

UNIDADE II

“PARÂMETROS ELÉTRICOS PARA SELEÇÃO DE CONDUTORES”**1. INTRODUÇÃO**

Para diagnosticar o comportamento de uma instalação elétrica é necessário medir os seus parâmetros elétricos, relacioná-los, analisar os seus resultados e depois tomar decisões para a sua manutenção ou executar novas ampliações. O presente capítulo compreende o reconhecimento e medição dos principais parâmetros elétricos, o uso de instrumentos para medi-los e as fórmulas que os relacionam. Com estes fundamentos, o participante estará em condições de medir a tensão, corrente, resistência, potência e energia em circuitos elétricos.

2. TENSÃO ELÉTRICA

Definimos a tensão elétrica como a força capaz de produzir um fluxo de elétrons.

2.1 UNIDADES DA TENSÃO ELÉTRICA

A unidade da tensão elétrica é o volt, cujo símbolo é “V”. No entanto, é comum utilizar o múltiplo kV (quilovolt) e o submúltiplo mV (milivolt).

Conversão:

$$\begin{array}{lcl} 1 \text{ kV} & = & 1\ 000 \text{ V} \\ 1 \text{ V} & = & 1\ 000 \text{ mV} \end{array}$$

2.2 TIPOS DE TENSÃO ELÉTRICA

- a) **Tensão elétrica contínua (CC):** A tensão elétrica contínua (CC) é aquela na qual a sua polaridade não muda com o tempo.

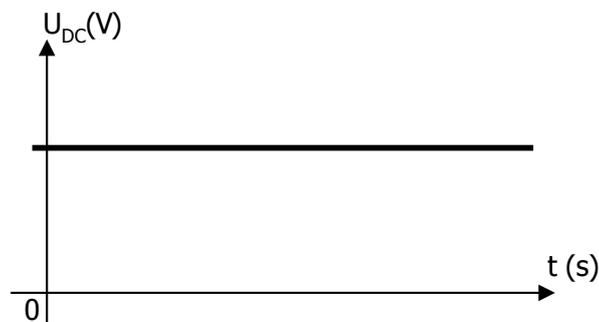


Figura 2.1 Tensão elétrica contínua.

- b) **Tensão elétrica alternada (CA):** A tensão elétrica alternada (CA) é aquela na qual a sua polaridade muda com o tempo e a sua magnitude é variável.

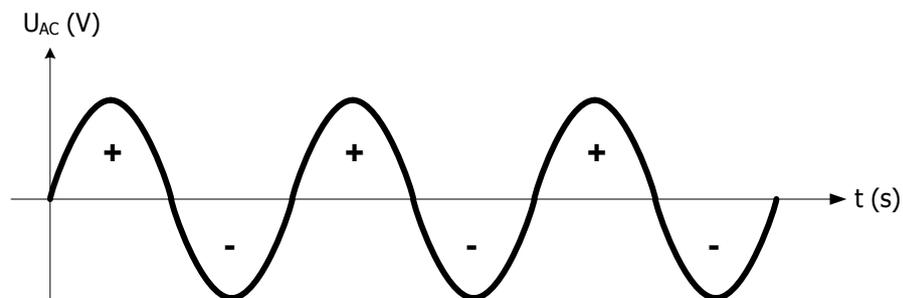


Figura 2.2 Tensão alternada.

2.3 MEDIÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA

O instrumento que mede a tensão elétrica é o voltímetro e conecta-se em paralelo. É simbolizado do seguinte modo:

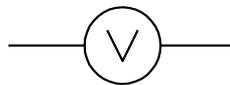


Figura 2.3 Símbolo do voltímetro.

2.4 MEDIÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA CONTÍNUA:

Se você tiver um multímetro (instrumento de várias funções, entre elas o voltímetro), siga este procedimento:

1. Gire o comutador seletor à função "tensão elétrica contínua".
2. Gire o comutador seletor à escala de tensão elétrica contínua mais alta. Você pode escolher uma escala menor se conhece o valor aproximado da tensão elétrica. Se o instrumento é do tipo autoajuste, não considere este passo.
3. Conecte a ponta de prova preta ao borne negativo (- ou COM) da bateria e a ponta de prova vermelha ao terminal positivo da bateria, como mostrado na figura 2.4.
4. Leia o valor indicado na tela do multímetro digital.



Figura 2.4 Conexão de um voltímetro a uma bateria.
Bateria de 12 volts

2.5. MEDIÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA ALTERNADA:

Se você tiver um multímetro (instrumento de várias funções, entre elas o voltímetro), siga este procedimento:

1. Gire o comutador seletor à função "tensão elétrica alternada".
2. Gire o comutador seletor à escala de tensão elétrica alternada mais alta. Você pode escolher uma escala menor se conhece o valor aproximado da tensão elétrica. Se o instrumento for do tipo autoajuste, não considere este passo.
3. Conecte as pontas de prova dos terminais do instrumento "COM" e "V, Ω " aos terminais da fonte alternada a medir, como mostrado na figura 2.5.
4. Leia o valor indicado do voltímetro analógico ou a tela do multímetro digital.



Figura 2.5 Conexão de um voltímetro a uma tomada.

3. INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA

Definimos a intensidade de corrente eléctrica como o fluxo de elétrons que circula, por segundo, através de uma seção do condutor.

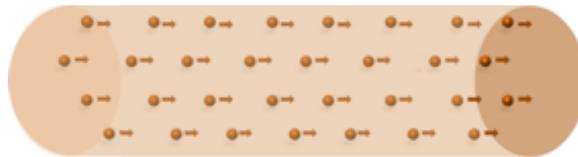


Figura 2.6 Corrente eléctrica em um condutor.

Considerar que:

- A corrente eléctrica é o deslocamento ordenado das cargas eléctricas (elétrons)
- A tensão eléctrica causa a corrente eléctrica .

3.1 UNIDADES DA CORRENTE ELÉTRICA

A unidade da corrente eléctrica é o ampère, cujo símbolo é "A". No entanto, é comum utilizar o múltiplo kA (quiloampère) e o submúltiplo mA (miliampère).

Conversão:

1 kA	=	1 000 A
1 A	=	1 000 mA

3.2 TIPOS DE CORRENTE ELÉTRICA

O tipo de tensão eléctrica determina o tipo de corrente eléctrica. Por este motivo, os tipos de corrente eléctrica são dois: corrente eléctrica contínua (CC) e alternada (CA):

- a) **Corrente eléctrica contínua (CC):** a corrente eléctrica contínua (CC) é aquela na qual o seu valor ou magnitude permanece em um mesmo sentido no tempo.

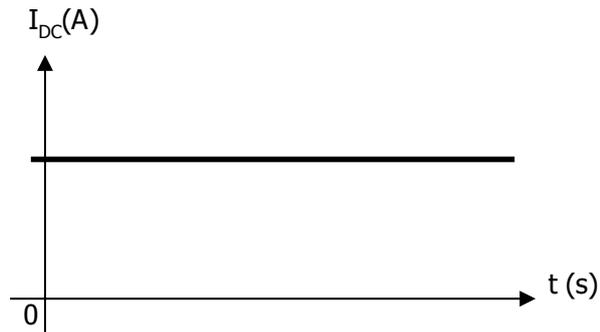


Figura 2.7 Corrente elétrica contínua.

- b) **Corrente elétrica alternada (CA):** a corrente elétrica alternada (CA) é aquela na qual o seu sentido de movimento varia com o tempo e os seus valores ou magnitudes não permanecem constantes.

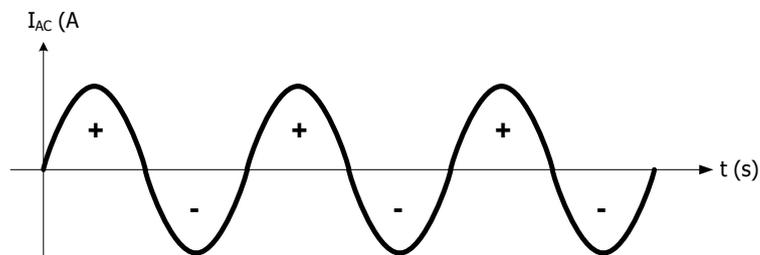


Figura 2.8 Corrente elétrica alternada.

3.3 MEDIÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA

O instrumento que mede corrente é o amperímetro e conecta-se em série com a carga. O seu símbolo é o seguinte:



Figura 2.9 Símbolo do amperímetro.

Para medir a corrente elétrica em um circuito realizam-se as seguintes conexões:



Figura 2.10 Conexões do amperímetro em circuitos CC e CA.

Bateria de tensão eléctrica contínua
Lâmpada de 6 volts
Amperímetro
Fonte de tensão eléctrica alternada regulável
Amperímetro
Banco de resistências de laboratório

3.4 MEDIÇÃO DAS CORRENTES ELÉTRICAS CONTÍNUA E ALTERNADA

Se você tiver um multímetro (instrumento de várias funções, entre elas o amperímetro), siga este procedimento:

1. Gire o comutador seletor de função à escala mais alta de corrente eléctrica CC ou de CA, de acordo com o tipo de tensão eléctrica da fonte de energia.
2. Insira o amperímetro no circuito correspondente, como mostrado na figura 2.10.
3. Leia o valor indicado na tela do multímetro digital.

4. RESISTIVIDADE ρ

Todas as substâncias se opõem em maior ou menor grau à passagem da corrente elétrica. Esta oposição é chamada resistência elétrica. Os materiais que são bons condutores da eletricidade têm uma resistência elétrica muito baixa; os isolantes têm uma resistência muito alta.

Chama-se resistividade o grau de dificuldade que encontram os elétrons nos seus deslocamentos. Designa-se pela letra grega rho minúscula (ρ) e mede-se em ohm-metro (Ωm).

O seu valor descreve o comportamento de um material frente à passagem de corrente elétrica, pelo qual dá uma ideia do bom ou mau condutor que é. Um valor alto de resistividade indica que o material é mau condutor, enquanto que um baixo indica que é um bom condutor.

4.1 UNIDADES DA RESISTIVIDADE

Simboliza-se com a letra grega rho " ρ " e a unidade é $\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$. Para a resistividade dos terrenos utiliza-se $\Omega \text{ m}$.

4.2 IMPORTÂNCIA DA RESISTIVIDADE

A resistividade é importante para saber quais materiais nos oferecerão uma maior ou menor resistência à passagem de corrente elétrica; com a resistividade também podemos comparar quais terrenos são adequados para realizar um aterramento.

Material	Alumínio	Cobre	Prata	Carvão
$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	0,0278	0,0178	0,0167	65

Tabela 2.2 Resistividade de materiais a 20 °C.

NATUREZA DO TERRENO	Valor médio da resistividade em $\Omega \text{ m}$
Terrenos cultiváveis e férteis, terraplenagens compactas e úmidas.	50

Terrenos cultiváveis pouco férteis, terraplenagens.	500
Solos pedregosos nus, areias secas impermeáveis.	3 000

Tabela 2.3 Resistividade de terrenos.

5. RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Definimos a resistência elétrica como a oposição exercida pelos materiais à passagem da corrente elétrica.

5.1 UNIDADES DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A unidade da resistência elétrica é o ohm, cujo símbolo é “ Ω ” (com a letra grega ômega). No entanto, é comum utilizar os múltiplos $M\Omega$ (megohm) e $k\Omega$ (quilohm).

Conversão:

$$1 \text{ k}\Omega = 1\,000 \text{ }\Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1\,000\,000 \text{ }\Omega$$

5.2 RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE UM CONDUTOR

A resistência elétrica de um condutor depende das suas características de fabricação:



Figura 2.11 Resistência elétrica de um condutor.

Comprimento (L)

Seção (S)

Material condutor com resistividade (ρ)

Segundo a Lei de Pouillet:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Onde: R = resistência elétrica (Ω)
 ρ = resistividade do material ($\Omega \times \text{mm}^2 / \text{m}$)
 L = comprimento (m)
 S = seção (mm^2)

5.3 MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O instrumento que mede a resistência elétrica é o ohmímetro. Simboliza-se assim:

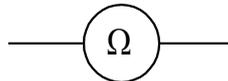


Figura 2.12 Símbolo do ohmímetro.

Para medir resistência elétrica realiza-se a seguinte conexão:



Figura 2.13 Conexão do ohmímetro.

Resistor de 400 ohms

Esquemas de medição:

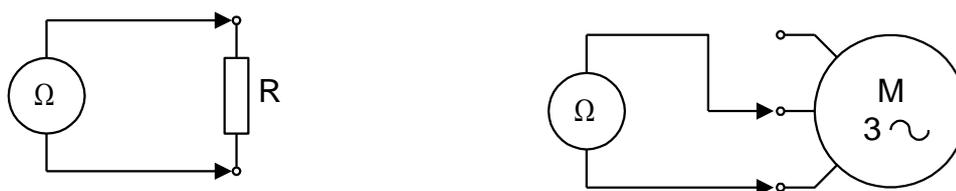
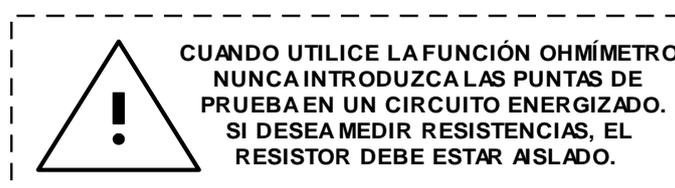


Figura 2.14 Esquemas de medição de resistências.

Para medir a resistência com um multímetro digital, siga este procedimento:

1. Gire o seletor de função e escala à posição de ohms.
2. Conecte as pontas de prova ao resistor, como mostrado na figura 2.13.
3. Leia os valores na escala de ohms.



Quando utilizar a função ohmímetro, nunca insira as pontas de prova em um circuito energizado. Se desejar medir resistências, o resistor deverá ser isolado.

5.4 TESTE DE CONTINUIDADE

Com um ohmímetro podemos determinar se um dispositivo, aparelho ou máquina elétrica se encontra em circuito aberto ou fechado. Esta prova é conhecida como “teste de continuidade”.

Assim sendo, por exemplo, para saber se um interruptor unipolar está “aberto” ou “fechado” realiza-se a seguinte prova, previamente desconectando os condutores que estão conectados ao interruptor.



Interruptor fechado
Interruptor aberto

Figura 2.15 Teste de continuidade.

5.5 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Toda massa ou carcaça condutiva de aparelho, máquina ou instalação elétrica deve estar isolada da parte ativa onde circula a corrente elétrica. Com o tempo, este nível de isolamento vai deteriorando a tal ponto que a massa ou carcaça dos equipamentos se energizam, originando um perigo para as pessoas e os equipamentos em si. Por isso, se requer mantê-los em bom estado.

No entanto, é possível medir a resistência de isolamento das instalações e equipamentos a fim de avaliar o seu estado e tomar ações corretivas. Este instrumento se chama megohmetro.

O megohmetro pode aplicar 500 VCC ou mais a um circuito e mostrar a leitura da resistência de isolamento.

Na figura 2.16 apresenta-se um tipo de megometro.



Figura 2.16 Megohmetro.

Devido aos equipamentos elétricos e as instalações internas estarem trabalhando normalmente em tensões elétricas de 127 ou 220 volts, o

cabeamento e o equipamento devem ser verificados com um instrumento que produza o dobro ou mais da tensão elétrica de trabalho.

Quando a tensão elétrica de trabalho das instalações chega a 250 VCC (com relação à terra), o instrumento deve aplicar uma tensão elétrica de prova mínima de 500 VCC. Se a tensão de trabalho do circuito for maior que 250 V (com relação à terra), requer-se uma tensão de prova de 1000 VCC.

Advertência

Não toque os terminais de teste durante a medição.
A alta tensão pode causar choque elétrico ao usuário.

Conforme tabela 60 da NBR 5410:2004, a resistência de isolamento entre todo condutor vivo da instalação elétrica, com relação à terra, não deve ser inferior a 0,5 Megohm ($0,5\text{ M}\Omega$). Na figura 2.17 mede-se a resistência de isolamento em um motor.



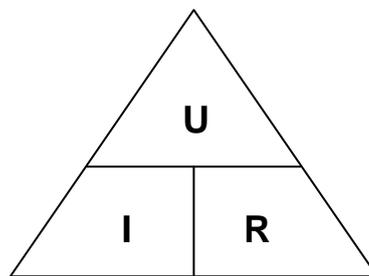
Figura 2.17 Medição da resistência de isolamento em um motor.

5.6 LEI DE OHM

A **lei de Ohm** estabelece que a intensidade da corrente elétrica que circula por um dispositivo é diretamente proporcional à tensão elétrica aplicada e inversamente proporcional à resistência elétrica do mesmo, conforme expressa a fórmula a seguir:

$$I = \frac{U}{R}$$

Para recordar as relações entre a tensão, corrente e resistência elétrica pode-se utilizar o presente triângulo, onde selecionando qualquer dos parâmetros nos dá a relação das outras duas.



Considerar também:

$$R = \frac{U}{I} \quad U = I \cdot R$$

Exemplo: Se a uma lâmpada incandescente se aplica 220 V e a sua resistência elétrica for de 484 Ω , então, a corrente elétrica que circulará será de:

$$I = \frac{220 \text{ V}}{484 \Omega} = 0,454 \text{ A}$$

6. POTÊNCIA ELÉTRICA

Define-se como a quantidade de energia consumida por uma instalação elétrica na unidade de tempo. Ela será representada pela letra P.

FÓRMULAS:

$$P = U \cdot I \dots\dots(a) \quad \text{Potência elétrica}$$

Além disso, pela Lei de Ohm:

$$U = I \cdot R$$

Substituindo em (a): $P = I^2 \cdot R$ Efeito Joule

Se: $I = U / R$ Lei de Ohm.

Substituindo em (a): $P = U^2 / R$

Onde:

P = Potência elétrica
U = Tensão elétrica
I = Corrente elétrica
R = Resistência elétrica

Finalmente, podemos simplificar tudo o que se descreve acima a:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = U^2 / R$$

6.1 UNIDADES DA POTÊNCIA ELÉTRICA

A unidade da potência elétrica é o watt, cujo símbolo é W; no entanto, é comum utilizar o múltiplo kW (quilowatt).

Outras unidades utilizadas são as seguintes: o HP (Horse Power) e o CV (cavalo vapor).

Conversões:

1 kW = 1 000 W
1 HP = 746 W
1 CV = 736 W

6.2 MEDIÇÃO DA POTÊNCIA ELÉTRICA

O instrumento que mede a potência elétrica é o wattímetro. O símbolo é o seguinte:

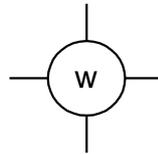


Figura 2.18 Símbolo do wattímetro.



Figura 2.19 Wattímetros.

Para medir a potência elétrica de uma carga trifásica realiza-se a seguinte conexão:

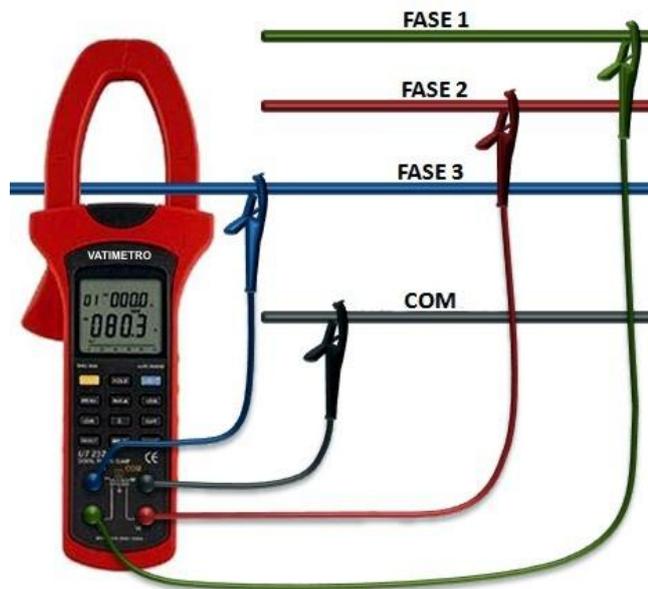


Figura 2.20 Conexão do wattímetro em instalação trifásica com neutro comum.

O esquema elétrico para uma conexão monofásica será:

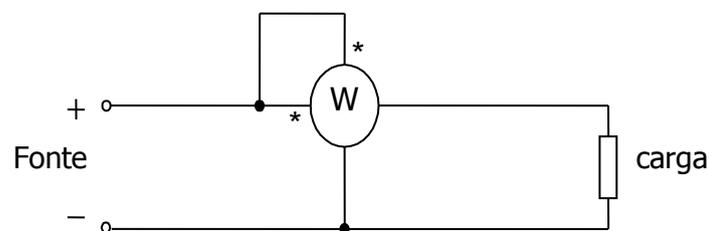


Figura 2.21 Esquema elétrico (conexão do wattímetro).

Os asteriscos no circuito anterior indicam os locais por onde entra a corrente elétrica, quer seja pelo circuito de corrente (horizontal) ou pelo circuito de tensão (vertical). Para que o vatímetro funcione é necessário que os dois circuitos recebam corrente elétrica; caso contrário, o wattímetro não medirá potência elétrica.

Quando desejar medir a potência elétrica de uma carga em um circuito CC, pode ser utilizado também o método indireto.

Sabemos que $P = U \times I$; e se não se dispõe de um wattímetro, pode-se utilizar um voltímetro e um amperímetro para medir a tensão eléctrica (U) e corrente eléctrica (I), respectivamente.

O circuito será:

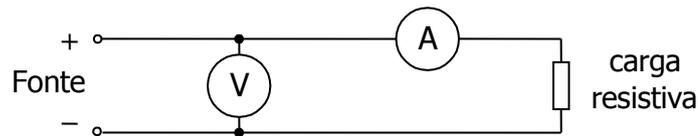


Figura 2.22 Medição indireta (com voltímetro e amperímetro).

O produto das leituras dos instrumentos será a potência eléctrica consumida pela carga.

7. ENERGIA ELÉTRICA

Define-se como a potência eléctrica consumida por uma instalação eléctrica em um determinado tempo. A mesma será representada com a letra E.

FÓRMULA:

$$E = P \cdot t$$

Onde:

E = Energia.
P = Potência.
t = Tempo.

7.1 UNIDADES DA ENERGIA ELÉTRICA

A unidade de energia é o joule, cujo símbolo é J; no entanto, em circuitos eléctricos é frequente utilizar o quilowatt-hora: kWh.

Conversões:

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ Wh}$$

7.2 MEDIÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA

O instrumento que mede a energia eléctrica é o medidor de energia. O símbolo é o seguinte:



Figura 2.23 Símbolo do medidor de energia elétrica.



Figura 2.24 Medidores de energia elétrica.

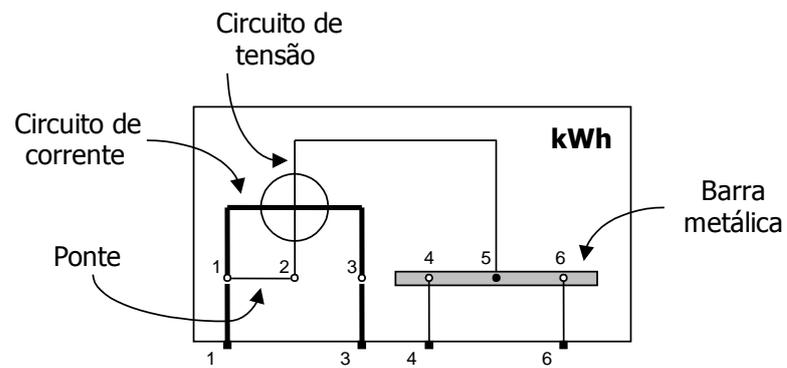
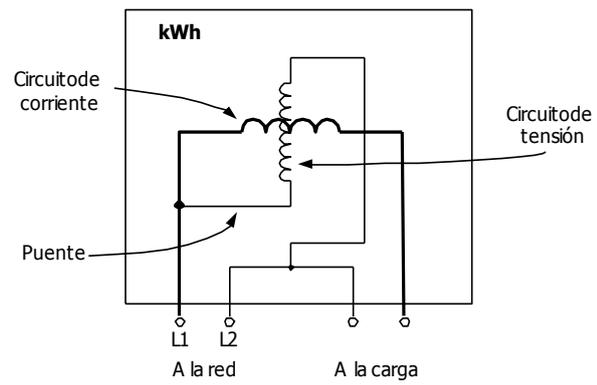


Figura 2.25 Esquema elétrico de um medidor de energia elétrica. (Norma IEC).



Circuito de corrente

Circuito de tensão

Ponte

À rede

À carga

Figura 2.26 Esquema elétrico de um medidor de energia elétrica .

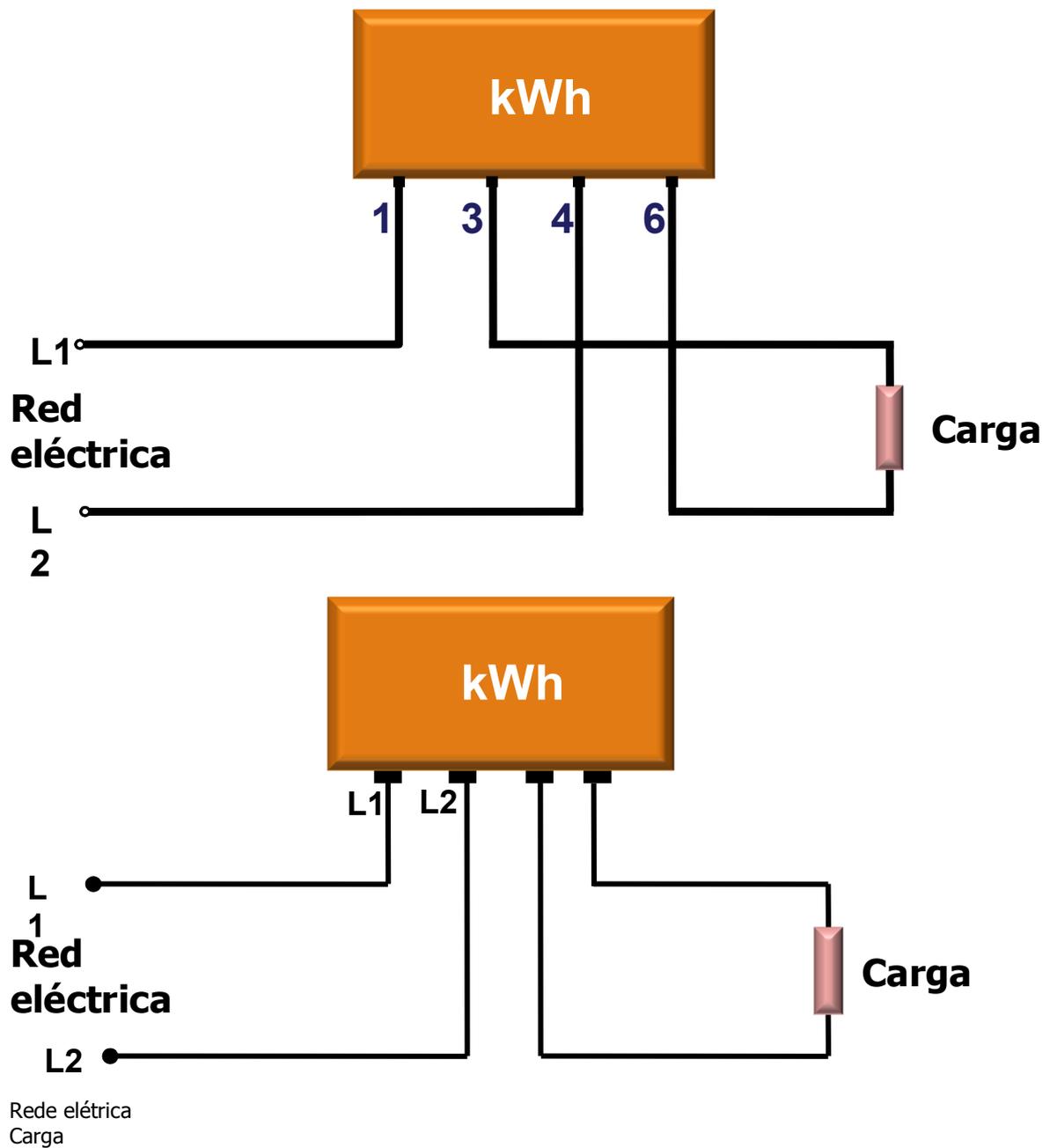


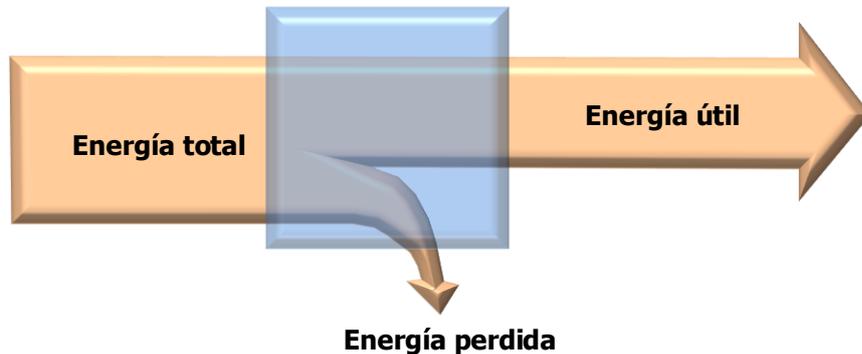
Figura 2.27 Conexões de dois tipos de medidores de energia eléctrica.

8. EFICIÊNCIA

A eficiência define-se como a relação entre a energia eléctrica útil e a energia eléctrica total. Para representar a eficiência utiliza-se a letra grega "eta" η .

$$\eta = \frac{\text{energia útil}}{\text{energia total}}$$

Em toda transformação de energia, a quantidade obtida, chamada energia útil, é sempre inferior à quantidade inicial absorvida pela instalação, denominada energia total. Tudo isso se deve à perda de energia ocasionada durante a transformação, normalmente na forma de calor, chamada energia perdida. Daí podemos afirmar que, os valores de eficiência sempre são inferiores à unidade (0,99; 0,9; 0,85; etc.). Também podem ser expressos em percentagem (99%; 90%; 85%; etc.).



Energia total
Energia útil
Energia perdida

Figura 2.28 Fluxo da energia.

$$\text{Energia total} = \text{energia útil} + \text{energia perdida}$$

9. LEIS DE KIRCHHOFF

9.1 LEI DE TENSÕES ELÉTRICAS - CIRCUITO EM SÉRIE

Nesta conexão as cargas são colocadas umas após as outras, de modo que a mesma corrente eléctrica circula por todas elas.

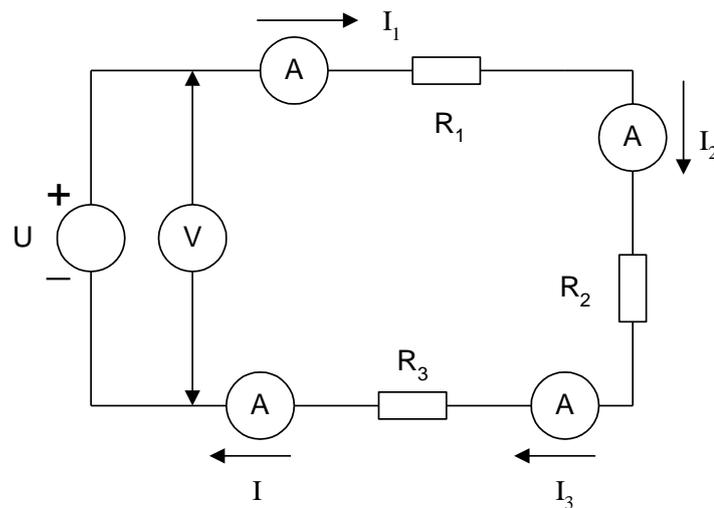


Figura 2.29 Ligação em série.

“Na ligação em série circula a mesma corrente elétrica em todo o circuito”.

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

No circuito em série, cada consumidor tem uma parte da tensão elétrica total.

A tensão total é igual à soma das diferentes tensões elétricas em série:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

9.2 SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF

Em uma malha (circuito fechado), a tensão elétrica entregue pela fonte é igual à soma das quedas de tensão elétrica de cada uma das cargas:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

9.3 RESISTÊNCIA ELÉTRICA EQUIVALENTE EM UM CIRCUITO EM SÉRIE

A resistência elétrica total de um circuito chama-se também resistência elétrica equivalente. Em um circuito em série, a resistência elétrica total é igual à soma das resistências elétricas parciais:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

9.4 LEI DE CORRENTES ELÉTRICAS - CIRCUITO EM PARALELO

Em um circuito em paralelo, os extremos das cargas recebem a mesma tensão eléctrica.

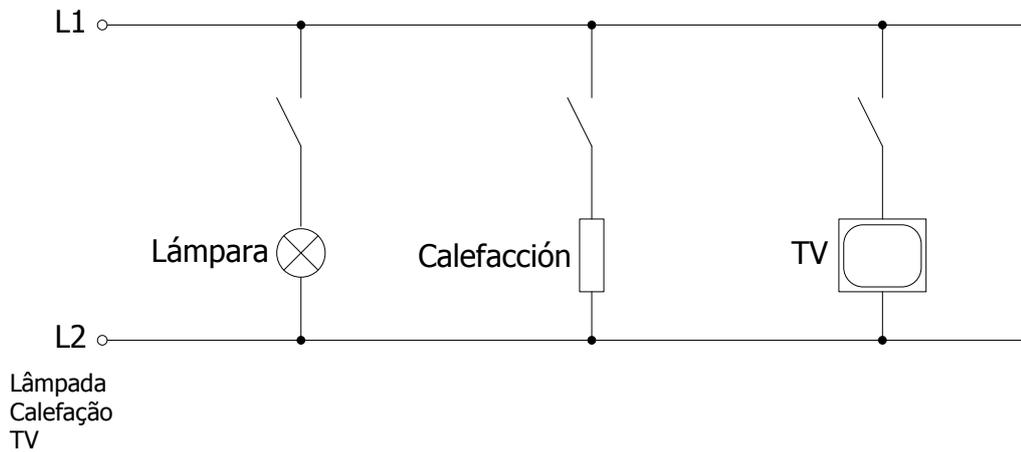


Figura 2.30 Ligação de cargas em paralelo.

Observa-se que, ao conectar cargas em paralelo a uma fonte de tensão eléctrica, todas elas se encontram submetidas à mesma tensão.

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

Além disso, a corrente eléctrica total é igual à soma das correntes dos ramos:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

9.5 PRIMEIRA LEI DE KIRCHHOFF

“A soma das correntes eléctricas que entram num nó é igual a soma das que saem dele”.

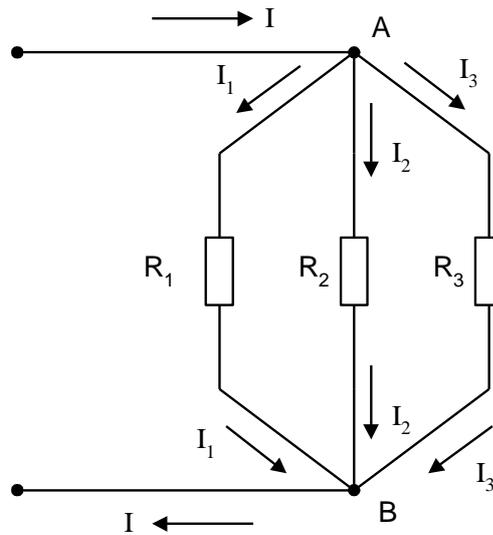


Figura 2.31 Primeira Lei de Kirchhoff.

Em um nó:

$$\sum I_{\text{ENTRA}} = \sum I_{\text{SAI}} \quad (\text{Primeira Lei de Kirchhoff})$$

Nó "A":

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Nó "B":

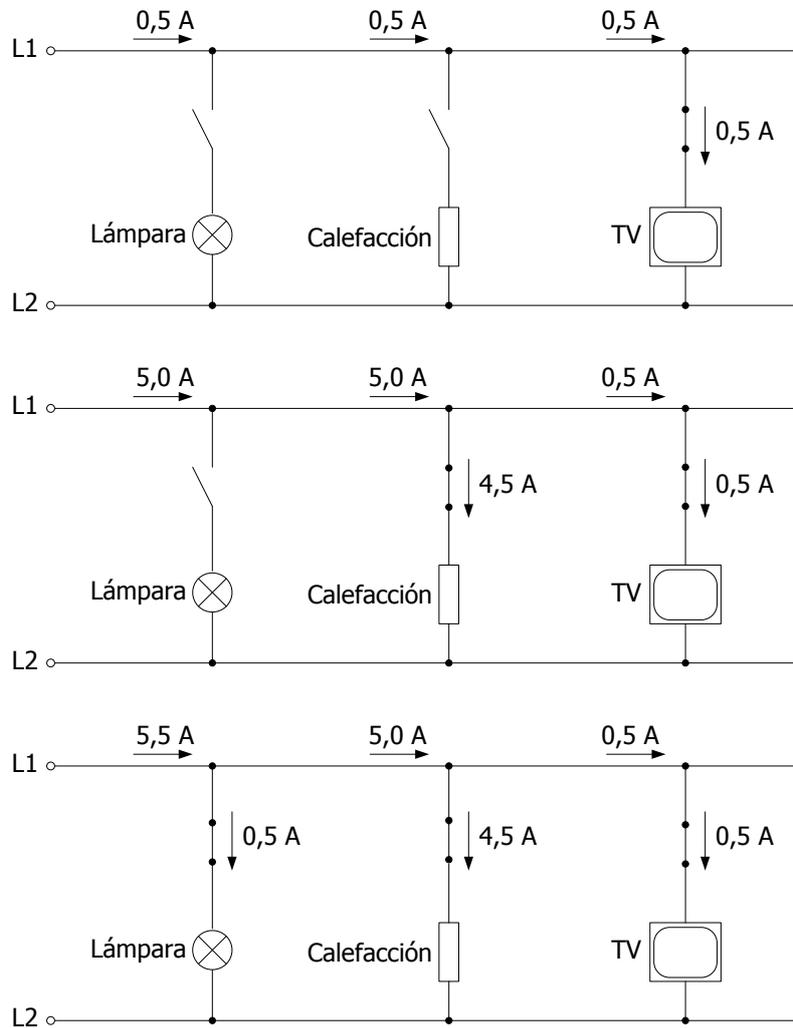
$$I_1 + I_2 + I_3 = I$$

9.6 RESISTÊNCIA ELÉTRICA EQUIVALENTE EM UM CIRCUITO PARALELO

Em uma ligação em paralelo, o inverso da resistência eléctrica equivalente é igual à soma das inversas das diferentes resistências e o seu valor é menor que qualquer dos seus componentes.

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

9.7 EXEMPLO DE CARGAS EM PARALELO



Lâmpada
Calefação
TV

Figura 2.32 Cargas em paralelo.

