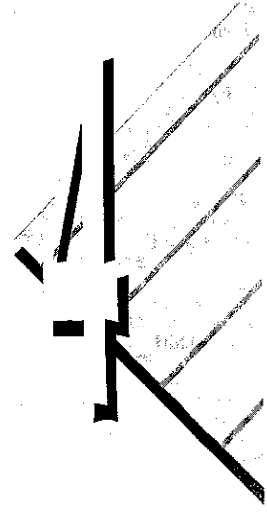


Efecto Térmico de la Electricidad



Introducción

Cuando la corriente eléctrica fluye por una resistencia eléctrica ésta se calienta. El calor producido depende de la energía eléctrica consumida por la misma, es decir del producto de la potencia por el tiempo. Las aplicaciones del efecto térmico de la electricidad son muy variadas: calefacción, cocinas y hornos, etc. Ahora bien, el efecto térmico también provoca inconvenientes cuando no es deseado, como por ejemplo el calentamiento que se produce en los conductores de las líneas eléctricas cuando son recorridos por corriente. Para evitar que este calentamiento sea excesivo en los mismos se aumenta su sección.

Contenido

- ▼ Efecto Joule.
- ▼ Calor específico.
- ▼ Transmisión del calor.
- ▼ Cálculo de la sección de conductores.

Objetivos

- ▼ Describir los procesos de conversión de energía eléctrica a calorífica.
- ▼ Emplear el calor específico de los cuerpos para determinar la elevación de su temperatura.
- ▼ Distinguir los sistemas de transmisión del calor.
- ▼ Relacionar el calentamiento de un conductor con la intensidad que fluye por él y su resistencia eléctrica.
- ▼ Calcular la sección de un conductor en función de su intensidad máxima admisible.
- ▼ Determinar la caída de tensión de las líneas eléctricas y tenerla en cuenta para el cálculo de la sección de los conductores de una línea eléctrica.

4.1 Efecto Joule

Hemos visto que los conductores y las resistencias se calientan cuando son atravesados por una corriente eléctrica. Este fenómeno es también conocido por "efecto Joule".

El físico P. James Joule estudió la relación que existe entre la energía y su transformación plena en calor. A base de experimentar con un calorímetro, llegó a la conclusión de que la energía de 1 Julio es equivalente a 0,24 calorías.

$$Q = 0,24 \cdot E$$

Q = calor en calorías

E = energía en Julios

De esta manera, si quisiéramos determinar el calor que se produce en una resistencia R en un tiempo determinado t cuando es recorrida por una corriente eléctrica I , tendremos que:

$E = P t$; a su vez $P = R I^2$; si llevamos estos valores a la primera expresión, tenemos:

$$Q = 0,24 R I^2 t$$

Ejemplo: 4.1

Calcular el calor desprendido por un horno eléctrico de 2000 W en 5 minutos de funcionamiento.

Solución: La energía en Julios consumida durante ese período de tiempo, es:

$$E = P t = 2.000 \cdot 300 = 600.000 \text{ Julios}$$

$$t = 5 \cdot 60 = 300 \text{ s}$$

Como cada julio se transforma en 0,24 calorías, tendremos que:

$$Q = 0,24 E = 0,24 \cdot 600.000 = 144.000 \text{ calorías} = 144 \text{ Kcal.}$$

Ejemplo: 4.2

Calcular el calor desprendido por un conductor de cobre de 100 m de longitud y 1,5 mm² de sección que alimenta un grupo de lámparas de 1.500 W de potencia a una tensión de 230 V durante un día.

Solución: Primero se calcula la intensidad de corriente que circula por dicho conductor:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1.500}{230} = 6,5 \text{ A}$$

Calculemos ahora la resistencia del conductor de la línea:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0,017 \frac{100}{1,5} = 1,13 \Omega$$

El calor producido por el conductor, que eleva su temperatura y se contabiliza como energía perdida, es:

$$Q = 0,24 R I^2 t = 0,24 \cdot 1,13 \cdot 6,5^2 \cdot 86.400 = 989.988 \text{ cal}$$

$$t = 24 \text{ h} \cdot 60 \text{ m} \cdot 60 = 86.400 \text{ s}$$

La energía calorífica desarrollada por una resistencia calefactora o por un conductor cuando es atravesado por una corriente eléctrica tiende a elevar la temperatura del mismo. Esta elevación depende de varios factores, como son el calor específico de los materiales, su masa, su temperatura, los coeficientes de transmisión por donde se propaga y disipa el calor, etc.

4.2 Calor específico

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que se precisa para aumentar la temperatura en 1°C una masa de 1 gramo.

Así, por ejemplo, para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado se necesita una caloría, bastante más que lo que se necesita para hacer lo mismo con un gramo de cobre (0,093 calorías). En la Tabla 4.1 se expone el calor específico de diferentes sustancias, expresado en calorías /gramo · °C

Sustancia	Calor específico (cal/gr · °C)
cobre	0,093
acero	0,110
PVC	0,210
aluminio	0,220
agua	1

Tabla 4.1.

Conociendo el calor específico de una sustancia y su masa es posible calcular la cantidad de calor que es necesario aplicar para elevar su temperatura. Para ello aplicaremos la expresión:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t^\circ$$

Q = cantidad de calor (calorías)

m = masa (gramos)

c = calor específico (cal/gr · °C)

Δt° = variación de temperatura

Ejemplo: 4.3

Determinar el calor necesario para elevar la temperatura de un litro de agua de 20 a 50 °C.

Solución: Como 1 litro de agua equivale a 1.000 gramos, el calor específico del agua es 1 y la elevación de temperatura que deseamos conseguir es $(50 - 20) = 30$ °C, el calor a aplicar es:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t^\circ = 1.000 \cdot 1 \cdot 30 = 30.000 \text{ cal}$$

Ejemplo: 4.4

Determinar la potencia que deberá tener un termo eléctrico de agua para calentar un depósito de 50 litros en

1 hora. El agua entra a 12 °C y se desea calentarla hasta 60 °C. Calcular también el valor óhmico de la resistencia de caldeo para una tensión de 230 V.

***Nota:** Para hacer los cálculos no tener en cuenta el calentamiento de la cuba ni de la resistencia calefactora.

Solución: El calor que debe aportar la resistencia de caldeo, es:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t^\circ = 50.000 \cdot 1 \cdot (60 - 12) = 2.400.000 \text{ cal}$$

La energía eléctrica necesaria para producir este calor, es:

$$Q = 0,24 E, \text{ despejando } E = \frac{Q}{0,24} = \frac{2.400.000}{0,24} =$$

$$= 10.000.000 \text{ julios}$$

La potencia para desarrollar esta energía en 1 hora (3.600 s) será:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{10.000.000}{3.600} = 2.778 \text{ W} = 2,8 \text{ KW}$$

La resistencia la podemos calcular así:

$$P = \frac{V^2}{R} \text{ despejando } R = \frac{V^2}{P} = \frac{230^2}{2.778} = 19 \Omega$$

Ejemplo: 4.5

Averiguar cuál será el costo de la energía del Ejemplo 4.3 si el precio del KWh es de 17 pts.

Solución: La energía en KWh, es:

$$E = P \cdot t = 2,8 \cdot 1 = 2,8 \text{ KWh}$$

$$\text{Gasto} = 2,8 \cdot 17 = 47,6 \text{ pts}$$

Ejemplo: 4.6

Determinar el aumento de temperatura que experimentará una plancha eléctrica de acero si se la calienta mediante una resistencia de caldeo de 10 ohmios a 125 V durante 10 minutos. La plancha posee una masa de 7 kg y se supone que se pierde un 25 % del calor generado.

Solución: Calculamos primero el calor generado:

$$Q = 0,24 R I^2 t = 0,24 \cdot 10 \cdot 12,5^2 \cdot 600 = 225.000 \text{ cal}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{125}{10} = 12,5 \text{ A}, \quad t = 10 \cdot 60 = 600 \text{ s}$$

El calor transmitido a la plancha será sólo el 75 % del total generado:

$$Q = \frac{75}{100} 225.000 = 168.750 \text{ cal}$$

Como el calor específico del acero es 0,11, el incremento de temperatura será:

$$Q = m c \Delta t^\circ \text{ despejando } \Delta t^\circ = \frac{Q}{m c} = \frac{168.750}{7.000 \cdot 0,11} = 219 \text{ }^\circ\text{C.}$$

4.3 Transmisión de calor

La energía calorífica generada en un punto se transmite desde las zonas de más altas temperaturas a las más bajas. Esta transmisión puede conducirse de tres formas diferentes:

Conducción: el calor se transmite por contacto íntimo entre dos materiales, como por ejemplo en los metales.

Convección: todos los gases y líquidos, cuando se calientan se dilatan y disminuyen de densidad, lo que hace que tiendan a desplazarse. Así, por ejemplo, un radiador eléctrico, que transmite calor por convección (convector), calienta el aire que entra en contacto con su superficie, lo que hace que éste ascienda y se mueva por toda la estancia que hay que calentar.

Radiación: este tipo de transmisión se produce por ondas y es similar a la que se produce por el Sol. De esta forma de transmisión se aprovechan elementos calefactores como, por ejemplo, las estufas de rayos infrarrojos, placas solares de alta temperatura, hornos eléctricos.

4.4 Cálculo de la sección de conductores

Uno de los efectos perjudiciales del efecto Joule es el calentamiento que se produce en los conductores eléctricos cuando son recorridos por una corriente eléctrica. Para evitar que este calentamiento alcance valores que sean perjudiciales para los mismos se construyen de diferentes secciones. Cuanto más corriente se prevee que va a fluir por ellos, mayor será su sección.

La sección de un conductor es la superficie que aparece cuando le cortamos perpendicularmente a su longitud. Por lo general los conductores son cilíndricos, por lo que la sección suele ser un área circular (Figura 4.1). La sección de los conductores se suele expresar en mm².

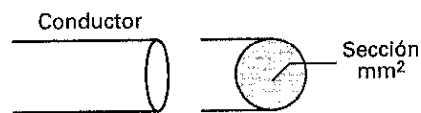


Figura 4.1

Dado que los conductores no son perfectos y poseen una cierta resistencia eléctrica, cuando son atravesados por una corriente eléctrica se producen dos fenómenos:

- Se calientan y pierden potencia.
- Al estar conectados en serie con los aparatos eléctricos que alimentan, se produce una caída de tensión, que hace que se reduzca apreciablemente la tensión, al final de la línea.

Éstos son los dos factores más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar la sección más adecuada para una instalación eléctrica.

4.4.1 Cálculo de la sección teniendo en cuenta el calentamiento de los conductores

El calor que producen los conductores es proporcional a la potencia P_{PL} que se pierde en ellos. Ésta aumenta con la resistencia del conductor (R_L) y con la intensidad de corriente al cuadrado (I^2) que conduce.

$$P_{PL} = R_L \cdot I^2$$

Dado que la resistencia del conductor depende de su sección, si queremos conseguir pérdidas de potencias bajas deberemos aumentar considerablemente su sección.

Ejemplo: 4.7

Calcular la potencia que se pierde en un conductor de cobre de 100 m de longitud y 1,5 mm² de sección que alimenta un motor eléctrico de 3 KW de potencia a una tensión de 230 V.

Solución: Primero se calcula la intensidad de corriente que fluye por el conductor:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3.000}{230} = 13 \text{ A}$$

Ahora calcularemos la resistencia del conductor:

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0,017 \frac{100}{1,5} = 1,13 \Omega$$

Ya podemos calcular la potencia perdida en el conductor que se transforma en calor:

$$P_{PL} = R_L \cdot I^2 = 1,13 \cdot 13^2 = 191 \text{ W}$$

La potencia perdida en un conductor produce calor que, al acumularse, eleva su temperatura, pudiendo llegar a fundir el aislante del conductor (el plástico que rodea el conductor). Esto puede llegar a ser muy peligroso ya que podrían originarse incendios. Por otro lado, los aislantes al estar sometidos a estas temperaturas, pierden parte de su capacidad para aislar y envejecen con rapidez, lo que los hace quebradizos y prácticamente inservibles.

Ejemplo: 4.8

¿Cuál sería la pérdida de potencia si aumentamos la sección de los conductores del ejemplo 4.7 a 4 mm²?

Solución: $P_{PL} = 78 \text{ W}$

Está claro que al aumentar la sección del conductor, disminuye la pérdida de potencia y, por tanto, el calor producido por el mismo.

El calentamiento de un conductor, entre otros factores, depende de la intensidad de corriente que circule por él. Luego, cuanto mayor sea la corriente que circula por un conductor, mayor tendrá que ser la sección de éste para que no se caliente excesivamente.

Dado que el calor se va a concentrar más en un conductor instalado bajo tubo que en un conductor instalado al aire, también habrá que tener en cuenta, a la hora de determinar la sección, la forma de instalar los conductores. Por el mismo razonamiento, también hay que tener en cuenta la forma de agrupación de los conductores:

- Conductores unipolares: línea formada por conductores separados.
- Conductores bipolares: línea formada por dos conductores unidos por material aislante.
- Conductores tripolares: línea formada por tres conductores unidos por material aislante.

Son los fabricantes de conductores eléctricos los que tienen que indicar la intensidad que soportan éstos (intensidad máxima admisible) en función de las condiciones de instalación. Pero, para que no existan fraudes a este respecto, el "Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión" (REBT.) edita diferentes tablas de consulta con las que se pueden calcular la secciones de conductores.

En la Tabla 4.2 se indican las intensidades admisibles para una temperatura ambiente del aire de 40° C y para distintos métodos de instalación, agrupamientos y tipos de cables.

Ejemplo: 4.9

¿Cuál será la intensidad máxima que podrán conducir los conductores de una línea bipolar aislada con PVC instalada directamente sobre la pared si su sección es de 10 mm²? ¿Y si se instala bajo tubo?

Solución: Consultando la Tabla 4.2:

Para "cables multiconductores directamente sobre la pared" "2xPVC" nos encontramos en la columna nº 6, que nos indica que para una sección de 10 mm² intensidad máxima es de 52 A.

Para "cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes" "2xPVC" nos encontramos en la columna nº 2, que nos indica que para una sección de 10 mm² intensidad máxima es de 37 A.

Intensidades admisibles (A) para una temperatura ambiente de 40° C. N° de conductores con carga y naturaleza del aislamiento																																																																																																																																																																																																																							
A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR																																																																																																																																																																																																															
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR																																																																																																																																																																																																																
B		Conductores aislados en tubos ⁽²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR																																																																																																																																																																																																													
B2		Cables multiconductores en tubos ⁽²⁾ en montaje superficial y empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR																																																																																																																																																																																																														
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ⁽³⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR																																																																																																																																																																																																													
E		Cables multiconductores al aire libre ⁽⁴⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0,3D						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR																																																																																																																																																																																																												
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D					3x PVC			3x XLPE o EPR ⁽¹⁾																																																																																																																																																																																																													
G		Cables unipolares separados mínimo D D es el diámetro del cable								3x PVC ⁽¹⁾	3x XLPE o EPR																																																																																																																																																																																																												
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sección mm²</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1,5</td><td>11</td><td>11,5</td><td>13</td><td>13,5</td><td>15</td><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2,5</td><td>15</td><td>16</td><td>17,5</td><td>18,5</td><td>21</td><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>20</td><td>21</td><td>23</td><td>24</td><td>27</td><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>25</td><td>27</td><td>30</td><td>32</td><td>36</td><td>37</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>34</td><td>37</td><td>40</td><td>44</td><td>50</td><td>52</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>45</td><td>49</td><td>54</td><td>59</td><td>66</td><td>70</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>59</td><td>64</td><td>70</td><td>77</td><td>84</td><td>88</td><td>96</td><td>106</td><td>116</td><td>123</td><td>166</td></tr> <tr><td>35</td><td>77</td><td>86</td><td>96</td><td>104</td><td>110</td><td>119</td><td>131</td><td>144</td><td>154</td><td>205</td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>94</td><td>103</td><td>117</td><td>125</td><td>133</td><td>145</td><td>159</td><td>175</td><td>188</td><td>250</td><td></td></tr> <tr><td>70</td><td></td><td></td><td>149</td><td>160</td><td>171</td><td>188</td><td>202</td><td>224</td><td>244</td><td>321</td><td></td></tr> <tr><td>95</td><td></td><td></td><td>180</td><td>194</td><td>207</td><td>230</td><td>245</td><td>271</td><td>296</td><td>391</td><td></td></tr> <tr><td>120</td><td></td><td></td><td>208</td><td>225</td><td>240</td><td>267</td><td>284</td><td>314</td><td>348</td><td>455</td><td></td></tr> <tr><td>150</td><td></td><td></td><td>236</td><td>260</td><td>278</td><td>310</td><td>338</td><td>363</td><td>404</td><td>525</td><td></td></tr> <tr><td>185</td><td></td><td></td><td>268</td><td>297</td><td>317</td><td>354</td><td>386</td><td>415</td><td>464</td><td>601</td><td></td></tr> <tr><td>240</td><td></td><td></td><td>315</td><td>350</td><td>374</td><td>419</td><td>455</td><td>490</td><td>552</td><td>711</td><td></td></tr> <tr><td>300</td><td></td><td></td><td>360</td><td>404</td><td>423</td><td>484</td><td>524</td><td>565</td><td>640</td><td>821</td><td></td></tr> </tbody> </table>									Sección mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16						2,5	15	16	17,5	18,5	21	22						4	20	21	23	24	27	30						6	25	27	30	32	36	37						10	34	37	40	44	50	52						16	45	49	54	59	66	70						25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166	35	77	86	96	104	110	119	131	144	154	205		50	94	103	117	125	133	145	159	175	188	250		70			149	160	171	188	202	224	244	321		95			180	194	207	230	245	271	296	391		120			208	225	240	267	284	314	348	455		150			236	260	278	310	338	363	404	525		185			268	297	317	354	386	415	464	601		240			315	350	374	419	455	490	552	711		300			360	404	423	484	524	565	640	821	
Sección mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																																																																																																																																																																												
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16																																																																																																																																																																																																																	
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22																																																																																																																																																																																																																	
4	20	21	23	24	27	30																																																																																																																																																																																																																	
6	25	27	30	32	36	37																																																																																																																																																																																																																	
10	34	37	40	44	50	52																																																																																																																																																																																																																	
16	45	49	54	59	66	70																																																																																																																																																																																																																	
25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166																																																																																																																																																																																																												
35	77	86	96	104	110	119	131	144	154	205																																																																																																																																																																																																													
50	94	103	117	125	133	145	159	175	188	250																																																																																																																																																																																																													
70			149	160	171	188	202	224	244	321																																																																																																																																																																																																													
95			180	194	207	230	245	271	296	391																																																																																																																																																																																																													
120			208	225	240	267	284	314	348	455																																																																																																																																																																																																													
150			236	260	278	310	338	363	404	525																																																																																																																																																																																																													
185			268	297	317	354	386	415	464	601																																																																																																																																																																																																													
240			315	350	374	419	455	490	552	711																																																																																																																																																																																																													
300			360	404	423	484	524	565	640	821																																																																																																																																																																																																													
<p>(1) A partir de 25 mm²</p> <p>(2) Incluyendo canales para instalaciones, canaletas y conductos de sección no circular</p> <p>(3) O en bandeja no perforada</p> <p>(4) O en bandeja perforada</p>																																																																																																																																																																																																																							

Tabla 4.2 Intensidades en Amperios para conductores de cobre

3xPVC = línea formada por tres conductores unipolares o uno tripolar aislados con Policloruro de vinilo
 2xPVC = línea formada por dos conductores unipolares o uno bipolar aislados con Policloruro de vinilo
 3xPVC = línea formada por tres conductores unipolares o uno tripolar aislados con Polietileno reticulado (XLPE) o Etileno propileno (EPR)
 2xPVC = línea formada por dos conductores unipolares o uno bipolar aislados con Polietileno reticulado (XLPE) o Etileno propileno (EPR)

Ejemplo: 4.10

Para la alimentación eléctrica de un horno se utiliza una línea formada por dos conductores unipolares aislados con Polietileno reticulado (XLPE) instalados bajo tubo. Calcular la sección de los conductores si la corriente que absorbe el horno es de 25 A.

Solución: Consultando la Tabla 4.2, para "conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes" "2x XLPE" nos encontramos en la columna n° 6, que nos indica que un conductor de 4 mm² sería suficiente ya que posee una intensidad máxima admisible de 30 A.

4.4.2 Densidad de corriente de un conductor

La densidad de corriente de un conductor nos indica los amperios por milímetro cuadrado que circulan por él:

$$\delta = \frac{I}{S} \text{ en A/mm}^2$$

La densidad de corriente del conductor del Ejemplo 4.10 sería, entonces:

$$\delta = \frac{I}{S} = \frac{25}{4} = 6,25 \text{ A/mm}^2$$

La densidad de corriente admisible por un conductor depende de las condiciones de instalación, tipo de cable y sección del conductor (según aumenta la sección, el calor se disipa peor y la densidad admisible disminuye).

4.4.3 Por qué se emplean altas tensiones en el transporte de energía eléctrica

Veamos un ejemplo: deseamos generar y transportar por una línea una pequeña potencia de 1.000 W. ¿Qué tensión utilizaremos? Estudiaremos dos casos extremos:

Con una tensión de 1.000 V: $P = V I \Rightarrow$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1.000}{1.000} = 1 \text{ A}$$

Con una tensión de 1 V: $I = \frac{P}{V} = \frac{1.000}{1} = 1.000 \text{ A}$

Queda claro con este ejemplo que al aumentar la tensión reducimos la intensidad y, por tanto, la sección de los conductores podrá ser más reducida. A su vez, se reducen las pérdidas caloríficas en los conductores ($P_{PL} = R_L I^2$). Tampoco conviene utilizar tensiones demasiado elevadas, ya que esto trae también consigo un encarecimiento de los aislantes (torres más altas, cables más separados, aislantes más perfectos, inclusión de sofisticados sistemas de seguridad, etc.).

En general se busca un compromiso entre la potencia a transportar, la tensión a utilizar y la intensidad de la línea. La solución que resulte más económica es la que se empleará.

4.4.4 Caída de tensión en las líneas eléctricas

Seguro que habrás podido observar cómo en ciertas ocasiones la luz que emiten las lámparas eléctricas que están conectadas a la red eléctrica cambia un poco de luminosidad.

Estos fenómenos son debidos a que las líneas producen una cierta pérdida de tensión.

Como todos sabemos, las líneas que transportan la energía eléctrica están compuestas por conductores eléctricos de una cierta resistencia que, al ser recorridos por una corriente eléctrica se calientan y, por lo tanto, producen una pérdida de potencia. Pues bien, también hay que pensar que los conductores de las líneas están conectados en serie con los receptores, y que al ser recorridos por la corriente ocasionan una caída de tensión. De tal forma, que la tensión que le llega al receptor es menor que la que existe al principio de la línea.

Ejemplo: 4.11

Se desea suministrar energía eléctrica a un motor de 10 KW a 230 V. Para ello, se tiende una línea de cobre de 6 mm² de sección desde un transformador de distribución situado a 75 m (Figura 4.2). Calcular: a) la resistencia de la línea; b) intensidad del circuito; c) caída de tensión en

la línea; d) tensión que tiene que suministrar el transformador; e) potencia perdida en la línea.

Solución:

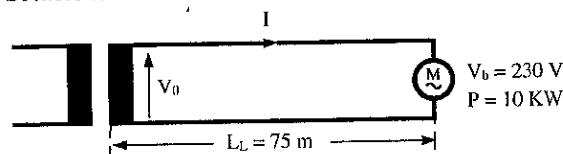


Figura 4.2

a) Para calcular la resistencia de la línea hay que tener en cuenta que la longitud total del conductor son 75 + 75 = 150 m (conductor de ida + conductor de vuelta).

$$R_L = \rho \frac{L}{S} = 0,017 \frac{150}{6} = 0,43 \Omega$$

Esta resistencia la podemos representar como si estuviese concentrada en un punto de la línea (Figura 4.3).

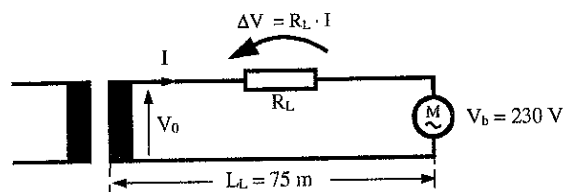


Figura 4.3

b) La intensidad de la línea es:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{10.000}{230} = 43,48 \text{ A}$$

c) La caída de tensión ΔV la calculamos aplicando la ley de Ohm entre los terminales de la hipotética resistencia de línea R_L cuando es recorrida por la intensidad I .

$$\Delta V = R_L \cdot I = 0,43 \cdot 43,48 = 18,7 \text{ V}$$

A veces, conviene expresar este resultado en tantos por ciento referidos a la tensión de alimentación. En nuestro caso:

$$\Delta V\% = \frac{18,7}{230} \cdot 100 = 8,1\%$$

Si aplicásemos las normas contempladas en el "Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión" (REBT), habría que aumentar la sección de los conductores de la línea, ya que este porcentaje de caída de tensión es en cualquier caso inadmisibles. El porcentaje máximo que se suele admitir para instalaciones de BT entre el origen de las mismas y cualquier punto de consumo es del 3% del valor nominal para circuitos de alumbrado, y del 5% para los demás usos.

d) La tensión en el transformador, es:

$$V_0 = V_b + \Delta V = 230 + 18,7 = 248,7 \text{ V}$$

e) La potencia que se pierde en la línea la calculamos con la expresión:

$$P_{PL} = R_L \cdot I^2 = 0,43 \cdot 43,48^2 = 813 \text{ W}$$

4.4.5 Cálculo de la sección teniendo en cuenta la caída de tensión

La caída de tensión en las líneas puede llegar a ser un problema para el correcto funcionamiento de los receptores, ya que éstos están diseñados para trabajar a una cierta tensión. Una tensión más baja puede impedir el arranque de un motor, el encendido de un tubo fluorescente, etc. Por todo ello, la caída de tensión no puede exceder de unos límites prefijados en el REBT para cada caso. De esta forma, no sólo habrá que tener en cuenta el calentamiento del conductor para determinar su sección, sino que también será necesario no sobrepasar el porcentaje de caída de tensión prefijado en el REBT.

Ejemplo: 4.12

Calcular la sección que le correspondería a una línea compuesta por dos conductores de cobre unipolares instalados bajo tubo y aislados con PVC de 100 metros de longitud, que alimenta a un taller de 15 KW / 400 V, si la caída máxima de tensión que se admite es del 1% de la de alimentación (Figura 4.4).

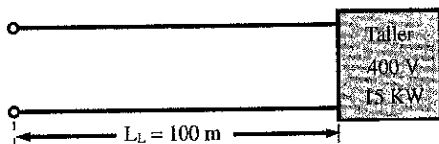


Figura 4.4

Solución:

Primero calculamos la intensidad:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{15.000}{400} = 37,5 \text{ A}$$

La caída de tensión en voltios la calculamos así:

$$\Delta V = \frac{400}{100} 1\% = 4 \text{ V}$$

Ahora, vamos a encontrar la relación que existe entre la sección del conductor y esta caída de tensión:

$\Delta V = R_L I$, sustituimos R_L por su expresión general:

$$\Delta V = \rho \frac{L}{S} I, \text{ despejando la sección:}$$

$$S = \rho \frac{L}{\Delta V} I = 0,017 \frac{2 \cdot 100}{4} 37,5 = 32 \text{ mm}^2$$

La sección comercial que le corresponde es de 35 mm². Ahora comprobamos la intensidad máxima que admite este conductor según la Tabla 4.2: dos conductores unipolares instalados bajo tubo y aislados con PVC de 35 mm² admiten una intensidad de 86 amperios sin calentarse excesivamente. Como la intensidad de la línea es inferior (37,5 A) damos como válido el resultado de 35 mm².

En el caso de que el conductor tuviese una $I_{\text{máx. adm.}}$ inferior a la que circula por la línea, habría que tomar una sección superior, predominando en este caso el cálculo de la

sección por calentamiento de los conductores al cálculo por caída de tensión.

¿Qué sección le correspondería a esta línea si no se tuviese en cuenta la caída de tensión de la misma? $S = 10 \text{ mm}^2$.

En resumen, siempre que necesitemos determinar la sección de un conductor emplearemos la siguiente expresión:

$$S = \rho \frac{2 L_L}{\Delta V} I$$

ρ = resistividad del conductor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

ΔV = caída de tensión máxima en la línea (V)

L_L = distancia de la carga al punto de alimentación (m)

I = intensidad por la línea (A)

S = sección del conductor de la línea (mm²)

Para concluir, recuérdese que para calcular la sección de los conductores de una línea hay que tener en cuenta dos aspectos fundamentales:

- La caída de tensión máxima permitida.
- Corriente máxima admitida por el conductor en función de su tipo e instalación (para evitar sobrecalentamientos).

Cuando se trata de líneas de corta longitud, la caída de tensión es pequeña y por tanto, predominará en el cálculo la sección determinada mediante la corriente admisible. Para líneas más largas, la caída de tensión se hace considerable y, por lo general, es la que exige una sección mayor en el cálculo.

Ejemplo: 4.13

Determinar la sección de los conductores de una línea compuesta por 1 cable bipolar de cobre y aislado con PVC e instalado bajo conducto que alimenta un vivienda unifamiliar mediante paneles fotovoltaicos. La longitud de la línea es de 8 m y se admite una caída de tensión del 4 %. La carga prevista es de 2 KW a 24 V.

Solución: Primero, calculamos la intensidad:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2.000}{24} = 83 \text{ A}$$

La caída de tensión máxima que se permite en voltios, es:

$$\Delta V = \frac{24}{100} \cdot 4\% = 0,96 \text{ V}$$

La sección necesaria para no superar esta caída, es:

$$S = \rho \frac{2 L_L}{\Delta V} I = 0,017 \frac{2 \cdot 8}{0,96} 83 = 23 \text{ mm}^2$$

La sección comercial que se fabrica es la superior: 25 mm²

Al comprobar la intensidad admisible en la Tabla 4.2 observamos que este conductor admite 64 A. Dado que por él tienen que pasar 83 A, habrá que aumentar la sección hasta 50 mm² para que no se caliente excesivamente.

Actividades

1. Consigue catálogos técnicos sobre conductores eléctricos, analiza sus características técnicas y su campo de aplicación. Si es posible consigue además alguna aplicación informática sobre el cálculo de conductores eléctricos por ordenador (algunas firmas comerciales del sector proporcionan gratuitamente este tipo de aplicaciones).
2. Consulta en Internet (<http://www.t2000idiomas.com/electrotecnia>) sobre los temas relacionados con este capítulo e intenta contrastar y ampliar la información obtenida.

Autoevaluación

- 1) Suponiendo dos conductores de la misma masa, uno de cobre y otro de aluminio, que al ser recorridos por una corriente eléctrica se calientan ¿en cuál de los dos conductores se elevará más la temperatura?
 - a) Toman los dos la misma temperatura, por tener la misma masa
 - b) El cobre, por poseer un menor calor específico
 - c) El aluminio, por poseer un mayor calor específico
- 2) Una plancha eléctrica basa su funcionamiento en la transmisión de calor, por:
 - a) Radiación
 - b) Convección
 - c) Conducción
- 3) Calcular el calor generado por un termo eléctrico de características 2.000 W / 230 V durante 2 horas de funcionamiento.
- 4) Calcular el tiempo aproximado que hay que tener conectada la resistencia calefactora de un calentador eléctrico de agua sanitaria de 3.500 vatios de potencia, si la capacidad de su depósito es de 75 litros, y el agua se calienta de 10 °C a 50 °C.
- 5) Un termo eléctrico de 1.500 W tarda en calentar 40 litros de agua una hora y media. Determinar el rendimiento del dispositivo si el agua entra a 12 °C y sale a 55 °C.
- 6) Si se consiguiese fabricar un material superconductor a la temperatura ambiente, ¿de qué forma afectaría a la instalación de líneas eléctricas?
 - a) La ausencia de resistencia en el conductor provocaría un calentamiento inferior en los conductores
 - b) No les afectaría en absoluto
 - c) No serían necesarias las redes de alta tensión para el transporte de electricidad
- 7) Con la ayuda de la Tabla 4.2, comprueba la densidad de corriente admisible para todas las secciones correspondientes a conductores de 4 mm² en diferentes formas de instalación y agrupación de conductores.
- 8) Se necesita instalar una motobomba de 6 KW a 230 V. Para ello, se tiende una línea bajo tubo, consistente en dos cables unipolares. ¿Cuál será la sección de los conductores, como mínimo, si éstos son de cobre aislados con PVC? Averiguar también la densidad de corriente del conductor. (Se supone que la longitud del conductor es muy corta y, por lo tanto no se tiene en cuenta la caída de tensión).
- 9) ¿Cuál sería la sección del conductor y la densidad de corriente si para instalar la motobomba, ejercicio anterior, optamos por realizar la instalación mediante un cable bipolar instalado directamente en la pared?
- 10) La potencia máxima que se espera que pueda consumir una cocina eléctrica de uso doméstico es de unos 4.400 W. Sabiendo esto, calcular la sección de los conductores del circuito que la alimenta, teniendo en cuenta que está conectada a una red de 230 V y que los conductores son unipolares de cobre aislados con PVC y que están instalados bajo tubo.
- 11) Un local posee una instalación de 20 puntos de luz de 100 W cada uno a una tensión de 230 V. Se quiere alimentar a través de una línea de cobre bipolar de 75 metros de longitud instalada al aire. Determinar la sección más recomendable para que la caída máxima de tensión no supere el 3% de la de alimentación. ¿Cuál será la densidad de corriente del conductor?

12) La instalación de un pequeño taller se compone de los siguientes receptores: dos motores de C.C. de 4 KW cada uno, 20 puntos de luz de 100 W cada uno, cinco calefactores de 1,5 KW cada uno. La tensión de alimentación es de 400 V (Figura. 4.5). Averiguar la sección de los conductores de la línea general si ésta se compone de un cable bipolar de PVC instalado bajo tubo y se admite una caída de tensión máxima del 4% de la de alimentación. Longitud de la línea es de 77 m.

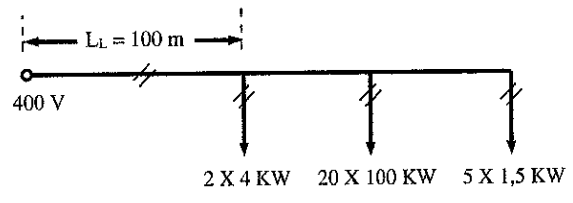


Figura 4.5

El esquema de la Figura 4.5 es del tipo unifilar. El trazo representa a la línea y el número de conductores de ésta se representa por unas rayitas cruzadas (como en nuestro caso la línea tiene dos conductores: //).

