a serem atendidas**.
Por exemplo, as condições técnicas que devem estar presentes num **CABO DE COBRE ISOLADO COM PVC** estão definidas na norma **NBR 7288**, para um nível de tensão entre 1kV e 6kV.
- Os **MÉTODOS DE ENSAIO**, que, como o próprio nome diz, definem **os procedimentos normalizados a serem seguidos** quando do ensaio de um componente ou equipamento, nos seus mais diversos aspectos: montagem do circuito ou do dispositivo de ensaio, instrumentação quanto a sua exatidão, temperatura de referência, altitude de referência, etc. Nota-se portanto, que:
 1. Ao fazer o ensaio de um componente para a determinação de suas características nominais e eventuais, **existe uma regulamentação que vem baseada em fatores necessariamente presentes para que essas características existam**. Serão essas as características a serem gravadas na **PLACA DE CARACTERÍSTICAS**, que identificam o componente ou equipamento. Se entretanto, fatores como temperatura, altitude, etc. forem diferentes dos normalizados, os valores de placa precisam ser corrigidos.
 2. Esta estrutura das normas brasileiras, acompanhando a sistemática da IEC, estão sendo modificada para uma **única** norma por produto, que já engloba todos os aspectos (especificação, ensaios, representação gráfica e literal, eventual padronização aplicável ao produto), tornando desnecessária a consulta a diversos textos de norma.

3. As normas técnicas acompanham a evolução das técnicas e de matérias primas. Consequentemente, são feitas periodicamente, revisões e novas publicações, com **conteúdos parcialmente diferentes, o que invalida a edição anterior dessa norma**, na qual se mantém o número e se altera o ano de publicação. Portanto, é necessário cuidado no uso de uma norma, para que se tenha certeza de que o texto que estamos usando **realmente está em vigor** !
- As normas de SIMBOLOS GRÁFICOS e de SIMBOLOS LITERAIS informam como um componente deve ser identificado no seu esquema de ligação, tanto no desenho do símbolo quanto na letra que o deve caracterizar. Nos anexos 1 e 2 (páginas 95 a 98) vamos encontrar um extrato dos principais símbolos gráficos e a reprodução da tabela de símbolos literais da NBR 5280.
 - As normas de PADRONIZAÇÃO são necessárias em alguns casos de partes e componentes elétricos, para permitir a intercambialidade. Por exemplo: altura do eixo de motores, por grupo de potências.
 - Em todas essas normas, existe o item DEFINIÇÕES, que contem a TERMINOLOGIA TÉCNICA a ser utilizada. Essa terminologia está intimamente ligada ao SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES DE MEDIDA – SI, que contem as grandezas físicas, sua representação e as unidades de medida e suas abreviaturas e modo de redação. Portanto, sem entrarmos nesses enfoques, devemos ter presente a necessidade de conhecer detalhadamente, o SISTEMA SI. Para esclarecer dúvidas relativas a Unidades de Medida, consultar o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO.

Normas técnicas dos principais componentes elétricos.

As normas aplicáveis aos componentes citados no texto que segue, tem a referência IEC. Vamos entender esse detalhe. No antes exposto, ficou citado que as normas da ABNT seguem basicamente as normas da IEC, salvo algumas exceções. Vimos também que os conteúdos são periodicamente atualizados, de modo que cada vez que a norma IEC é atualizada, segue-se, após algum tempo, a atualização da norma brasileira. Como , por outro lado, os fabricantes devem apresentar aos seus consumidores, sempre produtos de acordo com as últimas condições normativas existentes, a indústria opta, por exemplo, em indicar as normas IEC atualizadas como referência de seus produtos, que sempre antecedem às normas regionais, como as da ABNT. Por essa razão, as normas citadas no presente caso são:

- IEC 60947-1 Equipamentos de manobra e de proteção em baixa tensão – Especificações
- IEC 60947-2 Disjuntores
- IEC 60947-3 Seccionadores e seccionadores-fusível
- IEC 60947-4 Contatores de potência, relés de sobrecarga e conjuntos de partida.
- IEC 60947-5 Contatores auxiliares, botões de comando e auxiliares de comando.
- IEC 60947-7 Conectores e equipamentos auxiliares
- IEC 60269-1 Fusíveis para baixa tensão
- IEC 60439-1 Conjuntos de manobra e comando em baixa tensão
- NBR 5410 Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- NBR 5280 Símbolos Literais de Eletricidade
- Símbolos Gráficos (normas IEC / DIN / NBR)

TERMINOLOGIA.

Para o devido entendimento dos termos técnicos utilizados nesse texto, destacamos os que seguem, extraídos das respectivas normas técnicas.

- **Seccionadores.**

Dispositivo de manobra (mecânico) que assegura, na posição aberta, uma distância de isolamento que satisfaz requisitos de segurança especificados.

Nota: um seccionador deve ser capaz de fechar ou abrir um circuito, ou quando a corrente estabelecida ou interrompida é desprezível, ou quando não se verifica uma variação significativa na tensão entre terminais de cada um dos seus pólos.

Um seccionador deve ser capaz também de conduzir correntes em condições normais de circuito, e também de conduzir por tempo especificado, as correntes em condições anormais do circuito, tais como as de curto-circuito.

- **Interruptor.**

Chave seca de baixa tensão, de construção e características elétricas adequadas à manobra de circuitos de iluminação em instalações prediais, de aparelhos eletrodomésticos e luminárias, e aplicações equivalentes.

Nota do autor: essa manobra é entendida como sendo em condições nominais de serviço. Portanto, o interruptor interrompe cargas nominais.

- **Contator.**

Dispositivo de manobra (mecânico) de operação não manual, que tem uma única posição de repouso e é capaz de estabelecer (ligar), conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, inclusive sobrecargas de funcionamento previstas.

- **Disjuntor.**

Dispositivo de manobra (mecânico) e de proteção, capaz de estabelecer (ligar), conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, assim como estabelecer, conduzir por tempo especificado e interromper correntes em condições anormais especificadas do circuito, tais como as de curto-circuito.

- **Fusível encapsulado.**

Fusível cujo elemento fusível é completamente encerrado num invólucro fechado, o qual é capaz de impedir a formação de arco externo e a emissão de gases, chama ou partículas metálicas para o exterior quando da fusão do elemento fusível, dentro dos limites de sua característica nominal.

- **Relé (elétrico).**

Dispositivo elétrico destinado a produzir modificações súbitas e predeterminadas em um ou mais circuitos elétricos de saída, quando certas condições são satisfeitas no circuito de entrada que controlam o dispositivo.

Notas do autor: O relé, seja de que tipo for, não interrompe o circuito principal, mas sim faz atuar o dispositivo de manobra desse circuito principal.

Assim, por exemplo, existem relés que atuam em sobrecorrente de sobrecarga ou de curto-circuito, ou de relés que atuam perante uma variação inadmissível de tensão.

Por outro lado, os relés de sobrecorrente perante sobrecarga (ou simplesmente relés de sobrecarga), por razões construtivas, podem ser térmicos (quando atuam em função do efeito Joule da corrente sobre sensores bimetálicos), ou senão eletrônicos, que atuam em função de sobrecarga e que podem adicionalmente ter outras funções, como supervisão dos termistores (que são componentes semicondutores), ou da corrente de fuga.

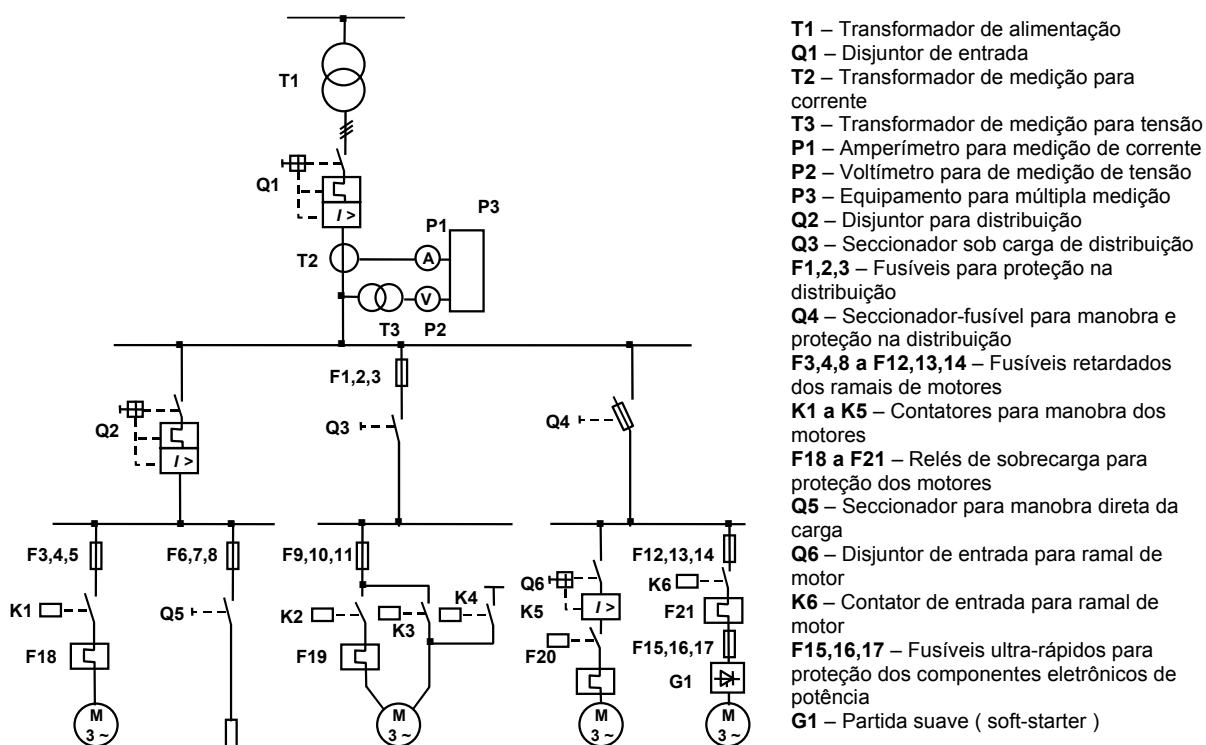
Quanto as **grandezas elétricas** mais utilizadas nesse estudo, destacamos:

- **Corrente nominal.**
Corrente cujo valor é especificado pelo fabricante do dispositivo.
Nota do autor: Essa corrente é obtida quando da realização dos ensaios normalizados, conforme comentário anterior.
- **Corrente de curto-circuito.**
Sobrecorrente que resulta de uma falha, de impedância insignificante entre condutores energizados que apresentam uma diferença de potencial em funcionamento normal.
- **Corrente de partida.**
Valor eficaz da corrente absorvida pelo motor durante a partida, determinado por meio das características corrente-velocidade.
- **Sobrecorrente.**
Corrente cujo valor excede o valor nominal.
- **Sobrecarga.**
A parte da carga existente que excede a plena carga.
Nota: Esse termo não deve ser utilizado como sinônimo de “sobrecorrente”.
Nota do autor: “Sobrecorrente” é um termo que engloba a “sobrecarga” e o “curto-circuito”.
- **Capacidade de Interrupção.**
Um valor de corrente presumida de interrupção que o dispositivo é capaz de interromper, sob uma tensão dada e em condições prescritas de emprego e funcionamento, dadas em normas individuais.
Notas do autor: A “capacidade de interrupção” era antigamente chamada de “capacidade de ruptura”, termo que não deve mais ser usado. O valor da “capacidade de interrupção” é de particular importância na indicação das características de disjuntores, que são, por definição, dispositivos capazes de interromper correntes de curto-circuito, o que os demais dispositivos de manobra não fazem.
- **Resistência de contato.**
Resistência elétrica entre duas superfícies de contato, unidas em condições especificadas.
Nota do autor: esse valor é de particular interesse entre peças de contato, onde se destaca o uso de metais de baixa resistência de contato, que são normalmente produzidos por metais de baixo índice de oxidação, ou senão ainda, quando duas peças condutoras são colocadas em contato físico, passando a corrente elétrica de uma superfície a outra.
É por exemplo, o que acontece entre o encaixe de fusíveis na base e a peça externa de contato do fusível, que não pode ser fabricada com materiais que possam apresentar elevada resistência de contato.

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA E LITERAL DOS COMPONENTES DE UM CIRCUITO.

Um esquema elétrico, (e não um diagrama) é a representação dos componentes que o compõe, de acordo com as normas de Símbolos Gráficos e Símbolos Literais.

Vejam os abaixo o esquema com **circuitos de manobra principais** representando uma instalação elétrica industrial.



No caso, trata-se de uma representação UNIFILAR, que é bastante esclarecedora quanto aos componentes do circuito, mas perdem-se detalhes do tipo “em que fase estão ligados os componentes”. Para eliminar esse inconveniente, é necessário fazer a representação MULTIFILAR. No presente caso, que é o de uma rede trifásica (L1,2,3) passaria a ser uma representação TRIFILAR. Ou senão, no esquema de comando (veja página seguinte), o de uma representação BIFILAR, pois nesse caso temos um circuito alimentado por dois condutores em forma monofásica ou bifásica.

Existem algumas condições básicas que devem ser respeitadas, ao reunir os componentes de um circuito, as quais podemos sintetizar do seguinte modo:

- A entrada do sistema deve possuir a melhor qualidade de operação e proteção para atender com segurança as circunstâncias de PIOR CASO, como por exemplo, proteger os componentes contra a ação térmica e dinâmica da corrente de curto-circuito.
- A estrutura do sistema é basicamente dada pela necessidade da divisão de cargas, assegurando uma elevada praticidade e confiabilidade ao sistema, bem como atender a certas imposições normalizadas, tal como no caso da partida de motores, com a inserção de métodos de partida para potências nas quais as normas o exigem.
- Ao ser feita a montagem de um tal circuito, observar corretos métodos de instalação, bem como, na hora de aplicar carga, atender a orientação da respectiva norma de “aplicação de carga”, para não prejudicar o seu desempenho futuro.

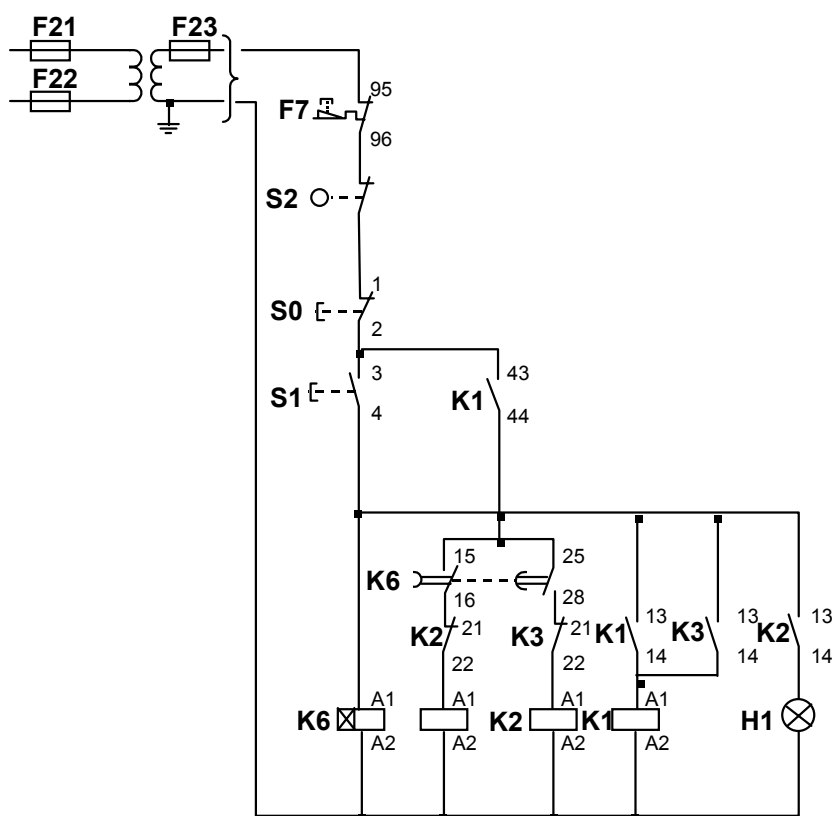
- Semelhantemente ao item anterior, conhecer a metodologia de manutenção citada na norma do produto em questão, para assegurar uma VIDA ÚTIL a mais prolongada possível. Com isso, são minimizados investimentos futuros para manter o sistema funcionando, o que eleva a rentabilidade da instalação industrial alimentada por esse circuito.

Os circuitos de manobra principais tem normalmente associados a eles, os **circuitos de comando**, no qual estão ligados os componentes para manobra manual e automática, e de proteção.

Um desses circuitos está representado no que segue, e no caso se trata do circuito de comando de uma partida estrela-triângulo. O funcionamento e uso dos mesmos serão objeto de comentários posteriores.

Circuito de comando

Exemplo: Partida estrela-triângulo



F21, F22, F23 – Fusíveis para proteção do circuito de comando

T1 – Transformador para alimentação do comando

F7 – Contator auxiliar (NF) do relé de sobrecarga

S2 – Chave fim de curso de proteção do sistema de partida

S0 e S1 – Botões de comando de impulso para liga e desliga

K6 – Relé de tempo e contatos temporizados

K1, K2, K3 – Bobinas dos contadores e contatos auxiliares

H1 – Sinalização do regime de operação

GRANDEZAS QUE CARACTERIZAM UM COMPONENTE / EQUIPAMENTO.

Cada componente/equipamento tem gravado externamente, através de uma placa de características ou de uma gravação em alto ou baixo relevo, as grandezas principais que o caracterizam. Nos manuais/catálogos técnicos que o acompanham, mais outros dados importantes poderão estar sendo mencionados.

Assim, no caso de componentes elétricos, são básicas as indicações:

- Tensão (elétrica) nominal (U_n) e corrente (elétrica) nominal (I_n)
- Freqüência nominal (f_n)
- Potência presente no circuito a que se destina (P_n)
- Eventualmente a corrente máxima de curto-circuito, no caso de disjuntores (I_{cu} / I_{cs})
- Normas que se aplicam aos componentes, tanto as especificações quanto os métodos de ensaio.

Observe: o símbolo da grandeza “tensão elétrica” é o **U** e não o V. Esse último é a abreviatura de sua **unidade de medida** (volt), e não da grandeza.

Nota: Veja dados de encomenda dos principais componentes elétricos na página 94.

Somado a essas indicações, vem também a indicação de como o fabricante caracteriza o seu produto. Assim, os disjuntores de fabricação da Siemens são identificados por 3WN...; um fusível Diazed, por 5SB2, e assim por diante.

Mas, ao lado dessas grandezas básicas, outras tão importantes quanto essas, que caracterizam os produtos, passarão a ser analisadas agora:

Curvas de carga.

As cargas, elétricas (p.ex. lâmpadas incandescentes) ou eletromecânicas (p.ex. motores), alimentadas por um circuito elétrico, apresentam características elétricas diferentes, como pode ser observado nas ilustrações da página 16.

Basicamente, temos três tipos de cargas das quais uma sempre predomina em cada componente/equipamento, sem porém deixar de existir uma parcela de outras formas de carga simultaneamente presente. Assim:

- Cargas indutivas, como a dos motores elétricos. Porém, a presença de um certo efeito resistivo, manifestado pela existência das perdas joule, comprova que, ao lado dessa carga indutiva, encontramos, não sem importância, a carga resistiva.
- Cargas predominantemente resistivas, como as encontradas em fornos elétricos e lâmpadas incandescentes, e
- Cargas predominantemente capacitivas, como as encontradas nos capacitores, sem com isso excluir a presença, em menor intensidade, de cargas indutivas ou resistivas nesse componente.

Vamos fazer uma análise mais detalhada de cada uma das três formas de curvas de carga.

1. Cargas indutivas.

Se caracterizam por uma corrente de partida, algumas vezes maior que a nominal, corrente essa que vai atenuando sua intensidade com o passar do tempo, ou seja, conforme o motor vai elevando sua velocidade, como pode ser visto no gráfico que tem no eixo dos tempos a unidade de medida o segundo, e no eixo das correntes, o múltiplo da corrente nominal ($x I_n$). Essa corrente maior é conseqüente da necessidade de uma potência maior no início do funcionamento do motor, para vencer as inércias mecânicas ligadas ao seu eixo, que em última análise são as apresentadas pela máquina mecânica que o motor deve movimentar. Uma vez vencida a inércia, o motor reduz a corrente e alcança o seu valor nominal (I_n).

Devido a corrente de partida maior que a nominal, surgem **perdas elétricas e flutuações na rede**, que precisam ser controladas. Lembrando que, para uma certa tensão de alimentação, a corrente é diretamente proporcional á potência, os problemas citados são aceitáveis para cargas indutivas de pequeno valor, exigindo, porém, medidas de redução da potência envolvida para cargas de valor mais elevado.

Nesse sentido, na área da baixa tensão, cujos circuitos devem atender a norma NBR 5410, estando em vigor a sua edição de 1997 na época da redação do presente estudo, encontramos no seu **item 6.5.3** a determinação de que somente para potências motoras **até 3,7 kW (5 cv)** inclusive, a ligação dessa carga indutiva pode ser feita **diretamente**, sem a redução supramencionada. Acima dessa potência, o primeiro passo é a consulta a Concessionária de Energia **no local da instalação desse motor**, sobre o limite até o qual é permitida a partida direta, a plena tensão pois esse valor depende das condições de carga em que a rede de alimentação se encontra. **É importante não esquecer desse detalhe na hora de definir o circuito de alimentação de uma carga motora, sob pena de fazer um projeto errado.**

2. Cargas resistivas.

Pela análise da curva de carga, nota-se claramente que a relação tempo x corrente evolui de um modo totalmente diferente.

De um lado, no eixo dos tempos, a escala é de milissegundos, demonstrando que a duração de um pico inicial de corrente é muitíssimo menor, e conseqüentemente menores os efeitos daí resultantes, como é o caso do aquecimento, enquanto que no eixo da corrente, continua ser o múltiplo da corrente nominal ($x I_n$). Por outro lado, é bem maior o pico de corrente, que chega a valores da ordem de 20 vezes o valor nominal. Mas no seu todo, o produto corrente x tempo se apresenta bem menos crítico do que no caso das cargas indutivas, o que vai ter uma influencia no valor da grandeza de manobra dos dispositivos. Assim, como podemos observar nas informações relativas a capacidade de manobra de contadores, o valor numérico da corrente $I_e / AC-1$ de um dado contator é sensivelmente maior do que perante cargas motoras ($I_e / AC-2$ e $AC-3$), conforme veremos mais adiante.

3. Cargas capacitivas.

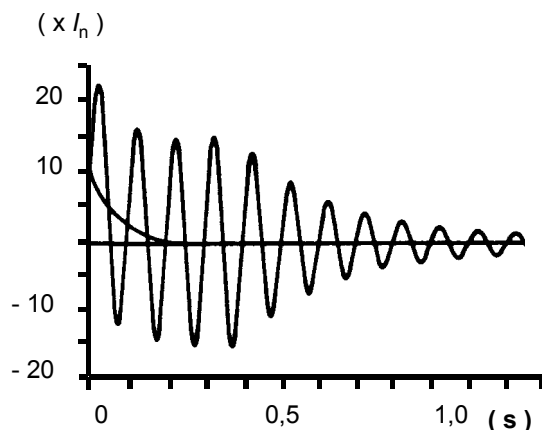
Vejamos a curva de carga nesse caso. Vamos encontrar, sobre eixos de coordenadas referências de tempo e corrente similares ao caso anterior, alguns picos de sobrecorrente mais críticos, porém de curta duração. Portanto, o efeito de aquecimento e o dinâmico sobre os componentes do dispositivo é de importância, com um pico de $60 x I_n$, o que pode comprometer uma manobra nessa etapa de carga. Por essa razão,

dispositivos de manobra para capacitores precisam ser de tipo especial ou o usuário deve consultar o fabricante sobre qual o dispositivo de manobra a ser usado.

TIPOS DE CARGA

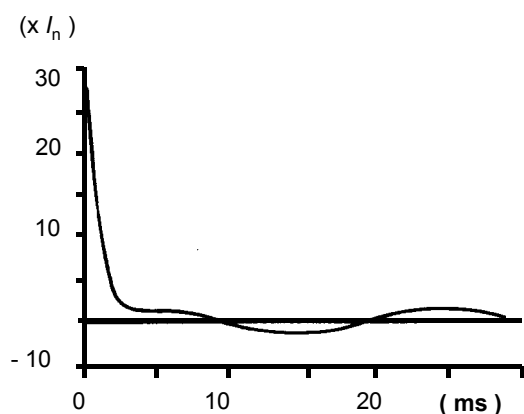
Desenvolvimento de partida

Carga indutiva



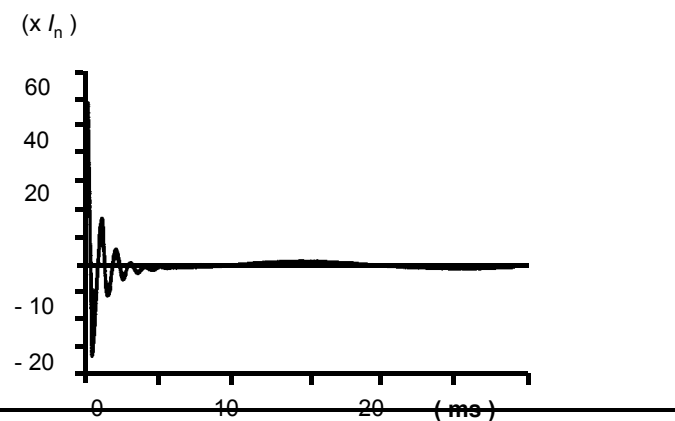
- ♦ Exemplo: Motor trifásico com rotor em curto-circuito
- ♦ Pico de corrente na ligação
 $8 \cdot I_n$ ($\cos \varphi = 0,35$)

Carga resistiva



- ♦ Exemplo: Resistência para aquecimento
- ♦ Pico de corrente na ligação
 $20 \cdot I_n$ (em poucos milissegundos)

Carga capacitiva



- Exemplo: Banco de capacitores
- Pico de corrente na ligação (muito elevado)
 $60 \cdot I_n$

(Os contadores básicos devem ser adaptados a manobra de capacitores, diminuindo o efeito de pico através de resistência ou indutâncias ligadas em série).

POTÊNCIA DISPONÍVEL EM FUNÇÃO DE TEMPERATURA, ALTITUDE E MEIO AMBIENTE.

- Potência nominal e corrente nominal (de placa). Enquanto a tensão alimentação é um valor da rede , e como tal, constante dentro das tolerâncias permitidas (+/- 5%), temos a potência nominal (P_n), dada geralmente em watts (W) ou eventualmente ainda em cavalos-vapor (cv), como sendo um valor determinado através de ensaios normalizados. Ou seja, baseado em um PROTÓTIPO, aplicando todos os ensaios previstos em norma, e perante condições elétricas e de ambiente perfeitamente definidas, obtém-se **o valor da potência elétrica disponível** quando a temperatura do componente/equipamento alcança **o valor limite de aquecimento permitido pelos materiais (condutores, isolantes, magnéticos) utilizados.**

Assim, a potência disponível é uma função da temperatura suportada. Essa conclusão é muito importante, pois justifica a permanente preocupação de se usar cada vez mais, materiais que suportem temperaturas mais elevadas, contanto que economicamente viáveis, e de controlar a temperatura nos dispositivos e equipamentos.

Essa temperatura, que é a soma dos fatores térmicos incidentes, é função de:

- Temperatura ambiente. Observe-se que, uma vez que a temperatura total é limitada pelos materiais utilizados, quanto mais elevada a temperatura ambiente, menor tem que ser o aquecimento devido as perdas. Essas são parcialmente função das perdas joule, e como tal, função de corrente , que portanto, precisa ser reduzida. Mas, **reduzindo a corrente, estamos reduzindo a potência disponível.**

Portanto: A POTÊNCIA DISPONÍVEL É FUNÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE. **Quanto maior a temperatura ambiente, menor a potência disponível.** E ainda: como antes mencionado, a potência nominal é determinada em ensaio, a uma dada temperatura normalizada. **Sempre que a temperatura no local da instalação for diferente da de ensaio, a potência disponível não é aquela gravada no equipamento.** Nesses casos, para saber qual a potência disponível, é necessário aplicar um fator de correção sobre o valor gravado no equipamento, cujo valor vem especificado na própria norma do produto ou pelo fabricante.

- Elevação de temperatura devido as perdas (elétricas, mecânicas, magnéticas). Vamos inicialmente observar que quaisquer perdas que venham a ocorrer, independente de sua origem, levam a um aquecimento, **que assim é somado ao valor da temperatura ambiente**, e que precisa ser suportado pelos materiais utilizados. Essas perdas, e particularmente as perdas joule, são função de corrente elétrica. Portanto, se precisamos reduzir a elevação de temperatura conseqüente dessas perdas, e observando que as perdas dielétricas e as magnéticas não podem ser facilmente modificadas, então resulta a solução de, para reduzir o aquecimento, temos que reduzir as perdas joule, logo a corrente elétrica e com isso estamos **reduzindo a potência disponível.**

Portanto: A POTENCIA DISPONIVEL É TAMBEM FUNÇÃO DA TEMPERATURA LIMITE SUPORTADA PELOS MATERIAIS UTILIZADOS. **Quanto maior a temperatura limite dos materiais, maior a potência disponível.** Esse fato justifica o interesse crescente pelo uso de materiais com temperatura-limite maior. A título de informação, e no caso dos materiais isolantes, que são normalmente os termicamente mais frágeis, as temperaturas limite estão contidos na norma NBR 7034 – Materiais Isolantes Elétricos – Classificação

Térmica. O fato de que cada material tem uma temperatura limite, acima da qual perde sensivelmente suas características isolantes, destaca a importância dessa norma, na hora de o profissional avaliar se um dado equipamento está ou não operando dentro de seus limites de temperatura. Ou seja, para saber se um dado equipamento/componente está operando acima de suas condições térmicas (o que poderia caracterizar uma sobrecarga), isso apenas poderá ser constatado se conhecermos, de um lado, a temperatura limite do material e, do outro, medirmos a temperatura do componente em operação. Se aí se constatar que a temperatura de serviço está acima da de limite, então há necessidade (e rápida) de reduzir a corrente, salvo se pudermos aplicar o que vem citado no tópico seguinte.

- Elevação de temperatura devido a deficiência de troca de calor.
Se um componente se aquece, mas esse calor é **rapidamente trocado com o ambiente**, então parece claro que a elevação de temperatura **pode não ocorrer**. É o que na verdade, num primeiro caso, acontece quando a temperatura ambiente tem um valor baixo. Portanto, se no nosso primeiro tópico dessa análise dissemos que uma elevada temperatura ambiente diminui a potência disponível, não é menos verdade que, **perante temperaturas ambiente abaixo dos valores de norma, a potência disponível é SUPERIOR ao valor de placa**.
Porém, um outro modo de acelerar a troca de calor é encontrado, se promovermos a rápida retirada do calor dentro ou sobre o componente, mediante uma **VENTILAÇÃO** apropriada.
Podemos portanto, **ELEVAR A POTENCIA DISPONIVEL, ACELERANDO A TROCA DE CALOR, ATRAVES DE UMA ADEQUADA VENTILAÇÃO**.
E, SE NÃO DISPUZERMOS DESSE RECURSO, TEREMOS QUE **REDUZIR A POTENCIA DISPONÍVEL, PELA REDUÇÃO DE CORRENTE**

Na questão da troca de calor, podemos observar mais um detalhe. Pela análise das normas, observamos que a potência disponível também é função da **altitude de instalação**, que é a diferença de altura do local da instalação em relação ao nível do mar. Geralmente, dependendo do componente, as normas consideram uma **altitude normal**, na qual tem que estar disponível a **potência nominal**, valores de altitude até 1 000 ou de 2 000 metros, inclusive, havendo necessidade de uma redução da potência disponível acima desse valor segundo fatores de correção citados em norma do produto ou pelo fabricante (motores, transformadores, etc) **Porque essa limitação?**

Vejamos. A troca final do calor gerado dentro do equipamento, somado à temperatura ambiente, **se faz com o ar**, onde suas moléculas são aquecidas, com isso diminuem sua densidade, e se deslocam. **Se são as moléculas do ar que recebem o calor, quanto menor o número de moléculas, menor e mais lenta é a troca de calor. Como, com o aumento da altitude, o ar se torna cada vez mais raro e assim com menor número de moléculas, temos que reduzir as perdas, pela redução da corrente e conseqüente redução da potência disponível, afim de evitar a destruição do equipamento/componente por aquecimento excessivo.**

É bem verdade que essa redução de troca de calor por redução da densidade do ar, é parcialmente compensada pelo fato de, em altitudes maiores, a temperatura ambiente ser menor, o que, sob esse aspecto, elevaria a capacidade de troca de calor. Porém, os fatores de correção indicados, já levam em consideração esse fator atenuante.

A influência da redução da troca de calor também se faz presente, quando agrupamos diversos componentes em um único local, como por exemplo, um grupo de disjuntores instalados na caixa de entrada de uma residência. Isso porque, as características nominais do dispositivo/equipamento, e entre elas a corrente nominal e a potência

nominal, são determinadas, segundo as Normas, **com um único componente, separado**, e não agrupado. Como no dispositivo único, as condições de troca de calor são mais favoráveis do que quando agrupado, há necessidade de aplicar um fator de correção sobre o valor da corrente nominal gravada sobre o dispositivo, para evitar sobreaquecimentos, que levariam ao desligamento, pela ação dos seus relés. Também nesse caso, as normas, ou a orientação do fabricante, definem o fator de correção a ser aplicado que vai ser função tanto do número de dispositivos agrupados quanto da temperatura no local da instalação. **A não consideração desses fatores de correção vai levar ao desligamento indevido da instalação.**

Materiais aplicados em equipamentos, em função do meio ambiente

- Influência do ambiente.
Não é raro que o local da instalação apresente uma acentuada agressividade ou condições de uso mais rigorosas do que as normais. Se não levado em consideração quando da escolha do componente, esse fato pode levar a uma sensível redução da VIDA ÚTIL do componente/equipamento, exigindo sua substituição.

A agressividade do ambiente é função de fatores naturais, como por exemplo, o meio salino junto a orla marítima ou a ação de radiações provenientes do sol, como no caso dos raios ultravioletas (UV), ou conseqüência da atividade industrial, freqüentemente através de emissão de gases corrosivos que entram em contato com o componente/equipamento.

Mencionando alguns dos materiais isolantes de uso mais comum, as tabelas que seguem estabelecem alguns critérios, que poderão alertar o profissional quanto a cuidados que deva ter, e que são utilizados sobretudo em condutores elétricos.

Nas tabelas que seguem, é feita uma classificação de maior ou menor agressividade do ambiente sobre o material, no caso de plásticos e borrachas:

Classificação, segundo os critérios:

- A..... não é afetado
- B..... levemente afetado
- C..... levemente atacado. Uso não recomendado
- D..... bastante atacado. Não deve ser usado.
- E..... profundamente atacado. Proibido o uso.

Substância corrosiva		Material			
		PVC	PE	XLPE	PCP
Ácido nítrico	Fumegante	E	D	D	E
	Concentrado	C	D	D	E
	10% concentrado	B	B	B	E
Ácido sulfúrico	Concentrado	D	C	C	E
	10% concentrado	A	A	A	A
Ácido clorídrico	Concentrado	C	A	A	B
	10% concentrado	A	A	A	B
Ácido fosfórico		A	A	A	A
Ácido acético	Concentrado	B	A	A	B
	10% concentrado	B	A	A	B
Solução de amônia	Concentrado	B	A	A	B
	10% concentrado	B	A	A	A
Cloro gasoso		C	E	E	E
Bromo		E	E	E	E

Obs: PCP : policloroprene (Neoprene)

PE : polietileno

XLPE : polietileno reticulado

PVC: cloreto de polivinila

Nessa segunda tabela, são dados os comportamentos de plásticos e borrachas sintéticas perante óleos e solventes, significando:

- A Não afetado
B Levemente afetado
C Levemente amolecido/inchado,
Porém sem conseqüências
D Considerável amolecimento.
Não deve ser usado
E Totalmente amolecido.
Proibido o uso
F Material em decomposição

Óleos e Solventes	Material			
	PVC	PE	XLPE	PCP
Benzeno	F	D	D	E
Hexano	C	B	B	C
Nafta	B	B	B	E
Gasolina	D	B	B	C
Clorofórmio	D	D	D	F
Tetracloroeto de Carbono	D	B	B	F
Acetona	D	B	B	F
Álcool Etilico	A	A	A	A
Óleo de Transformador	D	A	A	B
Óleo Vegetal	A	A	A	A
Éter de Petróleo	E	A	A	D

Em alguns casos, o problema é resolvido, utilizando-se materiais a prova das condições ambientais, em outros, e particularmente nos equipamentos, opta-se por um encapsulamento adequado. Aliás, o próprio poderá necessitar de uma proteção ou tratamento externo, para não ser agredido pelo ambiente. Nesse caso, opta-se por um tratamento metálico (p. ex. galvanização) ou uma pintura adequada. Cabe nesse ponto também observar que a agressividade pode ter características bem variáveis, podendo-se destacar:

1. **Umidade elevada**, freqüentemente associado a temperaturas elevadas, que podem prejudicar tanto metais quanto, e sobretudo, os isolantes, com o que se coloca em risco a rigidez dielétrica desses materiais e conseqüente possibilidade de descarga entre fases ou fase-terra. Considera-se crítica a situação a partir de 50% de umidade perante uma temperatura superior a 40°C, quando se manifesta muito acentuado o problema da condensação de água dentro dos equipamentos/dispositivos.
2. **Agressividade química**, sobretudo em indústrias que manipulam tais produtos. Os produtos químicos mais encontrados, associado aos solventes industriais, de igual agressividade, e os materiais isolantes freqüentemente presentes em tais indústrias ,como plásticos e borrachas sintéticas, estão relacionados nas tabelas que antecedem a esses comentários, indicando o grau de risco que existe no contato entre eles, e a natural preocupação do profissional em evitar o tal contato.
3. **Agressividade de origem natural**, como é o caso do sal em regiões litorâneas.
4. **Ação de radiações** que alteram a estrutura de materiais. O caso mais freqüente, porém não único, é o das radiações ultravioletas (UV) provenientes do sol, e que chegam a decompor certos plásticos ou tornando-os quebradiços.

5. **Presença de corpos sólidos** (grãos e poeiras), que podem emperrar o funcionamento dos dispositivos pela penetração no seu interior, ou da entrada de peças e ferramentas no interior dos dispositivos/equipamentos. Esse aspecto é resolvido, mediante a escolha de um dispositivo que já tenha um certo GRAU DE PROTEÇÃO ou que seja instalado dentro de um invólucro com esse GRAU . É freqüente que as empresas tenham na forma avulsa, tais invólucros (caixas), com a indicação clara do referido GRAU DE PROTEÇÃO.

A escolha do GRAU DE PROTEÇÃO correto é um aspecto bastante importante, para evitar que agentes prejudiciais atuem no interior dos dispositivos, e com isso alcancem os valores previstos de DURABILIDADE ou VIDA ÚTIL.

6. **A penetração de água no interior dos dispositivos**, sobretudo daqueles instalados ao ar livre. Essa água pode se apresentar de diversas formas: na de **gotas**, de **jatos** ou **submersão**. Também nesse caso, há necessidade de um encapsulamento dos dispositivos, ou seja, a escolha de um GRAU DE PROTEÇÃO adequado, como mencionado no item anterior.

GRAUS DE PROTEÇÃO.

Os GRAUS DE PROTEÇÃO tem sua classificação e identificação regulamentados por **norma técnica**, que se apresenta na forma de duas letras e dois números. As letras são **IP**, significando **Proteção Intrínseca** (Intrinsic Protection, em inglês = proteção própria do dispositivo). Dos dois números, o primeiro informa o grau de proteção perante a penetração de sólidos; o segundo, líquidos.

A tabela que traz esses dados é a seguinte:

1º algarismo Proteção contra a penetração de sólidos	2º algarismo Proteção contra a penetração de líquidos
0 – dispositivo aberto (sem proteção)	0 – dispositivo aberto (sem proteção)
1 – evita a penetração de sólidos >50mm	1 – evita a penetração de pingos verticais
2 – idem, de sólidos > 12 mm	2 – idem, de pingos até 15º da vertical
3 – idem, de sólidos > 2,5 mm	3 – idem, de pingos até 60º da vertical
4 – idem, de sólidos > 1 mm	4 – idem, pingos/ respingos de qq. direção
5 – dificultam a penetração de pós	5 – idem, de jatos de água moderados
6 – blindados contra penetração de pós	6 – idem, de jatos de água potentes
	7 – idem, sujeitos a imersão
	8 – idem, sujeitos a submersão

Exemplos.

Um equipamento que vai operar num ambiente externo (portanto sujeito a chuvas), onde as poeiras (sólidos) no ar tem um tamanho de 2 mm, e a proteção necessária é contra pingos e respingos, precisa de um IP dado por: IP 44.

Explicando: na parte sólida, tendo 2 mm, se tivermos um invólucro IP 3, que protege para sólidos > 2,5 mm, a poeira vai penetrar. Logo, será o IP 4.

Na parte líquida, a proteção contra pingos e respingos, também é o IP 4.

Logo, resulta o GRAU DE PROTEÇÃO correto dado por IP 44.

Outro exemplo:

No ambiente , temos corpos sólidos com um tamanho de 10 mm, mas a instalação é feita em ambiente protegido (onde não existe líquido). Qual o IP necessário ?

- Na parte sólida, será o IP 3 (o 2 deixaria os corpos sólidos entrarem), e na parte líquida, será o IP .0 (sem necessidade de proteção).
- **Logo, a escolha recai sobre o IP 30.**

7. Aplicando uma camada de proteção externa, ou seja, uma pintura, com tinta apropriada **às condições de agressividade no local.**

Nota conclusiva desse item:

Observa-se que, para a escolha correta de um componente / equipamento / dispositivo, além dos fatores elétricos mencionados, é de fundamental importância conhecer as CONDIÇÕES LOCAIS de temperatura, altitude, ambientes agressivos, etc, para que os componentes tenham uma VIDA ÚTIL OTIMIZADA.

ANÁLISE DE CONDIÇÕES DE USO ANORMAIS (NÃO NOMINAIS).

Apesar de as condições nominais serem a referência na identificação de um componente/equipamento, não é menos verdade que ele pode, e freqüentemente, ficar sujeito a operar em condições anormais de serviço. Tais condições são sobretudo as de sobrecorrentes, identificadas como correntes de sobrecarga e de curto-circuito.

Tais condições, apesar de inevitáveis, não podem permanecer por longo tempo, pois aí o componente/equipamento estará sujeito a uma danificação. Por essa razão, as normas relativas ao produto considerado , indicam o tempo máximo que uma condição anormal pode se apresentar, e esse tempo tem que estar intimamente ligado ao tempo de atuação dos dispositivos de proteção (relés de disjuntores e fusíveis) .

Ou seja: **a atuação dos dispositivos de proteção, perante uma dada corrente anormal, tem que ser MENOR do que o tempo máximo obtido da curva tempo x corrente, estabelecido em norma para sua segurança.**

A situação mais crítica envolve a curva corrente x tempo de atuação perante curto-circuito. Vamos, portanto, destacar alguns aspectos da mesma:

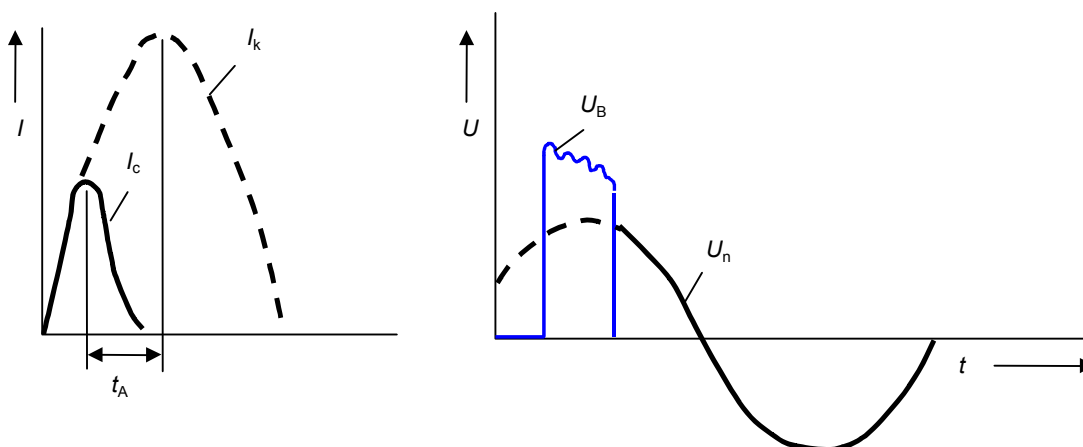
- A corrente de curto-circuito (indicada por I_{cc} ou I_k), tem sua grandeza calculada, circuito por circuito, de uma instalação, podendo-se adotar, para a escolha dos dispositivos de proteção, notadamente os disjuntores, o maior dos valores calculados, se tal decisão não levar a uma solução antieconômica. O seu valor é função da impedância (e como tal da resistência e da reatância).
- Porém , a presença do seu **valor pleno** calculado é considerado UMA FATALIDADE, e como tal deve-se levar em consideração o seu **valor real**, que é da ordem de 50% do valor pleno calculado, que, na pratica, é maior que 10 a $15 \cdot I_n$, dependendo do tipo de carga do circuito.
- No ato da interrupção, devido a uma corrente de algumas **dezenas de quilo-ampéres (kA)** no caso industrial, e de **alguns kA** no caso residencial, aparecerá como crítica a ação térmica do arco elétrico (arco voltaico), cujo valor de temperatura é algo **acima de 5 000°C**, temperatura essa que nenhum dos materiais utilizados na construção das peças de contato suportaria. Assim, por exemplo, a temperatura de fusão do cobre, que evidentemente não pode ser alcançada, pois já estaria destruindo a peça de contato, é de $1\ 083^\circ\text{C}$ e a da prata é de 960°C . Portanto,

fica claro, que o arco precisa ser rapidamente extinto, para não danificar ou mesmo destruir, o dispositivo de manobra.

- Dependendo do componente/equipamento, é também crítica a ação da corrente de curto-circuito no aspecto dinâmico, fato porém de menor importância nos produtos analisados no presente texto. De qualquer modo, a redução do **tempo de arco** (tempo que o arco estará presente) é um dos fatores de dimensionamento e construção das CÂMARAS DE EXTINÇÃO que são encontradas tanto em contatores quanto e sobretudo em disjuntores.

Devido ao exposto, o valor da corrente de curto-circuito é um parâmetro importante, sobretudo na escolha de dispositivos que atuam na presença dessa corrente, como é o caso de disjuntores e de fusíveis. Precisam esses dispositivos, portanto, ter uma construção que garanta uma interrupção segura e rápida dessa corrente, o que é indicado pelo valor de sua CAPACIDADE DE INTERRUPÇÃO.

Devido às condições críticas em que se apresenta a corrente de curto-circuito, os dispositivos que a interrompem, limitam o seu valor, evitando que atinja o valor de pico, como demonstram as curvas que seguem.



I_c Corrente limitada de curto-circuito

I_k Corrente de impulso de curto-circuito

t_A Tempo de interrupção (extinção do arco)

U_B Tensão de impulso (extinção do arco)

U_n Tensão nominal

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CARGA NA DEFINIÇÃO DA CAPACIDADE DE MANOBRA .

Quando da análise das curvas de carga, vimos que, cargas de natureza diferentes (resistivas, indutivas, capacitivas), levam a capacidades de manobra também diferentes. Assim, justificou-se que, perante cargas indutivas, que se caracterizam por correntes de partida bem mais elevadas que as nominais, os dispositivos de manobra (usualmente contadores), apresentam uma capacidade de manobra menor do que a encontrada perante cargas resistivas.

Portanto, a capacidade de manobra, de um contador por exemplo, depende do **tipo de carga** que é ligado.

Além desse aspecto, **cargas permanentemente ligadas** conferem ao dispositivo, uma capacidade de manobra mais elevada do que a disponível se as manobras obedecerem a um **regime de serviço não contínuo ou intermitente**.

São, assim, duas as variáveis que devem ser conhecidas e que definem a capacidade de manobra de um dado contador, por exemplo: **o tipo de carga e o regime de serviço**.

Tais fatos são levados em consideração pela norma IEC 60947, ao criar uma caracterização da capacidade de manobra: a **categoria de emprego ou de utilização**. Essa categoria é definida separadamente para redes de corrente alternada (AC) e para corrente contínua (DC), aplicada em contadores de potência, contadores auxiliares e seccionadores. Observe que as abreviaturas vem da língua inglesa, que é a língua técnica internacionalmente utilizada.

Os detalhes dessa classificação são dados nos respectivos capítulos desses dispositivos de manobra.

FUSÍVEIS ENCAPSULADOS.

Os fusíveis são dispositivos de proteção que, pelas suas características, apresentam destaque na proteção contra a ação de correntes de curto-circuito, podendo porém também atuar em circuitos sob condições de sobrecarga, caso não existam nesse circuito, dispositivos de proteção contra tais correntes, que são os relés de sobrecarga.

Sua atuação vem baseada na fusão de um elemento fusível, segundo o aquecimento resultante devido as perdas joule que ocorrem durante a circulação dessa corrente, e se destacam por sua elevadíssima capacidade de interrupção, freqüentemente superior a 100 kA.

São dispositivos de proteção de larga aplicação, com diversos tipos construtivos, e que por isso mesmo deve merecer uma atenção especial na hora de escolher o fusível correto. Para fundamentar essa escolha, nada melhor do que a análise da função de cada componente de um fusível, pois assim, **em caso de ausência de algum desses componentes, já é possível avaliar as conseqüências**.

Vamos tomar como referência nessa análise, a construção de um fusível encapsulado, cujas funções e detalhes são:

1. Base de montagem e encaixe nessa base do contato externo.

Sugerindo acompanhar essa análise com os desenhos em corte indicados na página seguinte, e sobretudo na representação do fusível com designação de norma como sendo “NH “, nota-se que a corrente circulante entra pela base e passa ao contato externo do fusível através de uma superfície de contato entre os metais do contato da base e do contato externo do fusível.

As superfícies de contato entre o encaixe e o contato externo do fusível não podem oxidar pois se assim estiverem, a corrente que passa por elas levará à uma elevação de temperatura que vai **invalidar a curva de desligamento tempo x corrente**, que obrigatoriamente caracteriza um fusível. Tal oxidação depende sobretudo do tipo de metal ou liga metálica utilizada na construção dos respectivos contatos, de modo que é de fundamental importância o uso de **metais que não oxidem**, ou que oxidem muito lentamente. Uma, mas não a única solução encontrada, é o da **prateação** das peças de contato, pois sabemos que a prata é o melhor condutor elétrico e que sua oxidação é lenta. Soma-se a isso, o fato de o óxido de prata se decompor automaticamente perante as condições normais de uso, de modo que o problema citado não se apresenta nessa solução.

Mas, como identificar um metal oxidado? A solução é simples: todo metal oxidado perde o seu brilho metálico, ou seja, se torna fosco. E não adiantará remover o óxido, pois com tais metais, o óxido se forma rapidamente de novo.

Uma exceção a essa regra é o caso do alumínio, o qual, mesmo oxidado, apresenta uma superfície aparentemente brilhante, pois o óxido de alumínio é translúcido. Mas, na verdade, com esse metal, a situação até é mais crítica, pois o óxido de alumínio não é apenas um mau condutor elétrico: **ele é isolante**, o que exclui a possibilidade de seu uso puro para tais componentes.

2. Elemento fusível.

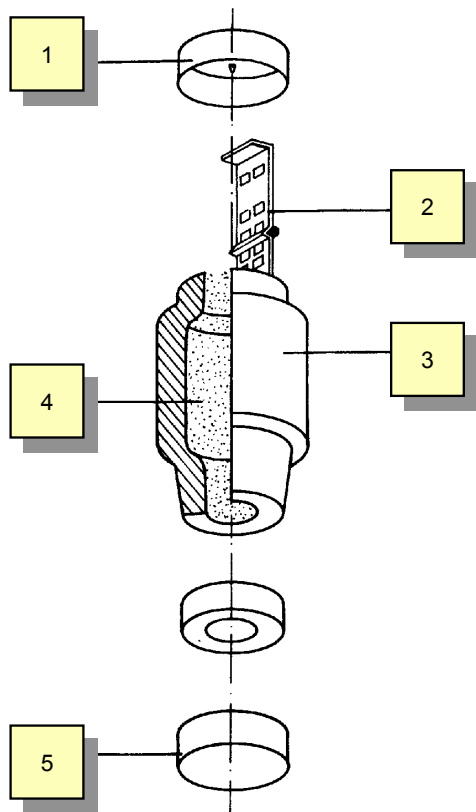
Esse precisa ser **inviolável**, para evitar a alteração do seu valor nominal, e com isso, a **segurança de sua atuação conforme previsto em projeto**. Para tanto, o fusível como um todo precisa ser inviolável (como é o caso dos tipos Diazed e NH), através do envolvimento de todo o fusível com um corpo externo cerâmico (veja 3 na figura do fusível em corte), com fechamento metálico nas suas duas extremidades.

Quando da circulação da corrente I_k , cujo valor, como vimos, é de 10 a 15 vezes ou mais superior a I_n , através do elemento fusível, atinge-se uma temperatura de fusão **superior** a do metal utilizado na construção desse componente, ato em que se abre um **arco elétrico** com uma temperatura superior a 5 000°C, que, pelo seu **valor e risco de promover uma acentuada dilatação dos demais componentes e se espalhar no ambiente**, precisa ser rapidamente extinto. Caso contrário, existe o risco de uma explosão do fusível. A extinção é analisada com mais detalhes em outro ponto desse capítulo.

Ainda quanto ao material com que é fabricado o elemento fusível, segue os detalhes:

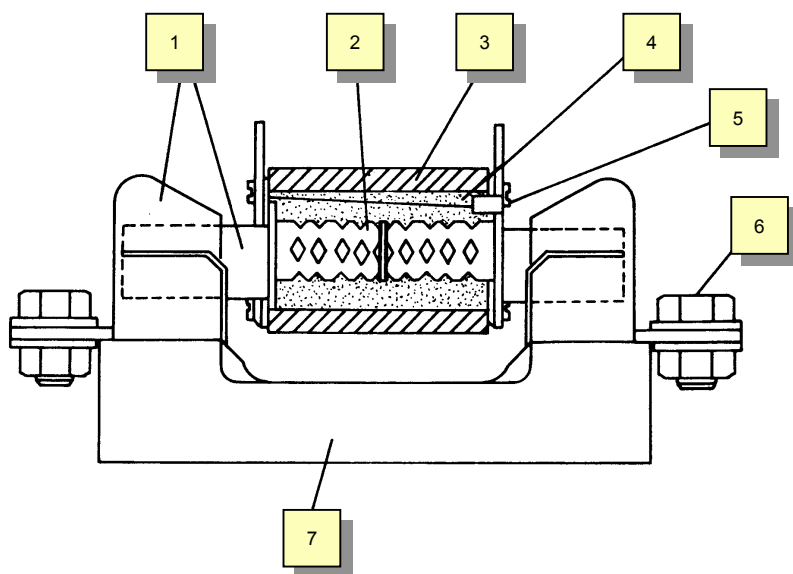
- **O elemento fusível**, para desempenhar sua ação de interrupção de acordo com uma característica de fusão tempo x corrente perfeitamente definida, como demonstrada nesse item, **deve ser fabricado de um metal que permita a sua calibragem com alta precisão**. Para tanto, o metal deve ser **homogêneo, de elevada pureza e de dureza apropriada** (materiais moles não permitem essa calibragem). A **melhor solução** encontrada, na área de fusíveis de potência, foi a usando-se **o cobre**.

Fusíveis Diazed.



- 1 - Contato superior
- 2 - Elo fusível
- 3 - Corpo cerâmico
- 4 - Areia de quartzo
- 5 - Contato inferior

Fusíveis NH.



- 1 - Contatos do fusível e base
- 2 - Elo fusível
- 3 - Corpo cerâmico
- 4 - Areia de quartzo
- 5 - Indicador de estado
- 6 - Terminal de conexão
- 7 - Base

- Tem que ser definido o **ponto** sobre o elemento fusível, no qual o arco elétrico se estabelece. Isso porque, como aparece uma temperatura no arco da ordem de ou até superior a 5 000°C, **esse arco não pode se formar nas extremidades do elemento fusível**, pois nesse caso, estaria também fundido os fechos metálicos do fusível, como o que teríamos um ARCO EXPOSTO AO AMBIENTE, com grande risco de incêndio no local ou a da explosão do fusível. Portanto, o arco precisa se formar **a meia distancia do comprimento do elo**, para o que esse elemento fusível precisa ter, nessa posição, UMA REDUÇÃO DE SEÇÃO.
- O elemento fusível precisa vir envolto por um meio extintor (geralmente areia de quartzo com uma granulometria perfeitamente definida), que, sendo isolante elétrico, rapidamente extingue o arco formado.

3. Corpo cerâmico.

O corpo cerâmico envolve todas as partes internas do fusível. Como tal fica sujeito ao aquecimento que ocorre no instante da fusão.

Vale lembrar, nesse particular, que, também devido ao destacado, um corpo envolvente com essa finalidade, precisa ter as seguintes características:

- O material usado deve ser isolante, **e permanecer isolante após a fusão do elemento fusível**. Não cumprindo essa condição, pode-se formar um novo circuito condutor de corrente, após a fusão do elemento fusível, através do corpo envolvente.
- O material deve suportar elevadas temperaturas, sem se alterar. Destaque-se que certos materiais são isolantes à temperatura ambiente mas perdem essa propriedade por carbonização, perante as temperaturas citadas, tornando-se condutoras.
- O material deve suportar bem as pressões de dentro para fora, que aparecem no ato da fusão do elemento fusível. E da dilatação do meio extintor e de gases internos.

Solução para esse caso, é o uso de **cerâmicas isolantes do tipo porcelana ou esteatita**, essas últimas sendo porcelanas modificadas, com melhores características mecânicas.

4. Meio extintor.

Conforme já mencionado, esse material também deve ser isolante , interpondo-se automaticamente, por peso próprio, quando da fusão do metal do elemento fusível. A garantia dessa intercalação é acentuadamente função da granulometria da areia usada, normalmente de quartzo.

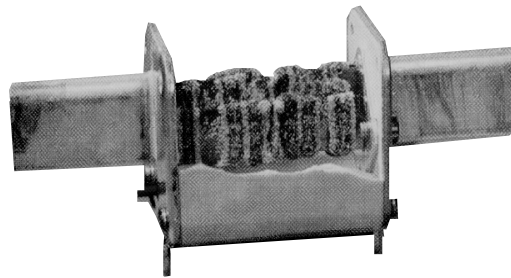
Na página seguinte vem a demonstração de como fica o elemento fusível após a interrupção, notando-se o seu envolvimento e separação entre as partes fundidas por areia de quartzo.

5. Indicador de estado.

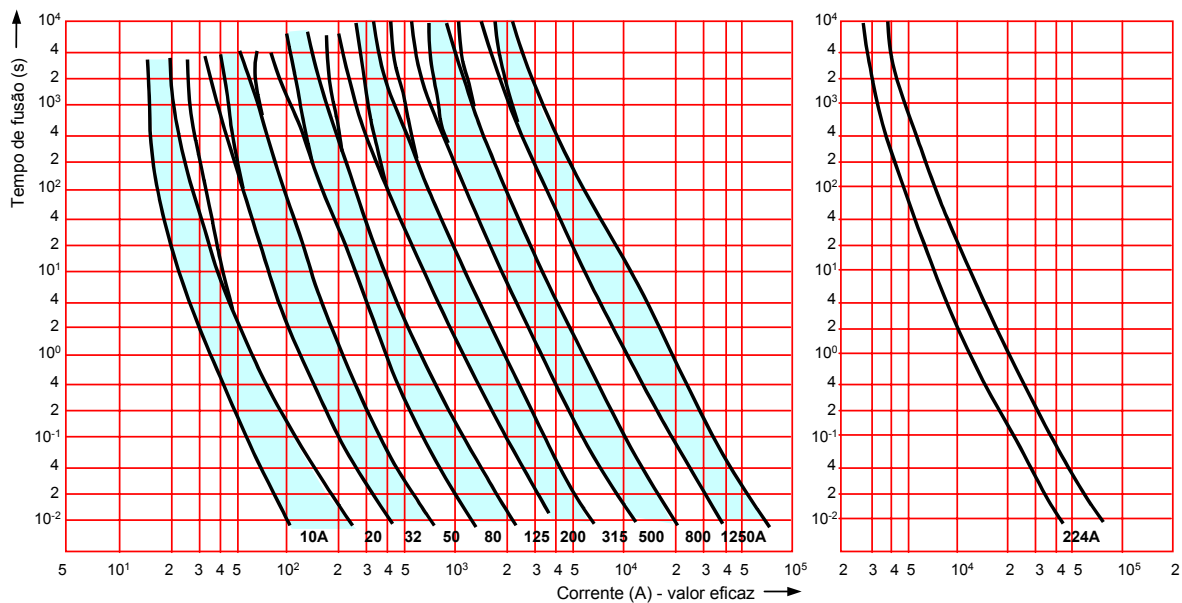
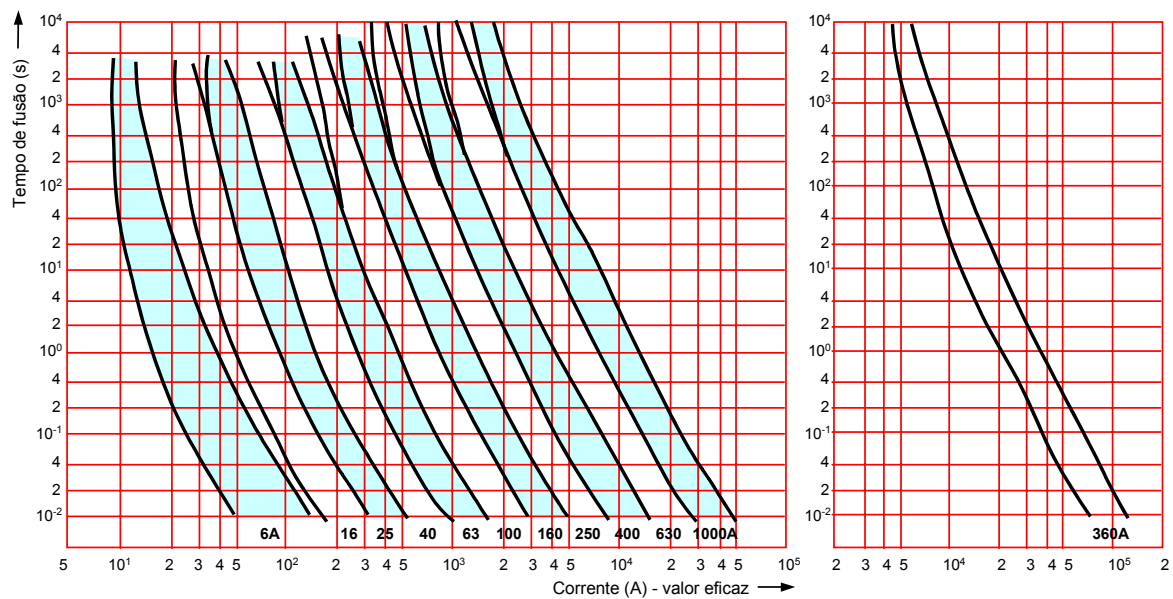
No fusível encapsulado existe uma aparente dificuldade em se verificar se o mesmo está perfeito ou “queimado”, devido ao invólucro ou encapsulamento. Essa dificuldade é eliminada pela verificação do posicionamento do indicador de fusão, representado no desenho, mostrado na página anterior.

Quando o indicador de fusão está retraído na sua posição de montagem, o fusível está perfeito: quando está saliente (no caso do NH), ou ejetado (no caso do Diazed), o fusível está “queimado”, e precisa ser substituído.

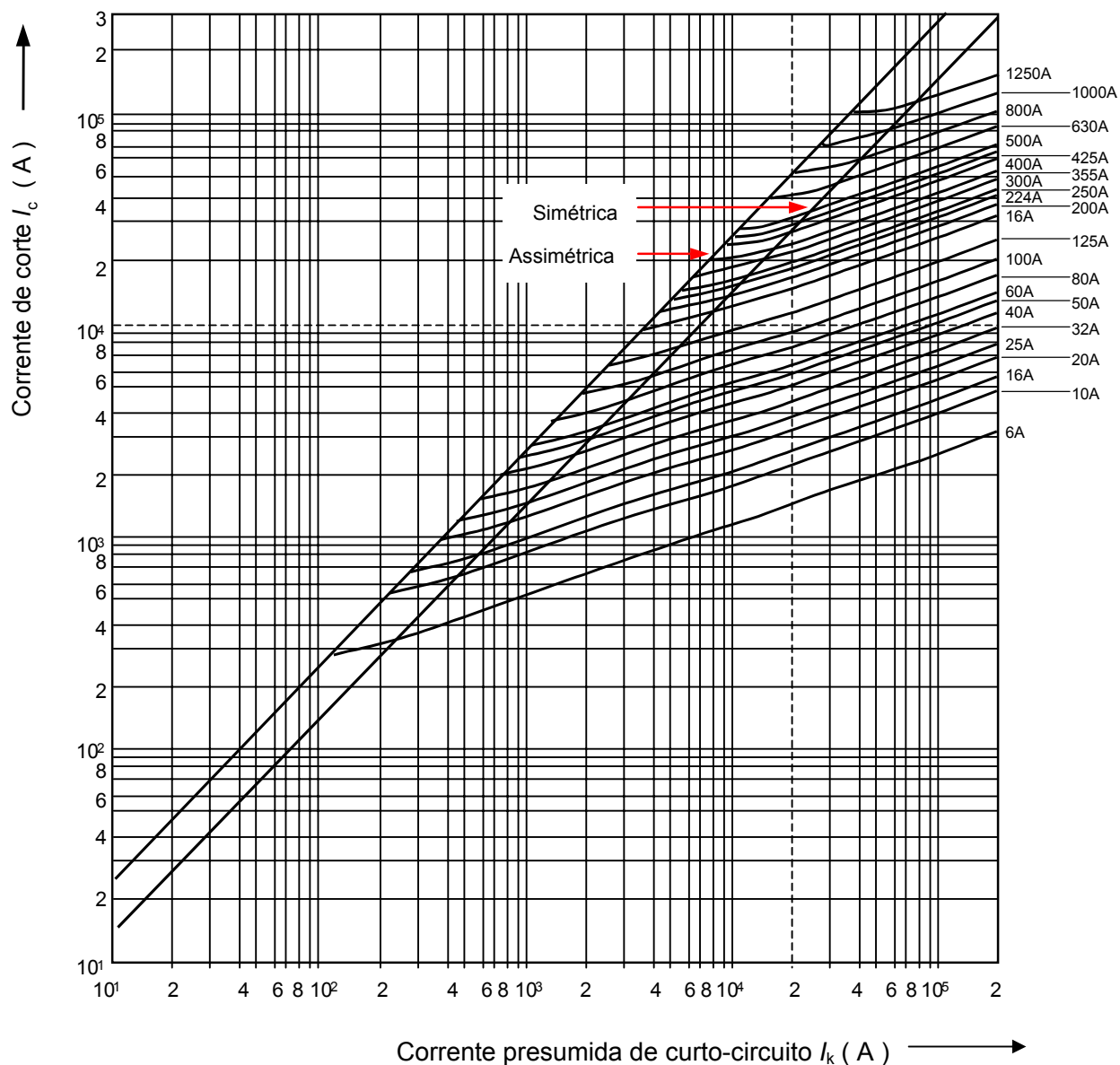
Demonstração do desempenho adequado da interrupção do curto-circuito.



Zonas tempo-corrente.



Limitação da corrente.



Exemplo de aplicação (observando o gráfico):

- Corrente presumida de curto-circuito I_k (valor eficaz) = 20 kA
- Fusíveis
 - corrente nominal I_n = 100 A
 - corrente de corte I_c (valor máximo) = 10 kA (limitação de corrente)

Curvas características.

São essas curvas que informam **como o fusível vai atuar**, ou seja, qual o tempo que precisará para interromper uma dada corrente anormal.

ESSE TEMPO TEM QUE SER, NECESSÁRIAMENTE, MENOR DO QUE O TEMPO MÁXIMO PELO QUAL O COMPONENTE PROTEGIDO SUPORTA A CORRENTE ANORMAL, DE ACORDO COM A NORMA DO PRODUTO EM QUESTÃO.

Os valores nominais dos fusíveis seguem as normas que a eles se aplicam, conforme já mencionado, de acordo com uma série numérica padronizada. As próprias normas estabelecem a tolerância de valores (variação em torno do valor nominal), que deve ser comprovada pelas curvas características tempo de fusão x corrente de fusão (valor eficaz), conforme vem indicado na página 24, e nas curvas de limitação de corrente, da página 25. No gráfico, vem indicada uma corrente simétrica e outra assimétrica de curto circuito. Vamos esclarecer esse aspecto.

As normas que se aplicam ao cálculo da corrente de curto-circuito se baseiam nas normas da IEC. Por essas normas , o valor de referência é a Corrente Assimétrica Máxima de Curto-circuito, definida como sendo:

Corrente Assimétrica Máxima de Curto-circuito.

Valor de crista atingido pela corrente do enrolamento primário (onde ocorreu o curto-circuito) no decorrer do primeiro ciclo imediatamente após o enrolamento ter sido subitamente curto-circuitado quando as condições forem tais que o valor inicial do componente aperiódico da corrente, se houver, será máximo.

O exemplo de aplicação dado nessa última página demonstra como usar essas curvas, enquanto que , para as da página 24, podemos fazer as seguintes observações :

- **A corrente nominal nunca deve ser interrompida pelo fusível;**
- A evolução tempo x corrente dessas curvas depende do **tipo de carga ligada**, pois sabemos que cargas indutivas tem correntes iniciais maiores na partida, **que não devem ser desligadas pelo fusível**. Nesse sentido, **para os mesmos valores nominais**, são fornecidos fusíveis retardados (para cargas motoras), rápidos (para cargas resistivas) e ultra-rápidos (para semicondutores).

Esse fato leva a necessidade de, na escolha do fusível, não se basear apenas na corrente nominal e na tensão nominal, mas também no **tipo de carga a ser protegido**: a escolha errada ou a não consideração desse último aspecto vai levar a **desligamentos/queimas fora das condições** previstas para a interrupção do circuito.

Finalmente, deve-se ressaltar que fusíveis encapsulados se caracterizam por uma elevadíssima capacidade de interrupção, que freqüentemente ultrapassa os 100 kA, sendo até, nesse aspecto, muitas vezes superior a apresentada pelos disjuntores, que analisaremos mais adiante.

RELÉS DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA.

As sobrecargas são originadas por uma das seguintes causas:

- Rotor bloqueado;
- Elevada frequência de manobra;
- Partida difícil (prolongada);
- Sobrecarga em regime de operação;
- Falta de fase;
- Desvio de tensão e de frequência.

Conceito de sobrecarga.

A sobrecarga é uma situação que leva a um sobreaquecimento por perda joule, que os materiais utilizados somente suportam até um determinado valor e por tempo limitado. A determinação de ambas as grandezas é feita em Norma Técnica do referido produto.

Assim, por exemplo, para condutores próprios até 6 kV e isolados em PVC, a Especificação Técnica é a norma NBR 7288, que, entre outros define:

- Temperatura permanentemente admissível no isolante: 70°C
- Temperatura admissível perante sobrecarga: 100°C
- Tempo admissível de sobrecarga: 100 horas /ano

Ultrapassados esses valores, a capa isolante de PVC vai se deteriorar, o que significa, perder suas características iniciais, e entre outros, sua rigidez dielétrica, que define a capacidade de isolamento.

Portanto, a função do relé de sobrecarga é a de atuar antes que esses limites de deterioração sejam atingidos, garantindo uma VIDA ÚTIL apropriada aos componentes do circuito.

Basicamente são dois os tipos de relés de sobrecarga encontrados: o relé bimetálico e o relé eletrônico, esse último em mais de uma versão. Vejamos detalhes de cada um.

- **O relé de sobrecarga bimetálico.**

Esse relé tem um sensor bimetálico por fase, sobre o qual age o aquecimento resultante da perda joule, presente numa espiral pela qual passa a corrente de carga e que envolve a lâmina bimetálica, que é o sensor. Essa, ao se aquecer, se dilata, resultando daí a atuação de desligamento do acionamento eletromagnético do contator ou o disparo do disjuntor, em ambos os casos abrindo o circuito principal e desligando a carga que, por hipótese, está operando em sobrecarga.

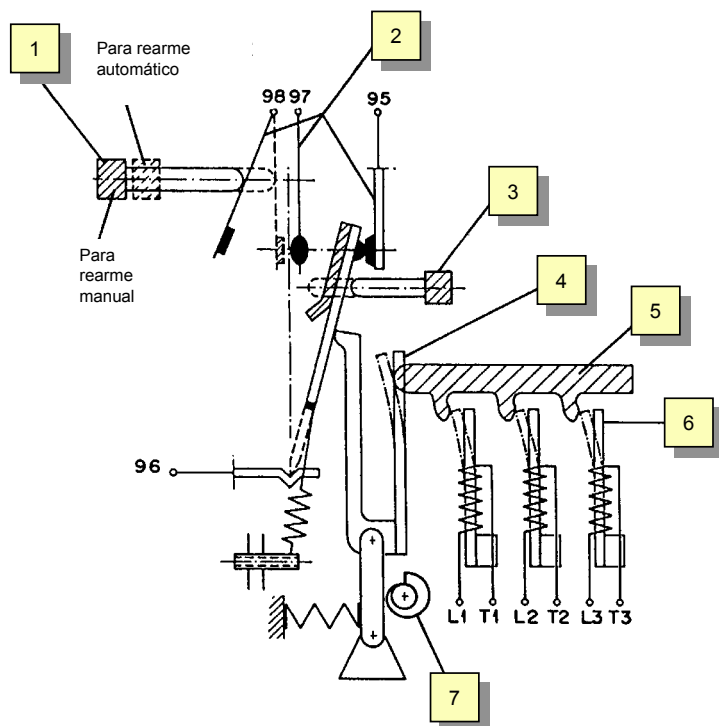
Portanto, esse relé controla o aquecimento que o componente/equipamento do circuito está sofrendo devido a circulação da corrente elétrica.

Sobreaquecimentos de outras origens NÃO SÃO NECESSARIAMENTE registradas por esse relé, e que podem igualmente danificar ou até destruir o componente.

Funcionamento.

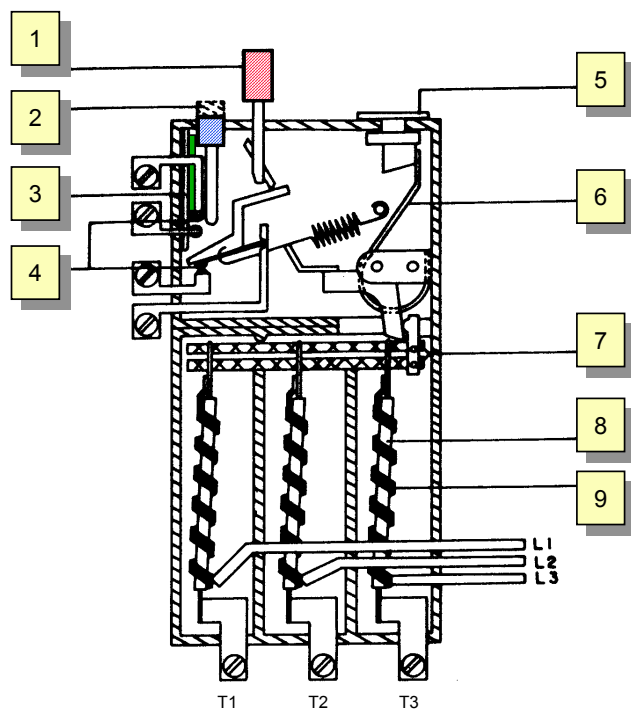
- Passando corrente pela espiral envolvente (ACOMPANHE NA ILUSTRAÇÃO DE PRINCÍPIO CONSTRUTIVO DA PÁGINA SEGUINTE), o sensor, que é formado por dois metais (por isso “bimetálico“), começa a se dilatar (veja 6).
Na escolha dos dois metais que compõe o sensor, opta-se por metais que tenham diferentes “coeficientes de dilatação linear“ (por exemplo níquel e ferro), sendo feita uma solda molecular entre as duas lâminas.
Como, perante o aquecimento da corrente, a **dilatação de cada lâmina** não pode se dar livremente por estarem soldadas, a de maior coeficiente de dilatação se curvará sobre a de menor valor, com o que se desloca o cursor de arraste do relé (veja 5) e se desligará o contato (veja 2) ou se destravarão as molas de abertura do disjuntor. Com essa atuação interrompe-se o circuito principal do componente em sobrecarga.
- Observe que, quanto maior a corrente, maior é o sobreaquecimento que acontece, e mais rápido tem que ser o desligamento, para não haver dano dos equipamentos em sobrecarga. **Portanto, a relação dos valores de tempo e corrente sempre precisa ter uma variação inversamente proporcional.**
- Observe também que as sobrecorrentes analisadas na fase de partida /arranque do motor, não devem ser “ entendidas “ pelo relé como sendo “sobrecargas “ que devam levar a um desligamento: **essas, fazem parte do processo normal de partida.**
- Ainda, como existem cargas que apresentam a citada sobrecorrente na fase inicial, e outras cargas não, há necessidade de relés com maior ou menor rapidez de atuação, semelhantemente ao que acontece com os fusíveis. Portanto, na escolha do relé adequado, **também o tipo de carga é um dado essencial** a uma **correta escolha**. Se a curva representada não atende às necessidades do circuito, é preciso escolher um outro relé, com curva característica mais adequada à carga que desejamos proteger.
- As curvas características tempo de disparo x múltiplo da corrente de desligamento, da página 34, demonstram claramente algumas das afirmações anteriores. Acrescente-se que como as instalações são geralmente trifásicas, os relés também o são. A curva 1 se aplica no caso mais comum, que é o de carga trifásica. Porém, esses relés também atuam no caso da falta de uma fase (operação bifásica), seguindo nesse caso a curva 2.
- Mais um detalhe deve ser lembrado, comparando-se os tempos de disparo obtidos pelas curvas. Quando o ensaio de determinação das curvas características é feito, segundo as normas, a sua evolução é medida partindo-se do relé em “estado frio “, ou seja, anteriormente desligado.
Essa na verdade não é a situação normal de uso.
O relé está inserido em um circuito pelo qual está circulando a corrente nominal, e, num dado instante, ocorre a sobrecarga. Como o relé já sofreu um pré-aquecimento devido a corrente nominal, a qual no entanto não deve levá-lo a atuar (a corrente nominal não deve levar ao desligamento pelo relé, pois não é uma corrente anormal que deva ser desligada), mas que já deformou de um certo valor o sensor bimetálico, o tempo real de atuação será **necessariamente menor do que o obtido de uma curva cujo ensaio partiu do estado frio.** Essa redução do tempo de atuação, (que, lembramos, deve ser menor do que o tempo permitido por norma para essa situação), não pode ser expresso precisamente em porcentagem da corrente lida no gráfico, pois os regimes que antecedem a uma sobrecarga podem ser extremamente variáveis e diferentes.

Relé de sobrecarga bimetalico.
Princípio construtivo.



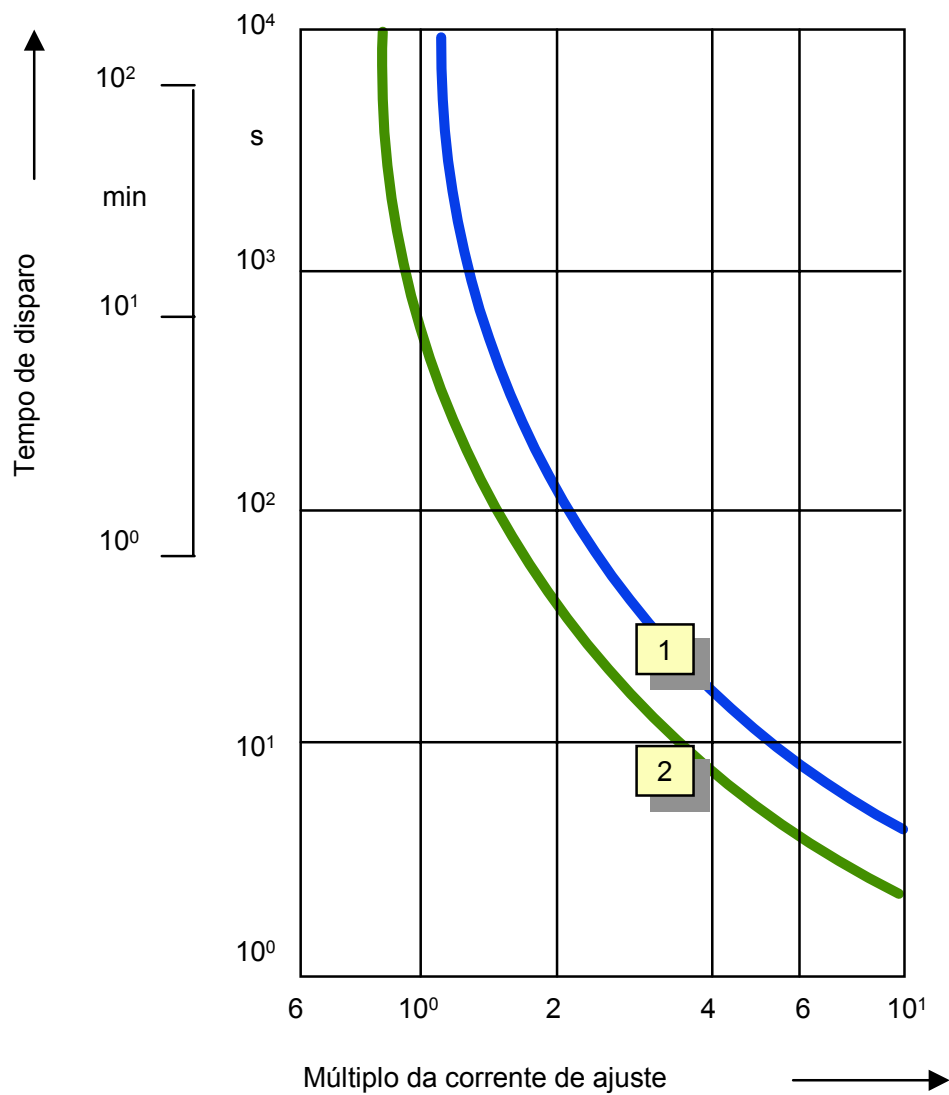
- 1 - Botão de rearme
- 2 - Contatos auxiliares
- 3 - Botão de teste
- 4 - Lâmina bimetálica auxiliar
- 5 - Cursor de arraste
- 6 - Lâmina bimetálica principal
- 7 - Ajuste de corrente

Desenho em corte.



- 1 - Botão de teste (vermelho)
- 2 - Botão de rearme (azul)
- 3 - Indicador de sobrecarga (verde)
- 4 - Contatos auxiliares 1NA + 1NF
- 5 - Dial de ajuste da corrente
- 6 - Lâmina bimetálica auxiliar
- 7 - Cursores de arraste e alavanca
- 8 - Lâmina bimetálica principal
- 9 - Elemento de aquecimento

Relé de sobrecarga bimetálico com sensibilidade à falta de fase.
Curvas características típicas de disparo.



1 - Carga trifásica equilibrada

2 - Carga bifásica (falta de fase de uma fase)

Entretanto, o certo é que o tempo real é menor do que o lido no gráfico. Os fabricantes, de modo geral, consideram **muito próximo da realidade, um tempo real de desligamento igual a 25% do tempo lido no gráfico** representado nos catálogos.

Atuação do relé bimetálico perante falta de fase.

A “falta de fase” é uma situação em que uma das três fases na carga trifásica (um motor trifásico por exemplo), é interrompida. Nesse caso, como isso eleva a corrente nas fases que permanecem, caracteriza-se uma “situação de sobrecarga”, que o relé é capaz de desligar. As respectivas curvas características estão representadas no gráfico da página anterior. A curva de falta de fase tem atuação mais rápida que a da carga trifásica equilibrada, porque a falta de fase gera uma sobrecarga de grandeza inferior ao aumento da carga nas fases que ficam.

A seqüência de atuação dos contatos do relé é dada na ilustração da página seguinte.

O relé de sobrecarga eletrônico.

Conforme visto anteriormente, o relé de sobrecarga bimetálico opera perante os efeitos térmicos da corrente. Existem, porém, situações em que ocorrem sobreaquecimentos que não são conseqüência de um excesso de corrente, e que do mesmo modo, podem destruir uma carga.

É o que acontece, por exemplo, quando as aberturas dos radiadores de calor de um motor entopem, com o que a troca de calor diminui sensivelmente, e o sobreaquecimento daí resultante não é registrado pelo relé de sobrecarga bimetálico.

Na verdade, o que se precisa não é **controlar corrente**, e sim **temperatura**, seja ela de que origem for. Para atender a essa condição, usa-se um relé de sobrecarga eletrônico que permite adicionalmente sensoriar a temperatura, no ponto mais quente da máquina, através de um semicondutor, chamado de termistor, que por sua vez ativa um relé de sobrecarga, dito **eletrônico**. Esse relé se caracteriza por:

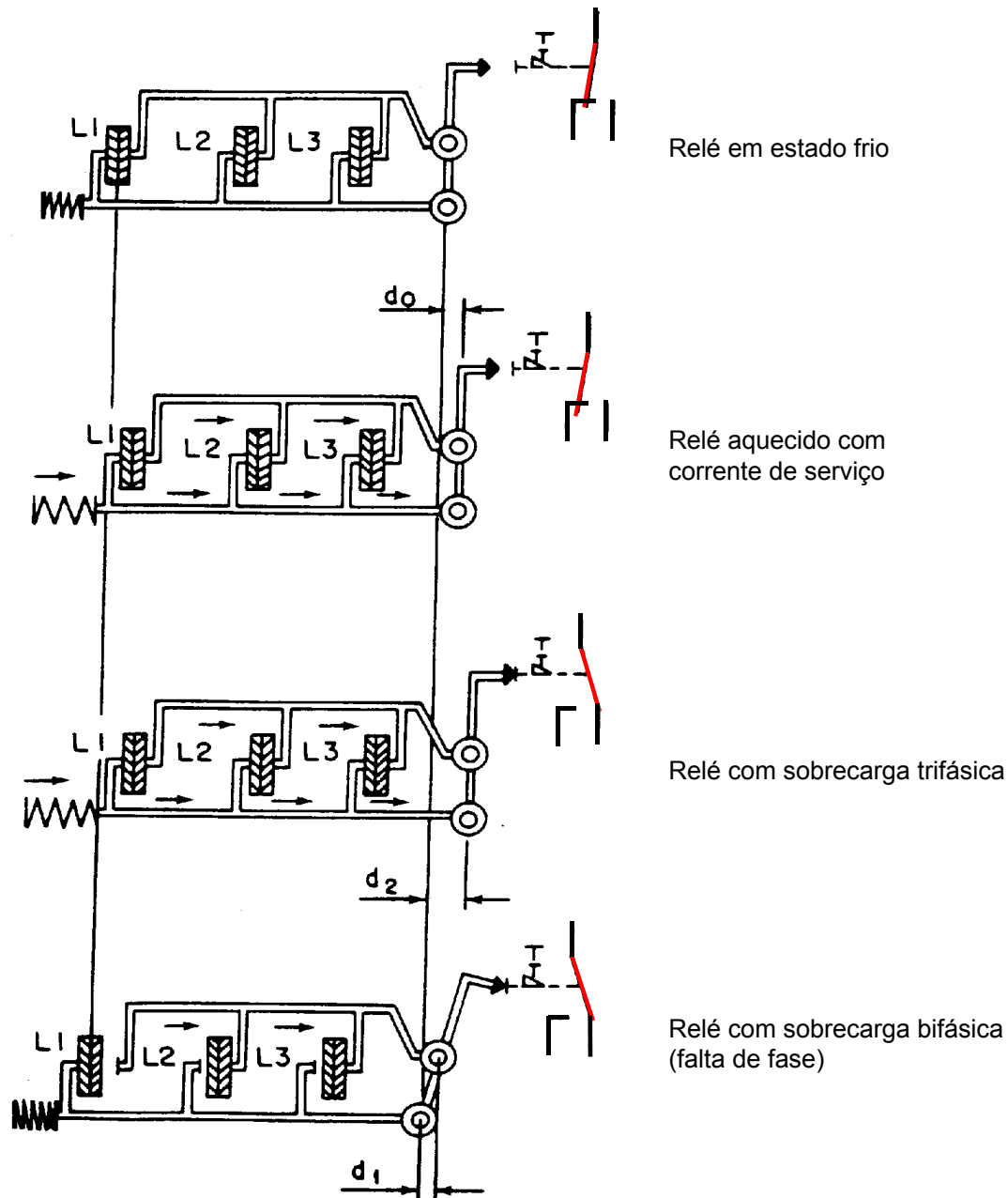
- Uma supervisão da temperatura, mesmo nas condições mais críticas:
- Uma característica de operação que permite ajustar as curvas características tempo de disparo x corrente de desligamento, de acordo com as condições de tempo de partida da carga.
- Perante rotor bloqueado, como a corrente circulante rapidamente se aproxima dos valores críticos para um sobreaquecimento, o controle pela corrente é mais rápido do que pelo termistor.

Na verdade, esse é um dos tipos de **relé de sobrecarga eletrônico**. As funções de proteção dessa família de relés são ampliadas, incluindo supervisão de termistores com interface incorporada e detetor de corrente de fuga.

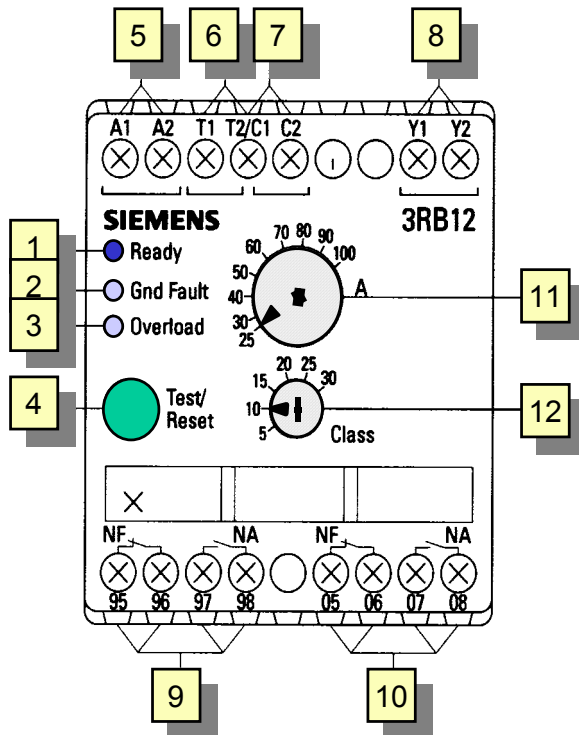
De um modo geral, porém, devido ao aspecto econômico, os do tipo bimetálico são mais utilizados em baixas potências de carga, enquanto o eletrônico é usado nos demais casos, bem menos freqüentes, conforme podemos observar.

Refletindo a comparação entre os dois tipos, a ilustração da página 37 demonstra bem o que foi justificado tecnicamente acima.

Atuação de um relé de sobrecarga com sensibilidade à falta de fase.

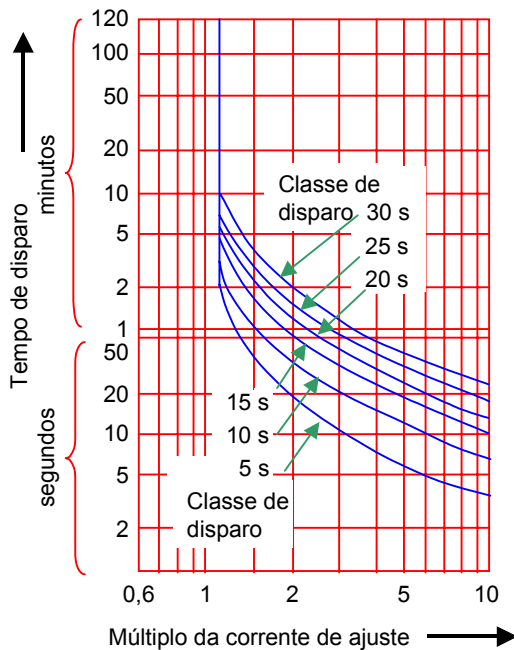


Relé de sobrecarga eletrônico 3RB12.

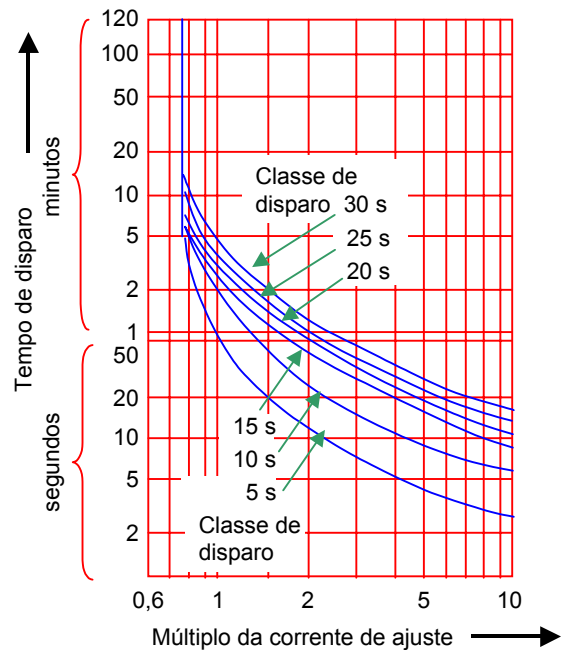


- 1 - Sinalização pronto para operar (LED verde)
- 2 - Sinalização disparo por corrente de fuga (LED vermelho)
- 3 - Sinalização disparo por sobrecarga ou pelos termistores (LED vermelho)
- 4 - Rearme e teste
- 5 - Ligação para tensão de comando
- 6 - Ligação para os termistores
- 7 - Ligação para corrente de fuga pelo transformador de corrente 3UL22
- 8 - Ligação para rearme à distância ou automático
- 9 - Contatos auxiliares 1NA + 1NF para sobrecarga ou termistores
- 10 - Contatos auxiliares 1NA + 1NF para corrente de fuga
- 11 - Ajuste de corrente
- 12 - Ajuste de classe de disparo

Curvas características de disparo



Carga trifásica

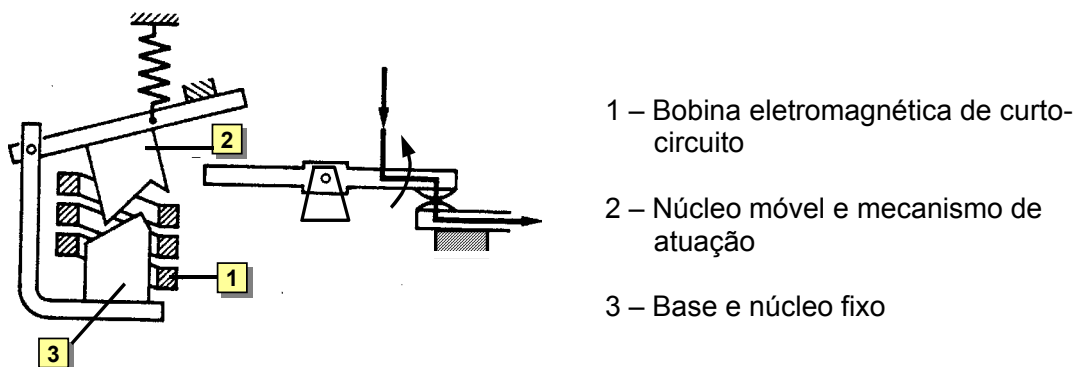


Carga bifásica (falta de uma fase)

RELÉS DE SOBRECORRENTE CONTRA CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO.

Esses relés são do tipo eletromagnético, com uma atuação instantânea, e se compõe com os relés de sobrecarga para criar a proteção total dos componentes do circuito contra a ação prejudicial das correntes de curto-circuito e de sobrecarga, respectivamente.

A sua construção é relativamente simples em comparação com a dos relés de sobrecarga (bimetálicos ou eletrônicos), podendo ser esquematizado, como segue:



A bobina eletromagnética do relé é ligada em série com os demais componentes do circuito. Sua atuação apenas se dá quando por esse circuito passa a corrente I_k , permanecendo inativo perante as correntes nominais (I_n) e de sobrecarga (I_r).

Pelo que se nota, a sua função é idêntica à do fusível, com a diferença de que o fusível queima ao atuar, e o relé permite um determinado número de manobras.

Por outro lado, como o relé atua sobre o mecanismo do disjuntor, abrindo-o perante uma corrente I_k , a capacidade de interrupção depende do disjuntor, enquanto que, usando fusível em série com o disjuntor, essa capacidade de interrupção depende do fusível.

DISPOSITIVOS DE MANOBRA.

Preliminarmente vamos destacar que a Terminologia da ABNT aboliu, totalmente o termo “chave” para caracterizar genericamente todos os dispositivos de manobra.

Por definição do Dicionário Brasileiro de Eletricidade (ABNT), temos:

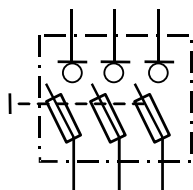
Dispositivo de manobra - Dispositivo elétrico destinado a estabelecer ou interromper corrente, em um ou mais circuitos elétricos.

SECCIONADOR-FUSÍVEL SOB CARGA.

O seccionador-fusível é uma combinação de um seccionador, caracterizado pela simplicidade de sua construção, com a dos fusíveis, que se localizam na posição dos contatos moveis do seccionador.

Pela sua construção simples, são capazes de manobrar até carga nominal, é a proteção de correntes de curto-circuito, pela presença dos fusíveis.

Sua representação gráfica e construtiva :



3NP4



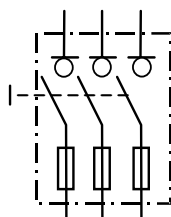
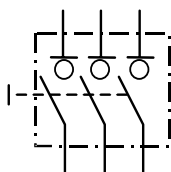
SECCIONADOR.

No item Terminologia, vimos que o seccionador é por definição um dispositivo de manobra que tem uma capacidade de interrupção limitada. Tal fato é a consequência de uma construção elementar, que faz com que o dispositivo em análise tenha uma aplicação restrita.

Porém, para pequenas cargas, como é o caso de oficinas e determinadas condições de operação dentro de um sistema elétrico, há por vezes necessidade de um dispositivo que opere EVENTUALMENTE cargas de pequeno valor. Para esses casos, é possível utilizar o seccionador sob carga, que não é mais do que um seccionador convencional, com uma estrutura de contatos e câmaras de extinção, de características também limitadas a tais usos.

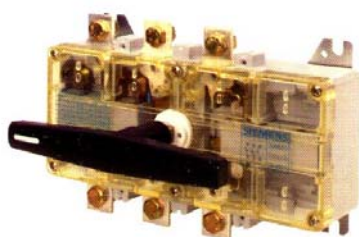
Seccionador sob carga

Representação gráfica

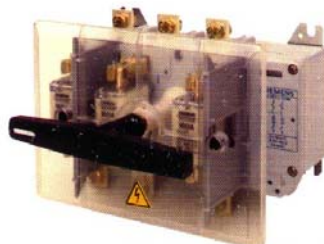


Representação construtiva

S32



S37



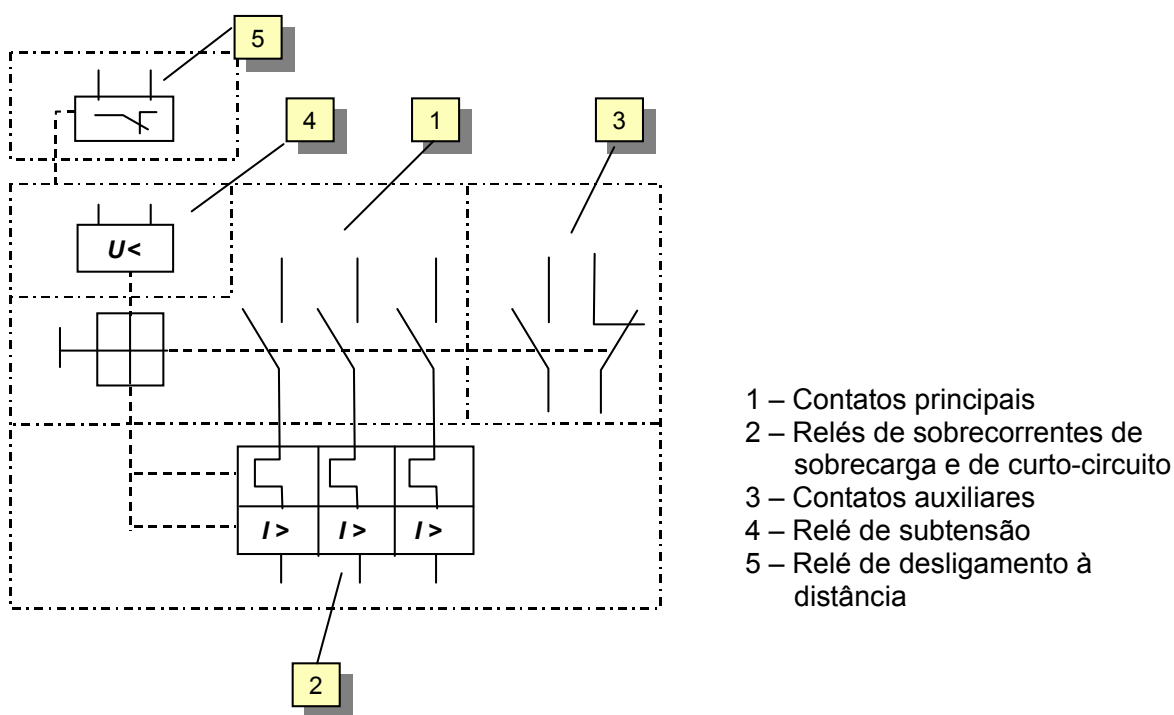
DISJUNTORES.

Lembrando a definição, o disjuntor é um dispositivo que, entre outros, é capaz de manobrar o circuito nas condições mais críticas de funcionamento, que são as condições de curto-circuito. Ressalte-se que apenas o disjuntor é capaz de manobrar o circuito nessas condições, sendo que, interromper I_k é ainda atributo dos fusíveis, que porém não permitem uma religação.

A manobra através de um disjuntor é feita **manualmente** (geralmente por meio de uma alavanca) ou pela ação de seus relés de sobrecarga (como bimetálico) e de curto-circuito (como eletromagnético). Observe-se nesse ponto que **os relés não desligam o circuito**: eles apenas induzem ao desligamento, atuando sobre o mecanismo de molas, que aciona os contatos principais. Conforme pode ser visto na representação abaixo, cada fase do disjuntor tem **em série**, as peças de contato e os dois relés.

É válido mencionar que para disjuntor de elevadas correntes nominais, os relés de sobrecorrentes são constituídos por transformadores de corrente e módulo eletrônico que irá realizar a atuação do disjuntor por correntes de sobrecargas, correntes de curto-circuito com disparo temporizado e instantâneo e até disparo por corrente de falha à terra.

Representação dos componentes de um disjuntor tripolar.



Para operar nessas condições, o disjuntor precisa ser caracterizado, além dos valores nominais de tensão, corrente e frequência, ainda pela sua capacidade de interrupção, já definida e pelas demais indicações de temperatura e altitude segundo a respectiva norma, e agrupamento de disjuntores, segundo informações do fabricante, e outros, que podem influir no seu dimensionamento.

Nos dados técnicos citados quando da definição da capacidade de interrupção, citam-se como referências:

- I_{cn} Corrente de curto-circuito nominal.
- I_{cu} Corrente limite que pode causar danos e impedir que o disjuntor possa continuar operando. Seu ciclo de operação é O-t-CO.
- I_{cs} Corrente que permitirá religamento do disjuntor e este continuar operando. Seu ciclo é O-t-CO-t-CO.

Entre esses valores estabelece-se a relação : $I_{cu} / I_{cs} > I_k$.

Os **valores nominais** do disjuntor são gravados externamente na sua carcaça, seja em alto-relêvo, seja na forma de uma placa. Esses valores são obtidos segundo as normas de ensaio que se aplicam ao dispositivo, na forma individual, ou seja, é ensaiado uma unidade de disjuntor, seja unipolar ou multipolar, perante condições de temperatura e altitude estabelecidas nessa norma.

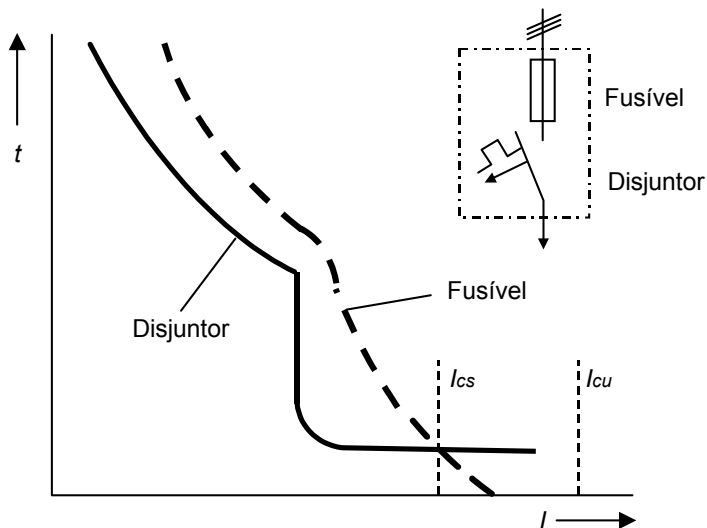
Observe-se com isso que, se, na instalação, não tivermos as **mesmas condições de temperatura e de altitude**, e se na instalação tivermos um **agrupamento de disjuntores**, um encostado no outro (como costuma acontecer com os minidisjuntores), com o que as condições interna de temperatura se tornarão mais críticas, é necessário restabelecer, por meio de um sistema de troca de calor adequado, as condições de referência citadas em norma.

Por outro lado, os disjuntores são normalmente dotados dos relés de sobrecarga e de curto-circuito, cada um tendo a sua curva característica, que devem ser adequadamente coordenadas entre si. Seguem-se alguns exemplos de disjuntores e suas curvas características, observando-se que:

- As curvas características relacionam o tempo de disparo (s) x corrente de desligamento (A). Nessas curvas (veja página seguinte), observa-se que:
 1. A vertical levantada pelo valor da corrente nominal não pode interceptar nenhuma curva característica
 2. Partindo do valor nominal (I_n) até em torno de $10 \times I_n$, temos a faixa de sobrecarga cuja curva é a do relé de sobrecarga utilizado. A partir daí, temos a situação de curto-circuito, e que também está relacionado com a capacidade de interrupção que o disjuntor precisa possuir, e que resulta da curva característica do relé de curto-circuito.
 3. Eventualmente, podemos ter o caso em que se **associam** as características de capacidade de interrupção **do disjuntor** com a **do fusível**. Vimos, no item respectivo, que os fusíveis apresentam uma elevadíssima capacidade de interrupção. Assim, para não onerar a instalação com um disjuntor de elevada capacidade de interrupção, tem-se a alternativa de associar em série com o disjuntor básico e um fusível adequado, e então teríamos:
- Os valores normais de corrente de curto-circuito são controlados pelo relé de curto-circuito, que atua sobre o mecanismo de molas do disjuntor, o qual interrompe correntes de média intensidade; para valores mais elevados, quem atuará será o fusível.

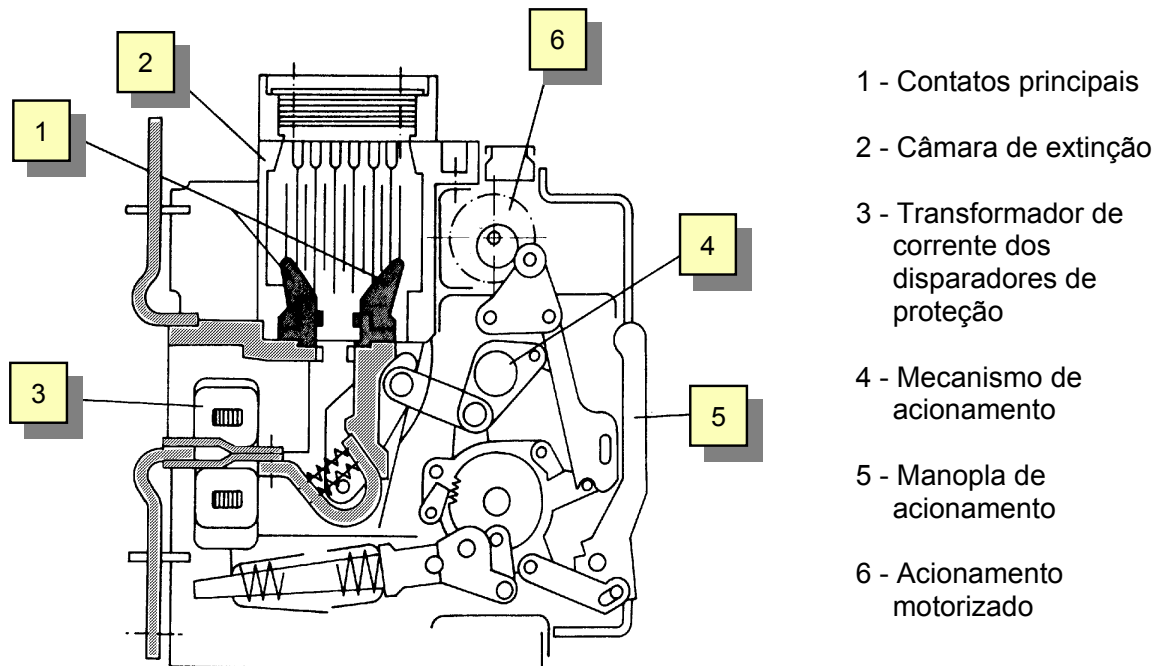
- Para que esse fato ocorra, é necessário que as três curvas de desligamento, ou seja, as duas dos relés do disjuntor e a do fusível, sejam coordenadas adequadamente entre si, como representa a figura que segue.

Curvas características de fusível e disjuntor em série



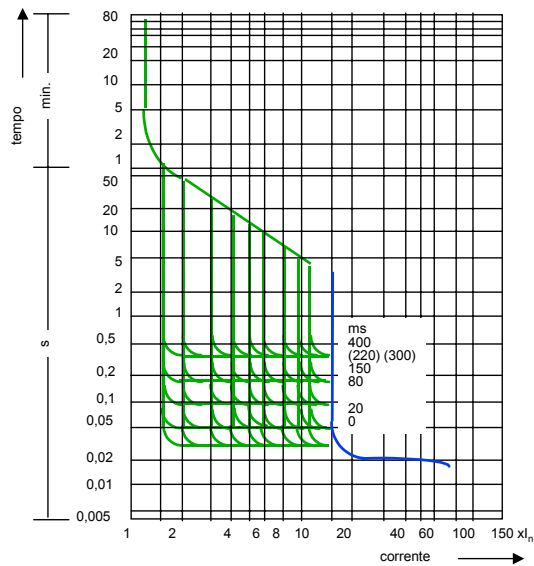
Diversos são os tipos de disjuntores de baixa tensão utilizados. Citaremos alguns tipos, com suas respectivas curvas características.

Disjuntor para manobra e proteção do sistema 3WN. Construção.



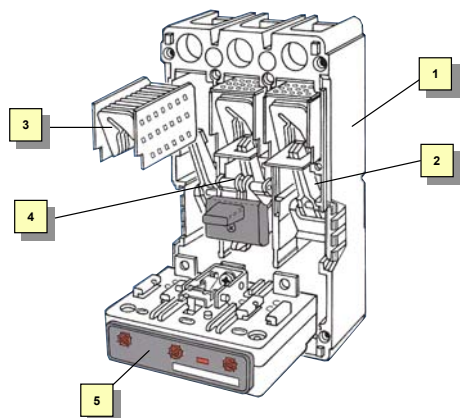
Disjuntor para manobra e proteção de sistema 3WN.

Curvas características



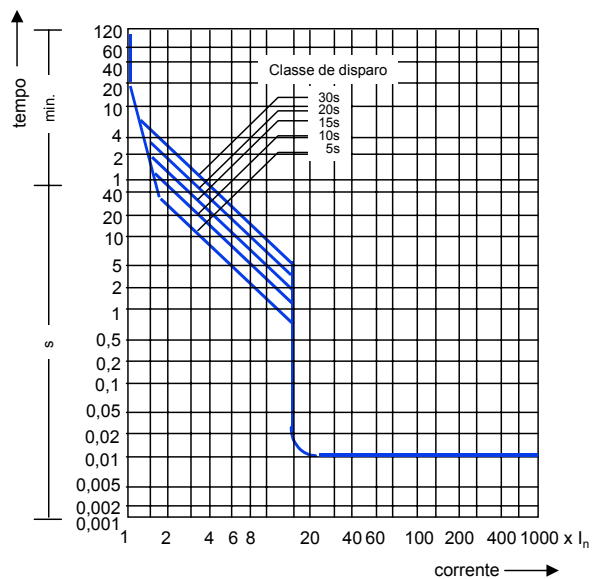
Disjuntor para manobra e proteção de motores 3VL.

Construção



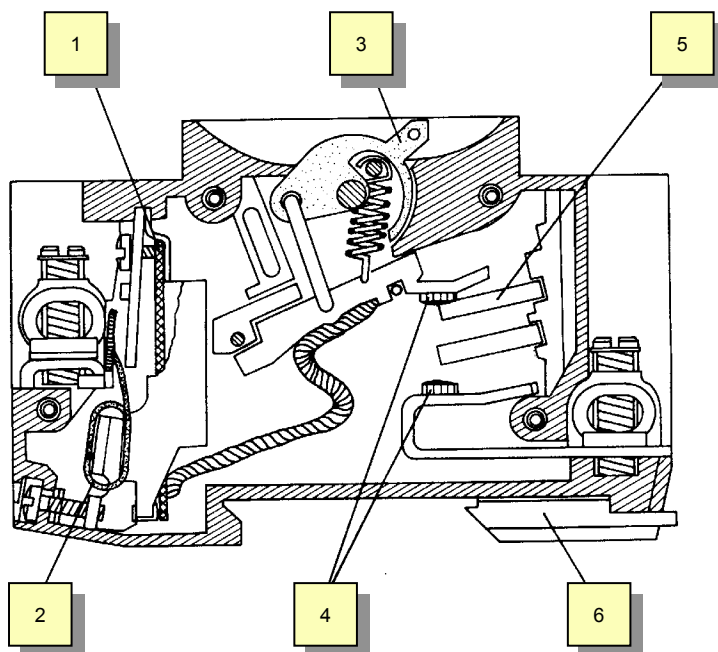
- 1 - Caixa moldada
- 2 - Contatos
- 3 - Câmara de extinção
- 4 - Mecanismo de disparo e manobra
- 5 - Relés / disparadores de proteção para sobrecarga e curto-circuito

Curvas características.



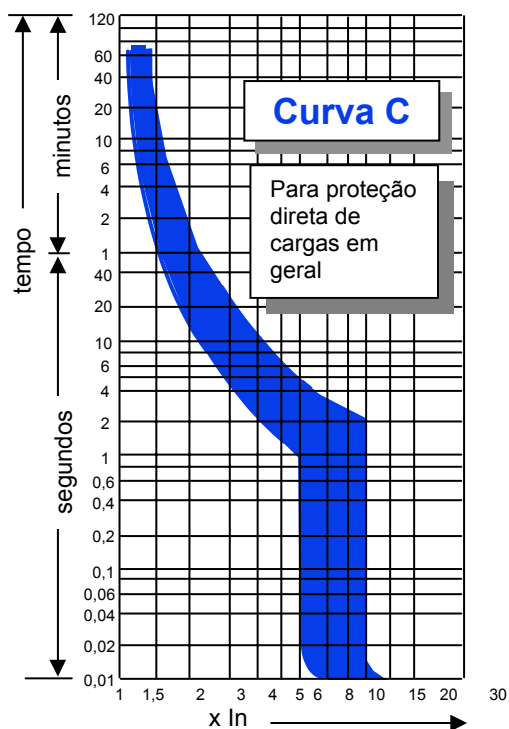
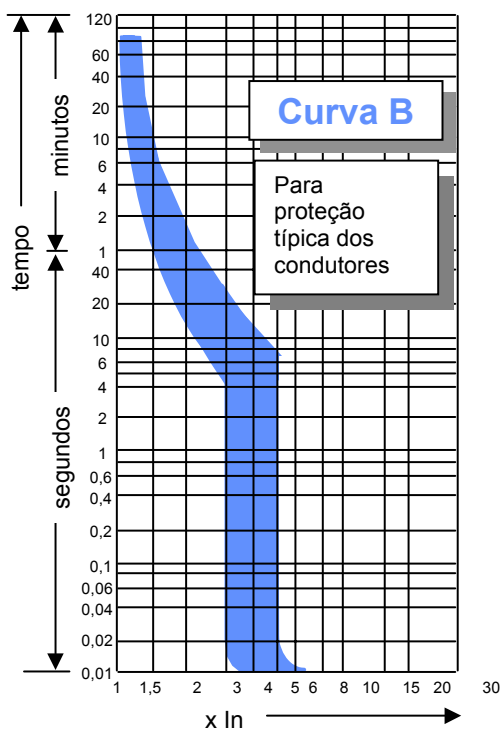
- Atendem as correntes de "inrush" (10-20ms)
- Disparo de curto-circuito em $15 \cdot I_e$
- Proteção de falta de fase
- Ajuste da classe de disparo na partida
- Memória térmica

Minidisjuntores para manobra e proteção 5SX. Construção



- 1 - Lâmina bimetálica de sobrecarga
- 2 - Bobina eletromagnética de curto-circuito
- 3 - Manopla de acionamento
- 4 - Contatos
- 5 - Câmara de extinção
- 6 - Fixação rápida por engate sobre trilho

Curvas características



Obedecem as normas – IEC 60 947-2 e IEC 60 898

CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS FUSÍVEL-DISJUNTOR.

Disjuntor e fusível exercem basicamente a mesma função: **ambos tem como maior e mais difícil tarefa, interromper a circulação da corrente de curto-circuito**, mediante a extinção do arco que se forma. Esse arco se estabelece entre as peças de contato do disjuntor ou entre as extremidades internas do elemento fusível. Em ambos os casos, a elevada temperatura que se faz presente leva a uma situação de risco que podemos assim caracterizar:

- A corrente de curto-circuito (I_k) é a mais elevada das correntes que pode vir a circular no circuito, e como é bem superior à corrente nominal, só pode ser mantida por um tempo muito curto, sob pena de danificar ou mesmo destruir componentes de um circuito. Portanto, o seu tempo de desligamento deve ser extremamente curto.
- Essa corrente tem influência tanto térmica (perda joule) quanto eletrodinâmica, pelas forças de repulsão que se originam quando essa corrente circula entre condutores dispostos em paralelo, sendo por isso mesmo, fator de dimensionamento da seção condutora de cabos.
- O seu valor é calculado em função das condições de impedância do sistema, e é por isso variável nos diversos pontos de um circuito. De qualquer modo, representa em diversos casos até algumas dezenas de quilo-ampéres que precisam ser manobrados, seja pela atuação de um fusível, seja pelo disparo por um relé de curto-circuito que ativa o mecanismo de abertura dos contatos do disjuntor.
- Entretanto, existem algumas vantagens no uso do fusível, e outras usando disjuntor. Vejamos a tabela comparativa, perante a corrente de curto-circuito I_k .

Características para desempenho no curto-circuito.

Fusível	Disjuntor
<ul style="list-style-type: none">• Dispensa cálculo fino da corrente de curto-circuito	<ul style="list-style-type: none">• Necessita de cálculo fino da corrente de curto-circuito
<ul style="list-style-type: none">• Alta capacidade de interrupção	<ul style="list-style-type: none">• Capacidade de interrupção variadas
<ul style="list-style-type: none">• Elevada limitação	<ul style="list-style-type: none">• Limitação em alta capacidade de interrupção
<ul style="list-style-type: none">• Otimização do tempo de interrupção	<ul style="list-style-type: none">• Tempo de interrupção variado
<ul style="list-style-type: none">• Disponibilidade fácil	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilidade com restrições
<ul style="list-style-type: none">• Baixo custo	<ul style="list-style-type: none">• Custo variado

A confiabilidade de operação do fusível ou disjuntor é assegurada pela conformidade das normas vigentes e referências do fabricante

Também quanto as condições de operação e controle, podemos traçar um paralelo entre disjuntor e fusível, como segue:

Características de operação e controle

	Fusível	Disjuntor
<ul style="list-style-type: none"> Religamento após anomalias <ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga - Curto-circuito 	<ul style="list-style-type: none"> - Não - Não 	<ul style="list-style-type: none"> - Sim - Sim, com restrições (estado dos contatos)
<ul style="list-style-type: none"> Desligamento total da rede por anomalias 	Sim, com restrições (com supervisor de fusíveis)	Sim
<ul style="list-style-type: none"> Manobra manual segura 	Sim, com restrições (com seccionador-fusível)	Sim
<ul style="list-style-type: none"> Comando remoto 	Não	Sim
<ul style="list-style-type: none"> Identificação da condição de uso 	Sim, com restrições (evolução da temperatura)	Não, com restrições (registro de eventos, evolução de temperatura)
<ul style="list-style-type: none"> Sinalização remota 	Sim, com restrições (supervisor de fusíveis)	Sim
<ul style="list-style-type: none"> Ocasional parada do trabalho 	Sim	Não, com restrições (estado dos contatos)
<ul style="list-style-type: none"> Seletividade 	Sim, simples	Sim, onerosa
<ul style="list-style-type: none"> Intertravamento 	Sim, com restrições (com seccionador com porta-fusível)	Sim
<ul style="list-style-type: none"> Intercambialidade 	Sim, são normalizados	Não
<ul style="list-style-type: none"> Requer manutenção 	Não, com restrições (acompanhar evolução da temperatura)	Não, com restrições (registro de eventos, evolução da temperatura)

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE CURVAS COORDENADAS ENTRE SI.

1º Exemplo.

Coordenação de curvas características de proteção , levando em consideração a curva de destruição de componentes.

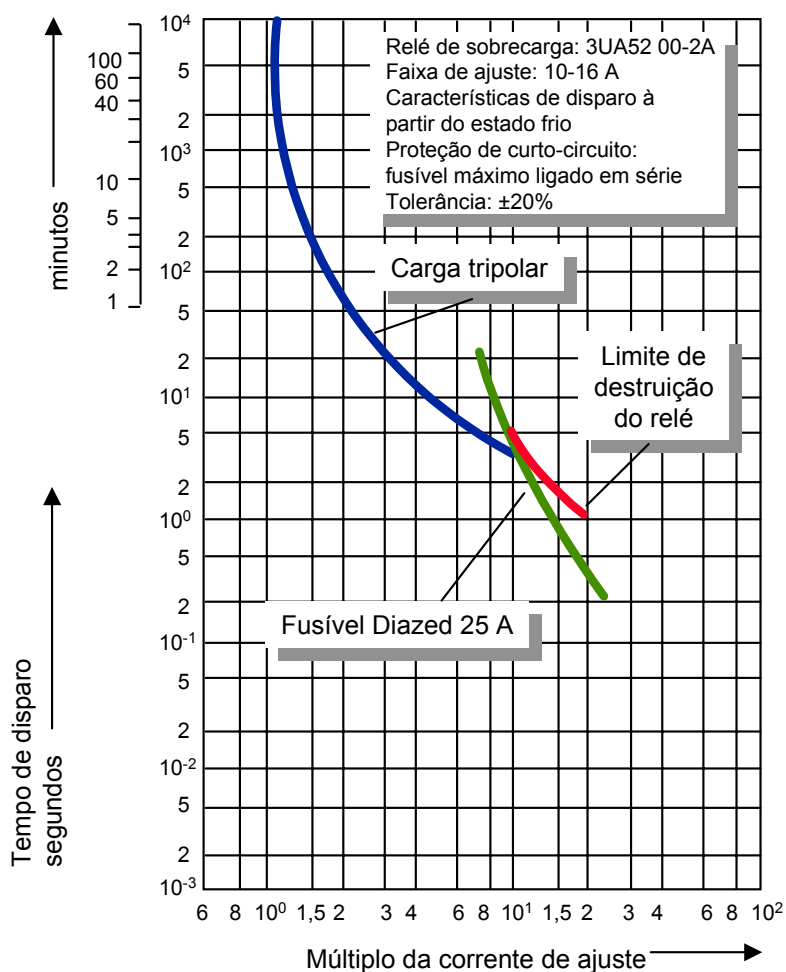
Vimos que cada componente suporta condições anormais por um tempo limitado. Vimos também que as curvas características dos dispositivos de proteção tem que ser coordenadas para atuarem corretamente nas faixas de sobrecarga e de curto-circuito. Portanto, tem-se condições de representar graficamente esses parâmetros, com a devida coordenação entre as curvas mencionadas.

Como cada componente é definido em norma, tem-se uma série de CURVAS. Algumas dessas curvas são mais críticas do que outras, e por isso, o fabricante destaca àquelas mais críticas e as representa, **combinada com a dos dispositivos de proteção que devem evitar sua danificação , como indicado abaixo.**

No caso, vem representada a curva - limite de destruição (também chamada de curva de dano) do relé de sobrecarga bimetalico, e a curva do dispositivo de proteção (no caso fusíveis) que está em condições de protege-lo. Destaque-se que a escolha correta leva as curvas QUE NÃO SE CORTAM (NÃO HÁ INTERSEÇÃO)

Curva característica de disparo e coordenação de proteção

Relés de sobrecarga bimetalico



Lembre-se: a característica de disparo é indicada a partir do ESTADO FRIO. Para o circuito em temperatura de funcionamento o tempo de disparo é da ordem de 25% do valor obtido no gráfico.

2º exemplo.

Coordenação entre as curvas características dos dispositivos de proteção e a curva da corrente de partida de motores elétricos.

Já sabemos que, na fase de partida, os motores elétricos, e sobretudo os motores do tipo indução gaiola, **absorvem da rede uma corrente bem mais elevada**, da ordem de 6 a 8 vezes a corrente nominal.

Sabemos também que o dispositivo de proteção contra sobrecarga (os relés bimetálicos ou os eletrônicos), normalmente **efetuam o desligamento nessa faixa de sobrecorrentes** .

Mas, no presente caso, aliás muito freqüente, apesar de ser uma sobrecorrente, essa corrente faz parte do próprio processo de partida do motor, e **como tal não pode levar a uma interrupção** (pois o motor nunca iria partir plenamente e nem chegar ao regime nominal). Então, **é necessário que as curvas dos dispositivos de proteção escolhidos, levem em consideração uma adequada coordenação com a curva de partida do motor.**

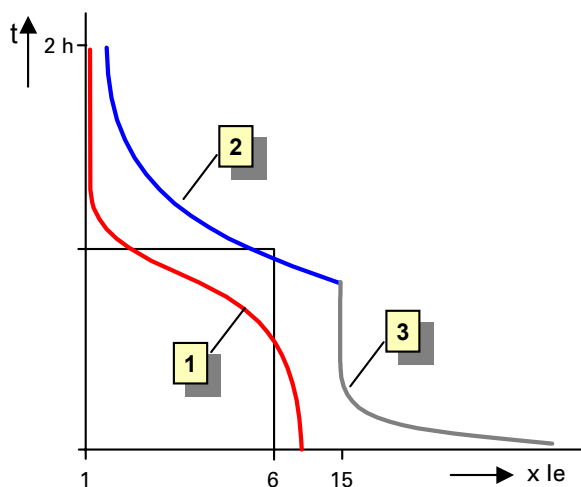
E mais: **que as curvas demonstrem um afastamento seguro.**

Na representação que segue, a corrente de partida do motor (curva 1) tem um valor inicial de $8 \cdot I_n$, chegando ao valor nominal de I_n quando a curva coincide com o eixo vertical, enquanto que as curvas de atuação dos relés de proteção do disjuntor (curvas 2 e 3) estão suficientemente afastadas da curva de partida, **garantindo assim uma partida normal do motor.**

Esse fato demonstra que, para se ter a certeza de que estamos escolhendo os **dispositivos de proteção com suas curvas características corretas**, temos que conhecer precisamente, **qual a curva da corrente de partida nas condições de carga em que vamos ligar o nosso motor.**

Disjuntores para manobra e proteção de motores.

Curvas características típicas do disjuntor e curva de partida do motor.



- 1- Desenvolvimento da corrente de partida do motor
- 2- Curva de disparo do relé de sobrecarga do disjuntor
- 3 - Curva de disparo do relé de curto-circuito do disjuntor

3º exemplo.

Escolha das curvas características de relés de um disjuntor, perante cargas variáveis.

Os disjuntores são, por definição, dispositivos de manobra e de proteção, dotados dos relés de proteção contra sobrecarga e curto-circuito.

Tais relés tem que ter suas curvas coordenadas com as cargas a eles ligadas.

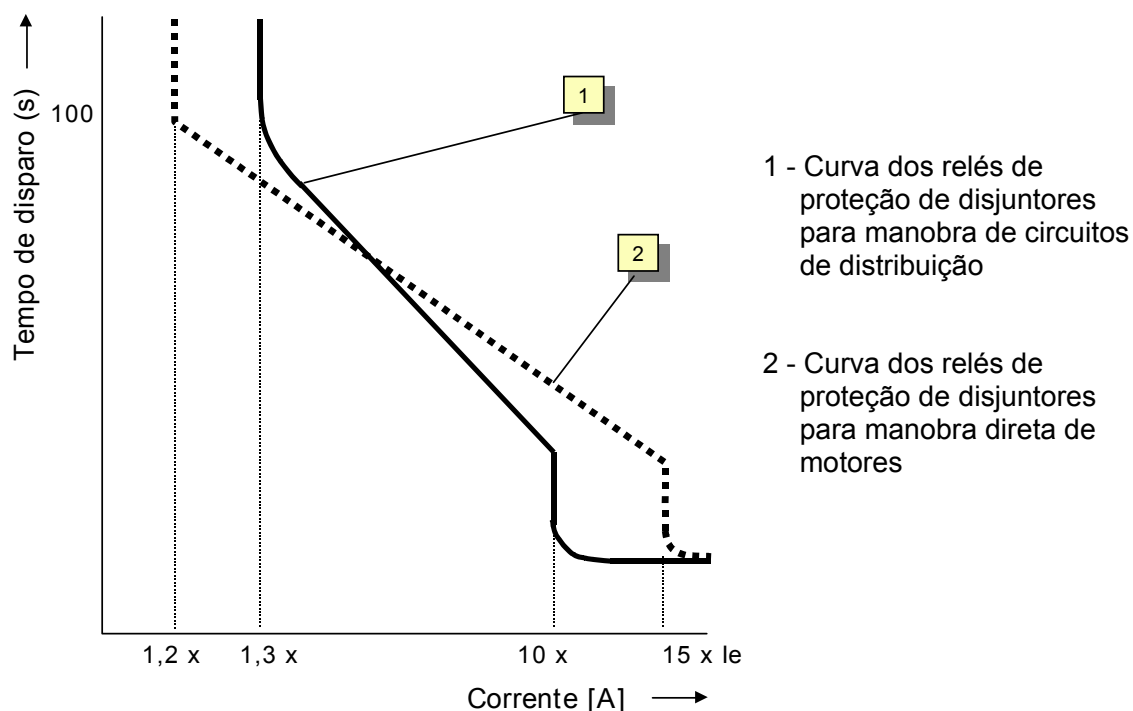
Nesse terceiro exemplo, temos um para cargas motoras (curva 2) e uma outra para, cargas gerais de uma linha de distribuição (curva 1) que também inclui, mas não exclusivamente, cargas motoras.

Nesse caso, a grande diferença está no início da faixa das correntes de curto-circuito I_k , que no caso de cargas exclusivamente motoras se inicia com $15 \cdot I_n$, e no caso de cargas mistas, como o é de uma rede de distribuição, I_k é superior a $10 \cdot I_n$.

Esses fatores devem ser levados em consideração na escolha dos disjuntores dependendo da natureza de sua instalação, ou seja, quando para manobra direta de motores ou manobra de circuitos de distribuição.

Disjuntores para manobra e proteção de circuitos de distribuição e de motores

Curvas características típicas



CONTADORES.

O contator, que é de acionamento não manual por definição, pode ser do tipo “de potência” e “auxiliar”, e normalmente tripolar, por ser usado em redes industriais que são sobretudo trifásicas.

O seu funcionamento se dá perante condições nominais e de sobrecarga previstas, sem porém ter capacidade de interrupção para desligar a corrente de curto-circuito.

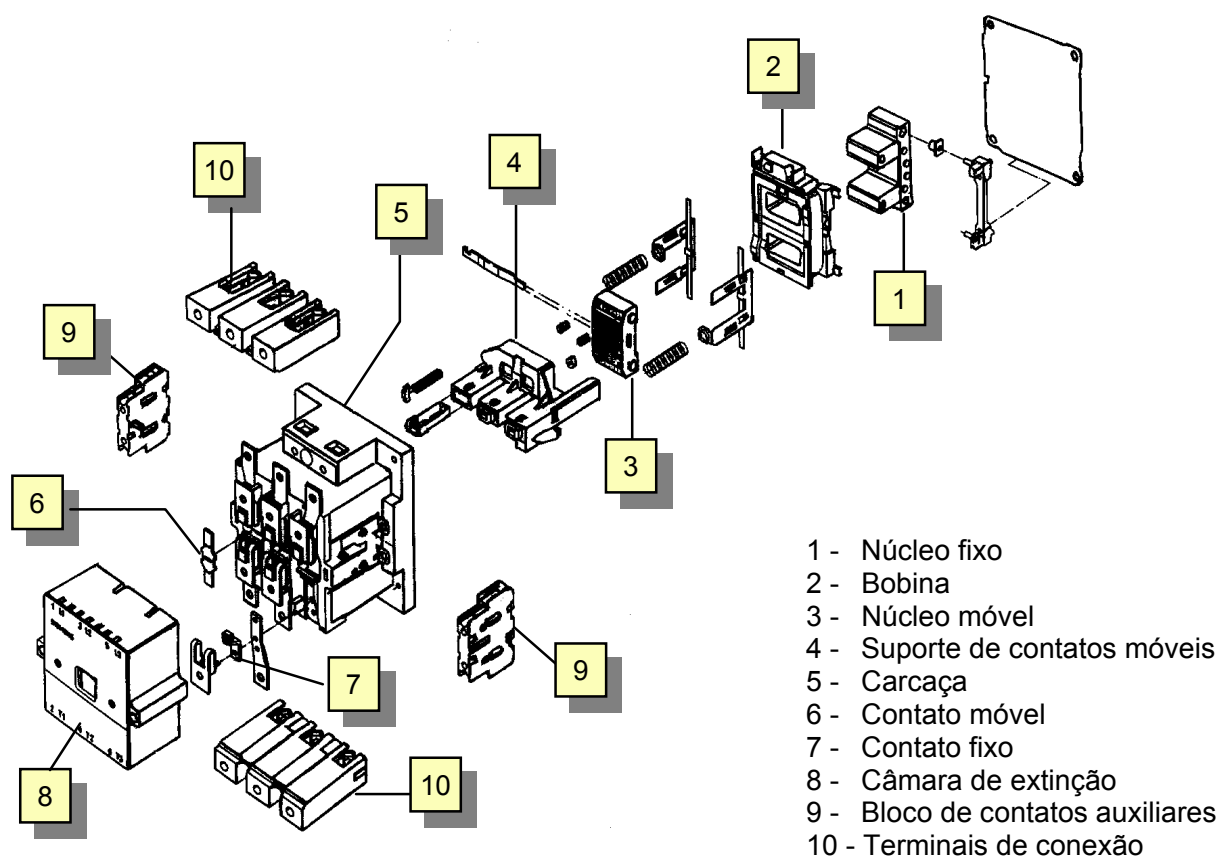
O acionamento é feito por uma bobina eletromagnética pertencente ao circuito de comando, bobina essa energizada e desenergizada normalmente através de uma botoeira liga-desliga, estando ainda em série com a bobina do contator um contato pertencente ao relé de proteção contra sobrecargas, do tipo NF (**N**ormalmente **F**echado). Esse contato auxiliar, ao abrir, interrompe da alimentação da bobina eletromagnética, que faz o contator desligar. Fusíveis colocados no circuito de comando fazem a proteção perante sobrecorrentes.

Construção.

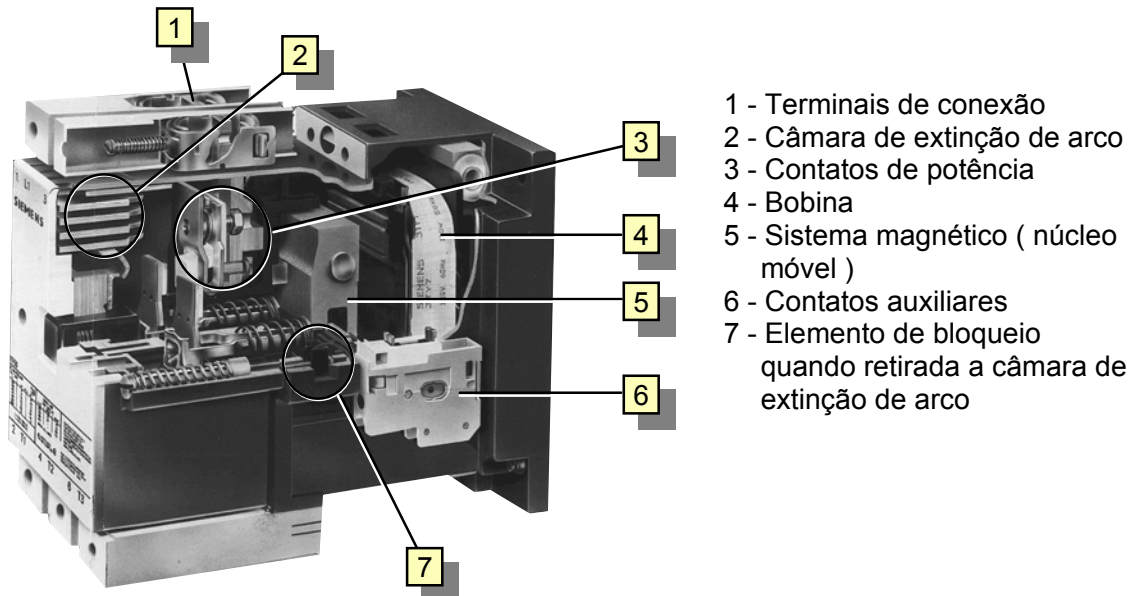
Cada tamanho de contator tem suas particularidades construtivas. Porém, em termos de componentes e quanto ao princípio de funcionamento, são todos similares ao desenho explodido que segue, e cujos componentes estão novamente representados na ilustração com corte na página seguinte.

Contator de potência.

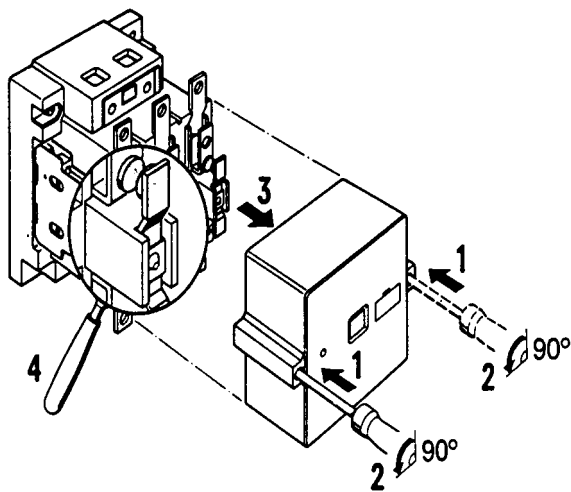
Desenho explodido



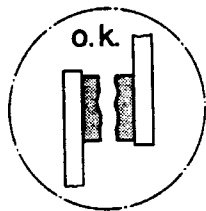
Contator de potência.
Peça em corte.



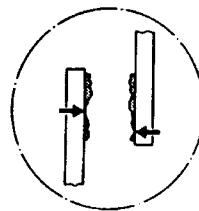
Análise e substituição dos contatos de contadores.



Contato normal de uso



Contato desgastado



Funcionamento do contator.

Conforme definido e comentado anteriormente, o contator é um dispositivo de manobra não manual e com desligamento remoto e automático, seja perante sobrecarga (através do relé de sobrecarga) seja perante curto-circuito (através de fusíveis).

Quem liga e desliga o contator é a condição de operação de uma bobina eletromagnética, indicada por (2) no desenho em corte, abaixo.

Essa bobina, no estado de desligado do contator, ou seja, contato fixo (4) e contato móvel (5) abertos, também está desligada ou desenergizada. Quando, por exemplo através de uma botoeira, a bobina eletromagnética é **energizada**, o campo magnético criado e que envolve o núcleo magnético fixo (1), atrai o núcleo móvel (3), com o que se desloca o suporte de contatos com os contatos principais móveis (5), que assim encontram os contatos principais fixos (4), fechando o circuito.

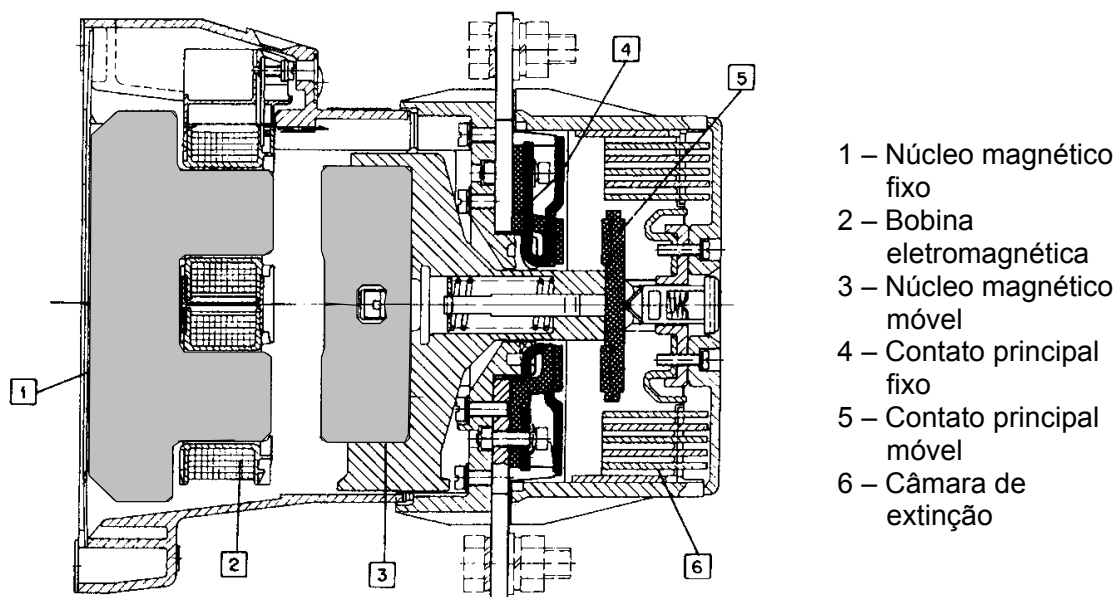
Estando o contator ligado (a bobina alimentada), e havendo uma condição de sobrecarga prejudicial aos componentes do sistema, o relé de proteção contra sobrecarga (bimetálico ou eletrônico) interromperá um contato NF desse relé, que está em série com a bobina do contator, no circuito de comando. Com a abertura do contato é desenergizada a bobina eletromagnética, o contator abre e a carga é desligada.

Para efeito de religação, essa pode ser automática ou de comando remoto, dependendo das condições a serem atendidas pelo processo produtivo ao qual esses componentes pertencem.

Além dos contatos principais, um contator possui contatos auxiliares dos tipos NA e NF, em número variável e informado no respectivo catálogo do fabricante.
(Lembrando: NA significa **N**ormalmente **A**berto e NF, **N**ormalmente **F**echado).

As peças de contato tem seus contatos feitos de metal de baixo índice de oxidação e elevada condutividade elétrica, para evitar a criação de focos de elevada temperatura, o que poderia vir a prejudicar o seu funcionamento. Nesse sentido, o mais freqüente é o uso de liga de prata.

Desenho em corte.



Características dos contadores.

Os contadores se caracterizam sobretudo pelo seu elevado número de manobras perante corrente nominal, número esse variável com o tipo de carga pois, entre outros, é função dos efeitos do arco elétrico sobre as peças de contato no instante da manobra. Com isso, **a sua capacidade de manobrar também passa a ser variável com o tipo de carga, conforme vamos detalhar a seguir.**

Se analisarmos, conseqüentemente, uma lista técnica de um contador, vamos constatar que:

- São dados básicos de escolha, o conhecimento de sua **tensão nominal (U_n)**, e a **freqüência nominal (f_n)**, para as quais também a bobina eletromagnética do contador precisa ser adequada..
- É fundamental também saber em que condições de carga **o contador é ligado**, para determinar o número de contatos auxiliares necessários para intertravamento, bloqueio, comandos auxiliares etc, definindo-se assim o número de contatos normalmente abertos (NA) e os normalmente fechados (NF).
- Como terceiro detalhe, **o tipo de carga** em que vai ser ligado: a constatação se a carga é predominantemente **resistiva** ou **indutiva** (motores sobretudo). Isso porque, as respectivas curvas de carga são acentuadamente diferentes. No caso de carga **capacitiva**, as condições bastante críticas na ligação recomendam o uso de contadores específicos para tal carga, ou uma consulta ao fabricante a respeito.
- O quarto aspecto diz respeito ao **regime em que a carga considerada vai ser manobrada: é de ligação contínua ou intermitente**. Isso porque, sendo intermitente, a presença freqüente do arco elétrico e seus efeitos térmicos, bem como as freqüentes correntes de partida, algumas vezes superiores à I_n , fazem com que tenhamos que reduzir a carga pela redução de corrente, com o que o contador terá menor capacidade de manobra. As potências indicadas seguem a padronização constante da norma NBR 5432, em sua última edição.
- Mais um aspecto é a definição da sua **categoria de emprego**, segundo norma IEC. As diversas categorias de emprego estão definidas na próxima página, sendo designadas, em corrente alternada, por AC_. Classificação semelhante é normalizada para corrente contínua por DC_. Para cada uma dessas categorias, define-se qual a capacidade de manobra que um dado contador apresenta.
- Nas listas técnicas ainda encontramos informações relativas à:
 - **Corrente e tamanho do fusível ou disjuntor-motor** que fará a proteção de cada um dos contadores, lembrando que, sendo carga motora, a característica do fusível é retardada;
 - Atendimento às **normas técnicas**, relacionando-as e informando eventualmente se o material já possui a MARCA DE CONFORMIDADE. Essa marca é obtida na obediência da norma do produto e de norma de procedimentos. Sua concessão é feita por autorização do INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Garantia de Qualidade.
 - Para cada contador ainda vem indicada a **família de relés de sobrecarga** que se aplica, baseado no valor da corrente nominal.

Contatores

Categorias de emprego - IEC 947

AC - 1	Cargas não indutivas ou de baixa indutividade Resistores
AC - 2	Motores com rotor bobinado (anéis) Partida com desligamento na partida e regime nominal
AC - 3	Motores com rotor em curto-circuito (gaiola) Partida com desligamento em regime nominal
AC - 4	Motor com rotor em curto-circuito (gaiola) Partida com desligamento na partida, partida com inversão de rotação, manobras intermitentes
AC - 5a	Lâmpadas de descarga em gás (fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio)
AC - 5b	Lâmpadas incandescentes
AC - 6a	Transformadores
AC - 6b	Banco de capacitores
AC - 7a	Cargas de aparelhos residenciais ou similares de baixa indutividade
AC - 7b	Motores de aparelhos residenciais
AC - 8	Motores-compressores para refrigeração com proteção de sobrecarga
DC - 1	Cargas não indutivas ou de baixa indutividade Resistores
DC - 3	Motores de derivação (shunt) Partidas normais, partidas com inversão de rotação, manobras intermitentes, frenagem
DC - 5	Motores série Partidas normais, partidas com inversão de rotação, manobras intermitentes, frenagem
DC - 6	Lâmpadas incandescentes

Contatores auxiliares / Contatos auxiliares

Categorias de emprego - IEC 947

Corrente alternada	Especificação das cargas
AC - 12	Cargas resistivas e eletrônicas
AC - 13	Cargas eletrônicas com transformador de isolamento
AC - 14	Cargas eletromagnéticas ≤ 72 VA
AC - 15	Cargas eletromagnéticas > 72 VA
Corrente contínua	Especificação das cargas
DC - 12	Cargas resistivas e eletrônicas
DC - 13	Cargas eletromagnéticas
DC - 14	Cargas eletromagnéticas com resistores de limitação

Durabilidade ou vida útil.

A durabilidade é expressa segundo dois aspectos: a mecânica e a elétrica.

A **durabilidade mecânicas é um valor fixo**, definido pelo projeto e pelas características de desgaste dos materiais utilizados. Na prática, o seu valor é de 10 a 15 milhões de manobras, para contatores de pequeno porte. De qualquer modo, o valor correspondente está indicado no catálogo do fabricante.

A **durabilidade elétrica, ao contrário, é um valor variável**, função da **frequência de manobras da carga** á qual o contator está sujeito, ao **número total de manobras que o contator é capaz de fazer**, a **sua categoria de emprego** e aos **efeitos do arco elétrico**, que dependem da tensão e da corrente elétricas. Normalmente, perante condições de desligamento com corrente nominal na categoria de emprego AC-3, esse valor varia de 1 a 1,5 milhão de manobras.

Essas três últimas variáveis estão indicadas no gráfico na página seguinte, observando-se que:

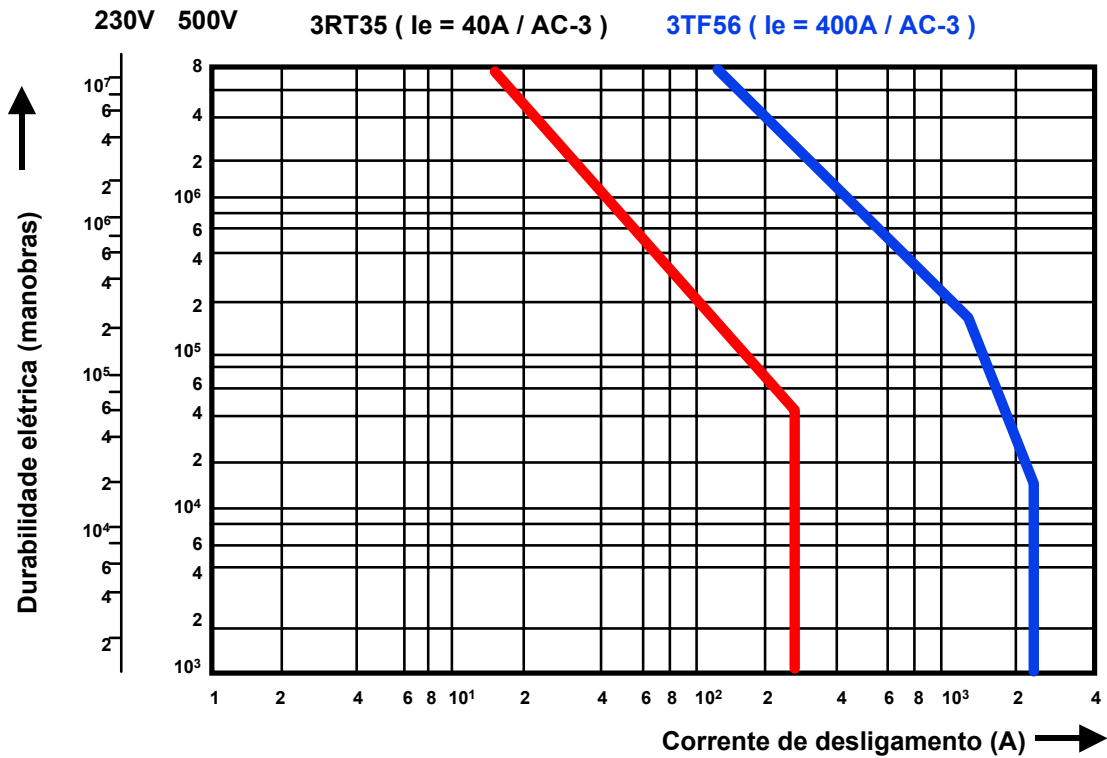
- No eixo horizontal, vem indicada a **corrente de desligamento**, que não é necessariamente a corrente nominal. Portanto, o seu valor deve ser **determinado** ou **medido** em cada carga ligada ao contator.
- No eixo vertical, a indicação de dois dos possíveis eixos de tensão nominal, sendo que, sobre as escalas indicadas (de acordo com a tensão ligada),obtemos O VALOR TOTAL DAS MANOBRAS QUE O CONTATOR É CAPAZ DE FAZER, em regime AC-3, que é o mais encontrado nas instalações industriais. Ou, em outras palavras, obtemos a DURABILIDADE ELÉTRICA DO CONTATOR.
- O conhecimento dessas durabilidades (elétrica e mecânica) são particularmente importantes na constituição do PLANO DE MANUTENÇÃO DE UMA INDÚSTRIA, podendo-se assim planejar adequadamente a aquisição de peças de reposição e o período melhor de sua troca sem interromper o ciclo produtivo.
- A curva de cada contator é estabelecida pelo fabricante.

Do exposto, podemos tirar algumas conclusões :

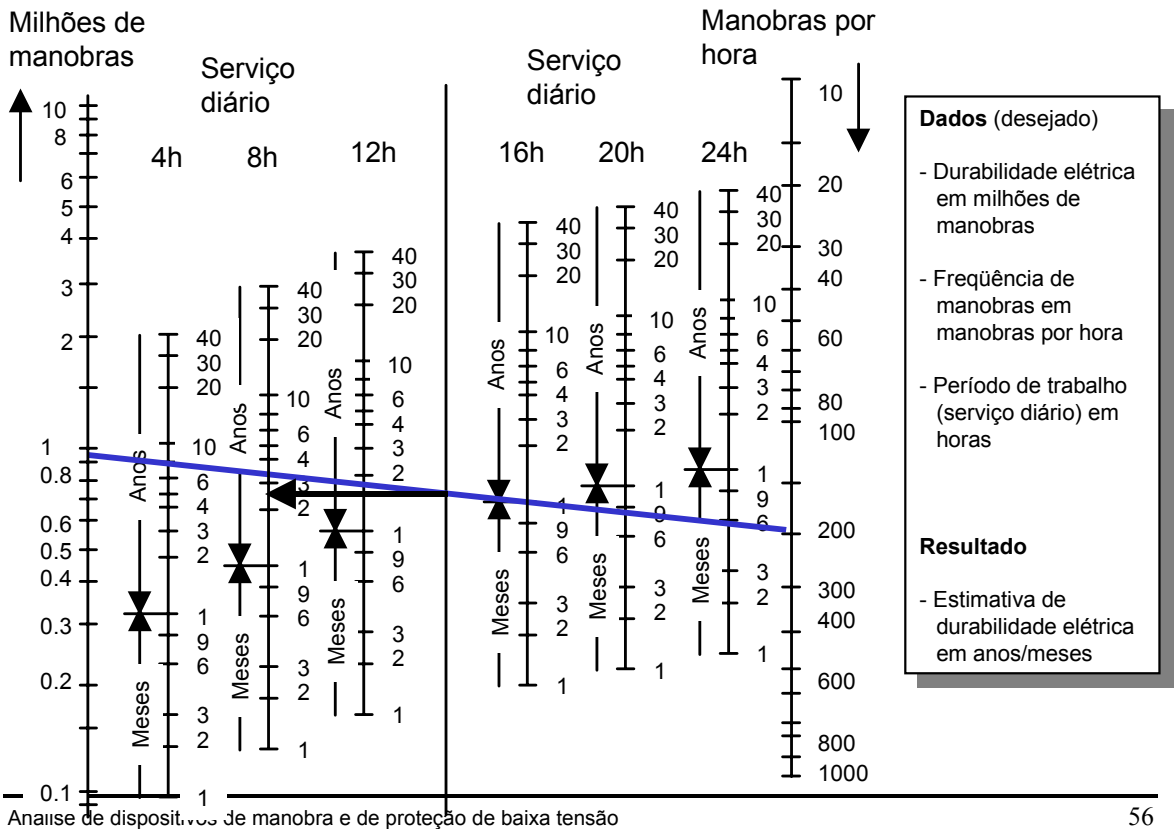
- Na escolha do contator adequado a uma instalação, e para evitar freqüentes trocas, temos que conhecer, além da tensão, freqüência elétrica e tipo de carga (como vimos até aqui), também a freqüência de manobras, ou seja, o número de manobras por unidade de tempo (p.ex. manobras por hora) que a carga realiza.
- Na avaliação qual o contator que melhor atende ao usuário, e além do seu custo, temos que saber, entre os contatores para nossa escolha, qual o que apresenta uma durabilidade adequada e relacionar essa durabilidade com o custo-benefício.
- Avaliar o que significa para o ciclo de trabalho da indústria, freqüentes substituições de componentes, ou seja, até que ponto essas prejudicam o ciclo produtivo.

Todos os elementos citados seguem na página seguinte, tendo-se ainda anexado um nomograma que por vezes tem sido um auxiliar útil na determinação da durabilidade elétrica.

Durabilidade elétrica dos contatos.



Nomograma para estimativa da durabilidade elétrica



Exemplo:

- 1º valor de referência : 1 milhão de manobras elétricas.
- 2º valor de referência: 200 manobras por hora
- Valores obtidos. Unem-se os dois pontos e assim interceptamos um eixo vertical central (que não tem escala). A partir do ponto de corte com o eixo vertical central, traçar uma horizontal, que vai (à direita e à esquerda) cortar as diversas escalas com horas de serviço diário especificado. Considerando o corte com a escala “**8 horas de serviço diário**” nos dará a durabilidade do contator, que nesse caso é de aproximadamente **3 anos**.

Ainda na atividade de manutenção, é importante se **localizar** qualquer defeito que esteja acontecendo durante o **ciclo de trabalho**. Assim, por exemplo, seja pelas condições da rede de alimentação, seja por defeito dos componentes, podem ocorrer certos problemas, cujas **causas mais frequentes** estão exemplificadas no que segue.

Utilização dos contatores.

Desvio dos valores nominais de operação

Defeitos	Causas
<ul style="list-style-type: none"> • Ruído de vibração <ul style="list-style-type: none"> - Perda acelerada de massa dos contatos - Destruição dos contatos - Destruição da bobina (≈1min) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sub-tensão no comando <ul style="list-style-type: none"> - Transformador de comando sub-dimensionado - Tensão de comando derivada da potência - Falha de conexão e condução
<ul style="list-style-type: none"> • Soldagem leve (separável) <ul style="list-style-type: none"> - Área de brilho fosco 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de ligação e condução
<p>Perda de massa com deformações do contato</p> <ul style="list-style-type: none"> - Áreas fundidas <p>Soldagem intensa (inseparável)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Perda acelerada da massa dos contatos <p>Destruição das partes adjacentes aos contatos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de interrupção
<ul style="list-style-type: none"> • Destruição das partes adjacentes aos contatos <p>Soldagem intensa (não separável)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidade elétrica
<ul style="list-style-type: none"> • Soldagem leve (separável) <ul style="list-style-type: none"> - Área de brilho fosco <p>Destruição das partes adjacentes aos contatos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Frequência de manobras
<ul style="list-style-type: none"> • Perda de massa com pingos de derretimento <p>Destruição das partes adjacentes aos contatos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Curto-circuito

Garantia de bom desempenho do contator.

Sucintamente, o correto uso e daí o bom desempenho de um contator pode vir baseado em:

- Acompanhar o estado dos contatos através do cálculo da durabilidade, como visto anteriormente e registrar, em especial, desligamentos por anormalidades, que certamente vão reduzir a vida útil.
- Instalar os relés de proteção contra sobrecarga e os fusíveis máximos de acordo com o especificado no catálogo do fabricante.
- Avaliar as conseqüências de um curto-circuito (o contator não desliga, mas vai conduzir a corrente de curto- circuito por tempo limitado) presente no circuito;
- Controlar as condições de aquecimento das peças de contato, aquecimento esse sempre proveniente de **condições anormais** de utilização, e que podem ter danificado as peças de contato;
- O uso de peças de reposição originais do próprio fabricante do contator.

SELETIVIDADE E COORDENAÇÃO DE PROTEÇÃO (BACK-UP) ENTRE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.

Definição:

Coordenação a sobrecorrentes.

Coordenação das características de operação de dois ou mais dispositivos de proteção contra sobrecorrentes, de modo que, no caso de ocorrerem sobrecorrentes entre limites especificados, somente opere o dispositivo previsto dentro desses limites.

E essa previsão é a de que opere apenas o dispositivo a montante do defeito que esteja mais próximo desse defeito (ou, em outras palavras: o imediatamente anterior ao local do defeito).

Vimos que:

- A proteção contra condições anormais de sobrecorrente é feita por relés de proteção de disjuntores e fusíveis;
- Cada um desses dispositivos, entre outras grandezas, é caracterizado por curvas características;
- Essas curvas tem sua posição perfeitamente definida nos gráficos tempo de disparo x corrente de desligamento, de sorte que cada um atue na situação correta.

Essa atuação na situação correta deve ser também transferida ao circuito, onde temos freqüentemente, diversos dispositivos de mesma ou diferente função de proteção, LIGADOS EM SERIE, e onde a evolução das curvas tempo x corrente adquire um significado especial. Essa é uma análise de SELETIVIDADE de atuação conjunta, e que é o tema que segue.

Reportando-nos às duas páginas seguintes, temos a observar:

- **Seletividade entre fusíveis em série.**

Tem-se nesse caso, a análise feita para dois jogos de fusíveis em série (veja na página 58), tendo o F2 (fusível a jusante) a ligação da carga, e antes dele, o fusível F1 (a montante), sempre lembrando que, pelas regras de representação gráfica, a alimentação é representada do lado de cima e as cargas, em baixo.

Nesse caso, **entre as curvas médias dos dois fusíveis**, tem que haver uma diferença de tempos de atuação, que é dada, em termos de correntes nominais, por fatores (1,25 ou 1,6) indicados em função da tensão de alimentação. Esses fatores vão garantir, no final, que as curvas dos fusíveis não se sobreponham, total ou parcialmente.

Sob altas correntes de curto-circuito, porém, o atendimento a essas condições não é suficiente.

A seletividade só estará assegurada quando o valor da energia (dado por $I^2 \cdot t$) durante os tempos de fusão e de arco, do fusível menor, for menor do que o respectivo valor, do fusível maior (a montante).

Deve ficar bem claro nesse ponto o seguinte: não basta que as correntes nominais de fusíveis imediatamente em série não sejam iguais, nem que sempre um tamanho maior ao anterior já garante a seletividade

- **Seletividade entre disjuntores em série.**

Nesse caso, a seletividade é analisada, pela disposição das curvas características dos relés de proteção de sobrecarga e de curto-circuito (veja na página seguinte), dos disjuntores (Q1 e Q2). A diferença de tempos que dão uma seletividade confiável deve ser de 70 ms a 150 ms. Observe as demais recomendações indicadas.

- **Seletividade entre relés do disjuntor e fusível.**

Tendo um fusível a jusante e um disjuntor com seus relés a montante (veja na página 61), o tempo de separação tem que ser da ordem de 100 ms.

- **Seletividade entre fusível e relés do disjuntor.**

Situação inversa a anterior, com os relés do disjuntor a jusante e o fusível a montante. O tempo de separação entre as curvas deve ser da ordem de 70 ms.

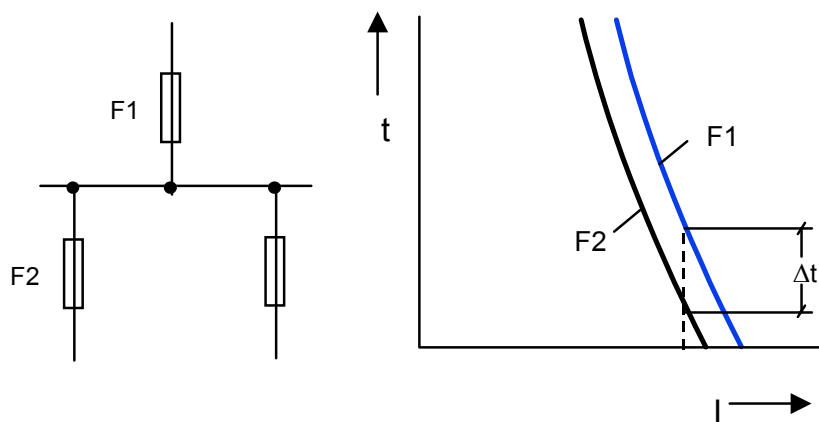
A utilização de valores menores do que os indicados, pode levar a desligamentos contrários a seletividade exigida, devido as tolerâncias com que tais componentes são fabricados.

Normalmente, quando são usados dispositivos de manobra e de proteção de mesma origem, a evolução para que tais curvas sejam coerentes entre si já é levada em consideração pelo fabricante; diferente o caso quando os dispositivos de proteção são de diversas origens, quando então o cuidado deve ser redobrado.

O estudo da seletividade adquire uma importância particular, quando observamos que a atuação dos dispositivos de proteção que não atenda ao que foi exposto, leva certamente ao desligamento de setores do circuito elétrico, que não deveriam ser desligados. Com isso, pensando-se em termos de produção industrial, a desconsideração dos fundamentos da seletividade iria desligar máquinas sem nenhuma necessidade, com que a produção daquela indústria seria certamente prejudicada.

Portanto, muito cuidado com o atendimento das condições expostas.

**Seletividade.
Fusíveis em série.**

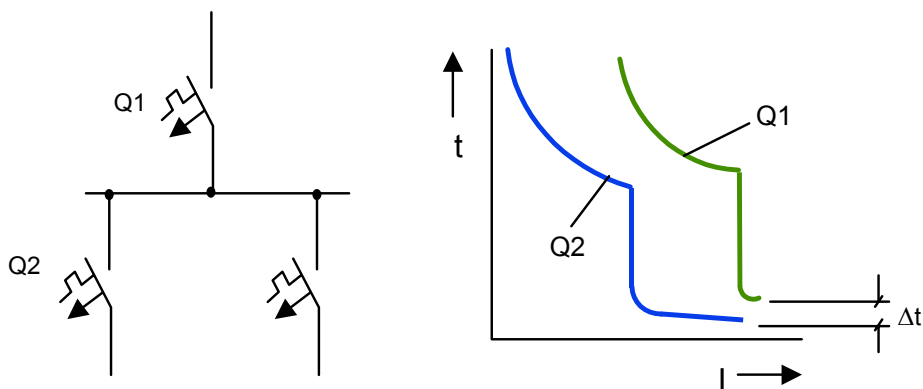


Na prática, a seletividade com fusíveis em série é dada por:

Em 380 V $\frac{F1}{F2} = 1,25$

Em 500 V $\frac{F1}{F2} = 1,60$

Disjuntores em série.



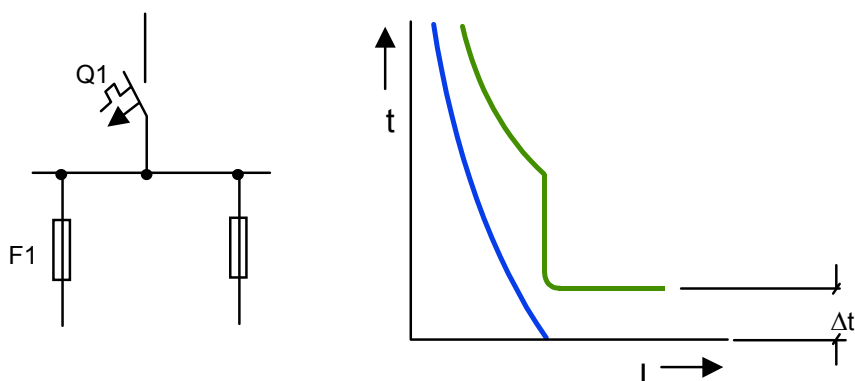
• A seletividade com disjuntores em série é dada por:

- Degraus de corrente
- Disparo temporizado

• Escalonamento de tempo na ordem de 70 a 150 ms

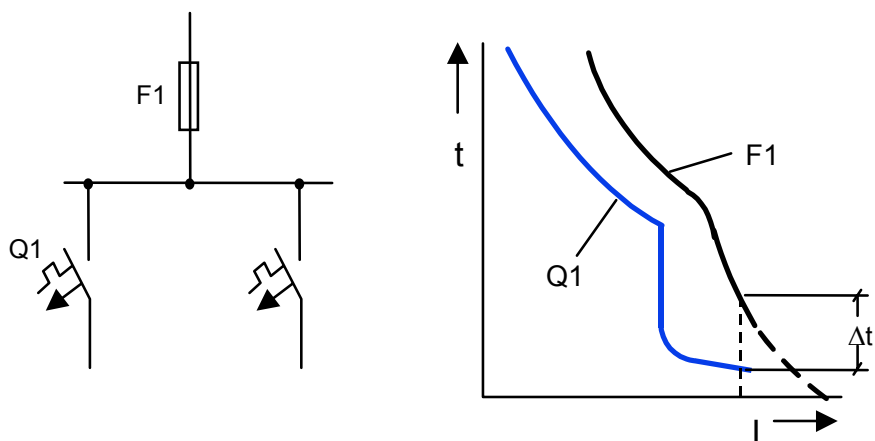
A especificação do disjuntor em série, pode ser otimizada através da análise de proteção de retaguarda (back-up)

Seletividade. Disjuntor a montante de fusíveis.



- A seletividade de disjuntor a montante de fusível é possível quando a corrente nominal do fusível seja bem abaixo da do disjuntor
- Escalonamento de tempo na ordem de 100 ms

Fusível a montante de disjuntores.



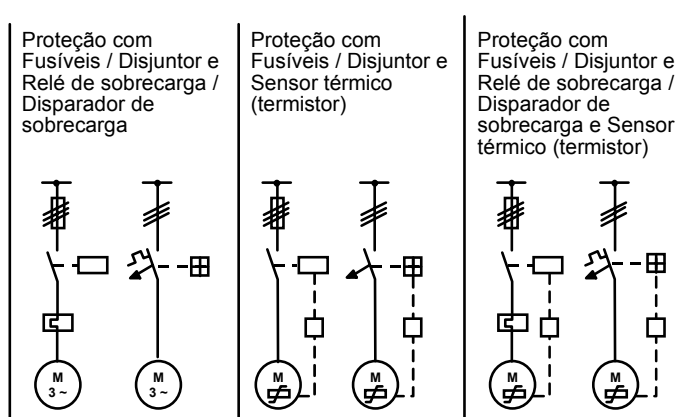
- Na prática, a seletividade com fusível a montante de disjuntor é dado com um escalonamento de tempo na ordem de 70 ms
- A especificação do disjuntor em série com o fusível, pode ser otimizada através da análise da proteção de retaguarda (back-up)

CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A MANOBRA E PROTEÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS EM PARTIDA DIRETA.

Pelo exposto até aqui, a partida direta, com plenos valores de potência e tensão, pode ser feita de diversas maneiras, associando adequadamente entre si, disjuntores e fusíveis com contadores e relés de sobrecarga. Essas hipóteses estão reunidas na tabela que segue, informando até que ponto cada uma delas traz uma proteção plena perante um dado problema, ou não.

Ressalte-se que o uso de uma ou outra combinação de dispositivos é tanto um aspecto técnico quanto econômico. Em outras palavras, soluções melhores são também de maior custo: cabe ao projetista avaliar até que ponto a carga necessita de uma solução mais completa ou não.

Proteção plena dos motores.



Causas de aquecimento

Proteção dos motores

Sobrecarga em regime de operação	Total	Total	Total
Falta de fase	Total	Total	Total
Desvios de tensão e freqüência	Total	Total	Total
Rotor bloqueado	Total	Parcial	Total
Partida difícil (prolongada)	Sem	Total	Total
Elevada freqüência de manobras	Parcial	Total	Total
Temperatura elevada (no motor)	Sem	Total	Total
Obstrução do resfriamento (no motor)	Sem	Total	Total

Com relação a tabela, temos a comentar:

- 90% ou pouco mais de todos os motores elétricos ainda hoje são protegidos de acordo com as soluções indicadas na primeira coluna, usando disjuntores com relés de sobrecarga e curto-circuito, ou fusível, contator e relé de sobrecarga. Recai a solução sobre o contator, quando o número de manobras previstas é elevado, pois o disjuntor tem uma durabilidade menor em número de manobras.

- Para máquinas de grande porte (tanto motores quanto geradores), e de elevado custo, é importante fazer um estudo que leve em consideração um eventual uso dos relés eletrônicos de sobrecarga, pois freqüentemente, o custo do equipamento justifica o uso de um sistema mais sofisticado de proteção, onde inclui sensoramento do aquecimento de motor através de termistores e supervisão da corrente de fuga.
- Em ambientes altamente poluídos, sobretudo com fibras isolantes, a proteção por relé bimetalico (que controla correntes) não é eficiente, pois o sobreaquecimento que se apresenta é ocasionado pelo entupimento de canais de circulação do ar refrigerante (e não por excesso de perda Joule que seria proporcional à corrente). Se esse risco existir e não puder ser evitado, recomenda-se o uso de relés de sobrecarga eletrônicos com supervisor de termistores. Note-se porém que o uso deste relé faz parte de um projeto global da máquina, pois os sensores semicondutores de temperatura – os termistores, tem que ser instalados dentro do motor, no seu ponto mais quente.
- A solução convencional (com relé bimetalico) também não é eficiente perante partidas difíceis, prolongadas, pois pode acontecer que essa se dá com tempos muito longos de correntes não muito elevadas, de modo que a supervisão do relé bimetalico não é eficiente.
- No caso de rotor bloqueado (que significa o motor ligado e não girando, o que se assemelha a um transformador em curto-circuito), a proteção apenas por sensoramento do aquecimento não é plenamente confiável porque nesse caso o impacto de corrente acelera abruptamente o aquecimento no tempo, de modo que pode haver danificação antes da resposta dos termistores. Esse é um dos casos em que uma dupla proteção por relé bimetalico e supervisão por termistores levam à melhor solução.

PARTIDA DE MOTORES TRIFASICOS .

Já vimos no item relativo aos tipos de cargas, que motores absorvem da rede uma potência maior na fase de partida. Esse fato pode levar a flutuações inadmissíveis na própria rede e no circuito do motor, que a concessionária de energia limita, para não prejudicar outros consumidores.

Então, reportando-nos a norma NBR 5410 edição de 1997, que está em vigor na época da redação desse texto, e no seu item 6.5.3 – Motores, temos: 6.5.3.1“ *As cargas constituídas por motores elétricos apresentam peculiaridades que as distinguem das demais:*

- a) A corrente absorvida durante a partida é muito maior que a de funcionamento normal em carga:*
- b) A potência absorvida em funcionamento é determinada pela potência mecânica no eixo solicitada pela carga acionada, o que pode resultar em sobrecarga na rede de alimentação, se o motor não for protegido adequadamente.*

Em razão dessas peculiaridades , a instalação de motores, além das demais prescrições dessa Norma, devem atender também as prescrições seguintes:

6.5.3.2.Limitação das perturbações devidas a partida de motores.

Para evitar perturbações inaceitáveis na rede de distribuição, na própria instalação e nas demais cargas ligadas, na instalação de motores deve-se:

a) Observar as limitações impostas pela Concessionária local referente a partida de motores:

Nota: Para a partida direta de motores com potência acima de 3,7 kW (5cv), [supostamente em U = 220V] em instalações alimentadas por rede de distribuição pública em baixa tensão, deve ser consultada a Concessionária local.

b) Limitar a queda de tensão nos demais pontos de utilização, durante a partida do motor, aos valores estipulados em 6.2

Para obter conformidade às limitações descritas nas as linhas a) e b) anteriores, pode ser necessário o uso de dispositivos de partida que limitem a corrente absorvida durante a partida.

Por outro lado, as cargas motoras em corrente alternada, são identificadas como sendo AC-2 e AC-3, a primeira sigla aplicada a motores do tipo trifásico indução bobinado ou anel, e o segundo a motores trifásicos de indução tipo gaiola, que são a grande maioria dos motores encontrados nas indústrias, por serem mais robustos e mais baratos (não necessariamente melhores). Outro fator que hoje precisa ser observado ,é o **rendimento do motor**: Devemos dar preferência a motores de alto rendimento, como perdas reduzidas.

Portanto, para potências acima de 5 cv, é necessário verificar se há necessidade de serem usados métodos de partida, que podem ser de várias formas, cada um com recomendações próprias de acordo com a potência dos motores a eles ligada. Aplicando-se a todas eles, a IEC 60 947 faz recomendações de coordenação de proteção, e que assim se definem:

1. Um dispositivo de partida, além de atender a capacidade de carga (p.ex. motor trifásico, AC-3) é orientada por norma a obedecer determinados resultados quando sujeita a anormalidades de pior caso, ou seja, um curto-circuito pleno.
2. Um curto-circuito pleno é dado como uma fatalidade. A experiência tem demonstrado que um curto-circuito de ordem prática é de menos de 50% do pleno (pior caso). Desta forma, a escolha da coordenação de proteção deve considerar as condições práticas de probabilidade do curto-circuito e as exigências de serviço da instalação.

Pela IEC 60 947 a **coordenação de proteção** é dividida em **tipo 1** e **tipo 2**, que assim se definem:

- **Coordenação tipo 1.**

Sem risco para as pessoas e instalações, ou seja, desligamento seguro da corrente de curto-circuito. Porém, **o dispositivo de partida não estará em condições de continuar funcionando após o desligamento**, permitindo danos ao contator e ao relé de sobrecarga.

- **Coordenação tipo 2.**

Sem riscos para as pessoas e instalações, ou seja, desligamento seguro da corrente de curto-circuito. **Não pode haver danos ao relé de sobrecarga ou em outras partes** com exceção de leve fusão dos contatos do contator e estes permitam fácil separação sem deformação significativa.

Tais correntes são como referência prática da ordem plena de $I_K = 50$ kA como corrente presumida de curto-circuito.

Pela própria definição, é bem mais seguro o uso da coordenação tipo 2, conforme visto linhas atrás. A solução porém é de custo mais elevado.

Pela IEC 60 947, são definidos os seguintes valores de corrente de curto-circuito prático, em kA :

Corrente nominal I_e / AC-3 em A	Corrente de curto-circuito prática ("r") I_{ccr} em kA
0 < I_e ≤ 16	1
16 < I_e ≤ 63	3
63 < I_e ≤ 125	5
125 < I_e ≤ 315	10
315 < I_e ≤ 630	18
630 < I_e ≤ 1000	30
1000 < I_e ≤ 1600	42

Crítérios de escolha do método de partida.

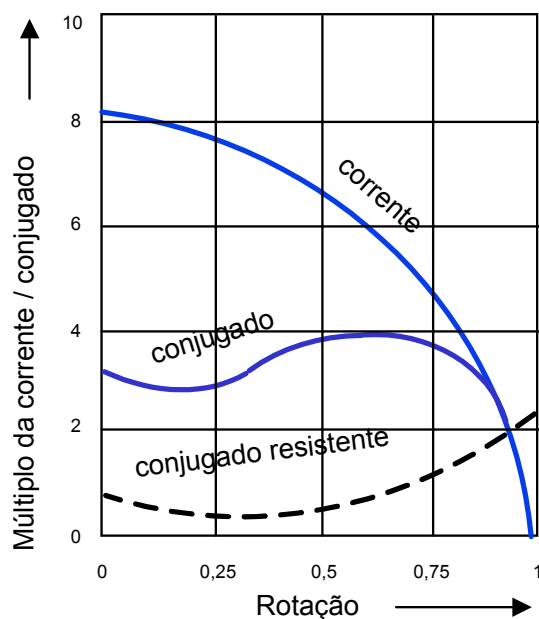
Pelo visto, a escolha por uma partida direta ou não, depende de:

- Característica da máquina a ser acionada;
- Circunstância de disponibilidade da potência de alimentação;
- Confiabilidade de serviço, e
- Distância da fonte de alimentação, devido a condição de queda de tensão (norma)

No caso de ser permitida a partida direta, a plena tensão, as curvas características do motor a ela ligado assim se apresentam:

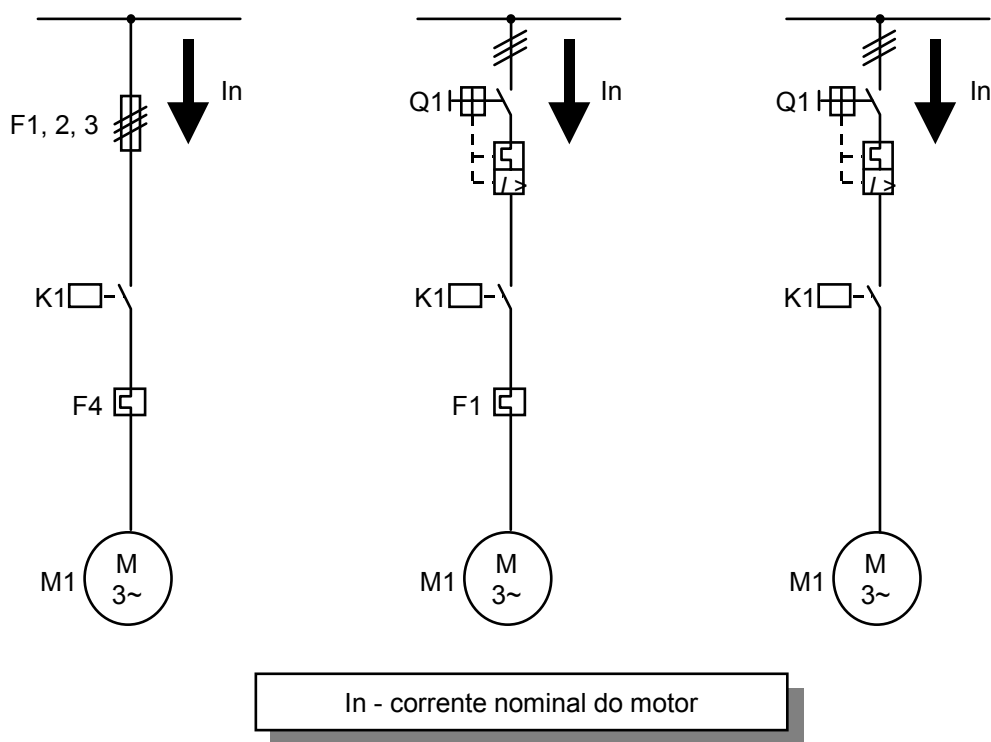
PARTIDA DIRETA (plena tensão).

Características básicas



- Aplicada em máquinas com qualquer tipo de carga
- Máquinas que permitem normalmente suportar o conjugado (torque) de aceleração
- Fonte com disponibilidade de potência para alimentação
- Confiabilidade de serviço pela composição e comando simples

A composição de uma **partida direta** podem ser das seis formas citadas na tabela que consta da página 62. Porém, dessas, as três mais usadas são as representadas a seguir.



Não sendo possível a partida direta, outros métodos de partida são utilizados:

- Partida estrela-triângulo;
- Partida por auto-transformador (também chamada de compensadora)
- Partida suave (soft-starter), por meio de eletrônica de potência.

Na seqüência indicada, estão também os **custos** do dispositivo de partida: uma estrela-triângulo é mais barata do que uma partida suave (soft-starter), para mesma potência de motor. E é necessário associar o **investimento no motor** com o **dispositivo de partida**. Por essa razão, **máquinas pequenas** (acima de 5 cv ou eventualmente maiores de acordo com determinações da Concessionária de Energia, pelo que vimos), **usam uma partida estrela-triângulo**; as **máquinas maiores**, passando pelas compensadoras (com auto-transformador), usam, no outro extremo das potências, a **partida suave (soft-starter)**.

Um outro aspecto é a **qualidade** da partida, há casos em que os solavancos resultantes de uma partida em estrela-triângulo não são admissíveis dentro do regime de funcionamento do motor e sobretudo da carga acionada. Faremos uma análise detalhada sobre o assunto mais adiante.

Vamos analisar individualmente cada método de partida no que segue, e acrescentar a essa informação, dados de fabricantes e curvas características daí resultantes.

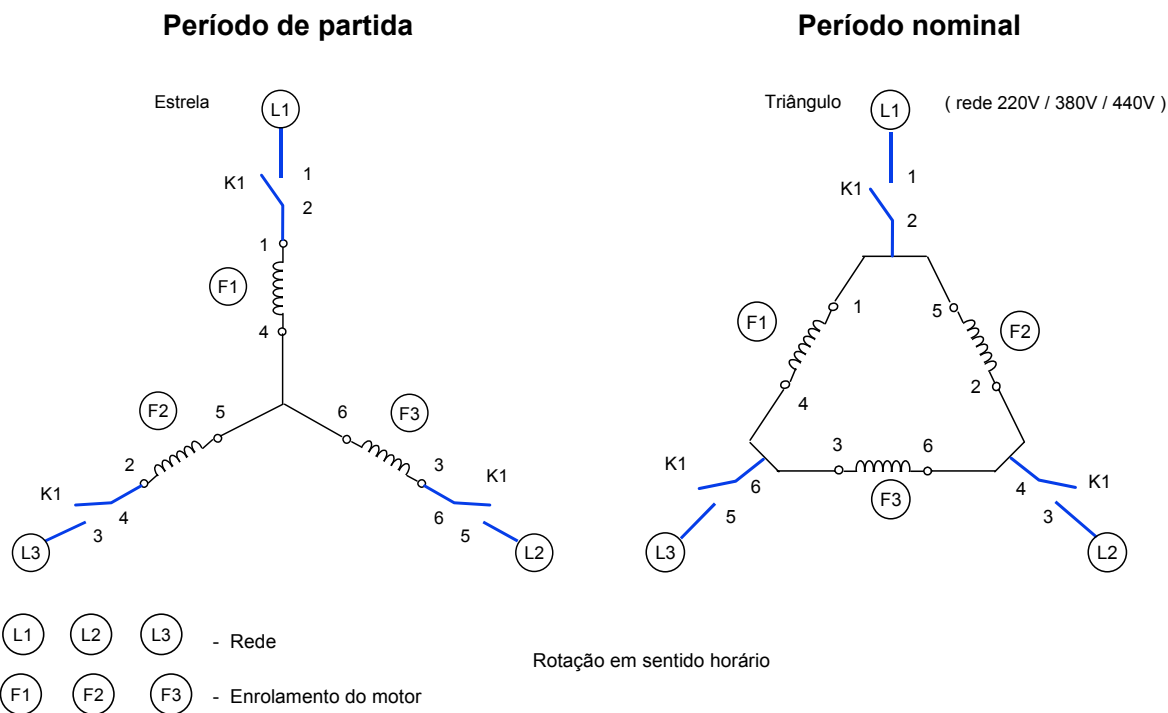
PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO.

Princípio de funcionamento.

Motores capazes de terem sua partida através de uma partida estrela-triângulo, tem que ser do tipo trifásico, com as 3 entradas e 3 saídas dos rolamentos, acessíveis, para fazer a mudança de uma ligação estrela para triângulo.

Esse princípio de funcionamento se baseia em:

- Designando :
 - U_n tensão nominal
 - U_f tensão de fase
 - I_n corrente nominal de alimentação
 - k constante do motor
 - I_p corrente de partida por fase
 - X reatância por fase
 - M momento ou conjugado de partida, proporcional ao quadrado de U_f
- E baseado no esquema de ligação dos enrolamentos, abaixo,



Demonstração para fórmulas de cálculos

Na ligação estrela

$$U_{fY} = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$$

$$I_p = \frac{U_{fY}}{X} = \frac{U_n}{X \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_{nY} = I_{pY} = \frac{U_n}{X \cdot \sqrt{3}}$$

$$M_Y = k \cdot U_{fY}^2 = k \cdot U_n^2 \cdot \frac{1}{3}$$

Na ligação triângulo

$$U_f = U_n$$

$$I_f = \frac{U_f}{X} = \frac{U_n}{X}$$

$$I_n = I_f \cdot \sqrt{3} = \frac{U_n}{X} \cdot \sqrt{3}$$

$$M = k \cdot U_f^2 = k \cdot U_n^2$$

Relacionando entre si a corrente de alimentação e os momentos de partida, resulta que, passando da ligação estrela para a triângulo, temos a relação de 1:3, como segue:

$$\frac{I_{nY}}{I_{n\Delta}} = \frac{\frac{U_n}{X} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}}{\frac{U_n}{X} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1}{3} \quad \text{e} \quad \frac{M_Y}{M_{\Delta}} = \frac{k \cdot U_n^2 \cdot \frac{1}{3}}{k \cdot U_n^2} = \frac{1}{3}$$

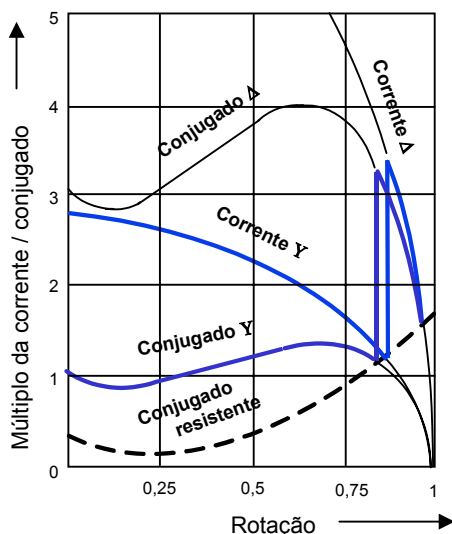
Portanto:

1. Na análise das curvas de carga, e particularmente na das cargas indutivas (ou motoras), vimos que a corrente de partida plena pode alcançar valores eficazes de $8 \cdot I_n$.
2. Se esse valor é excessivo, pelas normas e pelas condições de rede (dados pela Concessionária), então, ligando o motor trifásico em estrela na partida, a corrente circulante se situará em torno de 1/3 do valor pleno, e assim algo em torno de $2,66 \times I_n$, que é perfeitamente aceitável, se sua circulação não se der por um tempo excessivamente longo.
3. Se, uma vez passada a fase de partida, ou seja, o motor já tiver alcançado sua rotação nominal e assim a corrente também já for nominal, então podemos comutar os enrolamentos para a ligação de funcionamento normal, que então será ligada em triângulo, como uma corrente igual a corrente nominal (I_n).
4. A comutação da ligação estrela para a triângulo, dentro de um regime de carga bem definido, é feito automaticamente, por meio de relé de tempo associado ao comando de contatores.

Ocorre porém que, na comutação da estrela para o triângulo, e com conseqüente aumento instantâneo da corrente em três vezes, manifesta-se um impacto mecânico que, de um lado, não é por vezes admissível dentro do regime de funcionamento da máquina acionada, e do outro, esse mesmo impacto leva a acelerar a fadiga mecânica da máquina e do eixo de acionamento do motor, o que reduz sensivelmente a VIDA ÚTIL das partes mecânicas envolvidas. Esse fato será demonstrado num estudo comparativo citado mais adiante nesse mesmo capítulo.

As curvas características de corrente e de conjugado ou momento do motor se apresentam como demonstrado a seguir:

Características básicas (tensão reduzida)



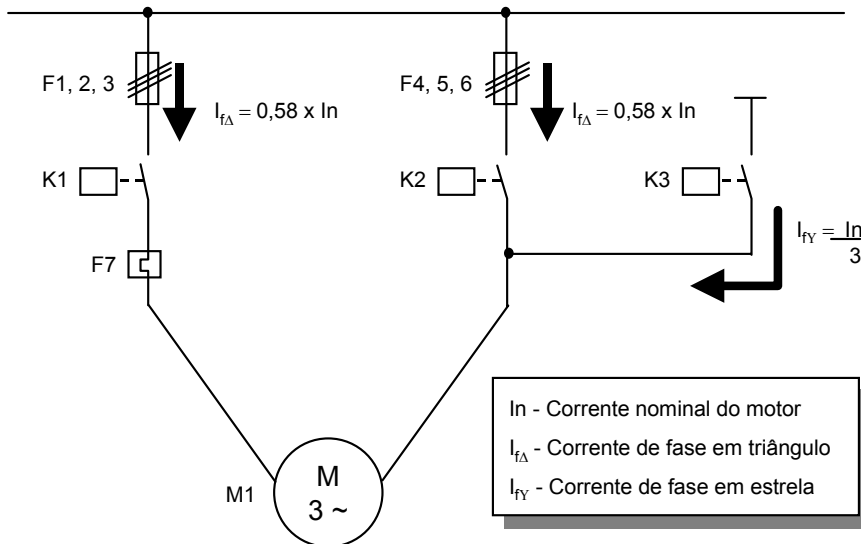
- Aplicada no acionamento de máquinas que partem em vazio ou com conjugado resistente baixo
- Alivia o conjugado (torque) de aceleração em base a tensão inicial (reduzida), e conseqüente redução da disponibilidade de potência para alimentação
- Deve ser parametrizada em tempo para execução da partida
- Em base a sua composição exige melhor qualidade de supervisão para se obter confiabilidade de serviço
- Aplicável em motores a serem acionados em grande distância, otimizando em especial os condutores.

Esquema de ligação.

Segue o esquema de ligação respectivo, na forma completa, a saber:

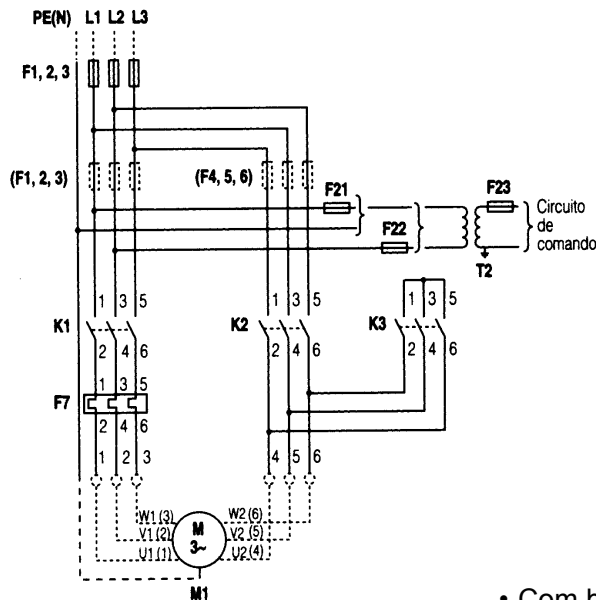
Unifilar

Definição dos valores de corrente para especificação dos componentes

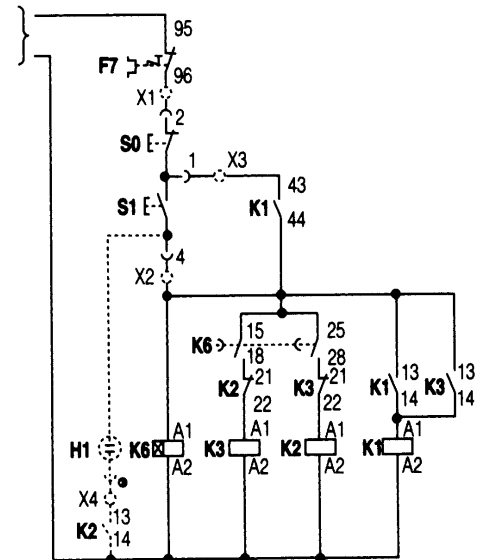


Trifilar

Circuito de potência



Circuito de comando



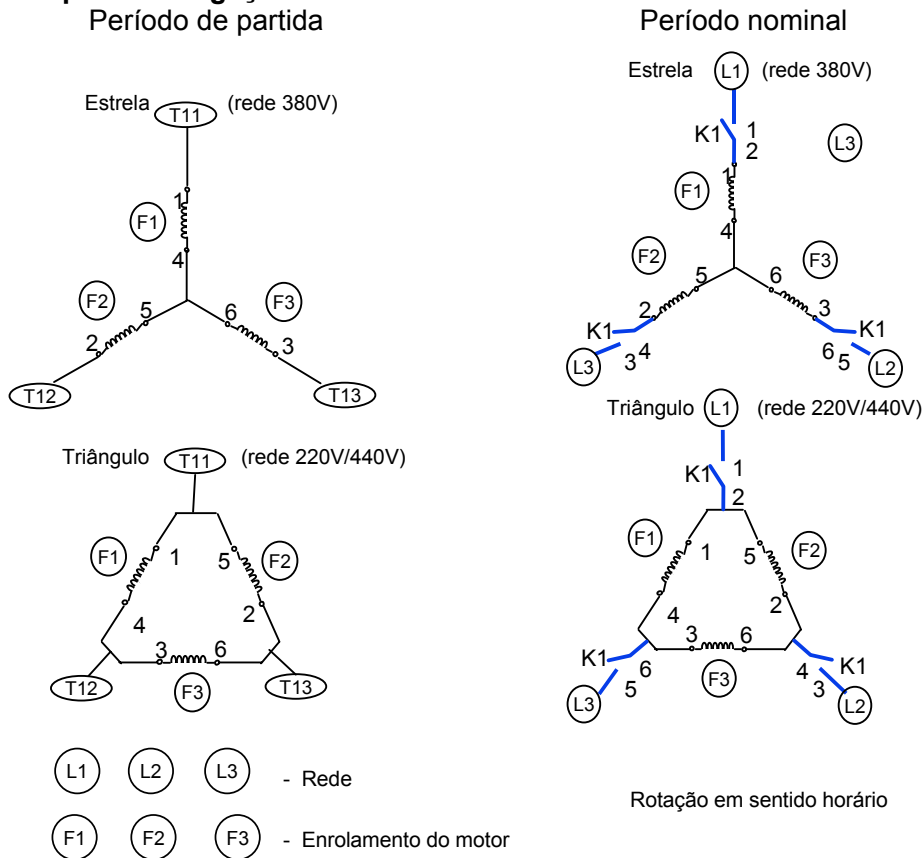
- Com botão de comando duplo liga-desliga 3SA8
- K6 - Relé de tempo Y Δ
- Contato 15-18 (fecha instantâneo) com retardo na abertura no ajuste de tempo da partida
- Contato 25-28 com retardo no fechamento no ajuste de tempo de partida mais um tempo ≈ 50 ms para garantir a transição de Y para Δ

PARTIDA POR AUTO-TRANSFORMADOR (COMPENSADORA).

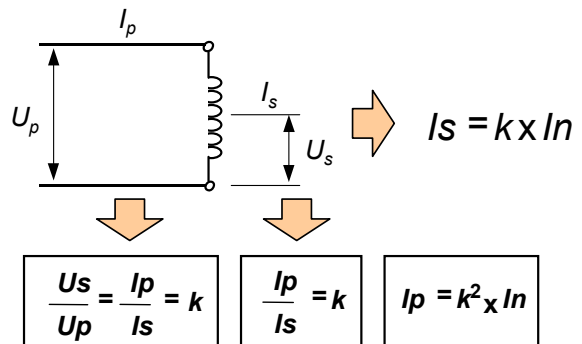
Esse método de partida atende melhor potências de carga superiores àquelas atendidas pela partida estrela-triângulo.

Nesse caso, o controle da potência ou da corrente é feito, mediante o ajuste de derivações na saída do auto-transformador, em porcentagens normalmente de 65% e 80%; porém, mais outras derivações podem ser previstas, contanto que as condições de utilização o necessitem . Também nesse sentido, quanto maior o numero de derivações, menor o desnível de uma derivação à outra quando da comutação e menor o impacto que a carga mecânica sofre, o que virá em benefício da vida útil do equipamento,

Esquema de ligação dos enrolamentos.



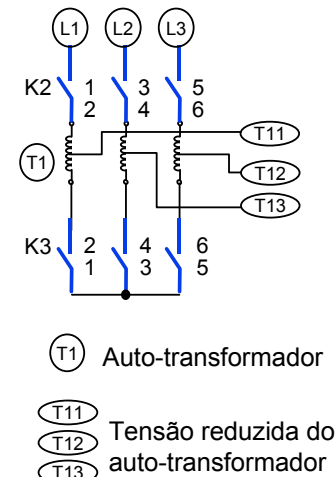
Demonstração para fórmula de cálculos.



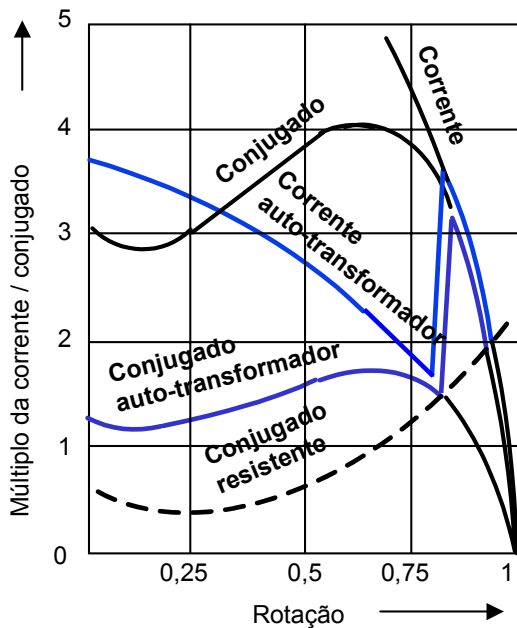
$$I_p = k^2 \times I_{partida} \quad (65\%)$$

$$I_p = 0,4225 \times (7 \times I_n)$$

$$I_p = 2,95 \times I_n$$



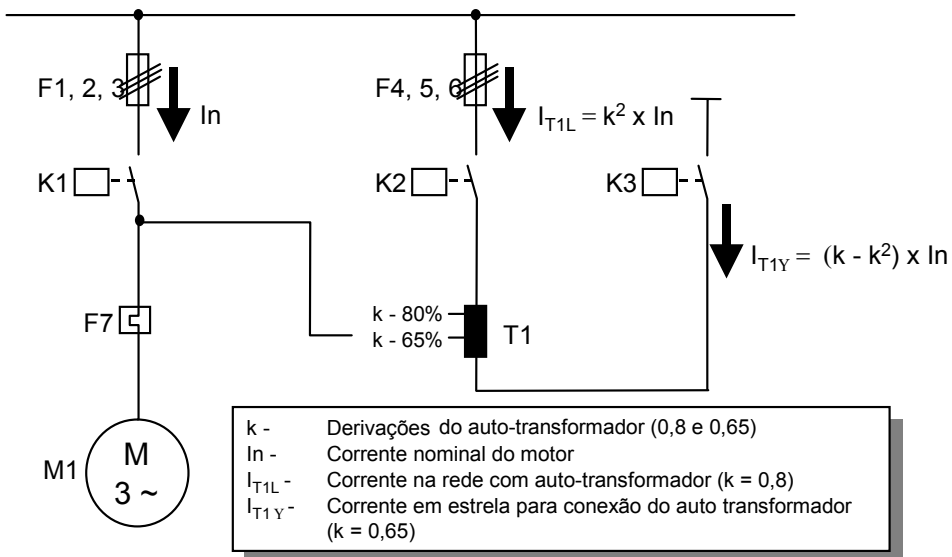
As características de corrente e conjugado ou momento nesse caso são:



- Aplicada no acionamento de máquinas de grande porte que partem com carga parcial
- Alivia o conjugado (torque) de aceleração em base a tensão inicial (reduzida), e conseqüente redução da disponibilidade de potência para alimentação
- Para permitir melhor adequação a partida no acionamento da máquina é parametrizável em tensão inicial (dois níveis a escolher) e em tempo para execução da partida
- Em base a sua composição exige melhor qualidade de supervisão para se obter confiabilidade de serviço
- Aplicável em motores a serem acionados à grande distância, otimizando em especial os condutores.

Unifilar

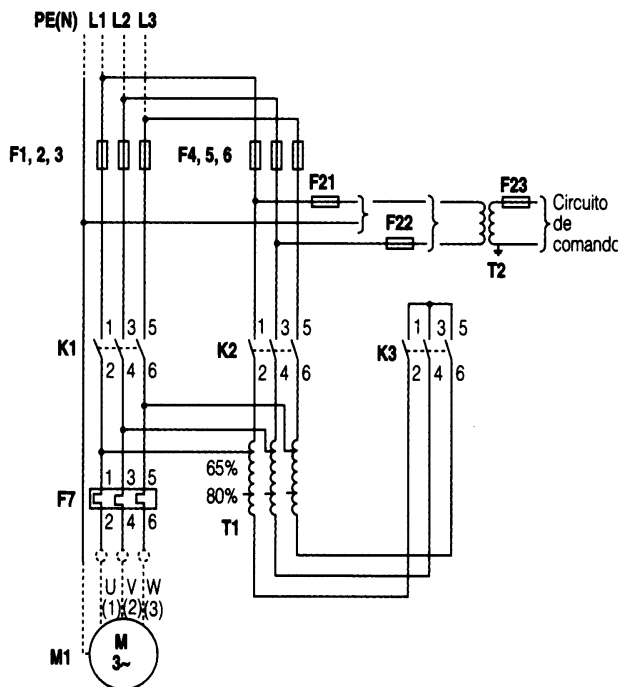
Definição dos valores de corrente para especificação dos componentes



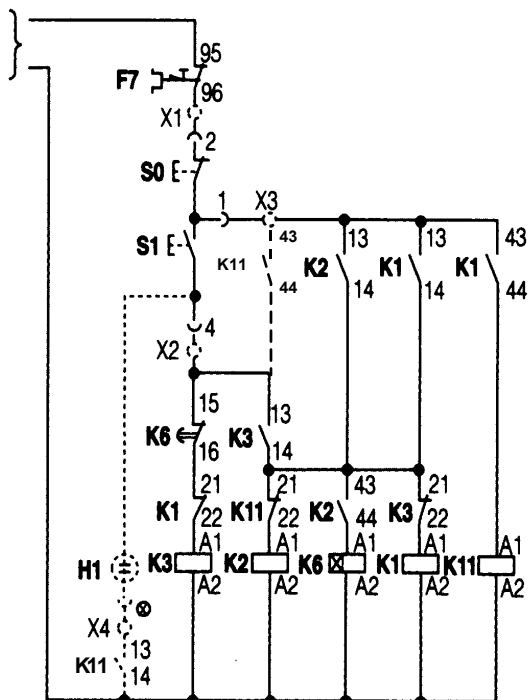
Esquema de ligação

Trifilar

Circuito de potência



Circuito de comando



Com botão de comando
duplo liga-desliga 3SA8

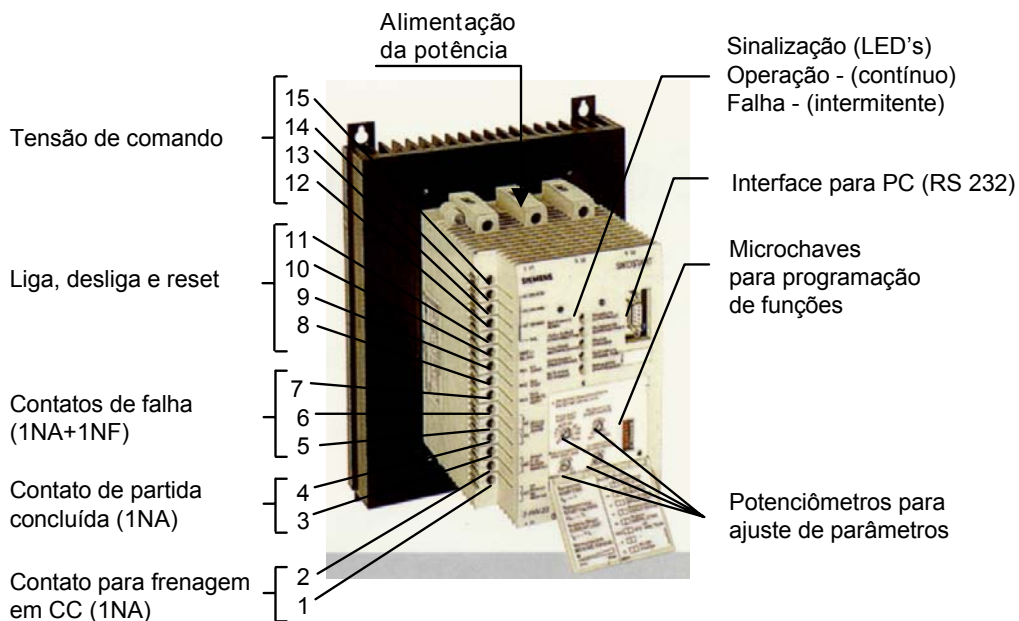
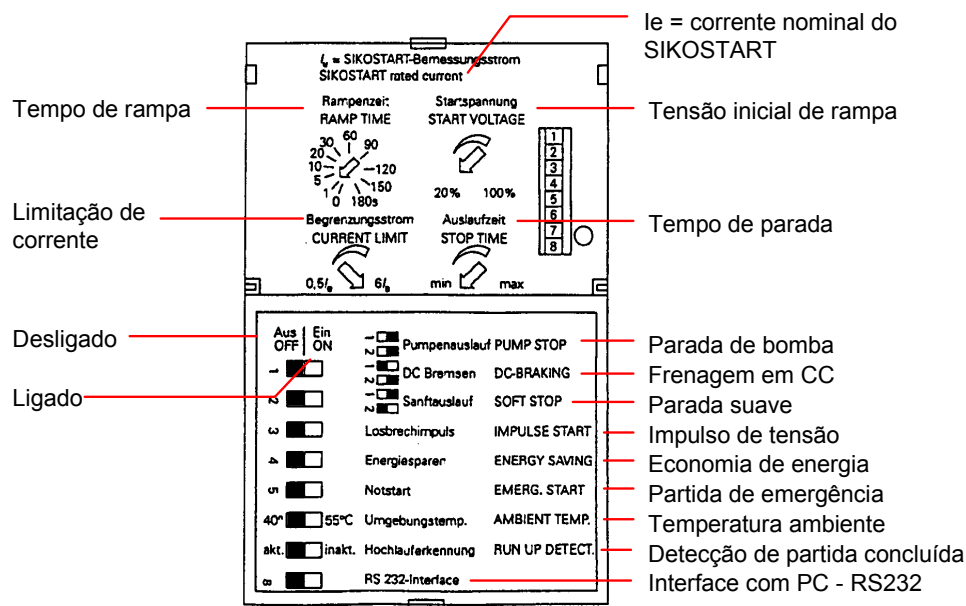
PARTIDA SUAVE (SOFT-STARTER).

É um dispositivo de manobra (em base eletrônica), adequado para partida e parada suave, e frenagem onde não se admitem “trancos” mecânicos. É atualmente mais utilizado em cargas acionadas por motores de potências superiores, operando em categoria de emprego AC-2 e AC-3. Assim, sua aplicação é mais encontrada em ventiladores de grande porte, esteiras transportadoras, bombas, compressores, máquinas com grande momento de inércia de modo geral, e outros semelhantes.

Suas características para especificação são definidas em um programa de simulação em PC e um programa de comunicação para colocação em operação, gerenciamento e manobra em PC.

Dispositivo de manobra estática para partida e parada suave – SIKOSTART

Dispositivo e seus componentes.



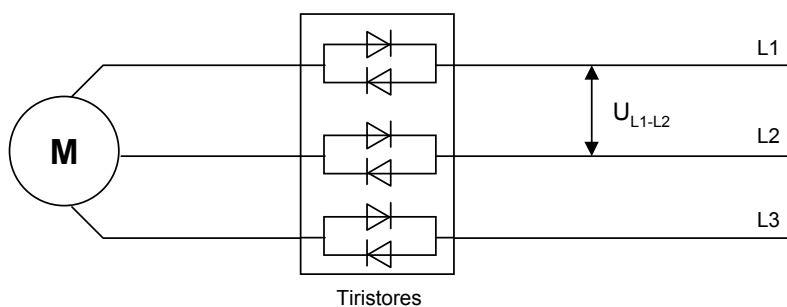
Princípio de funcionamento.

Neste método de partida, o controle da potência fornecida na fase de partida é feita mediante um escalonamento da fração da tensão de alimentação fornecida a cada instante, em um dado número de semicíclios de tensão, que pode ser ajustado às características desejadas, até o seu valor pleno. Esse programa de escalonamento é executado por meio de um par de tiristores por fase, ligados em anti-paralelo, e que atuam em função de um programa previamente estipulado.

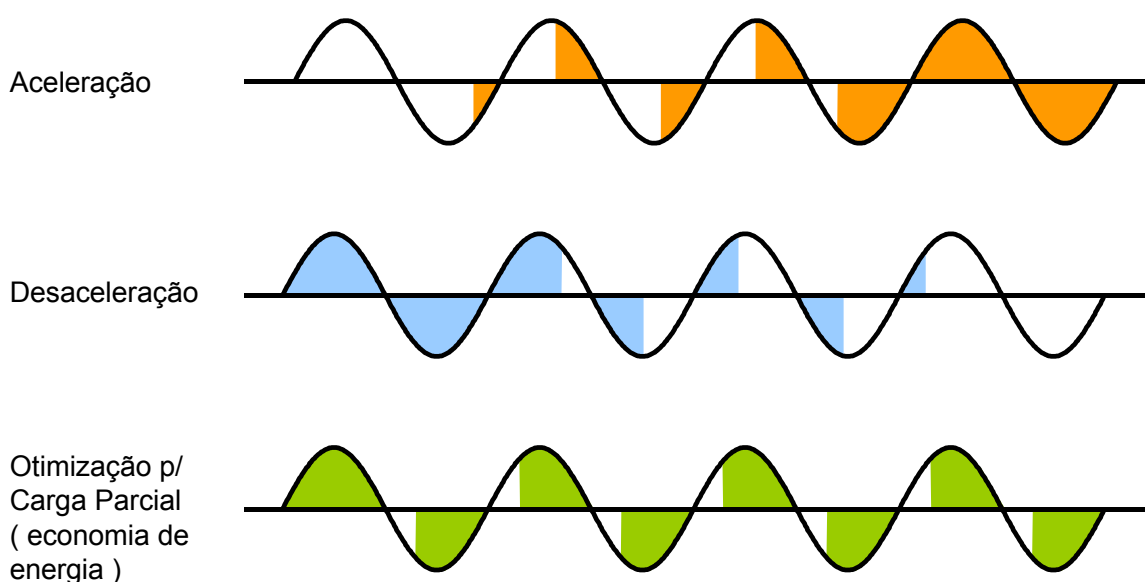
Com esse procedimento, tem-se a possibilidade de partir do estado de repouso e chegar ao de rotação plena, através de uma série de degraus, cuja variação atende plenamente à própria curva de carga.

O que é feito na aceleração, pode ser feito, no sentido inverso, na desaceleração, partindo-se da onda de tensão plena e chegando-se, passo a passo, a interrupção total das ondas de tensão.

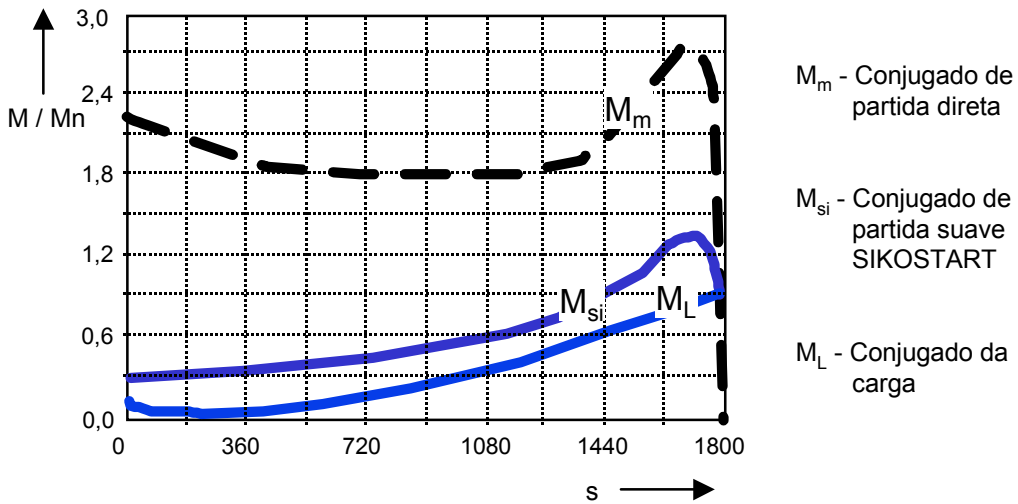
As figuras abaixo ilustram esse procedimento.



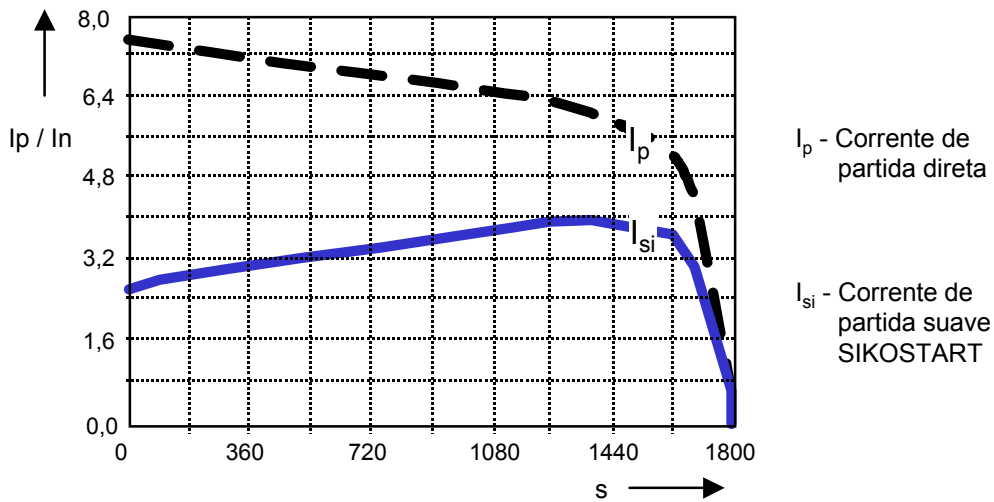
Variação de tensão no motor



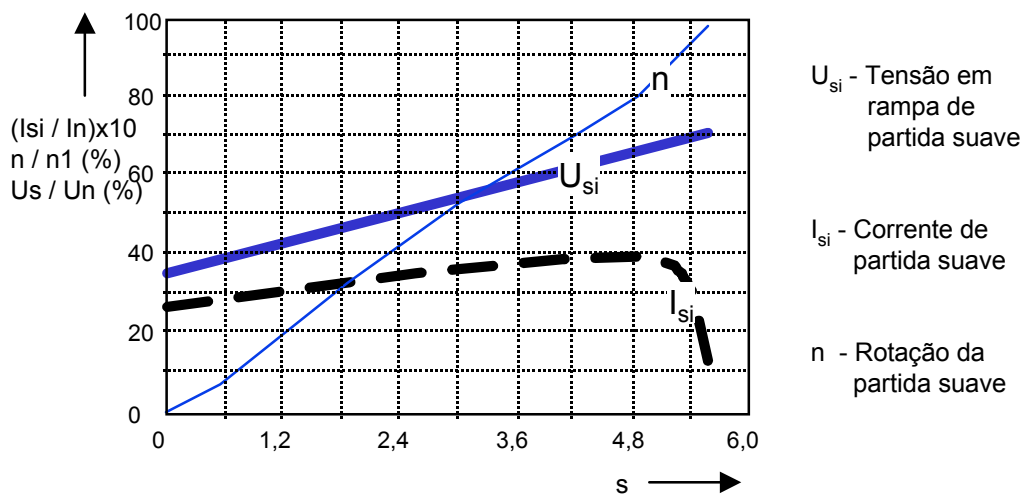
Desenvolvimento do conjugado com a rotação.



Desenvolvimento de corrente com a rotação



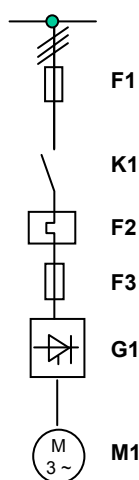
Desenvolvimento de tensão, corrente e rotação no tempo de partida



Assim segue seguintes as suas características básicas:

- Aplicada no acionamento de máquinas que partem em vazio e com carga ;
- Permite parametrização de tensão oferecendo uma aceleração progressiva e uniforme da máquina, o que possibilita a redução da potência necessária ;
- A qualidade de supervisão precisa ser de nível mais sofisticado;
- Pela ausência de choques mecânicos (trancos), na aceleração da máquina, aumentam consideravelmente os intervalos de manutenção, o que contribui para uma maior VIDA ÚTIL do equipamento, e
- Pelas características básicas, tem substituído a partida por auto-transformador (compensadora) com vantagens.

Coordenação de proteção



F1 - Fusíveis retardados NH para proteção do sistema

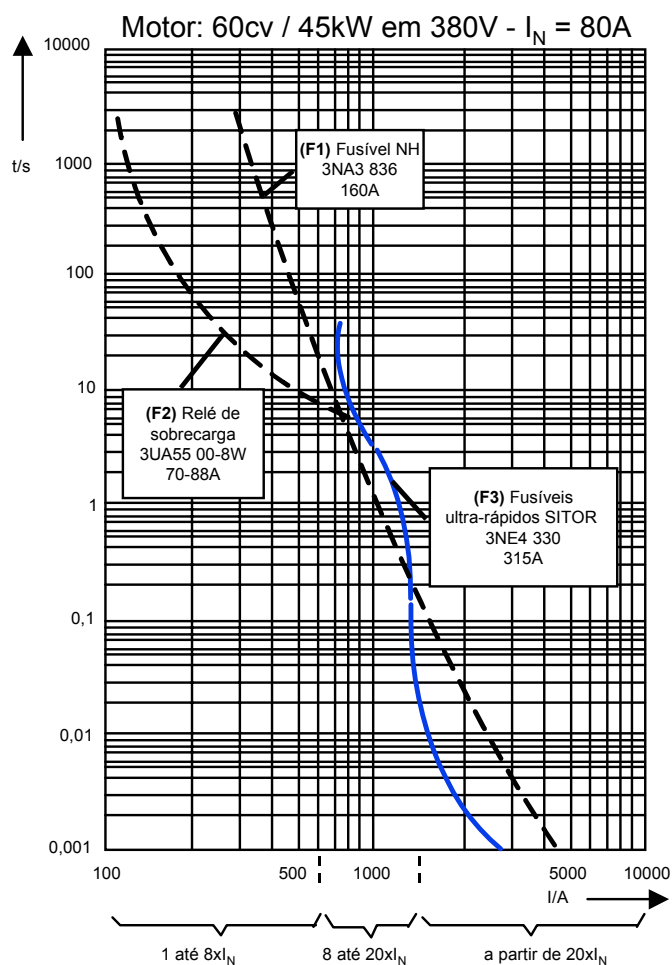
K1 - Contator de alimentação e retaguarda de manobra

F2 - Relé de sobrecarga para proteção do motor

F3 - Fusíveis ultra-rápidos SITOR para proteção de retaguarda da eletrônica de potência

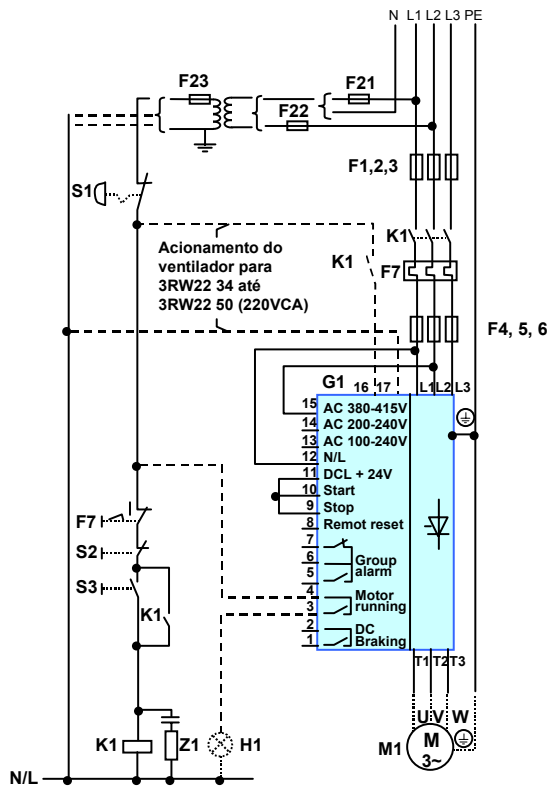
G1 - Dispositivo de manobra estática de partida e parada suave SIKOSTART

M1 - Motor trifásico com rotor em curto-circuito



Esquema de ligação.

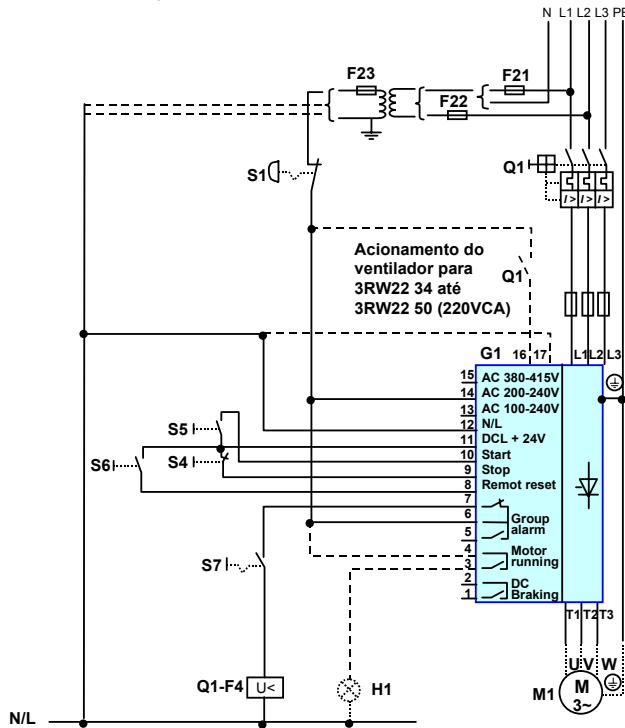
Usando contator como dispositivo de entrada



- F1, 2, 3 **Fusíveis**- proteção do sistema
- K1 **Contator**- dispositivo de entrada e retaguarda de manobra
- F7 **Relé de sobrecarga**- proteção e retaguarda para o motor
- F4, 5, 6 **Fusíveisultra-rápidos**- proteção e retaguarda da eletrônica de potência
- G1 **SIKOSTART**- Chave estática de partida suave
- F21/F22/F23 **Fusíveis**- proteção dos circuitos de comando
- S1 **Botão cogumelo com retenção** desligamento de emergência do comando e potência
- S2/S3 **Botão de impulso** liga-desliga do comando e potência
- Z1 **Supressor desobretensão**- RC ou varistor
- H1 **Sinalização**- motor em regime normal de operação

Esquema de ligação.

Usando disjuntor como dispositivo de entrada



- Q1 **Disjuntor** - dispositivo de entrada e retaguarda de manobra com proteção (curto-circuito e sobrecarga)
- F4, 5, 6 **Fusíveis** - proteção e retaguarda da eletrônica de potência
- G1 **SIKOSTART** - dispositivo estático de partida e parada suave
- F21/F22/F23 **Fusíveis** - proteção dos circuitos de comando
- S1 **Botão cogumelo com retenção**- desligamento de emergência do comando e potência
- S4/S5 **Botão de impulso** - liga-desliga do comando
- S6 **Botão de impulso** - rearme após parada suave/falhas
- S7 **Comutador com retenção**- preparação do acionamento
- Q1 - F4 **Relé de subtensão do disjuntor** - para desligamento de emergência do comando e potência
- H1 **Sinalização** - motor em regime normal de operação

Oscilogramas de corrente e conjugado.

Sempre lembrando a origem da necessidade dos dispositivos de partida, e após sua análise detalhada, vamos ver os resultados obtidos, mediante medições em oscilogramas, conforme representado no que segue.

Observe :

1. Na partida direta, a corrente de partida tem uma intensidade da ordem de até $8 \cdot I_n$.
2. No mesmo período da sobrecorrente, tem-se um impacto de conjugado médio que atinge até $3 \cdot M_n$, e conseqüente rápida fadiga mecânica do material;
3. Já na partida estrela-triângulo, o pico de corrente na ligação estrela (que é o primeiro), se reduz a $1/3$ do valor anterior, e parcialmente, o conjugado nesse instante. Passada a fase de partida, aparece um pico de corrente quando o dispositivo de partida é comutado para triângulo, mas o correspondente pico de conjugado é de quantidade de energia mecânica bem menor.
4. Usando a partida suave, todo esse processo se distribui ao longo do tempo de partida, evitando as inconveniências anteriores.

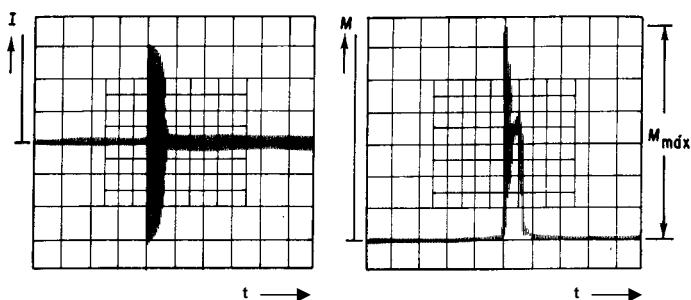
Oscilogramas.

Desenvolvimento de partida

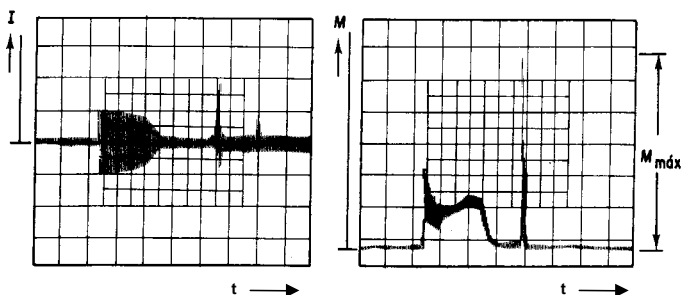
Corrente

Conjugado

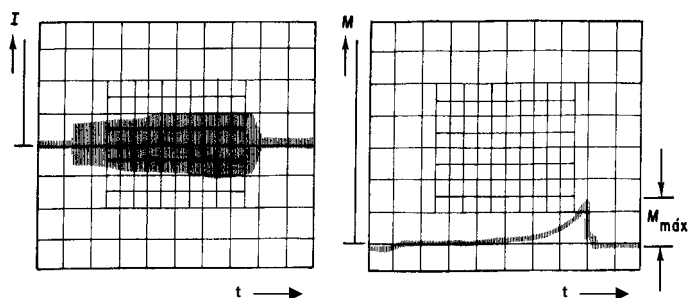
Partida direta (plena tensão)



Partida estrela-triângulo (tensão reduzida)



Partida suave - Softstarter (rampa de tensão)



Quando da construção ou montagem desses dispositivos de partida, de todos os tipos analisados, é claro que precisamos, em função de alguns dados básicos da própria carga ligada, fazer a escolha dos componentes apropriados.

Nesse sentido, a título de exemplo, seguem tabelas já preparadas pelo fabricante, onde, para algumas potências motoras de referência mais freqüentes, já temos a indicação de todos os componentes principais dos circuitos respectivos, que são muito úteis para rapidamente resolver esse aspecto de um projeto.

Alguns detalhes devem ser destacados:

- As categorias de emprego são basicamente as AC-2 e AC-3, portanto, de motores tipo anel (ou enrolado, bobinado) sendo AC-2 e o motor tipo gaiola, como AC-3.
- Tanto nos disjuntores quanto nos contatores previstos, já vem a indicação da faixa de ajuste dos relés de sobrecarga. De modo geral, o ajuste se faz no valor da corrente de serviço, e esse valor deve preferencialmente cair do meio para o final (fundo) da respectiva faixa de ajuste.
- Os fusíveis máximos indicados são do tipo retardado, que são próprios para motores elétricos. No caso particular da partida suave, a parte de potência é protegida por fusíveis retardados, porém a parte da eletrônica de potência (tiristores), por fusíveis ultra-rápidos. Caso contrário, os tiristores não suportarão eventuais sobrecorrentes durante o seu tempo normal de operação.
- A corrente presumida de curto-circuito, indicada, deve ser comparada com o valor existente na instalação a que o dispositivo de partida se destina. No caso de grande divergência, consultar o fabricante dos dispositivos, quanto à necessidade de alguma mudança no critério de escolha do material.

Partida direta.

Coordenação tipo 2

Tabela de escolha

<i>Motores trifásicos</i>				<i>Componentes:</i>				
Potências máximas admissíveis em serviço normal AC-2 / AC-3, 60 Hz em	Corrente nominal máxima			Contator K1	Relé de sobrecarga F7	Faixa de ajuste (A)	Fusível máximo DIAZED, NH F1, 2, 3 (A)	
	220 V	380 V	440 V					(A)
(cv) (kW)	3 2,2	5 3,7	6 4,5	9	3RT10 16-1A□□1 ¹⁾	3RU11 16-1JB0	7 - 10	20
(cv) (kW)	25 18,5	40 30	40 - 50 30 - 37	63	3RT10 44-1A□□0 ¹⁾	3RU11 46-4HB0	45 - 63	100

1) Complementação do tipo (□□): consultar catálogo dos contatores para a tensão e freqüência de comando desejadas

2) Tensão de comando: 110 V 50-60 Hz **G** e 220 V 50-60 Hz **M**

3) Coordenação tipo 1 - IEC 60947

Corrente presumida de curto-circuito: veja capacidade de interrupção do fusível

Partida direta.
Coordenação tipo 1

Tabela de escolha

<i>Motores trifásicos</i>			<i>Componentes:</i>					
Potências máximas na categoria de utilização AC-3 60 Hz em			Corrente nominal máxima (A)	Disjuntor		Contator (para completar o tipo, ver tabela) K1	Relé de sobrecarga	
220 V (cv / kW)	380 V 400 V (cv / kW)	440 V 500 V (cv / kW)		Q1	Faixa de ajuste (A)		F1	Faixa de ajuste (A)
3 / 2,2	5 / 3,7	6 / 4,5	9	3RV10 11-1KA10	9 - 12	3RT10 16-1A□□ ¹⁾	3RU11 16-1JB0	7 - 10
25 / 18,5	40 / 30	40 / 30 50 / 37	63	3RV10 41-4KA10	57 - 75	3RT10 44-1A□□ ¹⁾	3RU11 46-4HB0	45 - 63

1) Complementação do tipo (□□): consultar catálogo dos contatores para a tensão e frequência de comando desejadas

Corrente presumida de curto-circuito: 50 kA em 500 VCA

Partida direta.
Coordenação tipo 2

Tabela de escolha

<i>Motores trifásicos</i>			<i>Componentes:</i>					
Potências máximas na categoria de utilização AC-3 60 Hz em			Corrente nominal máxima (A)	Disjuntor		Contator (para completar o tipo, ver tabela) K1	Relé de sobrecarga	
220 V (cv / kW)	380 V 400 V (cv / kW)	440 V 500 V (cv / kW)		Q1	Faixa de ajuste (A)		F1	Faixa de ajuste (A)
3 / 2,2	5 / 3,7	6 / 4,5	9	3RV10 21-1KA10	9 - 12,5	3RT10 34-1A□□ ¹⁾	3RU11 36-1JB0	7 - 10
25 / 18,5	40 / 30	40 / 30 50 / 37	63	3RV10 41-4KA10	57 - 75	3RT10 44-1A□□ ¹⁾	3RU11 46-4HB0	45 - 63

1) Complementação do tipo (□□): consultar catálogo dos contatores para a tensão e frequência de comando desejadas

Corrente presumida de curto-circuito: 50 kA em 500 VCA

Partida estrela-triângulo.
Coordenação tipo 2

Tabela de escolha

Motores trifásicos					Componentes:					
Potências máximas admissíveis em serviço normal AC-3, 60 Hz em					Relé de tempo K6 - 7PU06 20-7N□□0 ¹ e					
				Corrente nominal máxima (A)	Contatores		Relé de sobrecarga		Fusível máximo DIAZED, NH	
220 V	380 V	440 V			K1 e K2	K3	F7	Faixa de ajuste (A)	F1, 2, 3 (A)	F4, 5, 6 (A)
(cv) (kW)	20 15	40 30	40 30	56	3RT10 34-1A□□0 ¹	3RT10 26-1A□□0 ¹	3RU11 36-4FB0	28 - 40	63 63	- 63
(cv) (kW)	30 22	50 37	60 45	74	3RT10 35-1A□□0 ¹	3RT10 34-1A□□0 ¹	3RU11 36-4GB0	36 - 45	50	50

1) Complementação do tipo (□□): consultar catálogo dos contatores e relé de tempo para a tensão e freqüência de comando desejadas. Utilizar bloco aditivo de contatos auxiliares para atender ao esquema de ligação

Corrente presumida de curto-circuito: veja capacidade de interrupção do fusível

Partida estrela-triângulo.
Coordenação tipo 1

Tabela de escolha

Motores trifásicos					Componentes:					
Potências máximas admissíveis em serviço normal AC-3, 60 Hz em					Relé de tempo K6 - 7PU06 20-7N□□0 ² e					
				Corrente nominal máxima (A)	Disjuntor	Contatores		Relé de sobrecarga		
220 V	380 V	440 V				Q1	Corrente nominal (A)	K1 e K2	K3	F1
(cv) (kW)	20 15	40 30	40 30	56	3RV13 41-4JC10	63	3RT10 34-1A□□0 ¹	3RT10 26-1A□□0 ¹	3RU11 36-4FB0	28 - 40
(cv) (kW)	30 22	50 37	60 45	74	3RV13 41-4KC10	75	3RT10 35-1A□□0 ¹	3RT10 34-1A□□0 ¹	3RU11 36-4GB0	36 - 45

1) Complementação do tipo (□□): consultar catálogo dos contatores e relé de tempo para a tensão e freqüência de comando desejadas. Utilizar bloco aditivo de contatos auxiliares para atender ao esquema de ligação

Corrente presumida de curto-circuito: até 205A
50 kA em 220 / 380 VCA
- 40 kA em 440 VCA
- 25 kA em 500 VCA

Partida por auto-transformador (compensadora). Coordenação tipo 2

Tabela de escolha

Motores trifásicos				Componentes: Relé de tempo K6 - 7PU00 20-7A□□ ¹⁾ e contator auxiliar K11 - 3TH40 22-0A□□ ¹⁾ ou 3TH30 22-0A□□ ¹⁾ e							
Potências máximas admissíveis em serviço normal AC-3, 60 Hz em				Corrente nominal máxima (A)	Contatores			Relé de sobrecarga		Fusível máximo DIAZED, NH	
	220V	380V	440V		K1	K2	K3	F7	Faixa de ajuste (A)	F1, 2, 3 (A)	F4, 5, 6 (A)
(cv) (kW)	100 75	175 132	200 150	250	3TF54 22-0A□□ ¹⁾	3TF52 22-0A□□ ¹⁾	3TF49 22-0A□□ ¹⁾	3UA66 00-3D	200 - 320	315	224
(cv) (kW)	300 220	500 375	550 400	700	3TF69 44-0C□□ ¹⁾	3TF57 22-0C□□ ¹⁾	3TF54 22-0A□□ ¹⁾	3RB12 62-0L□□ ²⁾	200 - 820	1000 ³⁾	500

1) Complementação do tipo (□□): consultar catálogo dos contatores e relé de tempo para a tensão e frequência de comando desejadas

2) Tensão de comando: 110 V 50-60 Hz **G** e 220 V 50-60 Hz **M**

3) Coordenação tipo 1 - IEC 60947

Corrente presumida de curto-circuito: veja capacidade de interrupção do fusível

Partida por auto-transformador (compensadora). Coordenação tipo 1

Tabela de escolha

Motores trifásicos				Componentes: Relé de tempo K6 -7PU00 20-7N□□ ²⁾ 0 contator auxiliar K11 -3TH40 22-0A□□ ²⁾ e							
Potências máximas admissíveis em serviço normal AC-3, 60Hz em				Corrente nominal máxima (A)	Disjuntor		Contator			Relé de sobrecarga	
	220V	380V	440V		Q1	Ajuste (A)	K1	K2	K3	F1	Faixa de ajuste (A)
(cv) (kW)	100 75	175 132	200 150	250	3VF51 11-6EL71-0AA0	160 - 315	3TF54 22-0A□□ ²⁾	3TF52 22-0A□□ ²⁾	3TF49 22-0A□□ ²⁾	3UA66 00-3D	200 - 320
(cv) (kW)	200 150	350 250	400 300	475	3VF61 11-6EL74-0AA0	250 - 500	3TF57 22-0C□□ ²⁾	3TF55 22-0A□□ ²⁾	3TF52 22-0A□□ ²⁾	3UA68 00-3F	320 - 500

2) Complementação do tipo (□□): consultar catálogo dos contatores para a tensão e frequência de comando desejadas

Corrente presumida de curto-circuito:
até 205A - 50 kA em 220 / 380 VCA
- 40 kA em 440 VCA
- 25 kA em 500 VCA

até 475A - 50 kA em 220 / 380 / 440 VCA
- 40 kA em 500 VCA

Partida suave (soft-starter). SIKOSTART

A tabela de escolha destina-se a especificação da partida estática (soft-starter) para motores acoplados à bombas e compressores centrífugos que trabalham em rede com válvula/registro ajustada a meia vazão na partida ou ventiladores e exaustores em que o momento de inércia referido ao eixo do motor seja menor que 10 vezes o momento de inércia do motor, frequência de manobras de até 10 manobras por hora, fator de marcha 30%, parametrizada e programada, conforme segue:

Parametrização - Potenciômetros

Tempo de rampa (Ramp time): até 10 s

Tensão inicial (Start voltage): 35 a 50%

Limite de corrente (Limit current): $\cong 4,5 \times I_n$

Tempo de parada (Stop time): qualquer posição (até 10 s ²⁾)

Programação - Microchaves (veja página 73)

1 - Desligada	- à esquerda ²⁾	5 - Desligada	- à esquerda
2 - Desligada	- à esquerda ²⁾	40°C	- à esquerda
3 - Desligada	- à esquerda	Ativo	- à esquerda
4 - Desligada	- à esquerda	Desligada	- à esquerda

2) Parada de bombas (se necessário microchaves 1 e 2 ligadas à direita)

Partida suave

Coordenação tipo 2

Tabela de escolha

Motores trifásicos				Componentes: Temperatura máxima ambiente 40°C						
Potências máximas admissíveis em serviço normal AC-2/AC-3, 60 Hz em				Partida suave SIKOSTART	Corrente nominal (A)	Contator ³⁾ ou Disjuntor ⁴⁾ de rede K1 ³⁾ Q1 ⁴⁾	Relé de sobrecarga F7	Faixa de ajuste (A)	Fusíveis Ultra-rápidos SITOR F4, 5, 6 (A) - (tipo)	Retardado NH F1, 2, 3 (A) - (tipo)
220 V	380 V	440 V	G1							
(cv)	50	100	100	3RW22 35 0DB15	135	3TF51 22-0A □□	3UA61 00-3K	120 - 150	315 - 3NE4 330	200 - 3NE3 140
(kW)	37	75	75			3VF32 11-6ES71-0AA0				
(cv)	125	200	200	3RW22 40-0DB15	300	3TF55 22-0A □□	3UA66 00-3D	200 - 320	710 - 3NE4 337	400 - 3NE3 260
(kW)	90	150	150			3VF51 11-6EL71-0AA0				
(cv)	350	600	700	3RW22 47-0DB15	865	3TF69 44-0C □□	3RB12 62-0L □□20 ⁶⁾	200 - 820	(3X)	1250 - 3NE3 482
(kW)	250	450	500			3WN62 61-0FB05-0AA3				

3) Complementação do tipo (□□): consultar catálogo dos contadores para a tensão e frequência de comando desejadas

4) Definição da especificação em base a corrente de curto-circuito, consultar catálogo do disjuntor. Para atender aos esquemas de ligação, especificar como acessórios o relé de sub-tensão e contatos auxiliares

5) Número de fusíveis em paralelo por fase.

6) Tensão de comando: 110 V 50-60 Hz **G** e 220 V 50-60 Hz **M**

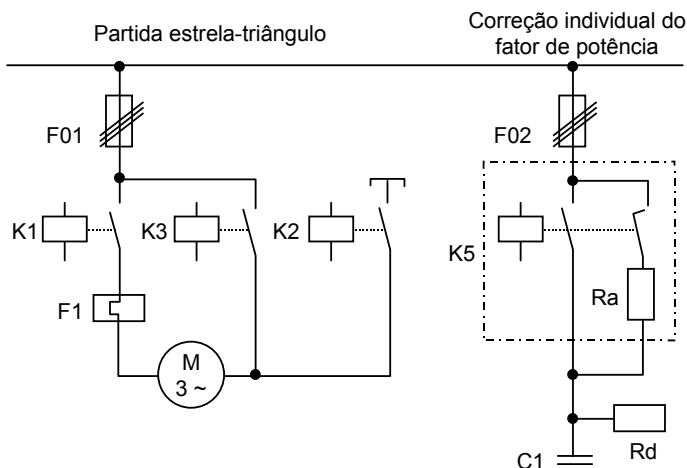
CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.

Pelo formulário básico dado no início desse texto, vimos que o fator de potência é parte da determinação da potência ativa, que se transforma em trabalho útil. Esse fator de potência depende do tipo de carga: são as cargas resistivas que tem seu valor mais elevado (praticamente igual a unidade), e cargas indutivas, que tem valores sensivelmente menores (da ordem de 0,65-0,70).

Sabemos que esse fator de potência resulta do defasamento vetorial entre tensão e corrente, e que o defasamento indutivo é contrário ao capacitivo. Portanto, se temos um baixo fator de potência indutivo, podemos compensá-lo sobrepondo à ele um defasamento capacitivo.

Isso, na realidade, se faz, associando motores (carga indutiva) com capacitores (carga capacitiva). Nesse sentido, para possibilitar uma rápida correção do fator de potência da carga principal ligada, se essa tem baixo fator de potência, podemos utilizar o esquema de ligação de capacitores indicado, para uma compensação individual, que porém não é a única existente. Indicamos ainda uma tabela que possibilita o cálculo da potência capacitiva a ser instalada, em função do fator de potência que se quer alcançar. Valores de referência são compreendidos entre 0,95 e 0,98, lembrando que, pela atual legislação da área energética, o valor mínimo é de 0,92.

Esquema de ligação



- K5**- Contator para manobra de capacitores
- Ra**- Resistor de amortecimento (já incluído no contator)
- Rd**- Resistor de descarga (já incluído no banco de capacitores)
- C1**- Banco de capacitores

Tabela de cálculo da potência capacitiva necessária.

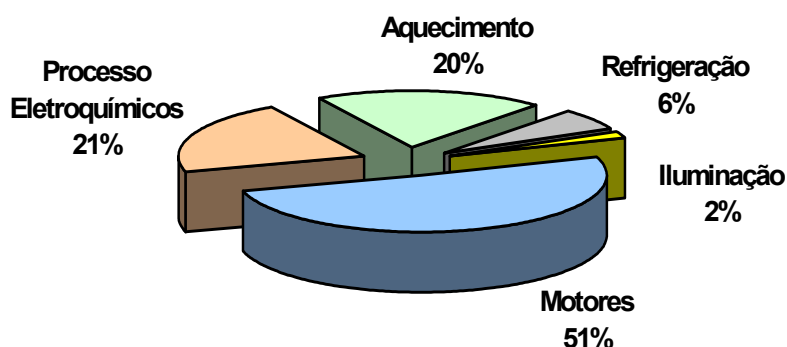
Fatores de multiplicação para determinar a potência capacitiva (kvar) necessária a correção do fator de potência.

Fator de potência na instalação	Valores para cálculo de potência capacitiva (kvar) por potência ativa (kW) com fator de potência corrigido para						
	0.90	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.70	0.536	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.75	0.398	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.80	0.266	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.85	0.136	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.90	0.000	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.95	0.000	0.000	0.037	0.079	0.126	0.186	0.329
0.96			0.000	0.041	0.089	0.149	0.292
0.97				0.000	0.048	0.108	0.251
0.98					0.000	0.060	0.203

MOTORES ELÉTRICOS

Sem ser a única, os motores elétricos são a **principal carga industrial** que encontramos ligada aos dispositivos antes mencionados.

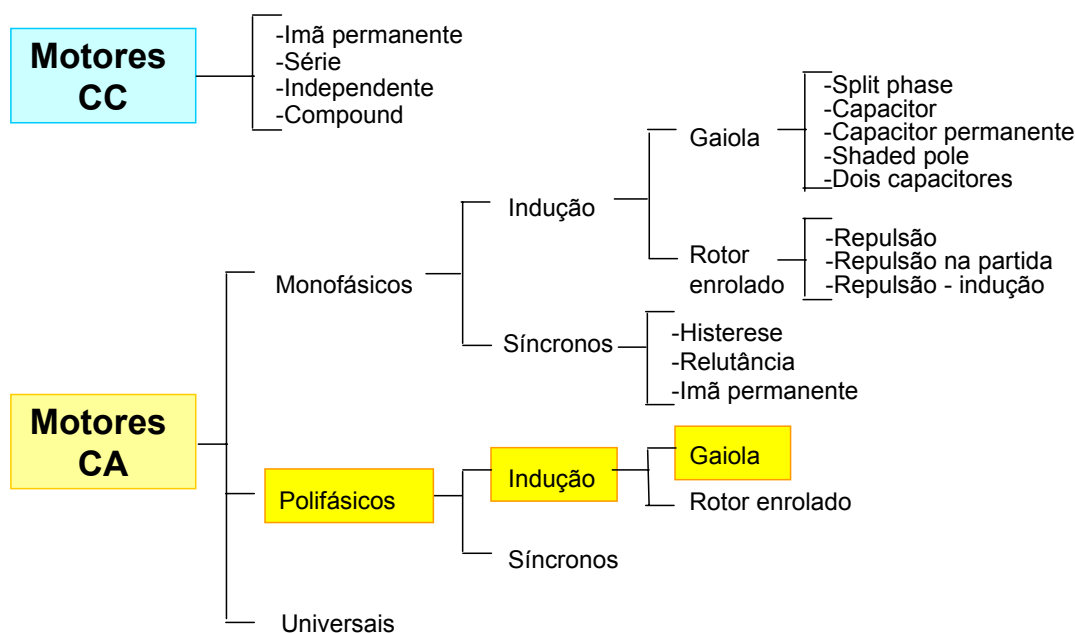
Em termos globais, de recente levantamento estatístico, o mercado brasileiro de consumo se apresenta como representado abaixo.



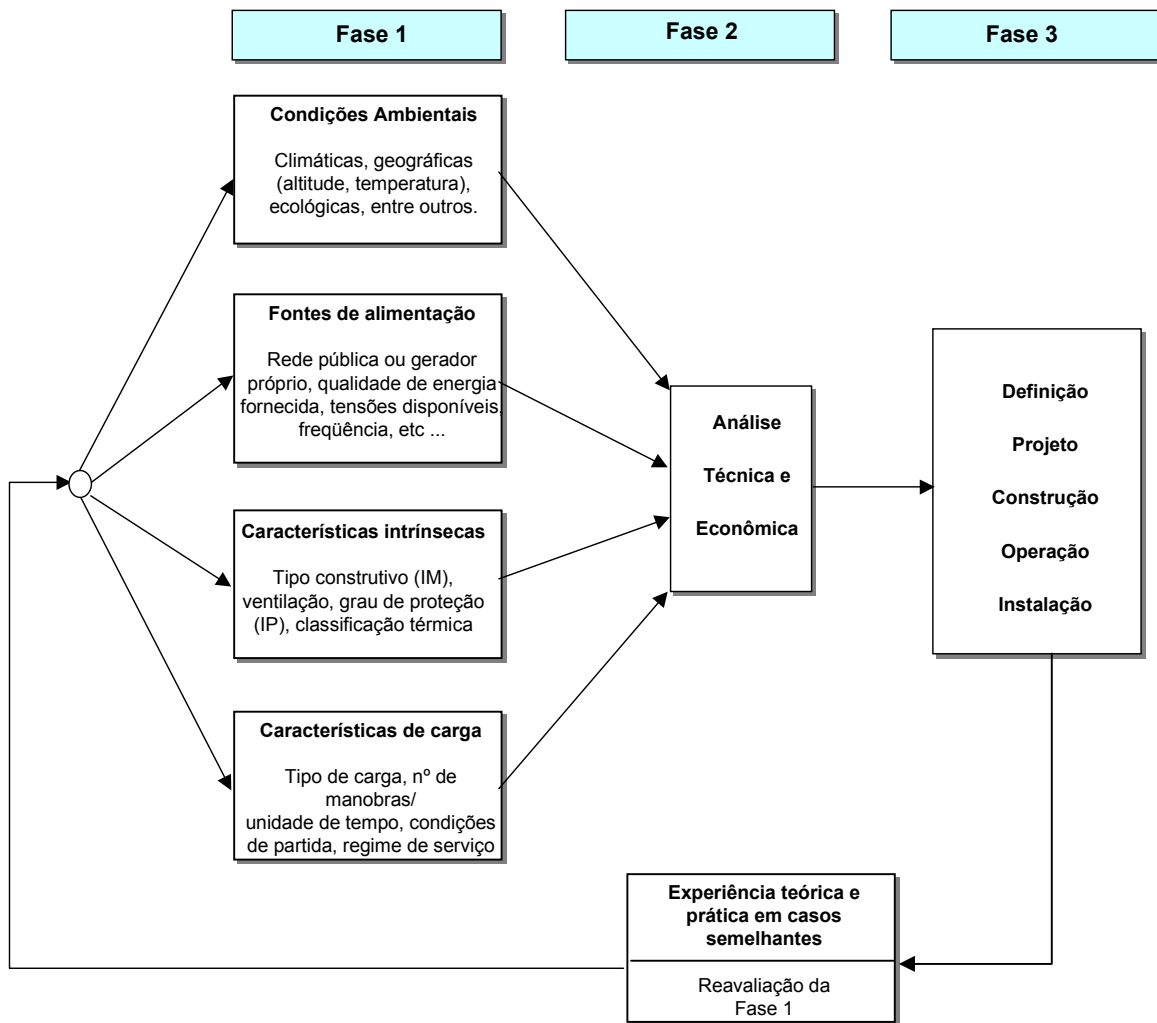
Dos diversos tipos de motores, representados no que segue, **cerca de 85-90 % se concentram nos motores de corrente alternada (CA), polifásicos, indução ,gaiola**, que, apesar de não serem necessariamente os eletricamente melhores, são os mais robustos e baratos. Essa é a razão de sua preferência.

Tais motores, até há pouco tempo atrás, eram freqüentemente fabricados com elevadas perdas, o que evidentemente **prejudicava o seu uso racional** e dava um mau aproveitamento a energia gerada. Atualmente, porém, apesar de um custo um pouco mais elevado na aquisição, **os motores de alto rendimento tem sido preferidos**, até porque o custo a mais é compensado com uma boa rapidez pelas menores perdas que tem que ser pagas e não produzem trabalho útil.

Família dos motores elétricos



Quando da definição do motor que necessitamos para acionar uma certa carga, a potência elétrica (P em kW ou cv, e não em hp), a tensão elétrica (U , em volts ou V), a frequência e o fator de potência são fatores fundamentais, porém não únicos. Para orientar sob esse aspecto, acompanhe a figura que segue, que menciona os fatores que precisam ser definidos.



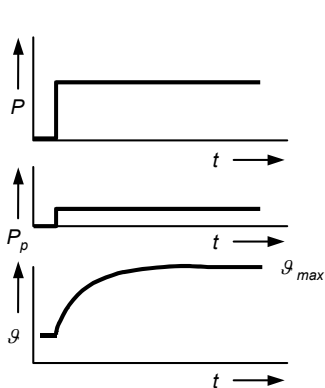
REGIMES DE SERVIÇO.

Um motor elétrico não vai, necessariamente, ficar ligado o tempo todo, de modo que, como esse fato vai influir sobre o dimensionamento da potência necessária para acionar uma carga, a norma de motores definiu 8 regimes diferentes, representados no que segue. Nessas curvas, a primeira indica a grandeza e o tempo de circulação da carga ligada (P , em watts), a segunda, as perdas (joule e magnéticas) que aparecem durante a fase de funcionamento, e a terceira, a elevação de temperatura que ocorre devido as perdas citadas.

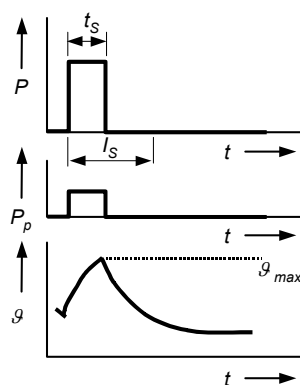
Observe-se que, a temperatura máxima que o motor vai poder ter (soma da temperatura ambiente + o aquecimento devido as perdas) é um valor que depende dos materiais (sobretudo isolantes) com que o motor é fabricado. Nesse sentido, podemos fazer referência a norma NBR 7034, cuja **classificação geral** está integralmente reproduzida mais adiante, e mais um **detalhamento de uma dessas classes**, para demonstrar o detalhe dado pela norma.

Portanto: a temperatura a que o componente / equipamento pode chegar , **NÃO É UM VALOR ÚNICO ! Depende da classe de temperatura que os materiais suportam.**

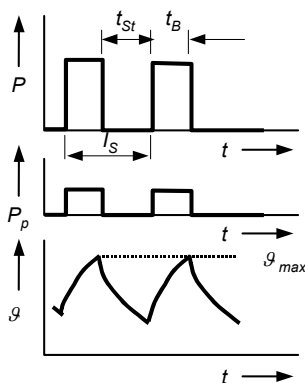
Regimes de serviço



S₁: Serviço contínuo



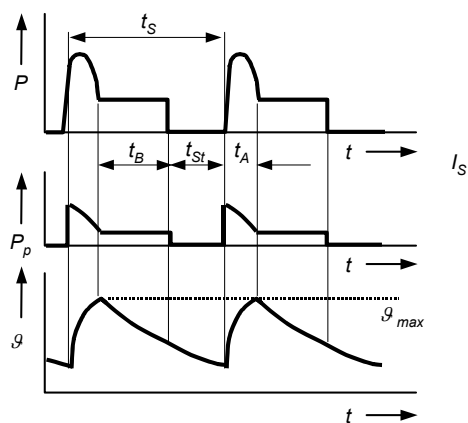
S₂: Serviço de breve duração



S₃: Serviço intermitente sem influência da partida

Fator de duração do ciclo:

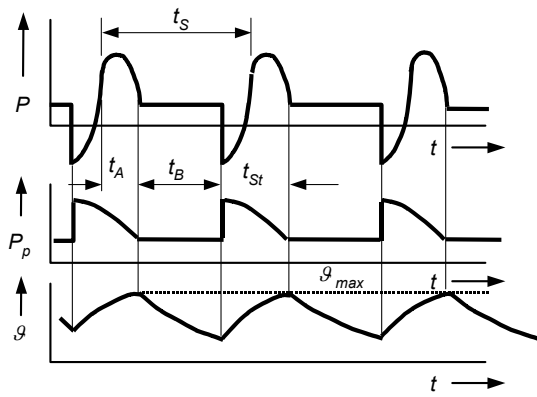
$$t_r = \frac{t_B}{t_B + t_{St}}$$



S₄: Serviço intermitente com influência da partida

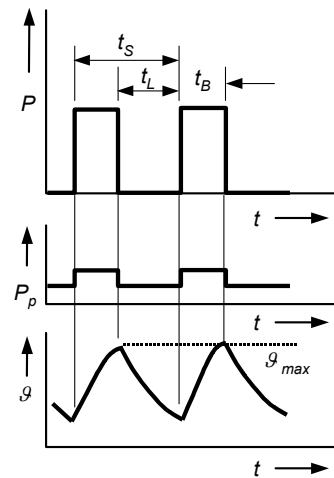
Fator de duração do ciclo:

$$t_r = \frac{t_A + t_B}{t_A + t_B + t_{St}}$$



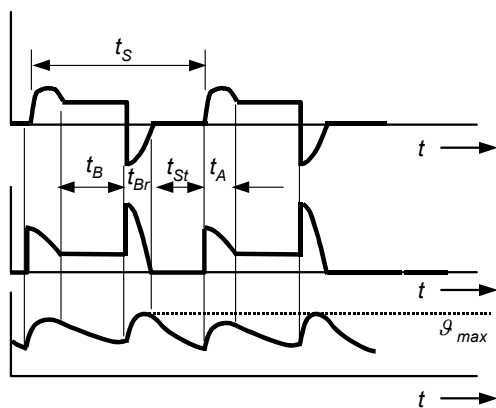
S₇: Serviço ininterrupto com partida e frenagem elétrica

Fator de duração do ciclo: $t_r = 1$



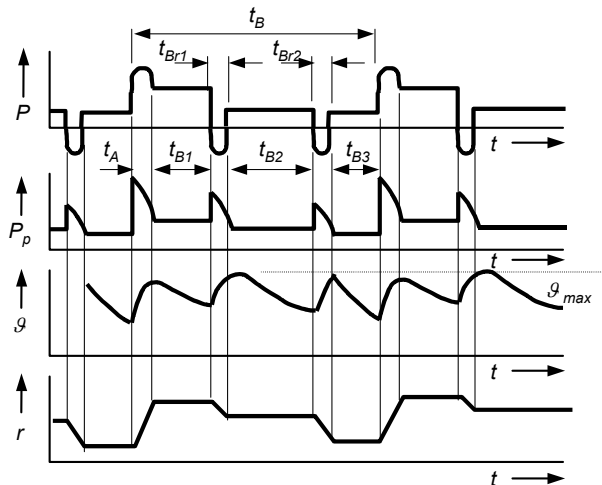
S₆: Serviço contínuo com carga intermitente

Fator de duração do ciclo: $t_r = \frac{t_B}{t_B + t_L}$



S₅: Serviço intermitente com influência da frenagem elétrica

Fator de duração do ciclo: $t_r = \frac{t_A + t_B + t_{Br}}{t_A + t_B + t_{Br} + t_{St}}$



S₈: Serviço ininterrupto com variações periódicas de velocidade

Fatores de duração do ciclo:

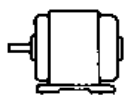
$$t_{r1} = \frac{t_A + t_{B1}}{t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3}}$$

$$t_{r2} = \frac{t_{Br1} + t_{Br2}}{t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3}}$$

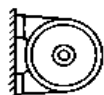
FORMAS CONSTRUTIVAS.

Na construção do motor, um dos aspectos a serem considerados é a sua fixação, que pode ser feita de diversas maneiras, dependendo basicamente do **projeto da máquina mecânica acionada**. A norma brasileira, baseada na IEC, define as seguintes formas, identificadas pelas letras **IM** (de **I**nternational **M**ounting **S**ystem), seguido de uma letra e um ou dois números característicos.

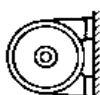
Formas construtivas NBR 5031 / DIN IEC 34 Parte 7



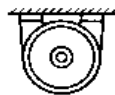
IM B3



IM B6



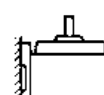
IM B7



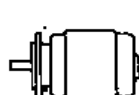
IM B8



IM V5



IM V6



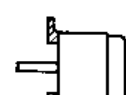
IM B5



IM V1



IM V3



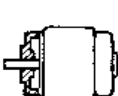
IM B9



IM V8



IM V9



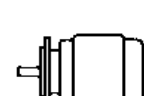
IM B14



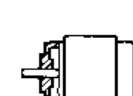
IM V18



IM V19



IM B35



IM B34

CLASSIFICAÇÃO TÉRMICA DOS MATERIAIS ISOLANTES.

Baseado na norma NBR 7034, os motores podem pertencer a uma das seguintes Classes de Temperatura:

Classe	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura de Serviço (°C)
Y	90	80
A	105	95
E	120	110
B	130	120
F	155	145
H	180	170
C	Acima de 180	Depende do material

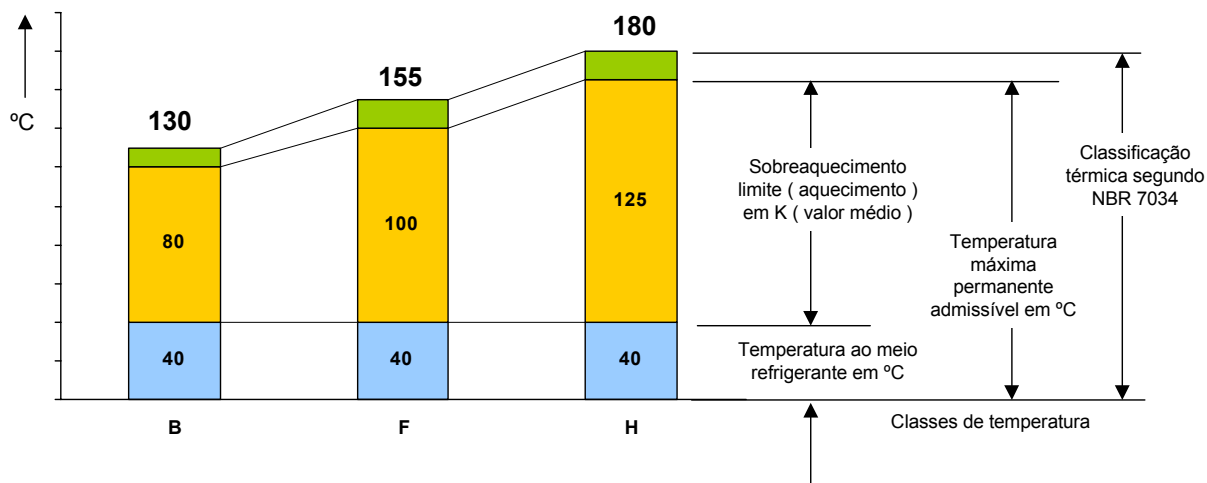
Cada uma dessas classes é formada de materiais, particularmente isolantes, que são os termicamente mais sensíveis, suportando menores temperaturas do que os metais utilizados. Os materiais que suportam as temperaturas mencionadas **estão indicados em cada Classe da norma**, do mesmo modo como o exemplificado na tabela que segue:

Classe	Materiais Isolantes	De aglutinação impregnação ou revestimentos	De impregnação para tratamento do conjunto
F / 155°C	Fibra de vidro Amianto	Nenhum	-
Temperatura máxima de serviço = 145°C	Tecido envernizado de fibra de vidro. Mica aglutinada	Resinas alquídicas, poliéster de cadeia cruzada e poliuretanos com estabilidade térmica elevada. Resinas silicone-alquídicas	Resinas alquídicas, epoxi, poliéster de cadeias e poliuretanos com estabilidade térmica elevada. Resinas silicone-alquídicas e silicone fenólicas e outras de elevada classe de temperatura.

Isso, representado graficamente, leva a figura que segue, onde se destaca:

- A temperatura ambiente de referência é de 40°C, conforme Norma. **Temperaturas diferentes dessa, precisam de um fator de correção da potência disponível no motor**
- A temperatura total atuante sobre o material é a soma da temperatura ambiente, mais a elevação de temperatura dada pelas perdas, e deduzido um valor de segurança, de 10-15°C
- Quanto **maior a temperatura** que o material isolante suporta, ou quanto **maior a troca de calor das perdas, maior a potência disponível no motor.**

Classe de isolamento VDE 0530



ALTITUDE.

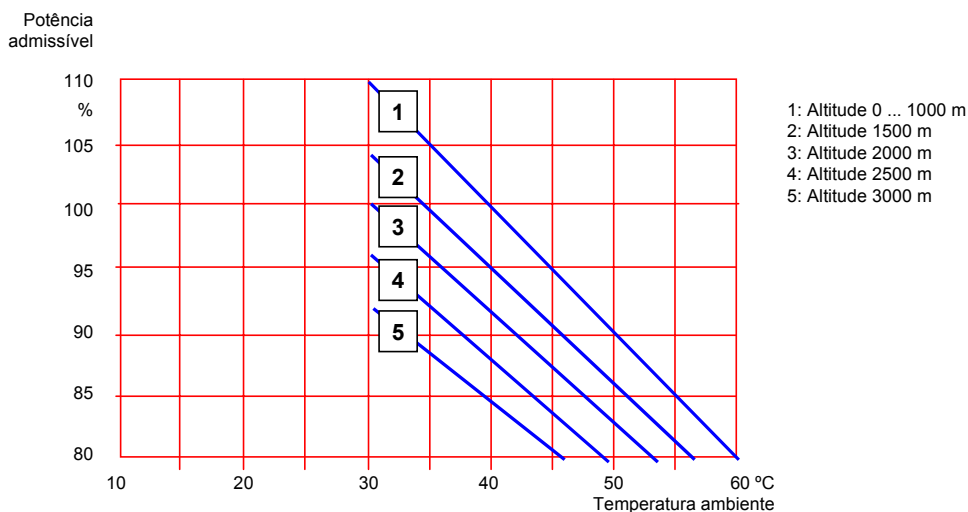
Quanto **maior a altitude da instalação** onde vai o motor, **menor é a densidade do ar** e menor a **troca de calor**, pois são as moléculas do ar que absorvem esse calor. Porém, quanto menor a troca de calor, **maior o aquecimento interno da máquina**, e maior a necessidade de **reduzir as perdas**, reduzindo a corrente, com conseqüente **menor potência disponível**.

Portanto: **quanto maior a altitude, menor a potência disponível**.

É bem verdade que, quanto maior a altitude, menor costuma ser a temperatura ambiente e, sob esse aspecto, maior a troca de calor. Conseqüentemente, pode até haver uma compensação entre uma redução de troca de calor devido a altitude e uma maior troca, devido a menor temperatura ambiente. De qualquer maneira, temos que aplicar os respectivos fatores de correção, que podem tanto ser indicados em tabelas quanto em gráficos.

As curvas do gráfico que segue nos dão uma idéia de um caso particular, onde esses dois fatores já estão combinados, demonstrando como se comporta a variação de potência em função dos mesmos.

Motores trifásicos.



GRAU DE PROTEÇÃO.

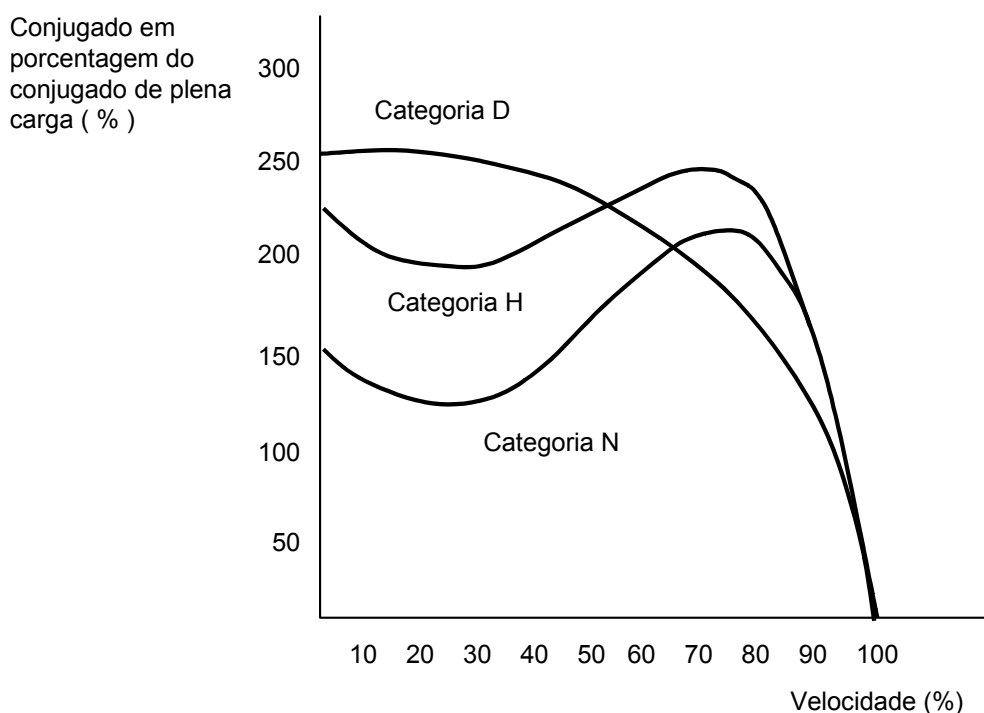
Na página 21 desse texto, vem definido o que é **Grau de Proteção**. Ele também, pelos mesmos fatores antes mencionados, se aplica aos **motores elétricos**. No presente caso, apesar de ser necessário dotar o motor de um adequado **IP**, nota-se que motores mais fechados, mais encapsulados, também vão ter **prejudicada sua troca de calor** e conseqüentemente, ocorrerão maiores **elevações de temperatura**, que podem ultrapassar os valores admissíveis.

Portanto, quando da definição da potência necessária do motor, fazer um estudo prévio sobre as condições em que ele vai operar e qual o grau de proteção necessário. Com esse grau de proteção definido, estabelecer a potência necessária.

Na tabela da página seguinte, alguns exemplos de graus de proteção e o que eles definem.

CATEGORIAS DE CONJUGADO.

Variando a construção das ranhuras, o formato dos condutores dentro dessas ranhuras e o metal utilizado nessa construção, variam os conjugados, notadamente os de partida.



Tais conjugados tem as seguintes aplicações principais:

- Categoria N:** Conjugado e corrente de partida normais, baixo escorregamento. Se destinam a cargas normais tais como bombas, máquinas operatrizes e ventiladores.
- Categoria H:** Alto conjugado de partida, corrente de partida normal, baixo escorregamento. Recomendado para esteiras transportadoras, peneiras, britadores e trituradores;
- Categoria D:** Alto conjugado de partida, corrente de partida normal, alto escorregamento. Usado em prensas excêntricas, elevadores e acionamento de cargas com picos periódicos.

**Graus de proteção
IEC 34 Parte 5
VDE 0530 Parte 5
NBR 9884**

Exemplos

Motor	Classe de proteção	Primeiro algarismo indicativo		Segundo algarismo indicativo
		Proteção contra contatos	Proteção corpos estranhos	Proteção contra água
Refrigeração interna	IP 21	Contatos com os dedos	Sólidos medianos acima de 12 mm	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Queda vertical gotas de água ▪ Gotas de água até 15° com a vertical ▪ Chuvisco até 60° com a vertical
	IP 22			
	IP 23			
Refrigeração de superfície	IP 44	Contatos com ferramentas ou similares	Sólidos pequenos acima de 1 mm Ø	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeção de água em todas as direções
	IP 54	Proteção total	Depósito de poeiras prejudiciais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Projeção de água em todas as direções
	IP 55			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jato de água em todas as direções
	IP 56			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inundações passageiras e fortes radiações
	IP 65	Proteção total	Penetração de poeira	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jato de água em todas as direções
	IP 67			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Imersão sob condições fixas de pressão e tempo

DADOS DE ENCOMENDA.

Ao adquirir um equipamento/componente/dispositivo, sempre nos deparamos com o que precisamos conhecer para adquirir corretamente. Dentro do objetivo de colocar na mão dos profissionais, dados práticos concretos, relacionamos a seguir, dentro do escopo desse texto, os dados necessários, caso a caso, relacionando inicialmente os dados sempre necessários.

DADOS GERAIS (SEMPRE DEFINIDOS)

- Temperatura no local da instalação °C
- Fator de correção aplicável por temperaturas superiores 0, ..
- Altitude no local da instalação..... m
- Fator de correção por altitudes superiores 0, ..
- Instalação ao ar livre ou protegido..... tempo / abrigada
- Umidade no local %
- Componentes agressivos no local da instalação.....
- Grau de proteção devido as condições anteriores IP
- Necessidade de pintura especial devido as condições anteriores.....
- Valor calculado da corrente de curto-circuito presumida kA
- Tipo de carga resistiva /
capacitiva /indutiva
- Posição de montagem (qualquer / horizontal / vertical / inclinadas)
- Dimensões (desenhos com dimensões) ou
(largura / altura / profundidade) mm
- Peso kg

DADOS ESPECÍFICOS

Disjuntores

- Tensão nominal máxima V
- Corrente máxima de interrupção I_{cu} ou I_{cs} / Tensão de rede kA / V
- Corrente nominal máxima / Temperatura ambiente A / °C
- Número de pólos pólos
- Relé disparador de sobrecarga não , sim fixo ajustável ____ a ____ A
- Relé disparador de curto-circuito não , sim fixo ajustável ____ a ____ A

Seccionador

- Tensão nominal máxima V
- Corrente nominal / Categoria de emprego A AC-__ ou DC-__
- Proteção de curto-circuito - fusível (tipo / corrente nominal) Tipo ____ / ____ A

Fusível

- Tensão nominal máxima V
- Corrente máxima de interrupção / Tensão de rede kA / V
- Corrente nominal / Tamanho A tamanho ____

Contator de potência

- Tensão nominal máxima V
- Corrente nominal / Categoria de emprego A AC-__ ou DC-__
- Tensão de comando / Freqüência V / Hz
- Contatos auxiliares (Quantidades / Execução) NA + __NF

Relé de sobrecarga

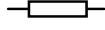
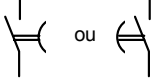
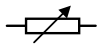
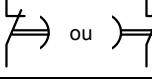
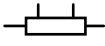










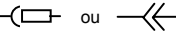





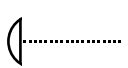

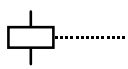

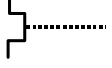
- Tensão nominal máxima V
- Faixa de ajuste a ____ A
- Contatos auxiliares (Quantidades / Execução) NA + __NF

Contator auxiliar

- Tensão nominal máxima V
- Corrente nominal / Categoria de emprego A AC-__ ou DC-__
- Tensão de comando / Freqüência V / Hz
- Contatos auxiliares (Quantidades / Execução) NA + __NF





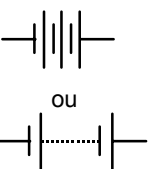
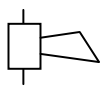

ANEXO 1.



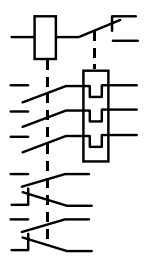
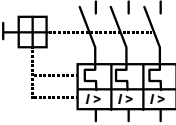

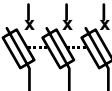
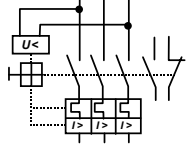
SÍMBOLOS GRÁFICOS
(conforme NBR / IEC / DIN)

Símbolo	Descrição	Símbolo	Descrição
	Resistor		Contato normalmente aberto (NA) com fechamento temporizado
	Resistor variável Reostato		Contato normalmente fechado (NF) com abertura temporizada
	Resistor com derivações fixas		Disjuntor (unifilar)
	Enrolamento / Bobina		Disjuntor motor (unifilar) com relés disparadores de sobrecarga e curto-circuito
	Enrolamento com núcleo magnético e derivações		Seccionador
	Capacitor		Seccionador sob carga
	Terra		Fusível
	Massa (estrutura)		Tomada e plugue
	Contato normalmente aberto (NA)		Acionamento manual
	Contato normalmente aberto prolongado (NA)		Acionamento pelo pé
	Contato normalmente fechado (NF)		Acionamento saliente de emergência
	Contato normalmente fechado prolongado (NF)		Bobina de acionamento (ex.:contator)
	Contato comutador		Acionamento por sobrecarga (ex.:bimetal)

Símbolo	Descrição
	Acionamento por energia mecânica acumulada
	Acionamento por motor
	Acionamento com bloqueio mecânico
	Acionamento com bloqueio mecânico em duas direções
	Acionamento com posição fixa
	Acionamento temporizado
	Acoplamento mecânico desacoplado
	Acoplamento mecânico acoplado
	Acionamento manual (ex.: seccionador e comutador)
	Acionamento por impulso (ex.: botão e comando)
	Acionamento por bloqueio mecânico de múltiplas posições (ex.: comutador de 4 posições)
	Acionamento mecânico (ex.: chave fim de curso)

Símbolo	Descrição
	Acionamento eletromagnético (ex.: bobina de contator)
	Acionamento magnético duplo (ex.: bobina com duplo enrolamento)
	Acionamento temporizado no desligamento (ex.: relé de tempo temporizado no desligamento)
	Acionamento temporizado na ligação (ex.: relé de tempo temporizado na ligação)
	Acionamento temporizado na ligação e no desligamento (ex.: relé de tempo temporizado na ligação e desligamento)
	Dispositivo de proteção contra surtos (DPS)
	Sensor
	Transformador e Transformador de potencial para medição
	Auto-transformador
	Transformador de corrente para medição
	Motor trifásico
	Tiristor

Símbolo	Descrição
	Diodo Zener
	Inversor de frequência
	Conversor
	Pilha (unidade de energia)
	Bateria (várias unidades de energia)
	Buzina
	Campainha

Símbolo	Descrição
	Sirene
	Lâmpadas / Sinalização
	Contator e relé de sobrecarga com contatos auxiliares
	Disjuntor com relés disparadores de sobrecarga e curto-circuito
	Seccionador sob carga
	Seccionador-fusível sob carga
	Disjuntor com relés disparadores de sobrecarga, curto-circuito e subtensão

ANEXO 2.

Símbolos literais

Para identificação de componentes em esquemas elétricos conforme IEC 113.2 e NBR 5280.

Símbolo	Componente	Exemplos
A	Conjuntos e subconjuntos	Equipam. laser e maser. Combinações diversas
B	Transdutores	Sensores termoeletricos, células termoeletricas, células fotoeletricas, transdutores a cristal, microfones fonocaptadores, gravadores de disco
C	Capacitores	
D	Elementos binários, dispositivos de temporização, dispositivos de memória	Elementos combinados, mono e bi-estáveis, registradores, gravadores de fita ou de disco.
E	Componentes diversos	Dispositivos de iluminação, de aquecimento, etc
F	Dispositivos de proteção	Fusíveis, pára-raios, disparadores, relés
G	Geradores, fontes de alimentação	Geradores rotativos, alternadores, conversores de frequência, soft-starter, baterias, osciladores.
H	Dispositivos de sinalização	Indicadores acústicos e ópticos
K	Contatores	Contatores de potência e auxiliares.
L	Indutores	Bobinas de indução e de bloqueio
M	Motores	
N	Amplificadores, reguladores	Componentes analógicos, amplificadores de inversão, magnéticos, operacionais, por válvulas, transistores.
P	Instrumentos de medição e de ensaio	Instrumentos indicadores, registradores e integradores, geradores de sinal, relógios
Q	Dispositivos de manobra para circuitos de potência	Disjuntores, seccionadores, interruptores
R	Resistores	Reostatos, potenciômetros, termistores, resistores em derivação, derivadores
S	Dispositivos de manobra, seletores auxiliares	Dispositivos e botões de comando e de posição (fim-de-curso) e seletores
T	Transformadores	Transformadores de distribuição, de potência, de potencial, de corrente, autotransformadores.
U	Moduladores, conversores	Discriminadores, demoduladores, codificadores transmissores telegráficos
V	Válvulas eletrônicas, semicondutores	Válvulas, válvulas sob pressão, diodos, transistores, tiristores
W	Antenas, guias de transmissão e de onda	Jampers, cabos, barras coletoras, acopladores dipolos, antenas parabólicas.
X	Terminais, tomadas e plugues	Blocos de conectores e terminais, jaques,
Y	Dispositivos mecânicos operados mecanicamente	Freios, embreagens, válvulas pneumáticas
Z	Cargas corretivas, transformadores diferenciais. Equalizadores, limitadores	Rede de balanceamento de cabos, filtros a cristal