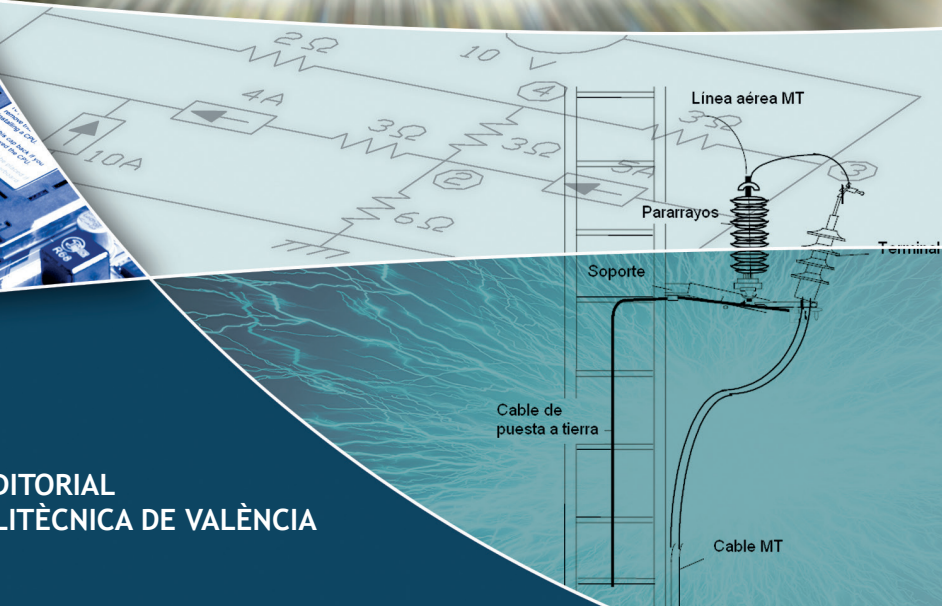


# Electrotecnia

# Instalaciones eléctricas

Saturnino Catalán Izquierdo



Saturnino Catalán Izquierdo

# **Electrotecnia**

## Instalaciones eléctricas

EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Los contenidos de esta publicación han sido revisados por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UPV

*Colección Académica*

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: CATALÁN IZQUIERDO, S. (2014) *Electrotecnia. Instalaciones eléctricas*. Valencia: Universitat Politècnica

Primera edición, 2014

© Saturnino Catalán Izquierdo

© de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València  
*Distribución:* Telf. 963 877 012 / <http://www.lalibreria.upv.es> / Ref.: 4058\_02\_01\_01

Imprime: Byprint Percom, sl  
Impreso en papel Coral Book



ISBN: 978-84-9048-163-9  
Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, la distribución, la comercialización, la transformación y, en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de la totalidad o de cualquier parte de esta obra sin autorización expresa y por escrito de los autores.

Impreso en España

# prólogo

**L**a energía eléctrica se utiliza, en gran medida, como un cómodo intermediario entre las fuentes de energía, localizadas donde se encuentran las fuentes primarias (o donde conviene por otros motivos) y los receptores que la convierten en energía mecánica o de otro tipo en el lugar de consumo. Para que la utilización de la energía eléctrica sea segura y fiable es imprescindible tanto un buen diseño y ejecución de las instalaciones eléctricas, como un adecuado manejo y mantenimiento posterior de todos los elementos.

Los componentes principales de cualquier sistema eléctrico son conocidos: Las *máquinas*, que convierten otras formas de energía en energía eléctrica o viceversa, los *transformadores*, que, mediante las *líneas de transporte y distribución* permiten un transporte económico, y los *receptores* que convierten la energía eléctrica en aquello que conviene en el lugar de consumo. Pero es la adecuada integración de estos elementos con los dispositivos de mando y protección lo que define una instalación eléctrica. Muchos de estos componentes han alcanzado un elevado grado de estandarización y se encuentran disponibles en los catálogos. El proyecto de instalaciones eléctricas se realiza hoy día utilizando herramientas de cálculo conectadas con bases de datos de materiales. Esto permite centrar la atención en lo importante: El diseño de las alternativas existente y el análisis de los resultados para obtener la solución óptima.

Los fundamentos de la Electrotecnia se han estudiado previamente. En este texto se procede a aplicar estos conocimientos al diseño y análisis de instalaciones receptoras, de instalaciones de distribución y de instalaciones de generación que se calculan utilizando herramientas informáticas. También se sintetiza el papel que desempeña cada uno de estos elementos en el sistema eléctrico de potencia en su conjunto y sus repercusiones económicas.

S.Catalán  
Noviembre 2013



# índice

prólogo .....	iii
índice .....	v
bibliografía .....	ix
1. INSTALACIONES RECEPTORAS .....	1
1.- Introducción .....	3
2.- Componentes .....	5
3.- Selección de los receptores .....	6
4.- Previsión de carga .....	9
5.- Selección de los conductores .....	11
5.1.- Sección requerida por calentamiento en régimen permanente .....	13
5.2.- Sección requerida por caída de tensión .....	16
5.3.- Sección del conductor neutro .....	18
5.4.- Identificación de los conductores .....	18
6.- Sobrecargas y cortocircuitos .....	18
6.1.- Determinación básica de la corriente de cortocircuito .....	20
6.2.- Poder de corte .....	21
7.- Protección de las instalaciones .....	22
7.1.- Protección frente a sobrecargas y cortocircuitos .....	22
7.2.- Localización .....	29
7.3.- Protección frente a sobretensiones .....	29
8.- Protección de las personas .....	30
8.1.- Medios de protección .....	30
8.2.- Puestas a tierra .....	31
8.3.- Interruptores diferenciales .....	32
8.4.- Funcionamiento de la protección .....	33
8.5.- Sección del conductor de protección .....	36
8.6.- Otros sistemas .....	36
9.- Particularidades de cada instalación .....	36
10.- Proyecto de instalaciones receptoras .....	38
10.1.- Selectividad .....	40
10.2.- Simbología .....	41
Ejemplos .....	44

Problemas .....	53
Ensayos .....	58
<b>2. TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN .....</b>	<b>71</b>
1.- Introducción .....	73
2.- Centros de transformación .....	77
2.1.- Componentes .....	77
2.2.- Ubicación .....	79
2.3.- Diseño y cálculo .....	80
2.4.- Puesta a tierra .....	82
3.- Líneas subterráneas .....	89
3.1.- Componentes .....	90
3.2.- Trazado .....	91
3.3.- Cálculo eléctrico .....	92
3.4.- Puesta a tierra .....	95
4.- Líneas aéreas .....	95
4.1.- Componentes .....	96
4.2.- Trazado .....	98
4.3.- Cálculo eléctrico .....	100
4.4.- Cálculo mecánico .....	102
4.5.- Puesta a tierra .....	108
5.- Seguridad en el trabajo en proximidad .....	108
6.- Proyecto de instalaciones de distribución .....	111
Ejemplos .....	112
Problemas .....	123
Ensayos .....	127
<b>3. INSTALACIONES GENERADORAS .....</b>	<b>133</b>
1.- Introducción .....	135
2.- Generación hidroeléctrica .....	136
3.- Generación térmica .....	140
4.- Generación eólica .....	144
5.- Generación solar fotovoltaica .....	147
Ejemplos .....	149
Ensayos .....	152
<b>4. SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....</b>	<b>153</b>
1.- Introducción .....	155
2.- Operación del sistema eléctrico .....	156

3.- Funcionamiento del mercado .....	158
4.- Suministro y comercialización .....	159
5.- Calidad de servicio .....	160
Ejemplos .....	162
Ensayos .....	164





# bibliografía

Las instalaciones eléctricas, como todas las aplicaciones tecnológicas, están fuertemente condicionadas tanto por la normativa y reglamentación vigente en cada momento como por la disponibilidad de componentes en el mercado. La evolución en ambas facetas es muy rápida en nuestros días, por esto es imprescindible conocer a fondo los principios básicos, que se mantienen en el tiempo, pero, además, es necesario mantenerse actualizado constantemente sobre normas y materiales.

Entre la normativa, reglamentación, recomendaciones e informes técnicos utilizados en esta edición se encuentran:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales eléctricas, Subestaciones y Centros de transformación
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias
- RD 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión
- RD 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico
- Normas Particulares de las Compañías Distribuidoras: Norma Iberdrola MT 2.03.20, MT 2.11.01, MT 2.11.03, MT 2.51.01, MT 2.31.01, MT 2.41.20 y diversos Proyectos Tipo.
- Recomendación Unesa sobre *Puestas a Tierra para Centros de Transformación*
- Normas: UNE 20 460-5-523, UNE 202002 IN, UNE EN 60898, UNE EN 60947 y UNE-EN 50.086.1
- Ley 54/1997 del Sector Eléctrico

- RD 1955/2000 que regula las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Publicaciones e informes de Red Eléctrica de España
- Publicaciones e informes del National Energy Technology Laboratory
- Informes de la CNE-CNMC
- Informes OMEL-MIBEL
- Informes de la European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E)
- Publicaciones e informes Unesa
- Documentos AMYS-UNESA
- Cartografía del ICV y del IGN

Y entre la documentación técnica sobre productos y componentes en el mercado se han utilizado datos procedentes de numerosas compañías: ABB, Gamesa, General Electric, General Cable, Himoinsa, Hyundai, Ormazabal, Prysmian, Schneider Electric, Siemens, Simon, TVA, Andritz VA Tech Hydro, Vestas, Voith.

# 1

# INSTALACIONES RECEPTORAS

- 1.-Introducción*
- 2.-Componentes*
- 3.-Selección de los receptores*
- 4.-Previsión de carga*
- 5.-Selección de los conductores*
- 6.-Sobrecargas y cortocircuitos*
- 7.-Protección de las instalaciones*
- 8.-Protección de las personas*
- 9.-Particularidades de cada instalación*
- 10.-Proyecto de instalaciones receptoras*



## 1.- Introducción

Las instalaciones eléctricas permiten la generación, el transporte, la distribución y la utilización de la energía eléctrica de forma segura y fiable. En el diseño y cálculo de las instalaciones se utilizan los conocimientos sobre *Teoría de Circuitos Eléctricos* y de *Máquinas Eléctricas*, pero, además:

- Es necesario aplicar las normas y reglamentos. En el ámbito electrotécnico existen organismos específicos de normalización tales como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC). Se han promulgado Directivas Europeas cuya finalidad es armonizar tanto las instalaciones eléctricas como los dispositivos eléctricos en los países miembros de la Unión Europea. Para instalaciones en baja tensión la referencia fundamental en España es el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RBT), sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-BT) y las normas que declara de obligado cumplimiento. Su campo de aplicación se extiende en corriente alterna hasta tensiones de 1000 V (art.2 RBT). Además, deben considerarse las regulaciones específicas de ámbito territorial más reducido (Comunidad Autónoma, Ayuntamiento) que regulan, en algunas ocasiones, aspectos específicos.
- Los elementos, aunque los modelaremos mediante los componentes ideales que hemos definido (R, L, C, fuentes de potencia) son reales. Los datos básicos de un elemento real son los valores nominales o asignados que aparecen en sus Hojas de Características y en su Placa de Características.
- Es necesario realizar aproximaciones: por ejemplo, considerar simplemente mediante una mayoración de la carga la existencia de armónicos debidos a cargas no-lineales o los propios transitorios de conexión de las cargas.

- Es necesario realizar estimaciones: por ejemplo, reducir mediante coeficientes de simultaneidad la carga total para tener en cuenta que todos los receptores no funcionan simultáneamente o aumentar la carga para tener en cuenta las corrientes de arranque o en previsión de futuras ampliaciones.
- Existen multitud de condicionantes no-eléctricos, tanto técnicos como económicos o de otra índole. Por ejemplo: las características ambientales del lugar en el que se ubique la instalación (riesgo de incendio o explosión {ITC-BT 29}, la humedad elevada {ITC-BT 30}, la existencia de atmósferas corrosivas, etc), las características de utilización de la instalación (locales públicos {ITC-BT 28}, instalaciones provisionales o de obra {ITC-BT 33}, etc), la necesidad de simplificar la tipología de materiales, etc.

La consecuencia es que, a diferencia de la *Teoría de Circuitos* y de la *Teoría de Máquinas eléctricas* en la que la solución a un problema es siempre la misma aunque existan multitud de caminos para obtenerla, en las *Instalaciones Eléctricas* la solución casi nunca es única y, aunque existirán unas soluciones mejores que otras, varias soluciones pueden ser excelentes pero distintas.

Los conceptos generales abordados en este capítulo se aplican a todas las instalaciones receptoras independientemente de su tensión de funcionamiento. Sin embargo, aunque existen instalaciones receptoras cuyas cargas funcionan con alta tensión, en este capítulo nos centraremos fundamentalmente de las instalaciones receptoras que entran dentro del ámbito del RBT. La extensión a las instalaciones receptoras para tensiones superiores a 1000 V puede realizarse considerando los materiales y componentes que se estudian en los capítulos siguientes.

## 2.- Componentes

Además de los receptores o cargas que son los encargados de convertir la energía eléctrica en la forma útil de energía que se requiera en cada caso (luz, movimiento, calor, etc), en todas las instalaciones eléctricas receptoras existen:

- **Dispositivos de maniobra:** Interruptores, conmutadores, automatismos {ITC-BT 17}, etc; que permiten conectar y desconectar las cargas.
- **Dispositivos de protección:** Que permiten que la instalación funcione de forma segura para los propios componentes de la instalación {ITC-BT 22 y 23} y para las personas {ITC-BT 24}.
- **Líneas:** Son los cables eléctricos<sup>1</sup> que transportan y distribuyen la energía eléctrica, junto con las conducciones por las que discurren (bandejas, galerías, tubos, etc).
- **Cuadros:** Son los armarios o cajas en las que ubican tanto los elementos de conexión entre distintas líneas<sup>2</sup> como los dispositivos de maniobra y los elementos de protección de las instalaciones y de las personas.

Además, normalmente, también existen elementos de control y de medida, por ejemplo: reguladores, rectificadores e inversores, contadores de energía activa y reactiva, etc.

---

<sup>(1)</sup> Por cable se entiende el conjunto de uno o varios conductores eléctricos aislados con su revestimiento individual, la protección del conjunto y los revestimientos de protección adicional que se dispongan. Además puede tener uno o varios conductores no aislados..

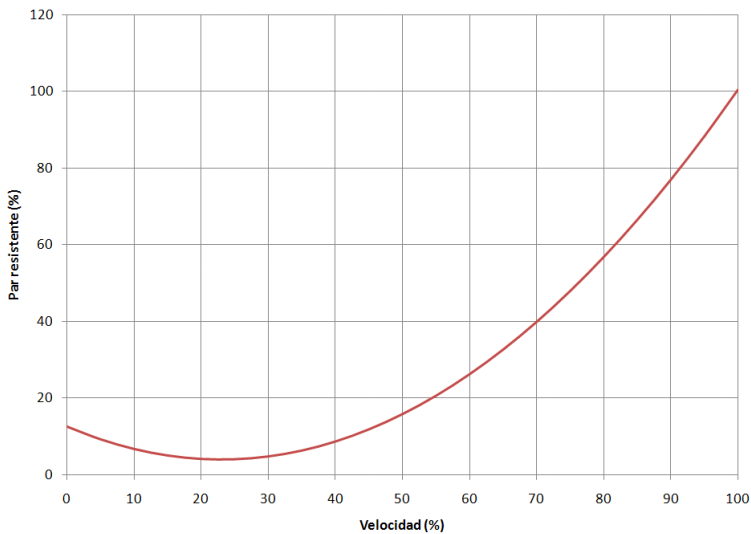
<sup>(2)</sup> Las líneas no pueden tener conexiones (o empalmes) fuera de los cuadros dispuestos para esta finalidad.



### 3.- Selección de los receptores

Las cargas eléctricas de una instalación receptora pueden ser de muchos tipos. Algunos muy frecuentes son:

- **Elementos calefactores resistivos:** Su potencia está determinada por la potencia calorífica requerida. Si son de escasa potencia se conectarán en forma monofásica, si son de elevada potencia se conectarán en forma trifásica.
- **Motores:** Todas sus características eléctricas (incluida su potencia) pueden estar definidas inicialmente o, en caso contrario, necesitar ser definidas a partir de los datos del elemento que deban accionar. Para esto, es necesario conocer la curva par-velocidad del elemento a accionar y los demás requisitos de funcionamiento.



*El par aumenta con el cuadrado de la velocidad:  
Ventiladores, bombas, compresores*

**Para seguir leyendo haga click aquí**