

Contenido

PRÓLOGO	xv
CAPÍTULO 1. El Sol fuente de energía. Fórmulas y datos eléctricos de interés	
1.1. Introducción a la tecnología fotovoltaica	2
1.1.1. Las fuentes de energía de las que nos abastecemos	2
1.1.2. La electricidad como principal energía	2
1.1.3. La energía fotovoltaica	3
1.1.4. Estudio de la generación fotovoltaica y sus aplicaciones	5
1.1.5. Complementos que necesita el electricista de instalaciones solares fotovoltaicas	6
1.2. Importancia de la energía que suministra el Sol	7
1.3. El Sistema Solar	7
1.4. El Sol	8
1.4.1. Principales características del Sol	9
1.4.2. La luz	10
1.5. El Sol, fuente de vida y de energía	11
1.6. El calor emitido por el Sol hacia la Tierra	11
1.6.1. Potencia calorífica que llega a la Tierra	12
1.6.2. Potencia recibida por la superficie de la Tierra	12
1.7. Luz emitida por el Sol hacia la Tierra	12
1.7.1. Potencia luminosa que llega a la superficie de la Tierra	13
1.7.2. Generación fotovoltaica	13
1.8. Aprovechamiento de las energías del Sol	14
1.8.1. Principales aprovechamientos de la energía	14
1.8.2. Ejemplos de aprovechamiento de las energías procedentes del Sol	16
1.9. Principales fórmulas eléctricas aplicadas	17
1.9.1. Ley de Ohm	17
1.9.2. Fórmulas de potencia	17

VI CONTENIDO

1.9.3.	Formulas de energía.	19
1.9.4.	Resistencia de un conductor	20
1.9.5.	Acoplamiento de resistencias.....	20
1.9.6.	Aumento de la resistencia de un conductor con la temperatura. Efecto Joule	21
1.9.7.	Capacidad eléctrica	22
1.9.8.	Acoplamiento de condensadores.....	22
1.9.9.	Acoplamiento de pilas o baterías.....	23
1.9.10.	Unidades, múltiplos y submúltiplos de las magnitudes de electricidad más empleadas.....	25
1.10.	Procedimientos de generación de energía eléctrica.....	26
1.11.	La energía en España.....	27
1.12.	Preguntas con respuesta sobre esta materia.....	28
1.13.	Ejercicios aplicados.....	29
1.14.	Preguntas para responder	
CAPÍTULO 2. Aparatura y dispositivos de protección para instalaciones fotovoltaicas.....		33
2.1.	Dispositivos de aislamiento y conexión de circuitos.....	34
2.1.1.	Conexión y desconexión de circuitos en carga	35
2.1.2.	Seccionadores	36
2.1.3.	Interruptores	37
2.1.4.	Contactores	37
2.1.5.	Relés auxiliares	39
2.1.6.	Interruptores automáticos	39
2.2.	Dispositivos de protección.....	40
2.2.1.	Introducción a la protección eléctrica	40
2.2.2.	Ánalisis de los problemas eléctricos	40
2.2.3.	Principales aparatos de protección	43
2.2.4.	Fusibles o cortocircuitos	43
2.2.5.	Interruptores automáticos	47
2.2.6.	Relés térmicos	53
2.2.7.	Dispositivos de protección contra sobretensiones (descargadores de tensión).	55
2.2.8.	Interruptores diferenciales.....	56
2.3.	Equipos electrónicos de control.....	59
2.3.1.	Dispositivo de protección contra anomalías en la red correspondientes a frecuencia y tensión	60
2.3.2.	Relé integral de protección para un circuito trifásico	60
2.3.3.	Relé diferencial de protección contra fugas a masa de redes industriales.....	61
2.4.	Conductores eléctricos.....	62
2.4.1.	Corriente admisible en los conductores.....	65

2.4.2. Conductores para instalaciones fotovoltaicas	66
2.5. Redes eléctricas	67
2.5.1. Redes de distribución privada	67
2.5.2. Tipos de suministro de energía para circuitos de socorro o seguridad.	68
2.5.3. Clasificación de las tensiones	69
2.6. Redes de distribución en baja tensión	69
2.6.1. Esquemas de distribución	70
2.6.2. Instalaciones que constituyen el transporte y distribución de la energía eléctrica.	75
2.6.3. Distribución de la corriente eléctrica en baja tensión	76
2.7. Instalaciones eléctricas	77
2.7.1. Clases de instalaciones	77
2.7.2. Redes de distribución pública	78
2.7.3. Redes de distribución privada	78
2.7.4. Instalaciones en el articulado del REBT	78
2.7.5. Instalaciones provisionales y temporales de obra	78
2.7.6. Realización de las instalaciones	79
2.7.7. Tubos protectores	79
2.7.8. Tubos para canalizaciones eléctricas.....	81
2.7.9. Cajas de derivación	83
2.7.10. Elementos de conexión	84
2.7.11. Características generales que debe reunir una instalación	86
2.7.12. Bases de toma de corriente	86
2.7.13. Conexiones y derivaciones	89
2.7.14. Posibilidad de separación de la alimentación	89
2.7.15. Materiales de instalación.....	90
2.8. Pulsadores, interruptores y detectores.....	91
2.8.1. Pulsadores	92
2.9. Carcasas y envolventes de protección	92
2.9.1. Nivel de protección de las envolventes	93
2.9.2. Códigos de protección para envolventes.....	93
2.9.3. Código IP	94
2.9.4. Código IK, según EN 50102	96
2.10. Medida y control	97
2.10.1. Medida y comprobación de circuitos y receptores	97
2.10.2. Utilización de los aparatos de medida y comprobación	97
2.11. Preguntas con respuesta.....	103
CAPÍTULO 3. Identificación de los elementos de las instalaciones de energía solar fotovoltaica.....	105
3.1. Paneles o módulos fotovoltaicos	106
3.1.1. Pequeña reseña histórica	106

VIII CONTENIDO

3.1.2.	El generador eléctrico fotovoltaico	107
3.1.3.	Principio de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos.	108
3.1.4.	Constitución de un módulo fotovoltaico	108
3.1.5.	Principales tipos de módulos fotovoltaicos	112
3.1.6.	Generación y rendimiento de los módulos fotovoltaicos	113
3.2.	Placa de características de los módulos fotovoltaicos	113
3.3.	Sistemas de agrupamiento y conexión de módulos	114
3.4.	Tipos de acumuladores (baterías/acumuladores).	119
3.4.1.	Pequeña reseña histórica	119
3.4.2.	Introducción a las baterías	120
3.4.3.	Tipos de baterías	121
3.4.4.	Ejemplo de funcionamiento de una batería	121
3.4.5.	Proceso de carga	122
3.4.6.	Proceso de descarga.	123
3.4.7.	Formas de conexión de baterías.	123
3.4.8.	Etiquetado de las baterías	124
3.4.9.	Fórmulas de cálculo para equipos acumuladores (baterías)	126
3.4.10.	Características del lugar de emplazamiento de los acumuladores	127
3.5.	Reguladores	130
3.6.	Convertidores de corrientes	133
3.7.	Transformadores	136
3.7.1.	Principio de funcionamiento de un transformador	137
3.8.	Rectificadores de corrientes eléctricas.	140
3.8.1.	Rectificadores de corriente alterna en corriente continua (CA/CC)	141
3.8.2.	Rectificadores de corriente continua en corriente alterna (CC/CA).	142
3.9.	Receptores especiales para alumbrado en corriente continua (CC)	144
3.10.	Resumen sobre el contenido de este capítulo	145
CAPÍTULO 4. Configuración de las instalaciones de energía fotovoltaica		147
4.1.	Niveles de radiación. Unidades de medida	148
4.1.1.	Luz emitida por el Sol hacia la Tierra	148
4.1.2.	Radiación solar sobre la Tierra	148
4.1.3.	Potencia luminosa que nos llega a la superficie de la Tierra	152
4.1.4.	Generación fotovoltaica.	153
4.1.5.	Paneles fotovoltaicos	153
4.1.6.	Dimensiones aproximadas de los módulos fotovoltaicos en función de la potencia	155
4.1.7.	Esquema básico de una instalación fotovoltaica	155
4.1.8.	Aplicaciones de generación de energía fotovoltaica	157
4.2.	Orientación e inclinación.	157

4.2.1.	Determinación del sur geográfico	157
4.2.2.	Orientación e inclinación de los módulos o paneles fotovoltaicos fijos	159
4.2.3.	Ángulo aproximado de inclinación de los módulos fotovoltaicos (α)	160
4.2.4.	Particularidades a tener en cuenta	161
4.2.5.	Formas de aplicar el ángulo de inclinación de un panel	161
4.2.6.	Paneles orientables	162
4.3.	Determinación de sombras	162
4.4.	Datos para cálculo de instalaciones	163
4.5.	Cálculo de módulos	164
4.6.	Cálculo de baterías	164
4.6.1.	Fórmulas de cálculo para equipos acumuladores	164
4.7.	Caídas de tensión y sección de conductores	165
4.7.1.	Cálculo de sección para conductores	166
4.7.2.	Sección de conductores teniendo en cuenta la caída de tensión máxima admitida	168
4.7.3.	Sección uniforme para una red con varias derivaciones	169
4.7.4.	Secciones diferentes para cada tramo de la red con derivaciones	169
4.7.5.	Datos para cálculo	171
4.7.6.	Sección del conductor neutro (N)	171
4.7.7.	Sección del conductor de protección (PE)	172
4.7.8.	Colores del aislamiento de los conductores	172
4.8.	Código Técnico de la Edificación (CTE)	173
4.9.	Cálculo de pequeñas instalaciones fotovoltaicas	176
4.9.1.	Cálculo de una instalación para alimentar a una motobomba	178
4.9.2.	Datos y procedimiento de cálculo para la motobomba	179
4.9.3.	Datos de cálculo para una instalación fotovoltaica aislada	180
4.10.	Observaciones sobre la apertura para instalaciones con generación fotovoltaica	184
4.11.	Esquemas y simbología	185
4.12.	Instalaciones básicas aisladas	190
4.13.	Ejemplos de presupuesto para pequeñas instalaciones fotovoltaicas	200
4.14.	Clasificación de las instalaciones fotovoltaicas	205
4.15.	Procedimiento de cálculo de una instalación fotovoltaica	205
4.16.	Ejemplo de instalación aplicada	207
4.17.	Cálculo, verificación, medida y aplicación práctica	212
4.17.1.	Ejercicios de cálculo, verificación y medida	213
4.17.2.	Ejercicio de aplicación práctica para calcular una instalación fotovoltaica	216
4.17.3.	Instalación para alumbrado. Luminarias individuales	219

4.17.4. Valores orientativos que proporciona la firma SOLENER para sencillas aplicaciones de instalaciones fotovoltaicas	221
4.17.5. Cálculo de la sección para conductores	223
4.17.6. Ejercicios teóricos de diseño de circuitos fotovoltaicos	224
4.17.7. Empleo de material didáctico	228
CAPÍTULO 5. Montaje de las instalaciones de energía solar fotovoltaica	229
5.1. Estructuras de sujeción de módulos	230
5.1.2. Tipos de esfuerzos. Cálculo elemental de esfuerzos	232
5.1.2. Fijación y anclaje	235
5.1.3. La corrosión	236
5.1.4. Protección contra las inclemencias atmosféricas	239
5.1.5. Materiales mecanizados	239
5.2. Sistemas de seguimiento solar	239
5.2.1. Cambio de la trayectoria del Sol a lo largo del año	239
5.2.2. Seguidores solares	240
5.3. Motorización y sistema automático de seguimiento solar	242
5.4. Integración arquitectónica y urbanística	243
5.5. Principales aplicaciones de la energía solar fotovoltaica	244
5.6. Funciones del electromecánico	246
5.6.1. Trabajos mecánicos complementarios	246
5.6.2. Algunos de los trabajos a realizar	248
5.7. Materiales constructivos	249
5.8. Protección contra el robo de los módulos fotovoltaicos	250
5.9. Ubicación y fijación de equipos y elementos. Conexión	251
5.10. Esquemas y simbología	252
5.10.1. Instalación fotovoltaica para suministrar corriente continua (CC)	252
5.10.2. Instalación fotovoltaica aislada para el consumo de corriente alterna (CA)	254
5.10.3. Instalación fotovoltaica con suministro en CC y CA	255
5.10.4. Instalación fotovoltaica aislada con acumulación de energía y suministro en CC	257
5.10.5. Instalación fotovoltaica que alimenta un motor en corriente alterna (CA)	258
5.10.6. Instalación de menos de 5 kW conectada a la red de baja tensión	260
5.10.7. Instalación de más de 5 kW, conectada a la red de media tensión	261
5.10.8. Instalación híbrida aislada con generación fotovoltaica y eólica .	263
5.10.9. Instalación fotoeléctrica y grupo electrógeno aislado para suministrar CC y CA	265
5.10.10. Suministro de corriente alterna monofásica (CA) para una vivienda	267

5.10.11. Generación mixta fotovoltaica y eólica, aplicada al suministro eléctrico de una vivienda	269
5.10.12. Caja general de conexiones	270
5.10.13. Representación del esquema unifilar de los circuitos de la vivienda	271
5.10.14. Representación del esquema desarrollado de los circuitos de la vivienda	271
5.11. Conexión a tierra	273
5.12. Cuestiones a responder	275
CAPÍTULO 6. Conexión a la red de instalaciones fotovoltaicas	277
6.1. Reglamentación vigente	278
6.2. Solicitud y condiciones	278
6.3. Punto de conexión	279
6.4. Instalaciones conectadas a la red	280
6.5. Protecciones	280
6.5.1. Resumen de las protecciones en una instalación fotovoltaica	281
6.5.2. Protección contra contactos directos e indirectos	282
6.6. Tierras	285
6.6.1. Puestas a tierra de los elementos de la instalación fotovoltaica	285
6.6.2. Constitución de tomas de tierra	286
6.6.3. Tomas de puesta a tierra	286
6.6.4. Resistencia de las tomas de tierra	287
6.6.5. Puntos de puesta a tierra	287
6.7. Armónicos y compatibilidad electromagnética	287
6.7.1. Armónicos	287
6.7.2. Compatibilidad electromagnética	288
6.8. Verificaciones	288
6.9. Medida de consumos	288
6.10. REAL DECRETO 1663/2000, de 29 de septiembre	288
6.11. Esquemas	289
6.11.1. Generación fotovoltaica con suministro a la red y a un usuario particular	289
6.11.2. Generación fotovoltaica que suministra energía una determinada tensión monofásica	291
6.11.3. Generación fotovoltaica que suministra energía trifásica a la red	292
6.11.4. Esquema unifilar de una instalación fotovoltaica de baja tensión	293
6.11.5. Esquema general de conexiones de una instalación fotovoltaica con salida a red de baja tensión y a un usuario particular	294
CAPÍTULO 7. Mantenimiento y reparación de las instalaciones fotovoltaicas	297
7.1. Instrumentos propios de las instalaciones de energía solar fotovoltaica	298
7.1.1. Medidor de la radiación solar	299

XII CONTENIDO

7.1.2.	Medidor de la temperatura ambiente.....	300
7.1.3.	Medidor de la densidad del electrolito	301
7.1.4.	Medidor de la velocidad del viento	301
7.1.5.	Medida de la resistencia de la puesta a tierra	302
7.1.6.	Medida del aislamiento entre conductores activos	303
7.1.7.	Medida de la resistencia de aislamiento de suelos y paredes	304
7.1.8.	Valores mínimos de la resistencia de aislamiento de una instalación	305
7.2.	Revisión de módulos: limpieza y comprobación de conexiones.....	305
7.3.	Conservación y mantenimiento de baterías.....	306
7.4.	Comprobaciones de los reguladores de carga	307
7.5.	Comprobaciones de los inversores	308
7.6.	Averías tipo en instalaciones fotovoltaicas	308
7.7.	Revisiones periódicas de las instalaciones	309
7.8.	Procedimientos de mantenimiento de instalaciones en general	311
7.8.1.	Formas o procedimientos de mantenimiento.....	311
7.8.2.	Organización del mantenimiento de instalaciones y receptores ..	312
7.9.	Tareas a realizar por el electricista de mantenimiento.....	313
7.9.1.	Conservación de la instalación eléctrica	313
7.9.2.	Características del personal de mantenimiento	313
7.9.3.	Tareas propias del personal de mantenimiento	314
7.9.4.	Recepción de instalaciones	315
7.9.5.	Puesta en servicio de instalaciones	316
7.9.6.	Sobre los dispositivos de seguridad.....	317
7.9.7.	Proceso a seguir en la tarea de mantenimiento	317
7.10.	Mantenimiento de instalaciones y receptores en el REBT	318
7.10.1.	Según los Artículos 19, 20 y 21 del REBT	318
7.10.2.	Verificaciones periódicas	319
7.10.3.	Envejecimiento de los materiales y nuevas tecnologías	320
7.11.	Documentos de mantenimiento.....	320
7.12.	R. D. 614/2001 sobre «riesgo eléctrico»	321
CAPÍTULO 8. Normas de aplicación a instalaciones fotovoltaicas		323
8.1.	Normativa aplicable a las instalaciones fotovoltaicas	324
8.1.1.	Real Decreto 436/2004 de 12 de marzo	324
8.1.2.	Legislación respecto a la conexión y tramitación de las instalaciones fotovoltaicas	324
8.1.3.	Legislación en España.....	325
8.2.	Real decreto 1663/2000.....	326
8.3.	Trámites administrativos para una instalación fotovoltaica conectada a la red.....	336

CAPÍTULO 9. Información complementaria	339
9.1. Radiación solar a lo largo del año	340
9.2. Valor medio mensual de la exposición diaria de radiación global	344
9.3. Radiación solar total en condiciones de cielo claro.	345
9.4. Latitud para las diferentes provincias españolas	346
9.5. Radiación solar de España.	346
9.6. Horas de sol pico en provincias de España (HSP).	354
9.7. Datos prácticos para aplicar en cálculos	355
9.8. Importancia de la temperatura en una batería	356
9.9. Vocabulario técnico en instalaciones fotovoltaicas	357
9.10. Arranque de motores trifásicos	359
9.11. Reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT)	360
9.12. Organismos internacionales de normalización	363
9.13. Fórmulas de cálculo de figuras geométricas	367
9.14. Riesgo eléctrico. Real Decreto 614/2001 de 8 de junio	369