

Electrotecnia

Ramón M. Mujal Rosas

Electrotecnia

Primera edición: septiembre de 2002

Diseño de la cubierta: Manuel Andreu

© Ramón M. Mujal, 2002

© Edicions UPC, 2002
Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL
Jordi Girona Salgado 31, 08034 Barcelona
Tel.: 934 016 883 Fax: 934 015 885
Edicions Virtuals: www.edicionsupc.es
E-mail: edicions-upc@upc.es

Producción: CPET (Centre de Publicacions del Campus Nord)
La Cup. Gran Capità s/n, 08034 Barcelona

Depósito legal: B-30769-2002
ISBN: 84-8301-653-2

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

Prólogo

La idea de crear un libro que abarque, aunque de forma general, la mayor parte de la electricidad, surgió ante la necesidad de disponer de un material de estudio apto para las nuevas carreras de Ingeniería de Segundo Ciclo, orientadas a estudiantes con poca disponibilidad de tiempo, o con dificultades para la asistencia regular a las facultades. Por ello, el enfoque dado a esta obra ha sido autodidáctico, con abundancia de explicaciones y ejemplos, que permitan una comprensión rápida, autónoma y eficaz de los temas, a veces complejos, que conforman esta disciplina. Aparte, con la inclusión de innumerables casos prácticos totalmente resueltos, se facilita el aprendizaje, la comprensión y la consolidación de los conceptos teóricos dados.

Esta es una obra eminentemente práctica, sin más pretensiones que las de ofrecer, en un sólo libro, los aspectos teóricos y prácticos más importantes que rigen, tanto la técnica, como la seguridad, la economía o las posibilidades futuras (ventajas e inconvenientes) que la electricidad lleva consigo.

La obra ha sido estructurada en cuatro módulos, con un total de nueve capítulos bien diferenciados.

El primer módulo (capítulos del primero al tercero) es una globalización de la electricidad, siendo su comprensión de vital importancia para el seguimiento del resto de la materia. Concretamente, el primer capítulo consiste en una introducción al mundo de la electricidad. En él, se exponen los principios históricos, así como los motivos que han permitido una evolución tan rápida como la que ha experimentado esta energía. Seguidamente, y de forma muy superficial, se detallan todas las operaciones a efectuar, que incluyen, desde su generación y transporte hasta su consumo final. Los capítulos segundo y tercero están dedicados a los parámetros eléctricos (resistencia e inductancia, en el capítulo segundo, y capacidad y conductancia, en el capítulo tercero). El estudio de estos parámetros permite la comprensión de efectos tan importantes en el mundo eléctrico como son el efecto aislador, el efecto corona, o el efecto Ferranti, aparte de facilitar la comprensión de magnitudes como la tensión, la intensidad o la potencia, o de las propiedades eléctricas de los diversos materiales empleados en la construcción tanto de las máquinas eléctricas como de los conductores para las líneas de transporte de energía eléctrica.

El segundo módulo está formado por dos capítulos (el cuarto y el quinto). En el capítulo cuarto se exponen los métodos de cálculo para líneas de transporte de energía eléctrica. Desde el método en "T" o el método en "II", aplicables a líneas de longitud media, hasta el método de las constantes auxiliares, aplicable a líneas de cualquier longitud, pasando por los tipos de representación, tanto numéricas como gráficas, tendrán cabida en este capítulo. El capítulo quinto nos propone un repaso a los sistemas de protección más empleados en la actualidad, así como de los criterios que definen su correcta elección para cada caso en particular. La coordinación de los sistemas de protección, así como el estudio de las faltas más frecuentes y peligrosas que se dan en las instalaciones eléctricas, tales como sobrecargas, cortocircuitos o derivaciones a tierra, completan la materia de este capítulo.

El tercer módulo está formado por los capítulos sexto y séptimo. Éste es quizás el bloque menos definido, ya que engloba diversos temas del mundo eléctrico. Concretamente el capítulo sexto versa sobre las máquinas eléctricas, indicándose los principios de funcionamiento de las principales máquinas eléctricas y profundizándose en la más típica de ellas, el transformador, del cual se realiza un estudio muy completo que abarca desde la obtención del circuito equivalente, o los ensayos a realizar, hasta el cálculo de su caída de tensión. Por su parte, el capítulo séptimo versa de la regulación de la tensión y la pérdida de potencia en las líneas de transporte de energía eléctrica. Éste es un capítulo muy completo e importante, ya que permite la resolución de problemas eléctricos reales, abarcando desde su generación y transporte hasta su consumo en los puntos de destino. En este capítulo, conviven las demostraciones teóricas con ejemplos totalmente resueltos que permiten una mejor asimilación, dada la complejidad del tema.

Finalmente, el cuarto módulo está formado por los capítulos octavo y noveno. El capítulo octavo está dedicado a las centrales convencionales (térmicas, nucleares, e hidroeléctricas), fuentes que, por el momento, producen la mayor parte de la energía que consumimos, a la espera que las energías renovables puedan asumir una parte importante de esta aportación. En este capítulo se realiza un estudio detallado de las mismas, incidiendo muy particularmente tanto en su modo de funcionamiento como en el de los problemas medioambientales a ellas asociados. Por su parte, el capítulo noveno está dedicado al estudio económico de los sistemas de potencia; concretamente, el despacho económico, el control automático de generación y la programación a corto, medio y largo plazo de las infraestructuras formarán parte de este largo y extenso capítulo donde se explicarán diversas técnicas para la producción y transporte de la electricidad, con seguridad, calidad y máxima economía.

Finalmente, unos anexos dedicados a las fórmulas, tablas, gráficos y esquemas necesarios, tanto para un conocimiento general de la materia como para la correcta resolución de los problemas, se adjuntan al final del libro.

No quisiera terminar esta introducción sin dar las gracias a todos los que de alguna forma han ayudado a la confección de este libro, mediante sus observaciones, rectificaciones o consejos, siempre de gran utilidad. A todos ellos mi, más sincera gratitud por su labor y paciencia mostrada en diversos momentos de su realización.

El autor

Terrassa, noviembre de 2001

Índice

I	La electricidad: conceptos y parámetros eléctricos	13
1	La electricidad	15
1.1	Historia de la electricidad	15
1.2	Cronología histórica de la electricidad	18
1.3	Estructura de un sistema eléctrico	19
1.4	Suministros eléctricos	22
1.5	Parámetros eléctricos característicos	24
1.6	Tensiones más frecuentes utilizadas en España	30
1.7	Elementos constitutivos de los sistemas de potencia	30
1.8	Generación de energía eléctrica	32
1.9	Cuestiones y problemas	34
2	Parámetros eléctricos longitudinales	37
2.1	Aspectos generales	37
2.2	Resistencia. Conductores. Efecto peculiar y proximidad	38
2.3	Inductancia. Campo magnético. Cálculo de la inductancia	54
2.4	Cuestiones y problemas	61
3	Parámetros eléctricos transversales	65
3.1	Capacidad. Efecto <i>Ferranti</i> . Cálculo de la capacidad	65
3.2	Conductancia. Efecto corona y ailador	79
3.3	Problema resuelto de cálculo de los efectos corona y ailador	85
3.4	Cuestiones y problemas	89
II	Líneas eléctricas y protecciones de sistemas eléctricos	93
4	Cálculo de líneas eléctricas	95
4.1	Introducción	95
4.2	Conceptos previos	95
4.3	Diagramas	97
4.4	Tipos de magnitudes eléctricas	99

4.5	Cálculo de líneas. Métodos de las constantes, en “T” y en “Π”	100
4.6	Problema resuelto de cálculo de líneas eléctricas por todos los métodos	116
4.7	Cuestiones y problemas	128
5	Protección de los sistemas eléctricos	131
5.1	Protección de los sistemas eléctricos. Sobrecargas, cortocircuitos	131
5.2	Coordinación de los sistemas de protección. Selectividad eléctrica	145
5.3	Tipos de contactos eléctricos	148
5.4	Técnicas de seguridad contra los contactos eléctricos	151
5.5	Cuestiones y problemas	165
III	Máquinas eléctricas y regulación de la tensión en los sistemas eléctricos	167
6	Transformadores	169
6.1	Introducción	169
6.2	Consideraciones generales	170
6.3	Principio de funcionamiento del transformador, ideal y real	173
6.4	Circuito equivalente de un transformador	181
6.5	Ensayos del transformador. Ensayos de cortocircuito y de vacío	185
6.6	Caída de tensión en un transformador	192
6.7	Cuestiones y problemas	194
7	Regulación de la tensión en líneas aéreas	197
7.1	Introducción	197
7.2	Cálculo de las condiciones eléctricas en una línea de energía eléctrica	198
7.3	Cálculo aproximado de la caída de tensión en una línea corta	206
7.4	Flujo de potencia en una línea eléctrica aérea	208
7.5	Regulación de la tensión en líneas eléctricas	213
7.6	Cálculo de la potencia reactiva de compensación en paralelo	220
7.7	Problema resuelto de regulación de la tensión en las líneas eléctricas	223
7.8	Cuestiones y problemas	234
IV	Centrales eléctricas y funcionamiento económico de los sistemas eléctricos	237
8	Centrales eléctricas convencionales	239
8.1	Tipos de centrales eléctricas	239
8.2	Las centrales eléctricas en España	240
8.3	Las centrales hidroeléctricas	241
8.4	Las centrales térmicas clásicas	251
8.5	Las centrales nucleares	256
8.6	Cuestiones y problemas	263
9	Despacho económico	265
9.1	Introducción al despacho económico	265

9.2	Control de un sistema de potencia	266
9.3	Funcionamiento económico de las centrales eléctricas	269
9.4	Control automático de la generación	270
9.5	Funcionamiento económico de los sistemas de potencia	275
9.6	Cuestiones y problemas	299
Anexos		303
I	Constantes de magnitudes físicas, terrestres y cuánticas	303
II	Resistividad, coeficiente de temperatura, punto de fusión y densidad de diversos materiales	304
III	Coefficientes de resistividad de los aislantes	305
IV	Magnitudes y unidades magnéticas	306
V	Conductores eléctricos	307
VI	Conductancia, autoinducción y susceptancia	308
VII	Método de las constantes auxilier	309
VIII	Método del circuito equivalente en “T” y en “Π”	312
IX	Fórmulas para el cálculo de líneas eléctricas	315
X	Resumen de fórmulas para líneas eléctricas	318
Bibliografía		319