

Índice general

1. NOCIONES BÁSICAS DE ELECTROTECNIA	9
1.1. INTRODUCCIÓN	11
1.2. PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA ELECTRICIDAD . . .	11
1.3. SISTEMAS DE CORRIENTE CONTINUA	15
1.4. SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA	17
1.4.1. Definiciones	17
1.4.2. Impedancia	20
1.4.3. Asociación de impedancias	25
1.4.4. Potencia	28
1.5. SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICOS	31
1.5.1. Definiciones	31
1.5.2. Las cargas trifásicas	34
1.5.3. Potencia en sistemas trifásicos	36
1.5.4. Factor de potencia	38
1.6. REFERENCIAS	44
1.7. EJERCICIOS DE AUTOCOMPROBACIÓN	45

2. NOCIONES BÁSICAS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN	53
2.1. INTRODUCCIÓN.	55
2.2. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN.	56
2.3. APARAMENTA.	59
2.3.1. Conductores.	59
2.3.2. Función de mando y maniobra.	63
2.3.3. Función de protección.	67
2.3.4. Montaje de conjuntos y esquemas.	74
2.4. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DEL NEUTRO.	75
2.5. PUESTAS A TIERRA.	86
2.5.1. Sistema de puesta a tierra.	86
2.5.2. Receptores.	88
2.6. INSTALACIÓN DE ENLACE.	90
2.7. INSTALACIÓN RECEPTORA O INTERIOR.	94
2.8. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.	96
2.8.1. Caída de tensión en un conductor	97
2.8.2. Selección de conductores	99
2.9. REFERENCIAS.	107
2.10. EJERCICIOS DE AUTOCOMPROBACIÓN	108
 3. FIABILIDAD Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS	115
3.1. INTRODUCCIÓN	117
3.2. ESTUDIOS DE FIABILIDAD	117
3.3. ANÁLISIS CUANTITATIVO	120

3.3.1. Conceptos generales	121
3.3.2. Funciones de distribución de probabilidad . . .	125
3.3.3. Fiabilidad	137
3.4. FIABILIDAD DE SISTEMAS SIMPLES	140
3.4.1. Sistema con elementos funcionando en serie . .	141
3.4.2. Sistema con elementos funcionando en paralelo .	142
3.4.3. Sistema con un elemento de reserva	146
3.5. FIABILIDAD DE SISTEMAS COMPLEJOS	150
3.5.1. Combinación de elementos	150
3.5.2. Árboles de fallo	152
3.5.3. Árboles de sucesos	157
3.6. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS	164
3.6.1. Sistemas con un elemento reparable	164
3.6.2. Tipos de mantenimiento	166
3.7. REFERENCIAS	174
3.8. EJERCICIOS DE AUTOCOMPROBACIÓN	175
4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS CAR-	
GAS CRÍTICAS Y DE LA RED	183
4.1. INTRODUCCIÓN.	185
4.2. CARGAS CRÍTICAS	185
4.3. CALIDAD ELÉCTRICA DE LA ALIMENTACIÓN. .	187
4.3.1. Estabilidad de tensión en régimen estacionario.	188
4.3.2. Estabilidad de tensión en régimen transitorio. .	190
4.3.3. Transitorios.	192
4.3.4. Parpadeo.	195

4.3.5.	Distorsión de la forma de onda.	195
4.3.6.	Estabilidad de la frecuencia.	197
4.3.7.	Tabla resumen.	198
4.3.8.	Curva ITI de valores aceptables de tensión. . . .	199
4.4.	CARACTERÍSTICAS DE LA RED	201
4.4.1.	Características eléctricas	201
4.4.2.	Estabilidad de la frecuencia.	204
4.4.3.	Distorsión armónica.	204
4.4.4.	Seguridad de suministro.	205
4.4.5.	Conclusiones.	207
4.5.	NECESIDAD DE ACONDICIONADORES Y DE SAIs. . . .	208
4.6.	REFERENCIAS.	209
4.7.	EJERCICIOS DE AUTOCOMPROBACIÓN.	211
5.	ACONDICIONADORES DE LÍNEA Y SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPIDA.	215
5.1.	INTRODUCCIÓN.	217
5.2.	ACONDICIONADORES DE LÍNEA.	217
5.2.1.	Transformadores de ultraaislamiento.	218
5.2.2.	Alimentaciones especiales. Estabilizadores. . . .	221
5.3.	SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ININTERRUMPI- DA.	228
5.3.1.	SAI clásico.	229
5.3.2.	SAI de tres vías.	238
5.3.3.	Configuraciones híbridas.	239
5.4.	BATERÍAS.	239

5.4.1. Tipos y tensiones.	239
5.4.2. Procedimientos de carga.	240
5.5. CARACTERÍSTICAS HABITUALES DE UN SAI. . .	243
5.6. ELECCIÓN DE UN SAI.	251
5.6.1. Potencia necesaria.	251
5.6.2. Características eléctricas.	252
5.6.3. Fiabilidad.	252
5.7. PROBLEMAS TÍPICOS CON LOS SAIs Y LAS CAR- GAS CRÍTICAS.	253
5.8. REFERENCIAS.	255
5.9. EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN	257
6. INSTALACIÓN DE SISTEMAS INFORMÁTICOS	265
6.1. INTRODUCCIÓN	267
6.2. CONDICIONES DEL EDIFICIO Y DE LA SALA . . .	267
6.2.1. Situación y accesos.	268
6.2.2. Dimensiones.	269
6.2.3. Falso suelo.	271
6.2.4. Iluminación.	273
6.2.5. Acústica.	274
6.2.6. Aire acondicionado.	275
6.2.7. Contaminación y limpieza del aire.	279
6.2.8. Sistema de protección contra incendios.	281
6.2.9. Recomendaciones en el uso de la sala.	283
6.3. SUMINISTRO ELÉCTRICO Y TIERRAS	284
6.3.1. Toma de tierra.	284

6.3.2. Acometida eléctrica.	285
6.3.3. Cuadro eléctrico y circuitos internos.	285
6.3.4. Instalación de un SAI.	286
6.4. INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS.	287
6.4.1. Electricidad estática.	287
6.4.2. Compatibilidad electromagnética.	288
6.5. SEGURIDAD DE LOS EQUIPOS Y DE LA INFOR- MACIÓN.	289
6.6. REFERENCIAS.	290
6.7. EJERCICIOS DE AUTOCOMPROBACIÓN	292
A. ELEMENTOS MATEMÁTICOS	295
A.1. VECTORES Y NÚMEROS COMPLEJOS	295
A.2. ONDAS SENOIDALES Y FASORES	299
A.3. NÚMEROS COMBINATORIOS	303
B. GUÍAS IBERDROLA PARA LA INSTALACIÓN DE SAIs	305
B.1. GUÍAS IBERDROLA PARA LA INSTALACIÓN DE SAIs. PLANTEAMIENTO GENERAL	306
B.2. GUÍA DE INSTALACIÓN DE UN SAI DE MENOS DE 3 kVA	309
B.2.1. Ubicación	309
B.2.2. Ventilación	309
B.2.3. Insonorización	310
B.2.4. Acometida	310

B.2.5. Distribución de las cargas	311
B.3. GUIA DE INSTALACION DE UN SAI DE 3kVA A 40 kVA	312
B.3.1. Ubicación	312
B.3.2. Ventilación	314
B.3.3. Insonorización	315
B.3.4. Acometida	316
B.3.5. Distribución de las cargas	320
 C. TERMINOLOGÍA DE LAS INSTALACIONES ELÉC- TRICAS DE BAJA TENSIÓN	 325

CAPÍTULO 1

NOCIONES BÁSICAS DE ELECTROTECNIA

CONTENIDOS:

- 1.1 INTRODUCCIÓN
- 1.2 PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA ELECTRICIDAD
- 1.3 SISTEMAS DE CORRIENTE CONTINUA
- 1.4 SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA
 - 1.4.1 Definiciones
 - 1.4.2 Impedancia
 - Resistencia, R .
 - Bobina ideal o autoinductancia, L .
 - Condensador, C .
 - Resumen.
 - 1.4.3 Asociación de impedancias
 - 1.4.4 Potencia

- 1.5 SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICOS
 - 1.5.1 Definiciones
 - 1.5.2 Las cargas trifásicas
 - 1.5.3 Potencia en sistemas trifásicos
 - 1.5.4 Factor de potencia
- 1.6 REFERENCIAS
- 1.7 EJERCICIOS DE AUTOCOMPROBACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ofrece de una forma breve y precisa una introducción de los conceptos básicos de electricidad y del análisis de los sistemas eléctricos, necesarios para el posterior estudio, en los siguientes capítulos, de los sistemas de distribución de energía eléctrica y de los equipos conectados a ellos.

Así, se ven en primer lugar los principios físicos y la definición de las diferentes magnitudes eléctricas que se utilizarán a lo largo de este capítulo, muchos de los cuales el lector ya ha visto en las asignaturas de Física de nivel preuniversitario y de primer curso de universidad, por lo que no se profundiza en su desarrollo.

A continuación se inicia el estudio y el análisis de los sistemas eléctricos (lo que se conoce como electrotecnia) con la aplicación de esos conceptos al caso más sencillo, los sistemas de corriente continua. Vistos éstos, se extiende y amplía el análisis a los sistemas de corriente alterna, tanto monofásicos como trifásicos, que son en definitiva los que se utilizan en la práctica totalidad de los sistemas reales de alimentación de energía eléctrica.

1.2 PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA ELECTRICIDAD

El **electrón** es la partícula eléctrica mínima o elemental y como se sabe éste es una de las partículas elementales constituyente de los átomos y es el único que posee capacidad de desplazamiento en los sólidos. La **carga eléctrica** del electrón se denomina **carga eléctrica elemental** debido a que cualquier cuerpo cargado posee una cantidad

de carga que es un múltiplo entero de la carga del electrón. Como ésta es muy pequeña, se utiliza como unidad de carga eléctrica el culombio, cuyo símbolo en el Sistema Internacional es C: un culombio equivale a la carga de $-6,24 \cdot 10^{18}$ electrones. El signo menos es necesario debido al carácter negativo de la carga del electrón.

Una carga o un conjunto de cargas elementales crean un **campo eléctrico**. Este campo eléctrico tiene la propiedad de atraer o repeler a otras cargas que estén en su proximidad. La fuerza con la que son atraídas o repelidas esas otras cargas se denomina **intensidad del campo eléctrico** y su unidad es el newton/culombio (N/C o NC^{-1}), aunque desde el punto de vista práctico se utiliza otra unidad equivalente como es voltio/metro (V/m o Vm^{-1}).

Una carga situada en un campo eléctrico tiene una **energía potencial** debido a su interacción con dicho campo. La energía potencial por unidad de carga en un punto se denomina **potencial eléctrico** en dicho punto y su unidad es el voltio, V.

Normalmente no interesa conocer el potencial en un punto, sino la diferencia de potenciales entre dos puntos A y B, diferencia que se escribe como $U_A - U_B$. Si uno de ellos se toma como potencial de referencia o potencial cero (por ejemplo, si se toma como referencia el punto B, es decir, si $U_B = 0$ V), entonces a la diferencia de potenciales entre un punto cualquiera A y él se la denomina **tensión**, U_A . Definido el punto de potencial cero y, por lo tanto, la tensión de cualquier punto, la diferencia de potenciales entre dos puntos o, lo que es lo mismo, la diferencia entre las tensiones de esos puntos se denomina **caída de tensión**.

Hay cuerpos que permiten fácilmente el movimiento de sus electrones con sólo aplicar entre sus extremos una pequeña diferencia de potencial: a estos cuerpos se les llama **conductores**. Los cuerpos conductores, que son los metales, están formados por átomos en los que los electrones de las últimas capas no están muy unidos al núcleo y fácilmente se desprenden pasando al átomo contiguo. Otros cuerpos, por el contrario, tienen los electrones muy unidos al núcleo y hacen falta grandes diferencias de potencial para poderlos arrancar del átomo, es decir, para moverlos: estos cuerpos se denominan **aislantes**.

Si se unen dos puntos de distinto potencial mediante un conductor, es decir, mediante un material que permita el movimiento de los electrones, aparece un flujo o corriente de electrones. La carga eléctrica en la unidad de tiempo de ese flujo de electrones que circula por un conductor se denomina **intensidad de corriente eléctrica**, o simplemente **intensidad**, y su unidad es el amperio, A. Debido a la carga negativa del electrón, éste se mueve en el sentido del potencial creciente (o dicho coloquialmente, “va de $-$ a $+$ ”). Sin embargo, por convenio se define y se acepta que el sentido de circulación de la corriente eléctrica es el contrario al del movimiento real de los electrones o, dicho de otra forma, es el sentido del movimiento de las cargas ideales positivas¹. Así, el sentido positivo de la corriente eléctrica es el que va desde el punto de mayor potencial al de menor, tal y como se representa en la figura 1.1.

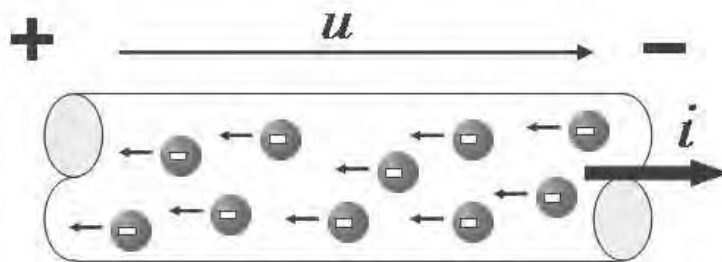


Figura 1.1: Referencias de tensión y de intensidad

Se define la **potencia eléctrica** como la capacidad que tiene un elemento para producir un trabajo o para consumir o generar energía

¹Históricamente, en los inicios de la electricidad, se observó que los cuerpos cargados presentaban dos tipos de comportamientos diferentes (de atracción y repulsión) lo que permitió, a finales del siglo XVIII, clasificarlos en dos grandes grupos a los que se les dio los nombres de *positivos* y *negativos*. Más tarde, cuando a finales del siglo XIX se descubrió el electrón, se observó que su carga correspondía a la de los cuerpos negativos. Para ser coherentes con lo que se entiende como lógico para el movimiento, “ir de $+$ a $-$ ”, se adoptó el convenio expresado para el sentido de circulación de la corriente eléctrica. Es por tanto sólo un convenio, un acuerdo que no afecta para nada al estudio y la comprensión de la electrotecnia

eléctrica en la unidad de tiempo, y su unidad es el vatio, W . El valor instantáneo de la potencia consumida por un elemento es el producto de la caída de tensión entre sus extremos por la intensidad de corriente que circula por él (con las referencias de signo positivo de intensidad y tensión indicadas en la figura 1.1), es decir:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (1.1)$$

La mayor o menor oposición de un material al paso de la corriente eléctrica se denomina **resistencia eléctrica** o simplemente **resistencia**. Esta resistencia es propia de cada material y depende de una característica intrínseca denominada resistividad, ρ . La resistencia de un conductor longitudinal de sección constante viene dada por la expresión:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.2)$$

donde R es la resistencia y su unidad es el ohmio, Ω , ρ es la resistividad y se mide en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, l es la longitud del conductor, en metros, y S la sección del conductor, en mm^2 .

En la tabla 1.1 se dan las resistividades a temperatura ambiente de diferentes materiales conductores y aislantes. El valor de la resistividad, y por tanto de la resistencia, varía principalmente con la temperatura, de forma lineal conforme a la expresión:

$$R = R_T \cdot [1 + \alpha \cdot (t - T)] \quad (1.3)$$

donde α es el coeficiente de temperatura del material, R_T la resistencia a $T^\circ\text{C}$ y t la temperatura en $^\circ\text{C}$ a la que se desea calcular la resistencia R . En la tabla 1.1 se dan los coeficientes de temperatura α de los mismos materiales conductores.

Tabla 1.1: Resistividad y coeficiente de temperatura para distintos materiales

	Resistividad a 20°C ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Coeficiente de temperatura ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Plata	0,0159	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Cobre	0,0170	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Oro	0,0244	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Aluminio	0,0282	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Tungsteno	0,056	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Vidrio	$10^{16} \leftrightarrow 10^{20}$	
Caucho duro	10^{19}	
Azufre	10^{21}	
Cuarzo fundido	$75 \cdot 10^{22}$	

1.3 SISTEMAS DE CORRIENTE CONTINUA

En los sistemas de corriente continua, los valores de la intensidad y de la tensión son constantes e invariables en el tiempo. Así, la intensidad de corriente se define como un flujo continuo de electrones a través de un conductor y siempre en la misma dirección.

$$\begin{cases} u(t) = U \\ i(t) = I \end{cases} \quad \forall t \quad (1.4)$$

En corriente continua las tres magnitudes fundamentales de la electrotecnia, la intensidad de corriente eléctrica, la tensión y la resistencia, están relacionadas entre sí por la conocida Ley de Ohm que establece:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.5)$$

A partir de la definición de la potencia eléctrica (1.1), en corriente continua la potencia consumida por una resistencia viene dada por

las expresiones siguientes:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad (1.6)$$

mientras que la **energía** consumida por dicha resistencia en un intervalo de tiempo de t segundos es:

$$E = P \cdot t \quad (1.7)$$

La unidad de energía es el julio, J, aunque desde el punto de vista técnico en la práctica también se utiliza el vatio-hora, Wh, y, sobre todo, el kilovatio-hora, kWh, que equivale a 1000 Wh y a $3,6 \cdot 10^6$ J.

Ejemplo 1.1

El valor de la resistencia de la figura 1.2 es de 50Ω . Sabiendo que la tensión entre sus extremos es 24 V, calcular la intensidad de corriente que circula por ella, la potencia consumida y la energía que disipa en un minuto.

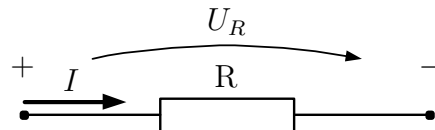


Figura 1.2:

Por la Ley de Ohm, la intensidad de corriente que circula por la resistencia es:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24}{50} = 0,48 \text{ A}$$

y la potencia consumida:

$$P = I^2 R = (0,48)^2 \cdot 50 = 11,52 \text{ W}$$

Por último, la energía consumida (disipada en forma de calor por efecto joule) en un minuto es:

$$E = P \cdot t = 11,52 \cdot 60 = 691,2 \text{ J}$$

En el ejemplo anterior, como la resistencia es un elemento pasivo la potencia calculada es una potencia consumida. Tal y como se ve en la figura del ejemplo el flujo de cargas positivas ($I > 0$) va desde el punto de mayor potencial al de menor potencial (lo que corresponde a una caída de tensión $U > 0$), por lo que esas cargas positivas pierden energía potencial: esa energía perdida es la consumida por la resistencia R , que la disipa en forma de calor.

1.4 SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA

1.4.1. Definiciones

Un sistema de corriente alterna senoidal es aquel en el que los valores de la tensión y de la intensidad varían periódicamente a lo largo del tiempo según una expresión senoidal (por eso también se les llama sistemas de régimen senoidal o, simplemente, sistemas senoidales), tal y como se representa en la figura 1.3.

Para un instante t cualquiera sus valores instantáneos vienen dados por las expresiones:

$$\begin{cases} u(t) = U_0 \cdot \text{sen}(\omega t) \\ i(t) = I_0 \cdot \text{sen}(\omega t - \varphi) \end{cases} \quad (1.8)$$

En estas funciones senoidales se definen los siguientes valores característicos:

- U_0 e I_0 son los valores máximos o **amplitudes**, de la tensión y de la intensidad respectivamente.