

## Um pouco sobre transformadores

Transformadores ou trafos são dispositivos elétricos que têm a finalidade de isolar um circuito, elevar ou diminuir uma tensão.

Servem também para casar impedância entre diferentes circuitos ou como parte de filtros em circuitos de rádio frequência.

Existem transformadores de diversos tipos, cada um com uma finalidade, construção e tamanho específicos.

Teoricamente, um transformador tem de transferir toda a potência do ( primário e secundário são enrolamentos de entrada e saída, respectivamente).

Na prática, observa-se certa perda de potência nessa transferência de potência, ocasionada por motivos, como a resistência de fio, correntes pelo núcleo, chamados de correntes de Foucault, etc.

Um transformador é constituído pelo menos por dois enrolamentos.

Na maioria dos casos, esses enrolamentos são independentes, entre si, mas sofrem a ação do campo eletromagnético, que é mais intenso quanto esses transformadores possuem um núcleo de material ferromagnético.

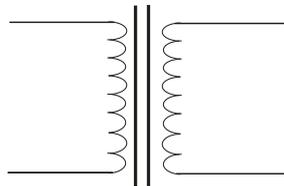
O enrolamento em que aplicamos a tensão que desejamos transformar chama-se primário e o enrolamento onde obtemos a tensão desejada se chama secundário.

A tensão do secundário depende da relação de espiras entre o primário e o secundário e de tensão aplicada no primário.

Embora esta literatura se resume ao cálculo e dicas de trafos monofásicos e bifásicos com núcleo de ferro, apresentamos, a seguir, alguns símbolos de outros tipos de transformadores e suas respectivas aplicações.

Trafo com núcleo de ferro. Com um primário e um secundário.

Utilizado em fontes convencionais para a isolação de circuitos e para se ter a tensão e a corrente desejada.



Trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos primários e um secundário

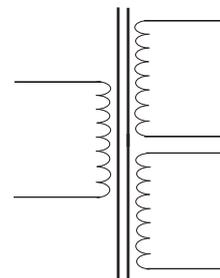
Utilizado quando há a necessidade da aplicação de diferentes tensões em seu primário, como 127 ou 220VAC.



Trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos secundários. Empregado quando são necessárias duas tensões de saída.

Exemplo: Entrada 110VAC

Saída 15VAC e 5 VAC.



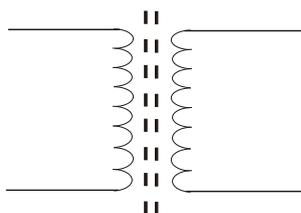
Trafo com center tap, (tomada central ou apenas tap), no secundário. Utilizado quando se deseja trabalhar com retificação em onda completa, porém com apenas dois diodos.



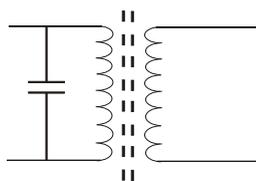
Trafo com center tap no secundário.

Trafo com center tap no primário e secundário.

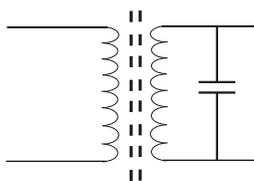
Trafo com núcleo de ferrite. Utilizado em fontes chaveadas, bobinas de pulso e filtros de linha.



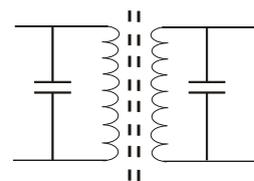
Trafos sintonizados com núcleo de ferrite. Utilizados em circuitos de RF ( rádio freqüência).



Primário sintonizado



Secundário sintonizado



Primário e secundário sintonizado

### Observação

Cabe lembrar que não foram citados todos tipos de transformadores, muito menos as suas utilidades.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE TRANSFORMADORES

Todos os transformadores se aquecem durante o funcionamento, em virtude das perdas que existem em todos eles.

Quanto mais alta a potência retirada nos secundários de um trafo, maior será o aquecimento do mesmo.

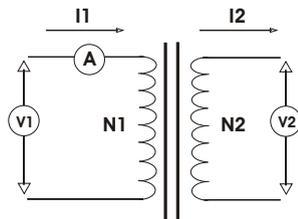
Os núcleos devem ser feitos de chapas de ferro silício, não servindo para o mesmo fim, ferro doce ou outro ferro comum, assim como também não é possível um núcleo de ferro maciço.

A qualidade do ferro empregado é um fator que deve ser considerado no projeto de um trafo. Em trafos de força, usamos chapa de ferro silício de 0,7/1,7/2 Watts/Kg e chapas de baixo carbono e 3,7Watts/Kg.

Se o ferro for de qualidade inferior, a secção do núcleo deverá ser aumentada para um mesmo transformador.

Para determinada tensão variável aplicada no primário do transformador teremos uma tensão induzida no secundário.

Dado o esquema de um transformador, teremos:



- V1 = tensão no primário
- V2 = tensão no secundário
- I1 = corrente no primário
- I2 = corrente no secundário
- N1 = espiras do primário
- N2 = espiras do secundário

## CÁLCULO DOS TRANSFORMADORES

Para calcular um transformador, teremos que fazer uso da expressão geral da tensão alternada.

E = Tensão ou VAC = Tensão

$$E = 0,000.000.044 \times N \times B \times S \times F$$

Onde teremos:

E = tensão elétrica

N = núcleo de espiras do primário

B = densidade de fluxo magnético em Gauss

S = secção magnética eficaz do núcleo

F = frequência da tensão alternada

Podemos então escrever a fórmula citada assim :

$$N = \frac{E \times 10^8}{4,44 \times B \times S \times F}$$

Onde teremos:

E = tensão elétrica alternada.

$10^8$  = uma constante e vale (100.000.000).

4.44 = uma constante.

N = núcleo de espiras do primário.

B = densidade de fluxo magnético em Gauss = 10.000 linha de força.

S = secção magnética eficaz do núcleo em centímetro, (lado x lado).

F = frequência da tensão alternada, se for da rede elétrica será sempre 60Hz.

ou para simplificar os cálculos:

$$N = \frac{10^8}{4,44 \times B \times S \times F}$$

Dessa forma encontramos uma relação chamada de espira por Volt, o que quer dizer que, o **N** encontrado deve ser multiplicado pela tensão do primário; para encontrarmos o número de espiras necessário no primário.

Na prática usamos a fórmula abaixo.

$$N = \frac{E \times 10^4}{266,4 \times S}$$

Que simplificando ainda mais encontramos a fórmula abaixo com uma pequena margem de erro:

$$N = \frac{E}{S} \times 38$$

### Atenção

Cuidado, pois,  $10^8$  é igual a 100.000.000 e não a 1.000.000.000, se preferir, é o número 1 seguido de 8 zeros.

A densidade do fluxo magnético **B**, que é dada em Gauss, terá o seu valor entre 8.000 a 12.000.

Um valor de **B** baixo (próximo a 8.000) deixará o transformador grande, enquanto que um **B** elevado próximo a 12.000, fará com que o trafo fique menor.

Use um valor intermediário, por exemplo 10.000 Gauss.

Nunca use valores acima do valor máximo de **B**, pois você irá saturar o núcleo.

Hoje em dia é mais comum encontramos chapas tipo gno (grão não orientado) de 10.000 Gauss com perda de 1,7W/Kg, chapas tipo (grão orientado ou sinterizada) de 16.000 Gauss e perda de 0,7W/Kg.

Devido ao custo, muitos transformadores para aplicações onde as perdas no núcleo, que geram calor, não são importantes se usam chapas de baixo carbono que chegam a ter uma perda de 3,7W/Kg.

Quanto maior o valor de Gauss, menor ficará fisicamente nosso transformador, pois menor será o número de espiras por Volts, e menos o transformador se aquecerá.

- Quanto maior o valor de W/Kg, maior será a perda por aquecimento no transformador, na prática ele se aquecerá mais.

A secção magnética do núcleo será calculada por :

$$Sm = 1,2 \sqrt{Ps}$$

onde : **Sm** = secção magnética (cm<sup>2</sup>)

**Ps** = potências dos secundários somadas

**x 1,15** = constante para minimizar perdas

E a secção geométrica (**Sg**) será calculada por:

$$Sg = \frac{Sm}{0,9}$$

Agora que já vimos como calcular a secção e o número de espiras por Volts, vamos saber secção deverá ter nosso fio.

Para encontrarmos essa secção, basta aplicarmos a fórmula a seguir:

$$D = \frac{1}{\delta}$$

onde :

D = secção do fio em mm<sup>2</sup>

I = corrente dos enrolamentos

$\delta$  = densidade de corrente (A por mm<sup>2</sup>)

A densidade de corrente será dada pela tabela T1 abaixo:

Potência de trafo (W)	Densidade da corrente ( $\delta$ )
0- 200W	3,0A/mm <sup>2</sup>

tabela T1

A finalidade de se definir a densidade de corrente é para se evitar um aquecimento excessivo do trafo.

Quanto mais potente o trafo, menor deve ser a densidade de corrente.

## Vamos ao cálculo de um transformador

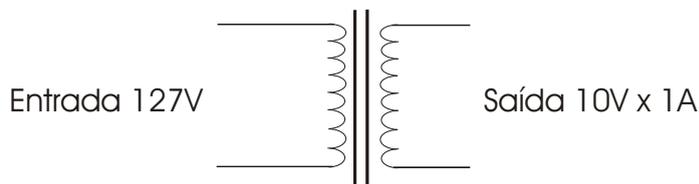
Dados:

Vp= 127V

Vs = 10V

Is = 1A

Diagrama do transformador :



Primeiro vamos calcular a potência do secundário do transformador:

$$Ps = (Vs \times Is) \times 1,15$$

Para compensar as perdas nos enrolamentos e perdas devido a corrente de Foucault.

$$P_s = (V_s \times I_s) \times 1,15$$

$$P_s = 10 \times 1 \times 1,15$$

$$P_s = 11,5 \text{ W}$$

Agora precisamos calcular novamente a corrente no secundário.

$$I_s = \frac{P_s}{V_s} = \frac{11,5}{10} = 1,15 \text{ A}$$

Este valor será importante quando calcular-mos a secção dos fios

Agora vamos calcular a secção magnética, (**Sm**), ou perna central do trafo.

$$S_m = 1,2 \sqrt{P_s}$$

$$S_m = 1,2 \sqrt{11,5}$$

$$S_m = 4,06 \text{ cm}^2$$

Veja tabela 2.

Seria ideal já termos uma (área A x B) próxima de uma figura de um quadrado, para nos aproximarmos disto, usamos a formula da raiz quadrada ( $\sqrt{\quad}$ ), para determinar as chapas (que definem A) e o empilhamento, definido B.

Aplicando a raiz quadrada :

$$\sqrt{4,06} = 2 \text{ cm (aproximadamente)}$$

Usando chapas 1, veja T 2(), que tem o valor de A igual a 2 cm e com um empilhamento de 2 cm estaremos próximos de uma figura ou núcleo quadrado.

Temos agora que recalcular a **Sm** com as medidas de 2 cm x 2 cm.

$$S_m = 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} = 4 \text{ cm}^2$$

Agora vamos calcular a secção geométrica, **Sg**:

$$S_g = \frac{S_m}{0,9} = \frac{4}{0,9} = 4,44 \text{ cm}^2$$

Temos agora que escolher um carretel padrão que seja próximo, e sempre superior a esta secção.

E que também possua uma forma próxima a de um quadrado. Para isto usaremos novamente a raiz quadrada:

$$\sqrt{4,44} = 2,10 \text{ cm}$$

Um carretel padrão que se aproxime melhor é o de 2 cm x 2,2 cm, ou em mm (20mm x 22mm).

$$S_g = 2 \times 2,2 = 4,4 \text{ cm}^2$$

É necessário agora recalcular o Sm, pois o tamanho do carretel é quem definirá o número de chapas e o tamanho do núcleo, e existem perdas neste núcleo devido ao espaçamento entre as chapas.

$$S_m = S_g \times 0,9$$

$$S_m = 4,4 \times 0,9$$

$$S_m = 3,96 \text{ cm}^2$$

usaremos este valor nos próximos cálculos.

Vamos calcular o número de espiras por Volts:

$$N = \frac{10^8}{4,44 \times B \times S \times F}$$

$$N = \frac{100.000.000}{4,44 \times 10.000 \times 3,96 \times 60}$$

$$N = \frac{100.000.000}{10.549.440}$$

$$N = 9,47 \text{ espiras por Volts.}$$

Agora calcularemos o número de espiras para o primário:

$$N_{ep} = 127 \times 9,47 = 1203 \text{ espiras}$$

Agora calcularemos o número de espiras do secundário:

$$N_{es} = (10 \times 9,47) \times 1,20$$

Fator de correção, para diminuir a queda de tensão quando houver consumo de corrente do secundário

$$N_{es} = 94,7 \text{ espiras}$$

O fator de correção usado na fórmula anterior, deve variar de acordo com a potência do transformador.

$$N_s = (10 \times 9,47) \times 1,20$$

Lembre-se este fator de correção é para baixa potência

Cálculos empíricos e ensaios práticos demonstram que para transformadores de baixa potência, devemos usar 1,20 e para transformadores de alta potência podemos abaixar este valor para 1,10.

Veja a figura:

Baixa potência	Alta potência
Menor que 10 Watts	Maior que 100 Watts

Chamamos 100 Watts ou mais de alta potência, pois esta literatura foi escrita com intuito de ajudar na construção de transformadores e será necessário muitos ensaios se quiser se aprofundar mais..

Usando 1,20 para trafos de 100 Watts teremos uma tensão na saída, maior que a calculada, mesmo com consumo.

Usando 1,10 para trafos de 3W, teremos uma tensão menor que a calculada na saída quando o tivermos consumo.

$$N_{es} = (94,7) \times 1,20$$

$$N_{es} = 113,8 = 114 \text{ espiras}$$

Agora calcularemos a corrente no primário:

$$I_p = \frac{N_{es}}{N_{ep}} \times I_s$$

$$I_p = \frac{114}{1203} \times 1,15$$

lembre-se da corrente corrigida

$$I_p = 0,108 \text{ A ou } 108 \text{ mA}$$

Com este valor calculamos a bitola do fio do primário.

$$S_{fp} = \frac{I_p}{\delta}$$

$$S_{fp} = \frac{0,108}{3}$$

$$S_{fp} = 0,036 \text{ mm}^2$$

Densidade de corrente adotada para trafos de até 100W ou um pouco mais

Observando a tabela T 3, vemos que este valor corresponde ao fio 32 AWG que tem uma secção, de um valor imediatamente superior, 0,041 mm<sup>2</sup>.

Agora encontraremos o fio a ser utilizado no secundário, para isto basta fazer o seguinte.

$$S_{fs} = \frac{I_s}{\delta}$$

$$S_{fs} = \frac{1,15}{3}$$

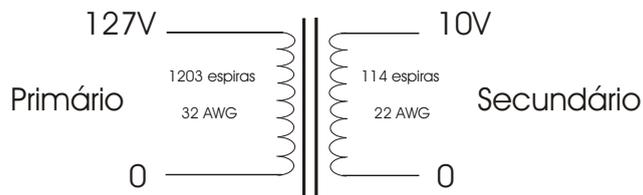
$$S_{fs} = 0,38 \text{ mm}^2$$

que corresponde ao fio 22 AWG

O fio 22 AWG tem uma secção de 0,33 mm<sup>2</sup>.

Usaremos o valor imediatamente superior, (menor diâmetro próximo), pois pode acontecer que não seja possível fechar o trafo.

Vamos desenhar o transformador com as suas características:



Características elétricas:

Primário : 127 V - 12 W - 60Hz

Secundário : 10 V - 1A - 12 W

Chapa 1 : GNO

Carretel de 20 mm x 22 mm.

Nos próximos passos usaremos a tabela T2.

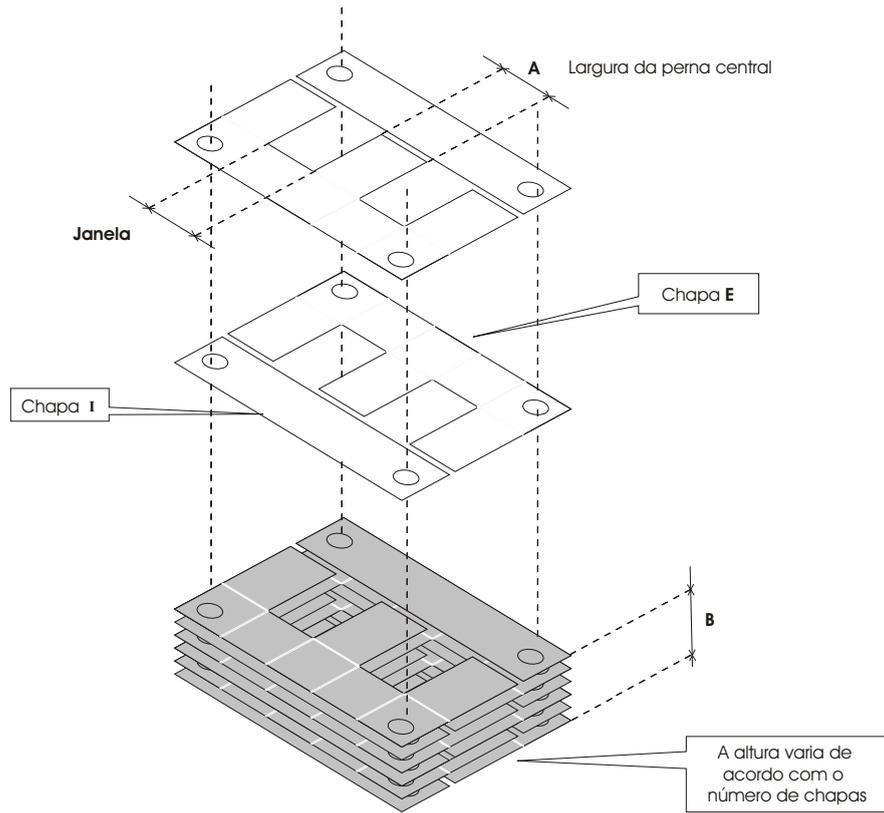
Lâminas padronizadas			
Nº da chapa	Largura (A) em cm	Seção da Janela mm <sup>2</sup>	Peso do núcleo Kg/ cm
0	1,5	168	0,095
1	2	300	0,170
2	2,5	468	0,273
3	3	675	0,380
4	3,5	900	0,516
5	4	1200	0,674
6	5	1880	1,053

Número padronizado da chapa

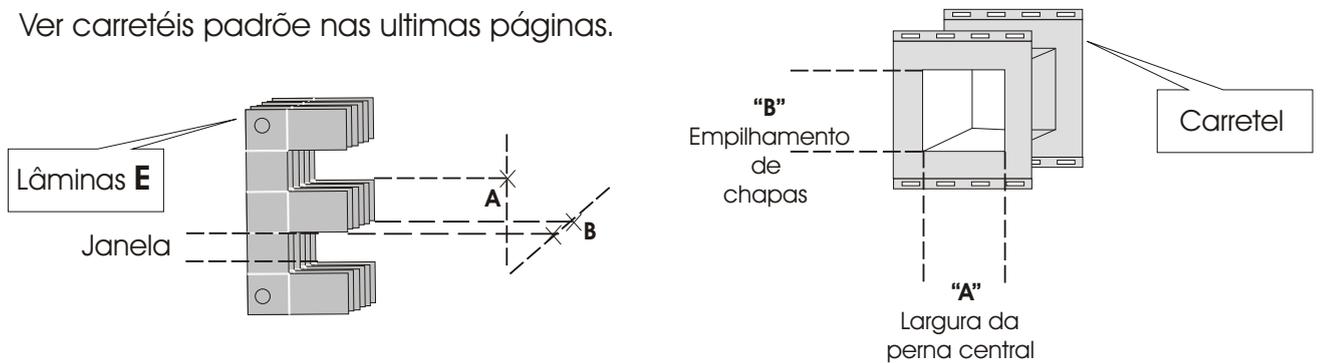
Largura da perna central da lâmina E

Sabemos que a **secção geométrica** é o produto de **A** e **B**, ou seja, da largura de **A** pela quantidade de lâminas que dá a altura **B**. Para termos noção de **A** e **B**, basta tirar a raiz quadrada da **Sg** calculada.

Como a secção **geométrica calculada** é de 4,4 cm<sup>2</sup>, podemos escolher as lâminas nº 1, que tem uma largura de 2 cm e usar uma quantidade de lâminas que dê 2,2 cm de altura de empilhamento.



Obs: Ver carretéis padrão nas ultimas páginas.



Para termos certeza que podemos montar o transformador, basta calcular as secções dos enrolamentos, somá-los e verificar se cabem na janela das lâminas nº 1, confira;

$$\text{Área}_{\text{enrolamento (lado x lado)}} = (N_{ep} \times D_{\text{fio do primário}}) + (N_{es} \times D_{\text{fio do secundário}})$$

$$\text{Área}_{\text{enrolamento (lado x lado)}} = (1203 \times 0,036) + (114 \times 0,38)$$

$$\text{Área}_{\text{enrolamento (lado x lado)}} = 43,30 + 43,32 = 86,62 \text{ mm}^2$$

Como vimos na tabela ( tabela de lâmina padronizada ), que as lâminas nº 1, têm uma janela com secção de 300 mm<sup>2</sup>. aplicando a relação :

$$\frac{\text{Área}_{\text{janela}}}{\text{Área}_{\text{enrolamento (lado x lado)}}} = \frac{300}{86,62} = 3,46$$

Como 3,46 é maior do que 3, podemos montar o trafo. Caso o resultado fosse menor do que 3, deveríamos usar outro núcleo.

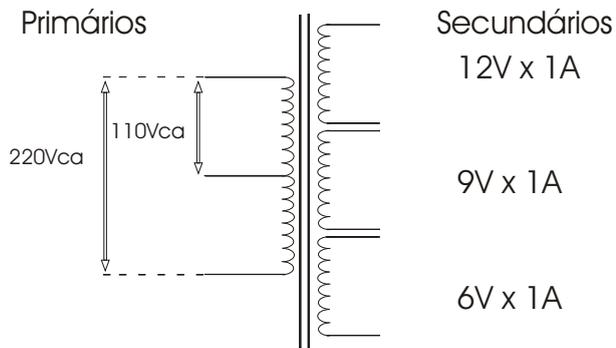
### Vamos ver mais um exemplo:

Construir um transformador com as seguintes características:

Primário: 110 / 220V

Secundário: 12V x 1A  
9V x 1A  
6V x 1A

Vamos fazer o diagrama elétrico do transformador:



A potência desse transformador será a soma das potências dos enrolamentos secundário.

$$Ps1 = (12 \times 1) \times 1,15 = 13,8 \text{ W}$$

$$Ps2 = (9 \times 1) \times 1,15 = 10,35 \text{ W}$$

$$Ps3 = (6 \times 1) \times 1,15 = 6,9 \text{ W}$$

Recalculando as correntes:

$$Is1 = \frac{Ps1}{Vs1} = \frac{13,8}{12} = 1,15 \text{ A}$$

$$Vs1 = 12 \text{ V}$$

$$Is2 = \frac{Ps2}{Vs2} = \frac{10,35}{9} = 1,15 \text{ A}$$

$$Vs2 = 9 \text{ V}$$

$$Is3 = \frac{Ps3}{Vs3} = \frac{6,9}{6} = 1,15 \text{ A}$$

$$Vs3 = 6 \text{ V}$$

A potência total do secundário será de :

$$PTS = Ps1 + Ps2 + Ps3 + = PTS = 13,8 + 10,35 + 6,9 = 31,05 \text{ W}$$

E a corrente total será de :

$$ITS = Is1 + Is2 + Is3 + = ITS = 1,15 + 1,15 + 1,15 = 3,45 \text{ A}$$

Agora vamos encontrar a secção magnética **Sm**:

$$S_m = 1,2\sqrt{P_s} \quad \text{É dado em cm}^2$$

$$S_m = 1,2\sqrt{31,05}$$

$$S_m = 1,2 \times 5,57$$

$$S_m = 6,68 \text{ cm}^2$$

O ideal é termos uma secção (A x B do núcleo), que é o mesmo do lado interno do carretel próxima de um quadrado para isto usamos a raiz quadrada :

$$\sqrt{6,68 \text{ cm}^2} = 2,58 \text{ cm de cada lado, tanto do lado } \mathbf{A} \text{ como do lado } \mathbf{B}.$$

Temos que usar chapas nº 3 que tem o valor **A** igual a 3cm. Mas se usarmos um empilhamento de 3cm, a área será muito maior do que a calculada, veja :

$$\text{Área da perna central} = 3 \times 3 = 9 \text{ cm}^2, \text{ a área é maior que a calculada.}$$

Olhando a tabela nas ultima páginas nesta literatura, encontraremos um carretel que nos permite um fator de empilhamento menor. Temos por exemplo, um carretel de 3,2 cm x 2,2 cm, o que dá um valor de 7,04 cm<sup>2</sup> e isto já é o suficiente.

Para termos uma noção do fator de empilhamento podemos usar a equação:

$$\text{FATOR empilhamento} = \frac{S_{\text{núcleo}}}{A} = \frac{6,68}{3} = 2,22 \text{ cm}$$

Densidade da corrente no núcleo do trafo

Sabemos então, que o empilhamento deverá ser maior do que 2,22 cm. Temos agora, que recalcular a secção magnética **Sm**, dado a escolha do carretel, (3,2 cm x 2,2 cm).

$$S_m = S_g \times 0,9 = 7,04 \times 0,9$$

$$S_m = 6,336 \text{ cm}^2$$

Vamos calcular o número de espiras por Volt:

$$N = \frac{10^8}{4,44 \times B \times S_m \times F}$$

$$N = \frac{100.000.000}{4,44 \times 14.000 \times 6,336 \times 60}$$

Ob: Usamos agora, chapas **GO**, de alta densidade, por isso na fórmula usamos, **B** = 14.000.

$$N = \frac{100.000.000}{23.630.745,6}$$

$$N = 4,2317 \text{ Relação e/ v (relação espiras por Volt)}$$

## Agora calcularemos o número de espiras do enrolamento primário.

Para isto usaremos a tensão de 220 VAC e faremos uma entrada ou tap no meio do enrolamento que será a entrada para 110 VAC.

$$N_{ep} = V_p \times \text{Relação } e/v$$

$$N_{ep} = 220 \times 4,2317 = 930,97 = 930 \text{ espiras}$$

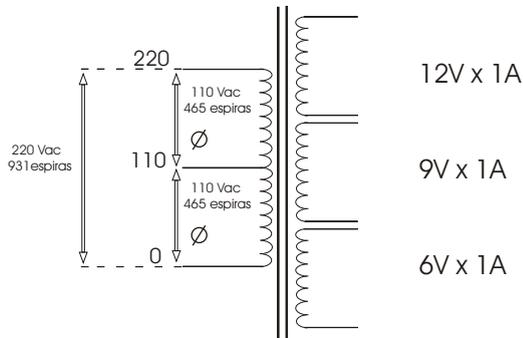


Figura 14

Ø = Indica qual a bitola do fio em AWG.

Mas nem todos as 930 espiras precisam ter a mesma bitola.

Podemos afirmar isto, pois quando ligado em 220VAC, a corrente que circulara pelo enrolamento primário será menor do que ligado em 110VAC, isto para uma mesma potência. Desta forma podemos dizer que se o fio que faz o enrolamento entre 0V e 110 V, tem uma secção igual a **Sfp**, o fio que fará o enrolamento entre 110 e 220VAC, poderá ter a metade desta secção, ou seja, será igual a :

$$S_{fp \text{ em } 220V} = \frac{S_{fp \text{ em } 110V}}{2}$$

### Exemplo:

Se **Sfp** (secção do fio do primário), for igual a 0,0127 mm<sup>2</sup>, **Sfp**1/2 será igual a 0,0063 mm<sup>2</sup>, ou seja, se **Sfp**110 = 0,0127 mm<sup>2</sup>, **Sfp**220 = 0,0063 mm<sup>2</sup>, que equivalem aos fios 36 AWG e 39 AWG

Com isto economizaremos, pois o trafo ficará mais barato, além de diminuirmos o tamanho do enrolamento primário.

Devemos levar isto em conta nos cálculos.

## Agora calcularemos o número espiras dos enrolamentos secundários

$$N_{es^1} = (12 \times 4,2317) \times 1,20 = 60,91 = 61 \text{ espiras}$$

$$N_{es^2} = (9 \times 4,2317) \times 1,20 = 45,68 = 46 \text{ espiras}$$

$$N_{es^3} = (6 \times 4,2317) \times 1,20 = 30,45 = 31 \text{ espiras}$$

## Agora, vamos calcular a corrente no primário

$$I_p = \frac{N_s \times I_s}{N_p}$$

$$I_p = \frac{(61 + 46 + 31) \times 3,45}{930}$$

$$I_p = 0,511 = 511\text{mA}$$

## Agora, vamos calcular a bitola do fio do primário

$$S_{fp_{\text{fio do primário}}} = \frac{I_p}{\delta} = \frac{0,511}{3} = 0,170 \text{ mm}^2$$

Esta secção corresponde ao fio nº 25 AWG que tem uma secção de 0,16 mm<sup>2</sup> e deve ser o fio adotado para o enrolamento de 0 a 110 VAC. O fio entre 110 a 220 VAC deve ter a metade da secção.

$$S_{fp_{220V}} = \frac{S_{fp_{\text{fio do primário}}}}{2} = 0,085 \text{ mm}^2$$

Esta secção corresponde ao fio nº 28 AWG, que tem uma secção de 0,80 mm<sup>2</sup>

### Atenção

Sempre consultar a tabela com secção dos fios, e usar um fio de secção imediatamente superior.

## Vamos agora, calcular as bitolas dos secundários

$$S_{fs1_{\text{fio do secundário}}} = \frac{I_s}{\delta} = \frac{1,15}{3} = 0,383 \text{ mm}^2$$

$S_{fs1_{\text{fio do secundário}}} = 0,384 \text{ mm}^2$  o que corresponde ao fio nº 21 AWG  
O fio 21 AWG tem uma secção de 0,407 mm<sup>2</sup>.

$$S_{fs2_{\text{fio do secundário}}} = \frac{I_s}{\delta} = \frac{1,15}{3} = 0,383 \text{ mm}^2$$

$S_{fs2_{\text{fio do secundário}}} = 0,384 \text{ mm}^2$  o que corresponde ao fio nº 21 AWG  
O fio 21 AWG tem uma secção de 0,407 mm<sup>2</sup>.

$$S_{fs3_{\text{fio do secundário}}} = \frac{I_s}{\delta} = \frac{1,15}{3} = 0,383 \text{ mm}^2$$

$S_{fs3_{\text{fio do secundário}}} = 0,384 \text{ mm}^2$  o que corresponde ao fio nº 21 AWG

O fio 21 AWG tem uma secção de 0,407 mm<sup>2</sup>.

## Agora vamos desenhar o trafo

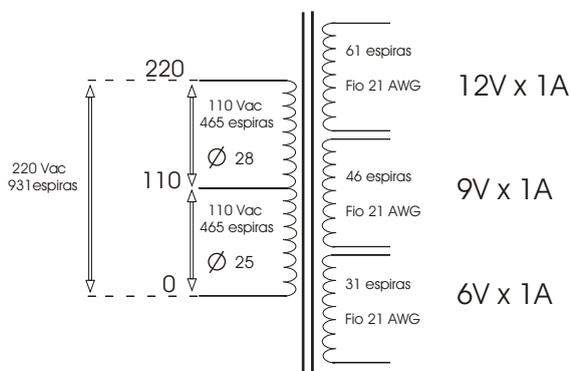


FIGURA 15

### Agora vamos calcular a secção dos enrolamentos ( $S_{\text{enrolamento}}$ )

$$S_{\text{enrolamentos}} = ( N_{p1} \times SF_{p1} ) + ( N_{p2} \times SF_{p2} ) + ( N_{s1} \times SF_{s1} ) + ( N_{s2} \times SF_{s2} ) + ( N_{s3} \times SF_{s3} )$$

$$S_{\text{enrolamentos}} = ( 465 \times 0,16 ) + ( 465 \times 0,08 ) + ( 61 \times 0,41 ) + ( 46 \times 0,41 ) + ( 31 \times 0,41 )$$

$$S_{\text{enrolamentos}} = 74,4 + 37,2 + 25,01 + 18,86 + 12,71$$

$$S_{\text{enrolamentos}} = 168,18\text{mm}^2$$

### Agora veremos a viabilidade do trafo.

$$\frac{S_{\text{janela de nº3}}}{S_{\text{enrolamentos}}} = \frac{675\text{mm}^2}{168,18\text{mm}^2} = 4,01$$

Como o resultado é maior do que 3, podemos enrolar o trafo.

Se o resultado fosse menor deveríamos usar outro núcleo.

### Observações:

Esses cálculos têm alguns valores aproximados e servem para transformadores simples com 2 enrolamentos, primário e no máximo 3 enrolamentos secundário.

Transformadores baseados nestes cálculos deram bons resultados quando construídos e testados no dia-à-dia e em equipamentos.

# Relações entre as Medidas dos Núcleos de um transformador

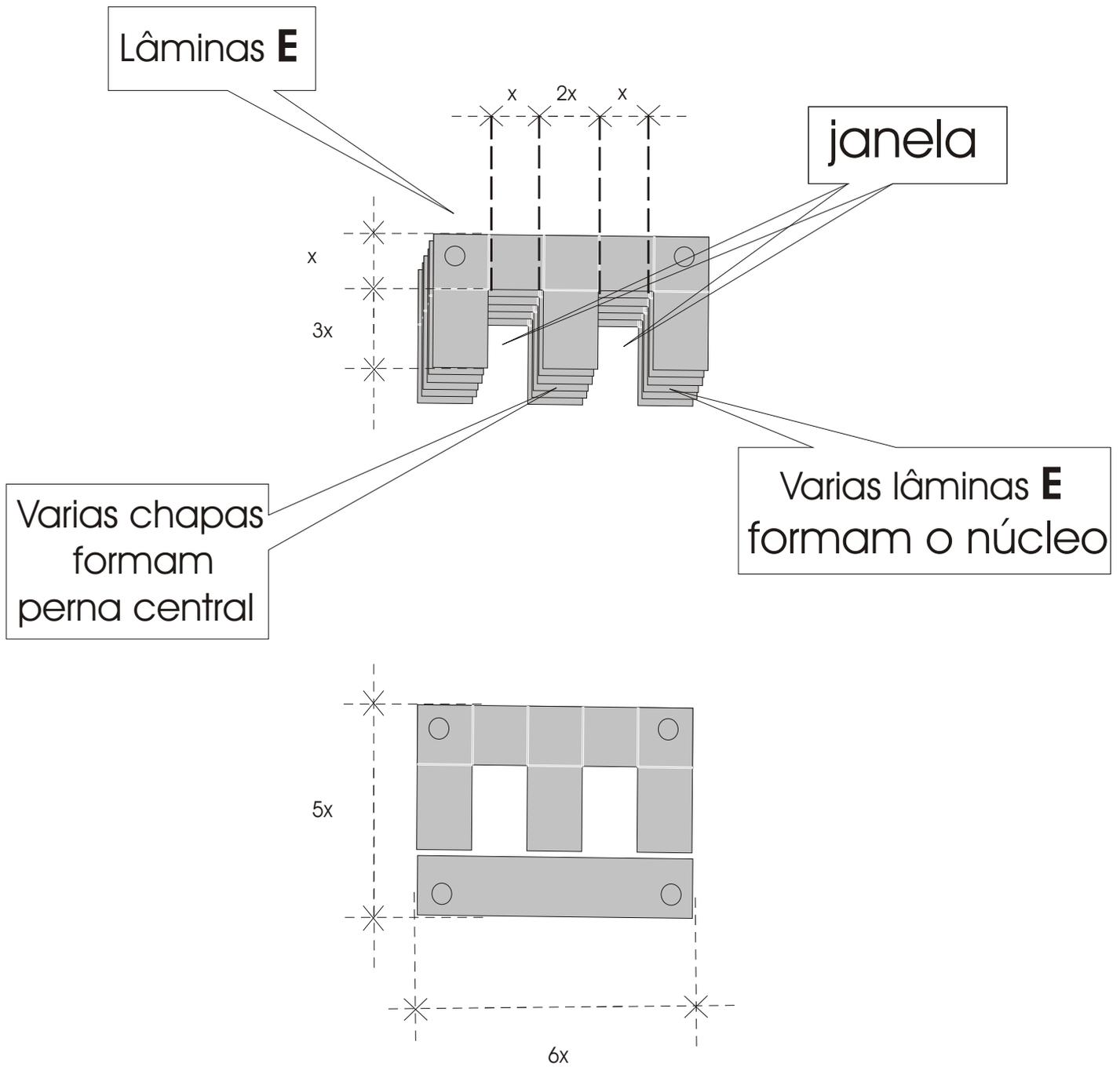


Figura 16

## DICAS PRÁTICAS

Um transformador tem enrolamentos primários e secundários. O primário é a entrada do transformador e o secundário é a saída.

Quando o transformador eleva a tensão presente em sua entrada, dizemos que ele é um transformador "elevador" de tensão, caso o transformador baixe a tensão da entrada o chamamos de transformador "abaixador".

Quando vamos comprar um transformador, ele provavelmente virá com uma descrição semelhante aos exemplos abaixo.

Entrada 127/220V - Saída 9V + 9V x 1A  
Entrada 110/220V - Saída 12V + 12V x 500mA  
Entrada 127/220V - Saída 6V + 6V x 800mA  
Entrada 110/220V - Saída 15V + 15V x 2A  
Entrada 127/220V - Saída 9V x 1A

Vamos ver o que isto quer dizer.

Isto significa que o primário do transformador pode ser ligado em 110 ou 220V e que ele tem um, dois ou mais enrolamentos no secundário que fornecem diferentes voltagens, nas mais diversas correntes e potências.

Esses enrolamentos no secundário dos transformadores, podem ser um só ou, um enrolamento com uma divisão ou **tap** central, como mostra a figura 17.

Se pegarmos um transformador como exemplo teremos, entrada 110/220 - saída 12V x 1A.

A máxima corrente que o secundário pode fornecer corresponde a 1A ou 1000mA, que é a mesma coisa.

A máxima tensão que o secundário pode fornecer corresponde a 12V ou 12.000mV, que é a mesma coisa.

A máxima potência que o secundário pode fornecer corresponde a mais de 90% da potência do primário.

Perceba que sempre que existe (+) o trafo tem um tap central.

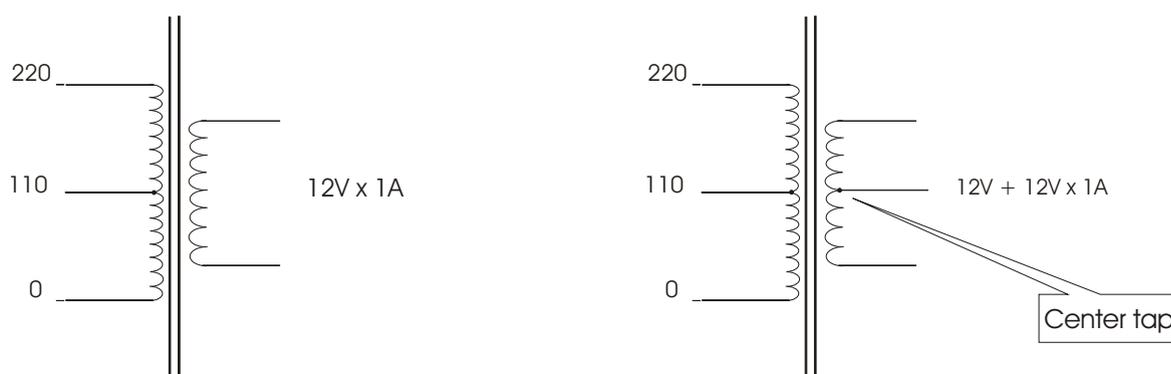


Figura 17

## Podemos ter outras configurações para transformadores

Transformador com um primário e um secundário.

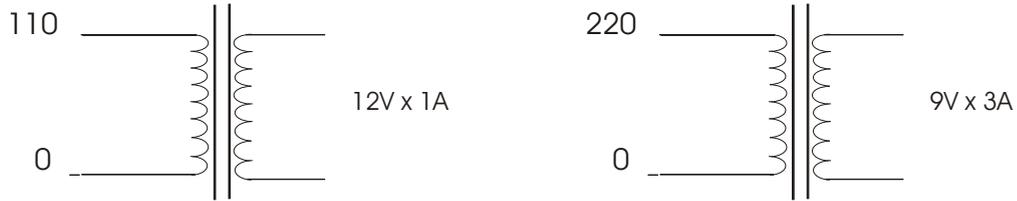


Figura 18

Transformador com um primário e dois secundário.

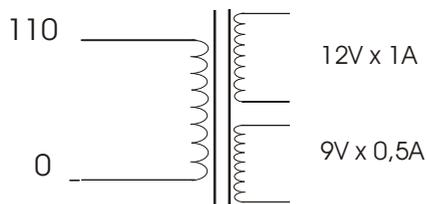


Figura 19

Transformador com dois primário, center tap e um secundário.

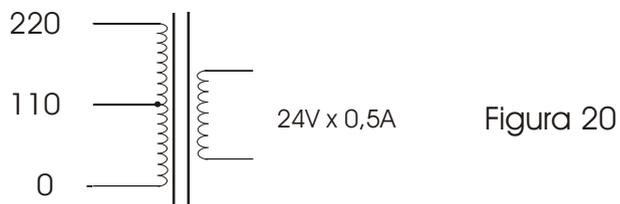


Figura 20

Transformador com dois primário separados e um secundário com center tap.



Figura 21

Transformador com dois primário separados e dois secundário com center tap.

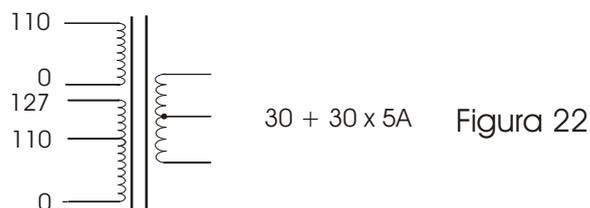
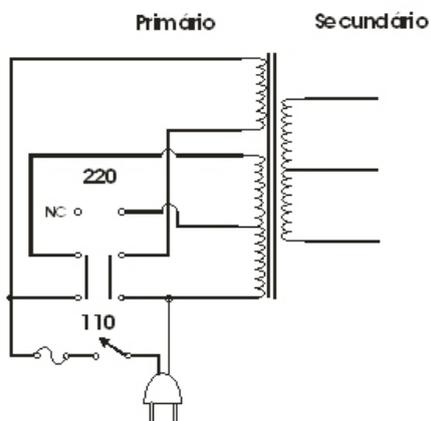


Figura 22

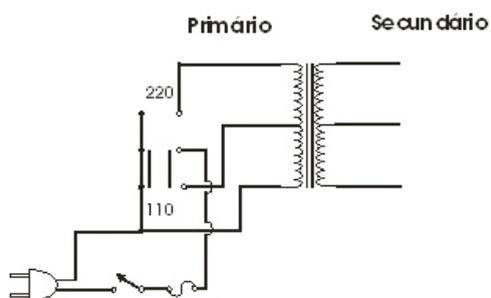
# Vamos ligar o enrolamento primário de um transformador em rede de 127 ou 220V?

## LIGAÇÕES DE TRANSFORMADORES NA CHAVE 110 / 220 VOLTS

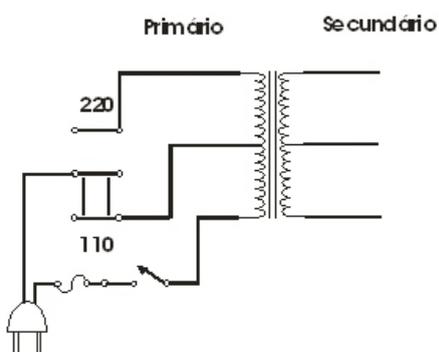
### MODO 1



### MODO 2



### MODO 3



### MODO 4

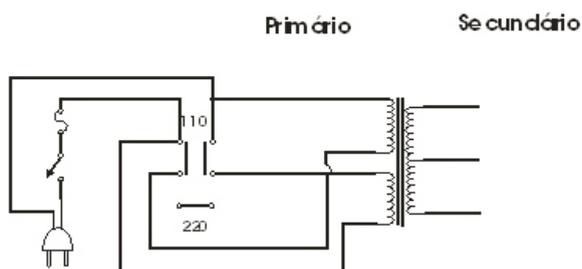


Figura 23

Perceba nos modos de ligações 1 e 4 na chave 110/220 que, para 220V, ligamos os dois enrolamentos em série, e para 127V ligamos os dois enrolamentos em paralelo.

Veja como fazer essa ligação com uma chave 110/220, chamada de (chave H-H).

Para isto precisaremos de uma chave com 2 pólos x 2 posições.

Esquema da chave

Lado de trás da chave

Lado frontal da chave

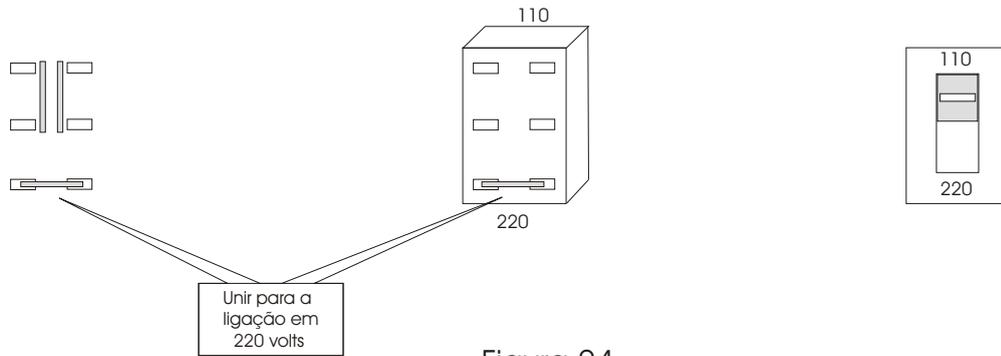


Figura 24

Rede 110 / 220V

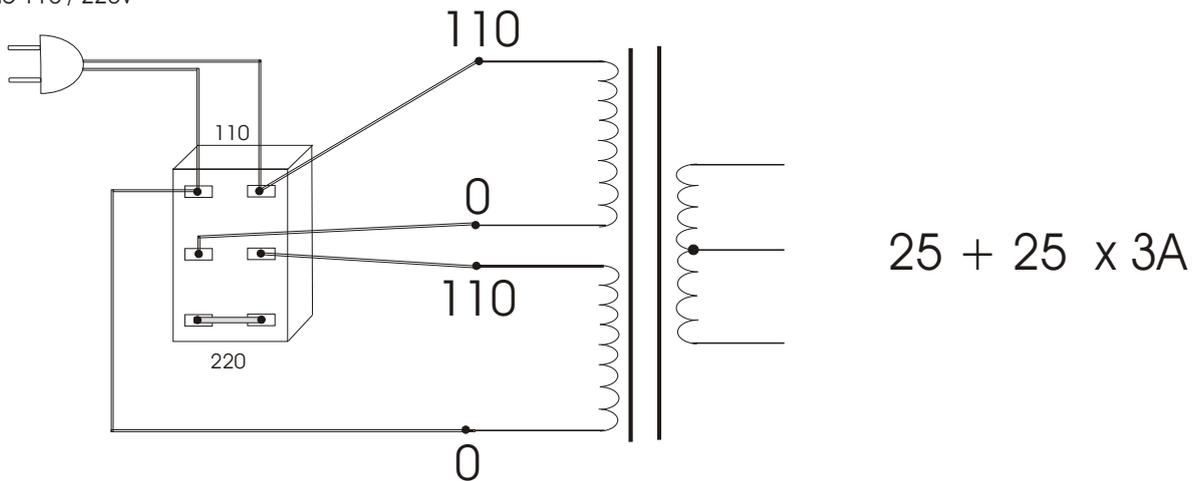


Figura 25

Com essas simples explicações e figuras já apresentadas, percebemos que temos trafos de diferentes modelos e para diversos tipos de usos, vejamos mais alguns:

Transformador elevador de tensão

Transformador isolador de rede

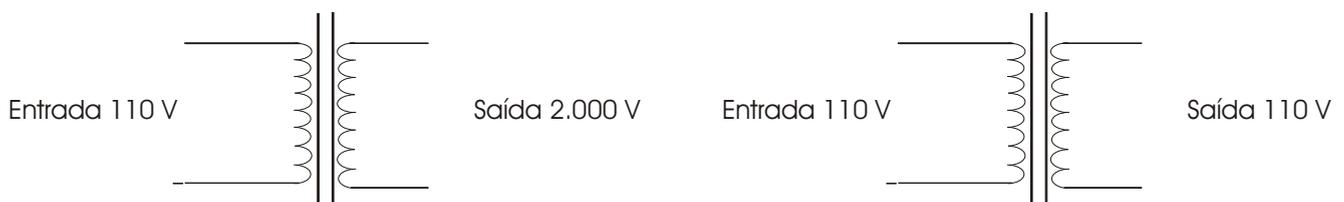
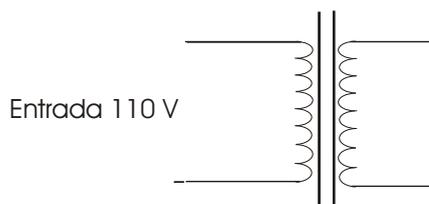


Figura 26

Transformador adaptador de tensão rede

Auto-transformador adaptador de tensão rede



Saída 220 V

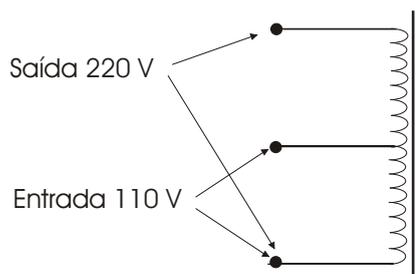


Figura 27

Quando compramos um transformador, os enrolamentos podem estar indicados em sua embalagem, em uma etiqueta no corpo do transformador e alguns, principalmente transformadores com poucos enrolamentos, não têm uma indicação precisa ou descrição muito clara.

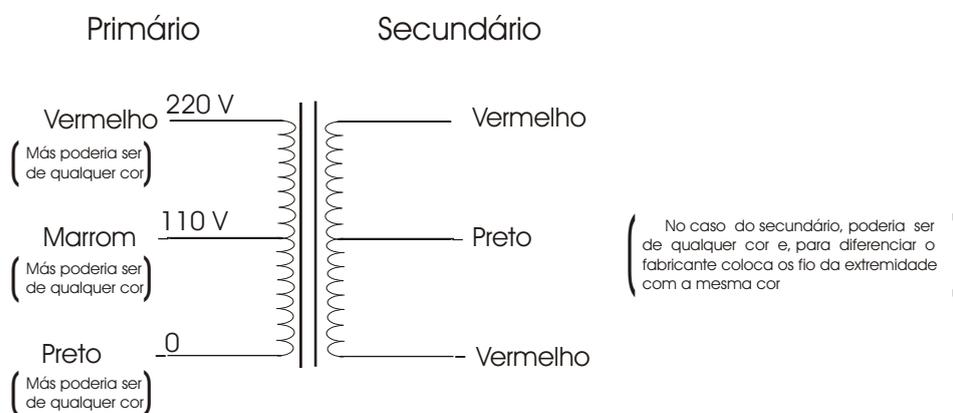


Figura 28

Exemplo de um transformador real: Entrada 110 / 220 V, saída 12V + 12 V x 2 A

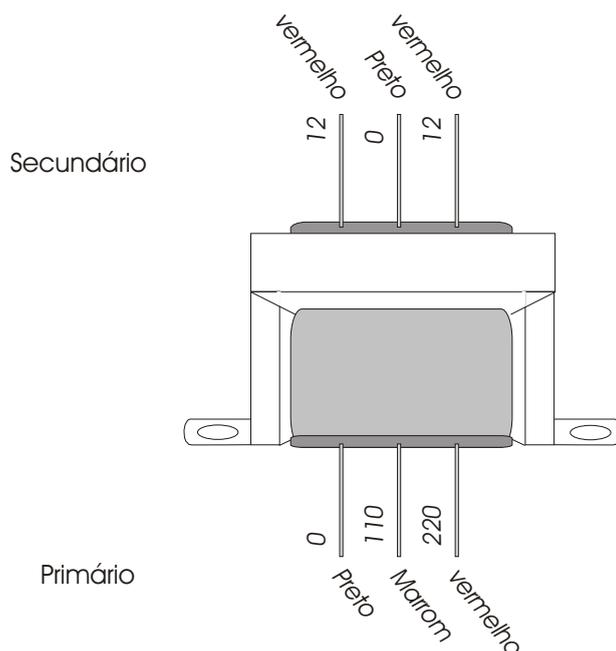


Figura 29

Alguns transformadores não possuem fios de saídas, mais apresentam alguns terminais para soldagem.

Exemplo:

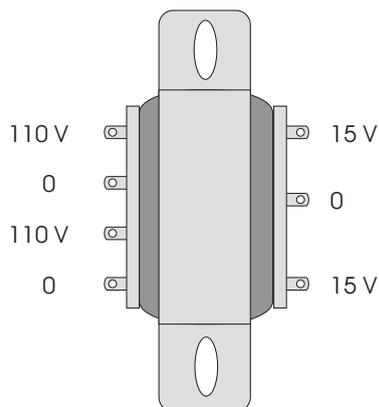


Figura 30

**Observação :**

Nunca podemos ligar o primário de um transformador em contrafase.

Vamos explicar:

Um trafo com dois enrolamentos no primário pode ser ligado em fase, 127V com 127V e 0V com 0V, para ligação em 127V.

Ligação para 127 V  
correta

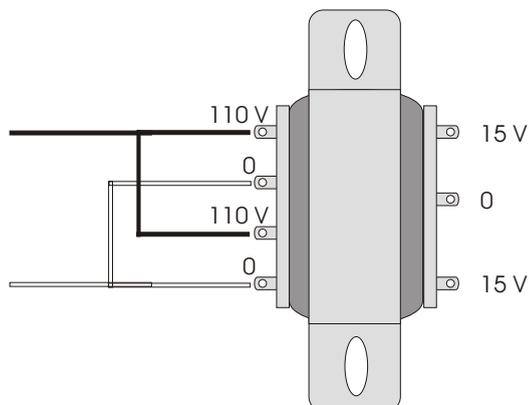
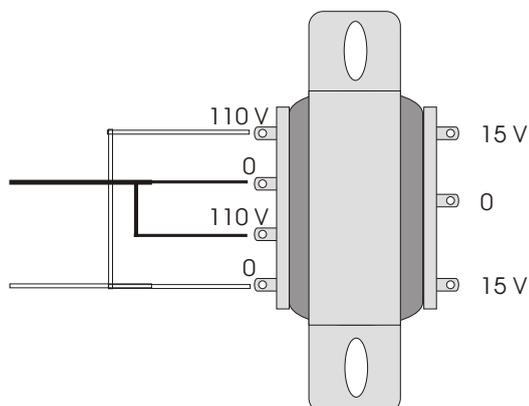


Figura 31

Ligação para 127 V

incorreta



Ligação para 127 V em contra-fase,  
ligando assim o transformador irá  
queimar colocando a rede em curto.

Figura 32

O mesmo jeito deve ser adotado para as ligações em rede de 220 V.

Exemplo:

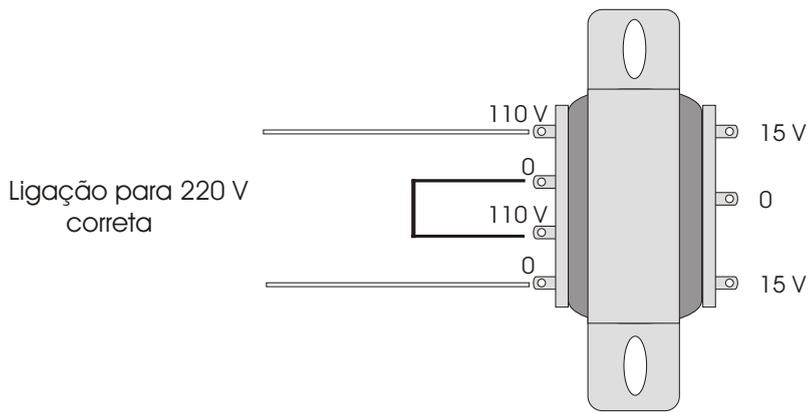


Figura 33

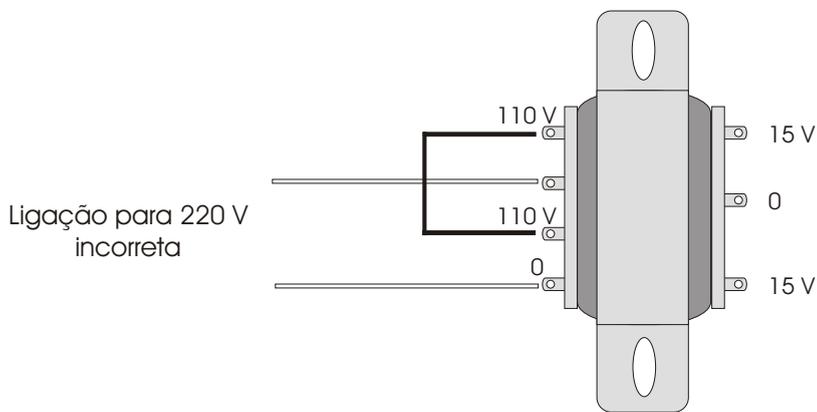


Figura 34

É sempre aconselhável a ligação de um fusível na entrada do trafo para proteção dele e da rede elétrica.

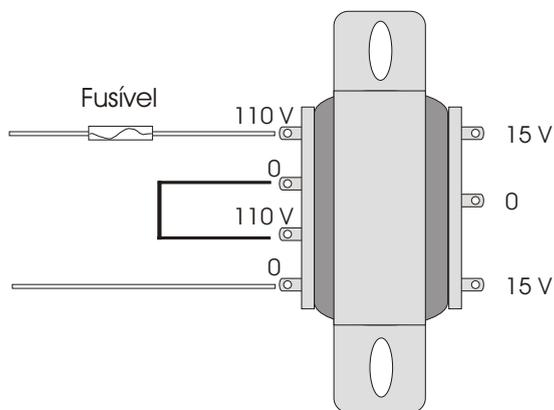


Figura 35

## MÃO À OBRA, VAMOS AOS ENROLAMENTOS E A MONTAGEM DO NÚCLEO

Hoje em dia existem carretéis padrão para a confecção de transformadores de chapas de ferro silício.

O ideal é adaptarmos nossos transformadores calculados a estes carretéis, para facilitar a montagem dos transformadores.

Nesta leitura estaremos trabalhando com núcleos E I, a medida para a escolha do tamanho do carretel é feita pela medida A, dada pela tabela 2 ( vista nas figuras 11 e 12 ). A altura ou empilhamento das chapas, que chamamos de B, será calculada levando-se em conta a seção geométrica (Sg) do núcleo.

Devemos adotar um carretel tenha uma seção geométrica mais próxima da calculada.

No exemplo em que dimensionamos um transformador de 120 Volts de entrada para 6 Volts de saída e com uma capacidade de corrente de 500mA.

A seção geométrica calculada foi de  $2,50 \text{ cm}^2$ , mas o carretel padrão, mais próximo que encontramos a isto foi, o de  $1,6 \text{ cm}$  por  $1,6 \text{ cm}$ , e que dá uma seção de  $2,56 \text{ cm}^2$ .

Para preenchermos toda esta seção precisaremos de mais chapas e nosso trafo ficará maior, porém funcionará. Para termos noção do tamanho de A basta tirarmos a raiz quadrada da seção geométrica calculada.

Normalmente um carretel que tenha A, que corresponde a largura da "perna central" da chapa E, terá um empilhamento mínimo, que chamamos de B, igual a este A.

Exemplo:

Um carretel com um A de  $2 \text{ cm}$  terá um empilhamento mínimo de  $2 \text{ cm}$ .

O núcleo no meio deste carretel será quadrado.

Encontramos carretéis para núcleos de:

A =  $1,5 \text{ cm}$  e B =  $1,5$  ou  $2$  ou  $2,5$  ou  $3,0$  ou  $3,5$  ou  $4$  ou  $5 \text{ cm}$  e assim por diante.

A =  $2,0 \text{ cm}$  e B =  $2,0$  ou  $2,5$  ou  $4$  ou  $5$  e assim por diante.

A =  $2,5$  e B =  $2,5$  e diversos outros tamanhos.

A =  $3,0$  e B =  $3,0$  e diversos outros tamanhos.

E assim por diante, lembrando que a medida B será dada pelo tamanho do empilhamento das chapas para uma determinada seção geométrica.

Estes são apenas alguns exemplos de carretéis ( Veja outros exemplos na tabela a seguinte).

Um enrolamento deve ser isolado do outro com um papelão próprio que é vendido em casas que trabalham com materiais para transformadores.

Para fixarmos o papelão usamos verniz apropriado, também vendido em casas que revendem materiais para transformadores ou goma laca.

Se for usar goma laca, lembre-se que ela pode atacar a isolação do fio de cobre esmaltado.

### Fazendo com que os fios de um enrolamento entrem em curto.

O transformador deve ser envolvido por uma abraçadeira metálica. Tanto a abraçadeira como as chapas de ferro silício são esmaltadas para minimizarem as correntes de Foucault e o aquecimento indesejado do transformador.

Caso o carretel necessário ou disponível tenha uma seção geométrica maior do que a calculada, podemos colocar mais chapas empilhadas ( aumentando B ) para que o núcleo permaneça bem fixo no carretel. Mas sempre use o menor carretel possível.

## MEDIDAS DOS CARRETÉIS MAIS COMUNS, ( em milímetro )

TABELA DE CARRETÉIS T3.

6 X 6	22,0 X 22	28,6 X 38	32,0 X 66	38,0 X 105	50,0 X 51
6 X 9	22,0 X 24	28,6 X 42	32,0 X 69	40,0 X 40	50,0 X 60
10,2 X 10	22,0 X 26	28,6 X 43	35,0 X 40	40,0 X 44	50,0 X 70
10,2 X 15	22,0 X 30	28,6 X 50	35,0 X 45	40,0 X 55	50,0 X 80
13,0 X 13	22,0 X 45	28,6 X 60	38,0 X 40	40,0 X 65	50,0 X 95
13,0 X 20	25,4 X 19	32,0 X 22	38,0 X 45	42,0 X 44	50,0 X 105
16,0 X 16	25,4 X 20	32,0 X 28	38,0 X 50	42,0 X 53	55,0 X 65
16,0 X 22	25,4 X 25	32,0 X 32	38,0 X 55	42,0 X 60	55,0 X 70
16,0 X 30	25,4 X 32	32,0 X 38	38,0 X 60	42,0 X 65	55,0 X 80
16,0 X 40	25,4 X 35	32,0 X 40	38,0 X 63	42,0 X 70	60,8 X 70
19,0 X 41	25,4 X 42	32,0 X 42	38,0 X 66	45,0 X 45	60,8 X 75
20,0 X 19	25,4 X 50	32,0 X 45	38,0 X 75	45,0 X 56	60,8 X 80
20,0 X 22	25,4 X 60	32,0 X 52	38,0 X 80	45,0 X 65	60,8 X 90
20,0 X 30	28,6 X 29	32,0 X 55	38,0 X 90	45,0 X 70	60,8 X 95
20,5 X 30	28,6 X 33	32,0 X 60	38,0 X 94	45,0 X 75	60,8 X 105

Exemplo:

Carretel de medidas 6 x 9 :

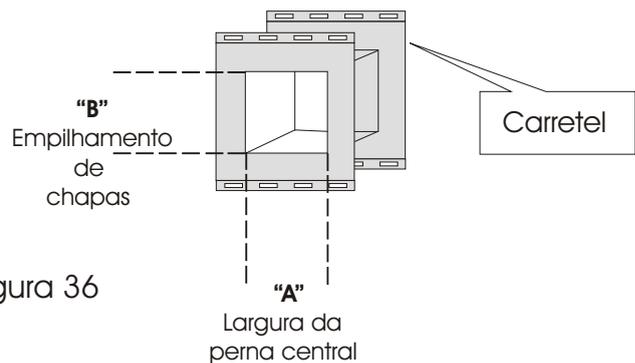
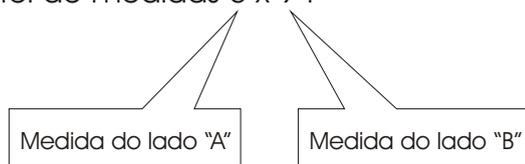


Figura 36

Para montar o trafo enrolamos primeiro o enrolamento primário, que normalmente se localiza em baixo do carretel e em seguida o enrolamento secundário ( s ).

Cada enrolamento deve ser isolado com papel para transformadores, mesmo os diferentes secundários. Podemos prender o papel com, cola, fita adesiva ou com verniz. Depois de terminados os enrolamentos, devem colocar uma folha de papel especial de transformador.

Neste ponto seria ideal a ligação dos fios coloridos e com capa nos fios dos enrolamentos ..

Estes fios é que seriam as entradas e saídas do trafo. Isto é fundamental quando o fio de cobre esmaltado do enrolamento é bem fino. Depois de feito isto, prender com verniz ou fita adesiva as emendas e colocamos mais uma folha de pape para o acabamentol.

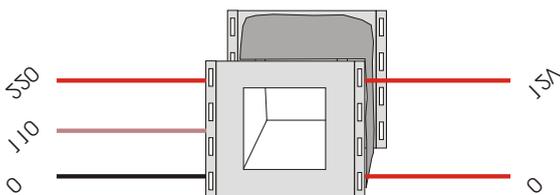


Figura 37

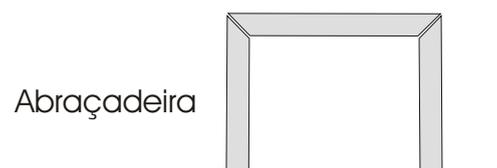


Figura 38

Montamos o núcleo com chapas " E " e " I " e depois de montado mergulhamos o transformador no verniz para que não vibre ou gere algum ruído desnecessário ao seu bom funcionamento, agora prendemos com a abraçadeira. A abraçadeira deve ser comprada de acordo com o tamanho do núcleo. Está pronto o nosso transformador.

Para encontrarmos os materiais necessários para se enrolar um transformador devemos procurar por casas que vendam transformadores.

## **Material necessário para a confecção de transformadores**

O necessário para se enrolar um transformador

- Fio de cobre esmaltado ( normalmente vendido por quilo ou por carretel ).
- Núcleo de chapas de ferro silício " E " e " I ", (normalmente vendido por quilo ).
- Abraçadeira, de acordo com a medida do núcleo.
- Papel, ( normalmente vendido por folha ).
- Verniz de secagem à ar e uma cuba para mergulhar o transformador depois de pronto.
- Carretel
- Bobinadeira, pode ser manual.
- Fio coloridos para ligação externa determinando primário (s) e secundário (s).
- Lampada série de pelo menos 100 Watts para teste do transformador.

### **Fornecedores de materiais para transformadores e bobinas:**

- Cisel  
Fone (11) 3864 - 4358
- Ficael  
Fone (11) 5667-2022
- Transformadores Líder  
Fone (11) 3221-1211
- Tessin  
Fone: (011) 4748-8191

## Transformadores

O campo magnético pode induzir uma tensão noutro indutor, se este for enrolado sobre uma mesma forma ou núcleo.

Pela Lei de Faraday, a tensão induzida será proporcional à velocidade de variação do fluxo, e ao número de espiras deste indutor.

$$E_2 = N_2 \frac{df}{dt}$$

Aplicando aos dois enrolamentos, a lei permite deduzir a relação básica do transformador.

$$E_1/E_2 = N_1/N_2$$

A relação de correntes é oposta à de tensões.

$$I_1/I_2 = N_2/N_1$$

O índice um se refere ao indutor ao qual se aplica tensão, o primário, e dois, àquele que sofre indução, o secundário.

O transformador é um conversor de energia elétricas, de alta eficiência (podendo ultrapassar 99%), que altera tensões e correntes, e isola circuitos.

### Perdas em um transformador

Além das perdas no cobre dos enrolamentos (devidas à resistência), os transformadores e bobinas apresentam perdas magnéticas no núcleo.

#### Perdas por Histerese

Os materiais ferromagnéticos são passíveis de magnetização, através do realinhamento dos domínios, o que ocorre ao se aplicar um campo (como o gerado por um indutor ou o primário do transformador).

Este processo consome energia, e ao se aplicar um campo variável, o material tenta acompanhar este, sofrendo sucessivas imantações num sentido e noutro, se aquecendo.

Ao se interromper o campo, o material geralmente mantém uma magnetização, chamada campo remanente.

#### Perdas por correntes parasitas ou de Foucault

São devidas à condutividade do núcleo, que forma, no caminho fechado do núcleo, uma espira em curto, que consome energia do campo.

Para minimizá-las, usam-se materiais de baixa condutividade, como a ferrite e chapas de aço-silício, isoladas uma das outras por verniz.

Em vários casos, onde não se requer grandes indutâncias, o núcleo contém um entreferro, uma separação ou abertura no caminho do núcleo, o que elimina esta perda.

# Tipos de transformadores e suas aplicações

## Transformador de alimentação

É usado em fontes, convertendo a tensão da rede na necessária aos circuitos eletrônicos.

Seu núcleo é feito com chapas de aço-silício, que tem baixas perdas, em baixas frequências, por isto é muito eficiente. Às vezes possuem blindagens, invólucros metálicos.

## Transformador de áudio ( saída, acoplamento e excitador )

Usado em aparelhos de som a válvula e certas configurações a transistor, no acoplamento entre etapas amplificadoras e saídas ao auto-falante.

Geralmente é semelhante ao transformador de alimentação em forma e no núcleo de aço-silício, embora também se use a ferrite.

Sua resposta de frequência dentro da faixa de áudio, 20 a 20000 Hz, não é perfeitamente plana, mesmo usando materiais de alta qualidade no núcleo, o que limita seu uso.

## Transformador de distribuição de energia

Encontrado nos postes e entradas de força em alta tensão (industriais), são de alta potência e projetados para ter alta eficiência (da ordem de 99%), de modo a minimizar o desperdício de energia e o calor gerado.

Possui refrigeração a óleo, que circula pelo núcleo dentro de uma carapaça metálica com grande área de contato com o ar exterior. Seu núcleo também é com chapas de aço-silício, e pode ser monofásico ou trifásico (três pares de enrolamentos).

## Transformadores de alta potência, HV ( Alta Voltagem ).

Encontra-se nas cabines de entrada de energia, fornecendo a tensão secundária de 220V, em geral, para alimentar os dispositivos de controle da cabine - relés de mínima e máxima tensão (que desarmam o disjuntor fora destes limites), iluminação e medição.

A tensão de primário é alta, 13.8 kV ou maior.

O núcleo é de chapas de aço-silício, envolvido por blindagem metálica, com terminais de alta tensão afastados por cones salientes, adaptados a ligação às cabines. Podem ser mono ou trifásicos.

## Transformador de corrente (TC)

Usado na medição de corrente, em cabines e painéis de controle de máquinas e motores.

Consiste em um anel circular ou quadrado, com núcleo de chapas de aço-silício e enrolamento com poucas espiras, que se instala passando o cabo dentro do furo, este atua como o primário.

A corrente é medida por um amperímetro ligado ao secundário (terminais do TC)

É especificado pela relação de transformação de corrente, com a do medidor sendo padronizada em 5A, variando apenas a escala de leitura e o número de espiras do TC.

## Transformador de RF (radio freqüência)

Empregam-se em circuitos de radiofreqüência (RF, acima de 30kHz), no acoplamento entre etapas dos circuitos de rádio e TV. Sua potência em geral é baixa, e os enrolamentos têm poucas espiras.

O núcleo é de ferrite, material sintético composto de óxidos de ferro, níquel, zinco, cobalto e magnésio em pó, aglutinados por um plastificante.

Esta se caracteriza por ter alta permeabilidade, que se mantém em altas freqüências (o que não acontece com chapas de aço-silício). Costumam ter blindagem de alumínio, para dispersar interferências, inclusive de outras partes do circuito.

## Transformadores de pulso

São usados em acoplamentos, isolando o circuito de controle de baixa tensão do circuito de alta potência dos tiristores, chaves semicondutoras, além de isolarem um tiristor de outro (vários secundários).

Têm núcleo de ferrite e invólucro plástico, em geral.

## Auto-transformadores

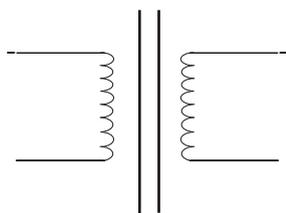
Se aplicarmos uma tensão a uma parte de um enrolamento (uma derivação), o campo induzirá uma tensão maior nos extremos do enrolamento. Este é o princípio do autotransformador.

Uma característica importante dele é o menor tamanho, para certa potência, que um transformador. Isto não se deve apenas ao uso de uma só bobina, mas ao fato da corrente de saída ser parte fornecida pelo lado alimentada, parte induzida pelo campo, o que reduz este, permitindo um núcleo menor, mais leve e mais barato.

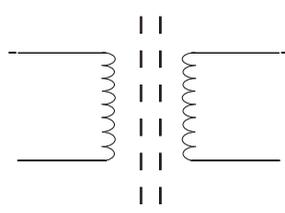
A desvantagem é não ter isolamento entre entrada e saída, limitando as aplicações.

São muito usados em chaves de partida compensadoras, para motores (circuitos que alimentam motores com tensão reduzida fornecida pelo autotransformador, por alguns segundos, reduzindo o pico de corrente durante a aceleração) e em estabilizadores de tensão (autotransformador com várias derivações, "tapes" acima e abaixo do ponto de entrada, o circuito de controle seleciona uma delas como saída, elevando ou reduzindo a tensão, conforme a entrada)

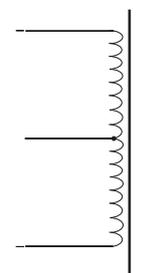
## Símbolos



Transformador c/  
chapa de silício



Transformador c/  
núcleo de ferrite



Auto-transformador

