

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Pedro Javier Zarco Perrián

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS



SEVILLA 2019

Colección: Monografías de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería
de la Universidad de Sevilla

Núm.: 13

COMITÉ EDITORIAL:

José Beltrán Fortes
(Director de la Editorial Universidad de Sevilla)
Araceli López Serena
(Subdirectora)

Concepción Barrero Rodríguez
Rafael Fernández Chacón
María Gracia García Martín
Ana Ilundáin Larrañeta
María del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado
Manuel Padilla Cruz
Marta Palenque Sánchez
María Eugenia Petit-Breuilh Sepúlveda
José-Leonardo Ruiz Sánchez
Antonio Tejedor Cabrera

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

Motivo de cubierta: Subestación y línea de alta tensión

© Editorial Universidad de Sevilla 2019
C/ Porvenir, 27 - 41013 Sevilla.
Tlfs.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443
Correo electrónico: eus4@us.es
Web: <<http://www.editorial.us.es>>

© Pedro Javier Zarco Perrián, 2019

Impreso en papel ecológico
Impreso en España-Printed in Spain

ISBN 978-84-472-2848-5
Depósito Legal: SE 796-2019

Diseño de cubierta y maquetación: Santi García. santi@elmaquetador.es
Impresión: Podiprint

*A mi familia,
que siempre está ahí*

*La perseverancia toda cosa alcanza.
Refranero español*

Índice

<i>Agradecimientos</i>	XVII
<i>Resumen</i>	XIX
1. Introducción	1
2. Proyecto de subestación	5
2.1. Introducción	6
2.2. Memoria	8
2.2.1. Generalidades	8
2.2.2. Unifilar	8
2.2.2.1. Sistema de alta tensión	8
2.2.2.2. Sistema de media tensión	9
2.2.3. Descripción general	10
2.2.3.1. Edificio	10
2.2.3.2. Urbanización	10
2.2.3.3. Cierre y señalización	10
2.2.3.4. Red de tierras	10
2.2.3.5. Telecontrol y comunicaciones	13
2.2.3.6. Equipos de medida y calidad	15
2.2.3.7. Servicios generales	15
2.2.3.8. Instalación de alumbrado y ventilación	18
2.2.3.9. Sistema de protección contra incendios e intrusos	19
2.2.3.10. Sistema de videovigilancia	20
2.2.4. Descripción de los principales elementos	20
2.2.4.1. Características generales de la instalación	20
2.2.4.2. Disposición física de los equipos	20
2.2.4.3. Embarrados, cable aislado, aisladores y conductores de mando y señal	20
2.2.4.4. Aparamenta	22

2.2.5. Estructuras metálicas y soportes	26
2.2.6. Obra civil	26
2.2.6.1. Movimiento de tierras	26
2.2.6.2. Cimentaciones	27
2.2.6.3. Viales, urbanización y grava	30
2.2.6.4. Edificio	31
2.2.6.5. Sistema de drenajes	32
2.2.6.6. Red de abastecimiento de agua potable y saneamiento	32
2.3. Cálculos	32
2.4. Pliego de condiciones	33
2.5. Planos	33
2.6. Presupuesto	46
2.7. Estudio de seguridad y salud	46
2.8. Prescripciones medioambientales	47
2.9. Prescripciones para la gestión de residuos	48
3. Proyecto de línea de alta tensión	49
3.1. Introducción	49
3.2. Memoria	51
3.2.1. Generalidades	51
3.2.2. Materiales	52
3.2.2.1. Conductores	52
3.2.2.2. Cables de fibra óptica	53
3.2.2.3. Cajas de empalme de cables de fibra óptica	53
3.2.2.4. Apoyos	54
3.2.2.5. Cimentaciones	54
3.2.2.6. Cadenas de aislamiento	55
3.2.2.7. Elementos de maniobra y protección	56
3.2.2.8. Conversión aéreo-subterránea	56
3.2.2.9. Accesorios	57
3.2.3. Coordinación de aislamiento	58
3.2.4. Distancias mínimas de seguridad, cruzamientos y paralelismos	59
3.3. Cálculos	62
3.4. Pliego de condiciones	63
3.5. Planos	64
3.6. Presupuesto	75
3.7. Relación de bienes y derechos afectados	75
3.8. Estudio de seguridad y salud	76

3.9. Prescripciones medioambientales	76
3.10. Prescripciones para la gestión de residuos	77
4. Proyecto de media y baja tensión	79
4.1. Introducción	79
4.2. Memoria	84
4.2.1. Generalidades	84
4.2.2. Sistemas de instalación	87
4.2.2.1. Línea de media tensión	87
4.2.2.2. Centro de transformación	88
4.2.2.3. Líneas de baja tensión	91
4.2.3. Materiales	93
4.2.3.1. Línea de media tensión	93
4.2.3.2. Centro de transformación	94
4.2.3.3. Líneas de baja tensión	97
4.2.4. Protección	98
4.2.4.1. Línea de media tensión	98
4.2.4.2. Centro de transformación	98
4.2.4.3. Líneas de baja tensión	100
4.2.5. Seguridad	101
4.2.5.1. Línea de media tensión	101
4.2.5.2. Centro de transformación	102
4.2.5.3. Línea de baja tensión	102
4.3. Cálculos	102
4.4. Pliego de condiciones	103
4.5. Planos	104
4.6. Presupuesto	118
4.7. Estudio de seguridad y salud	118
4.8. Prescripciones medioambientales	119
4.9. Prescripciones para la gestión de residuos	120
5. Proyectos de instalaciones de generación	121
5.1. Introducción	121
5.2. Bibliografía para proyectos de generación	122
6. Legalización de instalaciones eléctricas	123
6.1. Introducción	123
6.2. Documentación	125
6.3. Aspectos medioambientales	127

6.4. Procedimientos simplificados	129
6.4.1. Líneas aéreas de alta y media tensión de conductores desnudos	130
6.4.2. Líneas subterráneas	130
6.4.3. Centros de seccionamiento y transformación	130
6.4.4. Subestaciones	131
6.5. Tramitaciones	131
6.5.1. Tramitación de instalaciones de baja tensión	131
6.5.2. Licencia de obras de subestaciones y líneas	134
6.5.3. Autorización y aprobación de subestaciones	134
6.5.3.1. Obra de ampliación	134
6.5.3.2. Obra nueva	136
6.5.4. Autorización Ambiental Unificada	136
6.5.5. Expropiación	137
6.5.6. Autorización y aprobación de líneas	139
7. Mantenimiento de instalaciones eléctricas	141
7.1. Introducción	141
7.2. Mantenimiento de subestaciones	144
7.2.1. Revisiones termográficas	147
7.2.2. Medidas de puesta a tierra	149
7.2.3. Mantenimiento predictivo de baterías de corriente continua	150
7.2.4. Mantenimiento predictivo de interruptores de alta tensión	151
7.2.5. Mantenimiento predictivo de interruptores de media tensión	158
7.2.6. Mantenimiento predictivo de transformadores de potencia	158
7.2.7. Mantenimiento preventivo de cambiadores de tomas en carga	160
7.3. Mantenimiento de líneas de alta tensión	162
7.3.1. Líneas aéreas de alta tensión	162
7.3.1.1. Inspecciones termográficas	164
7.3.2. Líneas subterráneas de alta tensión	165
7.4. Mantenimiento de instalaciones de media y baja tensión	165
7.4.1. Centros de distribución	165
7.4.1.1. Inspecciones termográficas	166
7.4.2. Líneas aéreas de media tensión	167
7.4.3. Líneas subterráneas de media tensión	168
7.4.4. Líneas aéreas de baja tensión	169
7.4.5. Líneas subterráneas de baja tensión	169
7.5. Mantenimiento de centros de generación	169
7.5.1. Mantenimiento predictivo de máquinas rotativas	170
7.5.2. Técnicas de mantenimiento predictivo	171
7.5.3. Mantenimiento en centrales de distintas tecnologías	171
7.5.3.1. Central térmica	171
7.5.3.2. Central hidráulica	172

7.5.3.3. Parque eólico	173
7.5.3.4. Plantas solares térmica y fotovoltaica	173
8. Trabajos en tensión	175
8.1. Introducción	175
8.2. Métodos de trabajo en tensión	176
8.2.1. Método de contacto	176
8.2.2. Método a distancia	177
8.2.3. Método a potencial	177
8.3. Riesgos de los trabajos en tensión	178
8.4. Trabajos en tensión en baja tensión	182
8.5. Limpieza en tensión	185
9. Prevención de riesgos laborales	189
9.1. Introducción	189
9.2. Clasificación de actividades	190
9.2.1. Maniobras	191
9.2.2. Trabajos sin tensión	191
9.2.3. Trabajos con tensión	191
9.2.4. Trabajos en proximidad	192
9.2.5. Mediciones, ensayos y verificaciones	193
9.3. Equipos de protección individual y material de seguridad	194
9.3.1. Guantes aislantes	194
9.3.2. Alfombrilla aislante, banqueta aislante y banqueta equipotencial	195
9.3.3. Casco y casco con pantalla inactiva	197
9.3.4. Ropa ignífuga	197
9.3.5. Calzado de seguridad	197
9.3.6. Pértigas verificadoras de ausencia de tensión	198
9.3.7. Puestas a tierra portátiles	198
9.3.8. Utilización de equipos de protección individual y material de seguridad	199
9.4. Las cinco reglas de oro	199
9.4.1. Primera regla de oro: desconectar	201
9.4.2. Segunda regla de oro: prevenir cualquier posible realimentación	202
9.4.3. Tercera regla de oro: verificar la ausencia de tensión	202
9.4.4. Cuarta regla de oro: poner a tierra y en cortocircuito	204
9.4.5. Quinta regla de oro: proteger frente a elementos en tensión y señalar la zona	205
9.5. Distancias de seguridad	206
9.5.1. Zona de peligro	206
9.5.2. Zona de proximidad	208
9.6. Estudio de seguridad y salud	208
9.6.1. Definición de riesgos	210

9.6.2. Medidas de prevención y protección	211
9.6.3. Formación del personal	212
9.6.4. Estudio básico de seguridad y salud	213
9.7. Casos de estudio	214
9.7.1. Caso del tractor	214
9.7.2. Caso del pintor	217
9.7.3. Caso del camión	219
9.7.4. Caso del trabajo en tensión	221
Bibliografía	227
Índice de figuras	235

Agradecimientos

El autor quiere agradecer a Viesgo Distribución Eléctrica el permiso para poder utilizar y reproducir los Proyectos Tipos de las distintas instalaciones que en este libro se presentan y que servirán como base para la formación de futuros ingenieros.

Asimismo al Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo del Ministerio de Empleo y Seguridad Social y a la Dirección General de Relaciones Laborales y Seguridad y Salud Laboral de la Consejería de Empleo, Empresa y Comercio de la Junta de Andalucía por el permiso para el uso de la base de datos de accidentes de trabajo y la posibilidad de exponer algunos casos, ya que son una base importantísima de aprendizaje de las causas de accidentes laborales y fuente de prevención de ellos para el futuro.

Sevilla, 2019

Resumen

La elaboración de proyectos de instalaciones eléctricas y su mantenimiento son dos campos muy amplios sobre los que no hay mucha bibliografía y a los que todo profesional se tendrá que enfrentar a lo largo de su vida laboral en mayor o menor medida. Si se trata de alguien relacionado con las empresas eléctricas o afines tocará muchos de los aspectos tratados en este libro y, si no, solo tratará alguno de los temas, pero en cualquier actividad en la que desarrolle su carrera profesional se encontrará con que la electricidad, y todo lo relacionado con ella, está presente de un modo u otro.

Los aspectos abordados se han tratado con cierta profundidad aunque no con total detalle, ya que en ese caso no se hubieran podido abarcar todos los temas que se pretendía.

En cualquier caso, con la información contenida en este libro, el lector podrá sacar una visión de conjunto con el suficiente detalle como para resolver cualquier problema con el que se encuentre en su vida laboral relacionado con estos temas o, en el caso de ser de mayor envergadura, servirle de base para su posterior desarrollo buscando información complementaria.

1 Introducción

El creciente aumento de la demanda energética lleva consigo aparejada la necesidad de construir nuevas instalaciones eléctricas y alargar la vida de las ya existentes mediante un adecuado mantenimiento de ellas. De hecho, las regulaciones de los países en los que los mercados eléctricos están liberalizados incentivan a las empresas a que realicen una operación, un mantenimiento y un plan de inversiones eficientes.

Así, en cuanto a las nuevas instalaciones, se amortizarán en un elevado número de años, que estará acorde a los que se prevé que deben estar en servicio como mínimo. Durante ese periodo de tiempo se recibirá la retribución correspondiente a la inversión realizada en su construcción. En lo referente a la operación y el mantenimiento de dichas instalaciones, las empresas también perciben una retribución durante la vida útil del activo e incluso se incrementa en algunos países aplicando un factor de extensión de vida útil como incentivo para mantener operativas las instalaciones el mayor tiempo posible y de esta forma minimizar las inversiones de reposición de estas. De este modo, se está reconociendo el incremento de los costes de mantenimiento en los que se puede incurrir en ellas. Por todo ello, es de suma importancia diseñar instalaciones eficientes y mantenerlas en perfecto estado de uso para alargar su vida útil.

En este libro se van a tratar esas dos facetas, que son tan importantes para la Ingeniería, y cuyo alcance afectará a las instalaciones de media y baja tensión, las líneas de alta tensión, las subestaciones y las instalaciones de generación. En particular, como hoy en día hay tanta diversidad en las instalaciones de generación (tanto distintos tipos de renovables como las clásicas fósiles), se analizarán las técnicas de mantenimiento comunes y se le indicará al lector alguna bibliografía en la que puede encontrar el diseño de estas instalaciones según su tecnología.

El libro realiza el ciclo de vida de cualquier instalación eléctrica: a partir de una necesidad de suministro de energía se diseñan unas instalaciones que necesitarán ser legalizadas para ser construidas y posteriormente, una vez en servicio, mantenidas en

perfecto estado para que realicen la función para la que se diseñaron. Por ello se desarrollarán los proyectos de una subestación, una línea de alta tensión, una de media tensión, un centro de transformación y una línea de baja tensión. En estos proyectos se reflejarán y desarrollarán con detalle todos los apartados que deben tener, excepto el de los cálculos, respecto a los cuales se le facilitará al lector bibliografía que puede consultar. Esto se ha hecho de esta manera por varios motivos: para evitar que el alcance del libro fuera muy superior; porque para el tema concreto de cálculos de instalaciones eléctricas existe bibliografía que puede ser consultada, pero no así para el desarrollo y alcance que debe contener un proyecto de una instalación eléctrica; y, por último, porque si el lector se trata de un estudiante de alguna Ingeniería, cuando haga uso de los conocimientos de este libro habrá estudiado en numerosas asignaturas de la carrera, con todo lujo de detalles, los cálculos de dimensionamiento de las distintas instalaciones eléctricas.

Como se ha indicado, no se tratará ningún proyecto de instalación de generación, pero sí existe un pequeño capítulo dedicado a estos proyectos. Sin embargo, como las instalaciones de generación necesitan de una subestación que transforme la energía para ser evacuada por una línea de alta tensión y dentro de la propia instalación se necesitarán instalaciones de baja y media tensión, algunos de los proyectos tratados en el libro, si no todos, serán necesarios para el desarrollo de cualquier instalación de generación.

Posteriormente, y antes de pasar a los capítulos dedicados a las instalaciones en explotación, se tratará el tema de la legalización de estas ya que cualquier instalación necesita unas autorizaciones administrativas tanto para poder empezar a construirla como para posteriormente ponerla en servicio. Este es un tema del que no existe mucha bibliografía, por lo que aquí se podrá alcanzar una visión de los pasos a seguir en este proceso de legalización de las instalaciones.

Seguidamente se analizarán las técnicas de mantenimiento en las instalaciones eléctricas. Se destacarán las que se llevan a cabo habitualmente en cualquier compañía eléctrica y que también desarrollan las empresas afines a este campo. Como se ha indicado anteriormente, esta actividad es de suma importancia y normalmente no es tratada en casi ninguna bibliografía, por lo que en este capítulo se tratarán las distintas técnicas de mantenimiento, aunque no se podrá profundizar demasiado en ellas por no ser el alcance exclusivo de este libro y porque en ese caso sería imposible tratar todos los temas que se pretenden abarcar.

A continuación se tratará de los trabajos en tensión. Otro tema que tampoco es apenas tratado en la bibliografía, pero que cada vez es más importante para las empresas eléctricas debido a la necesidad de proveer a sus clientes de algo muy demandado y exigido como es la calidad de suministro. Los trabajos en tensión son de aplicación tanto en labores de construcción como de mantenimiento para evitar los cortes de suministro a los clientes. Se tratarán y analizarán los de contacto, aplicados principalmente en baja tensión, los de distancia, usados básicamente en media tensión y también en alta tensión, y los de potencial, que son los habituales en alta tensión.

Por último, pero no menos importante, se tratará la prevención de riesgos laborales. Cabría pensar que un tema como este no tiene cabida en un libro con este alcance, sin embargo, no debe olvidarse que toda actividad de diseño necesita un estudio de

seguridad y salud que será de aplicación durante la construcción de las instalaciones y posteriormente, durante su vida útil, habrá que seguir unas normas de seguridad para cualquier actividad que se realice en ellas. Asimismo, cualquier actividad que se ejecute en una instalación debe ser analizada desde la óptica de la prevención de riesgos y si además se trata de labores en el campo eléctrico, en donde cualquier error puede tener unas consecuencias muy graves, se puede ser consciente de la responsabilidad que implica tanto a nivel social como personal una correcta actuación tanto en el diseño como en las labores de mantenimiento. En este capítulo se analizará la prevención de riesgos laborales desde un punto de vista eléctrico, que es el alcance de este libro, y que son de aplicación en cualquier actividad de este tipo.

Además, en este tema se tratarán varios casos de estudio en los que se analizarán accidentes reales y las carencias que provocaron que se produjera el suceso. Estos casos concuerdan en lo principal con lo acaecido pero se les han cambiado algunas circunstancias para que no puedan ser identificados claramente con el accidente real.

Como el lector no tiene que ser alguien acostumbrado a visitar instalaciones eléctricas, se han ilustrado todos los temas con numerosas fotos a fin de que este se pueda hacer una imagen real, nunca mejor dicho, de lo tratado.

El alcance de este libro está enfocado en general para cualquier lector interesado en alcanzar conocimientos de cierta profundidad en la redacción de proyectos de las instalaciones eléctricas y su mantenimiento, y también puede ser utilizado en diferentes asignaturas de las carreras de Ingeniería, ya sea grado o máster, para dotar a los alumnos de las competencias necesarias para su futura carrera profesional.

Dentro del Espacio Europeo de Educación Superior el postgrado o máster juega un papel muy importante en cuanto a dotar a los estudiantes de las habilidades necesarias para que en el plazo de unos meses o un año, según se trate de un Máster de uno o dos años, aquellos sean capaces de enfrentarse a la realidad del mundo laboral y la problemática que ello conlleva. Deberán abordar hechos reales, ya no teóricos, con una información incompleta, sesgada o limitada y deberán enfrentarse a ellos con la responsabilidad de que la toma de decisiones que lleven a cabo pueda tener consecuencias no solo para ellos sino también para el personal que puedan tener a su cargo y para la sociedad en general.

Pensando en la posible utilización de este texto como base para la impartición de alguna asignatura, este libro ha sido creado teniendo en cuenta además las competencias que debe adquirir el alumnado según el Real Decreto que ordena las enseñanzas universitarias dentro del Espacio Europeo de Educación Superior [1]. Dentro de dichas competencias está el que los estudiantes apliquen sus conocimientos en entornos nuevos enfrentándose a la formulación de juicios a partir de una información incompleta y teniendo en cuenta las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a sus tomas de decisiones. Además, con los casos prácticos y de aplicación que se presentan, se pretende el afianzamiento de los conocimientos.

En suma, este libro ayudará a profundizar en temas poco tratados en la bibliografía al lector, que casi sin lugar a dudas tendrá que enfrentarse a lo largo de su vida laboral a alguno de los contenidos en él presentados.