



FUNDAMENTOS DE ENERGÍA SOLAR PARA ACS Y CLIMATIZACIÓN



 **Atecyr**

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración

COORDINADOR:

D. Pedro Vicente Quiles

REVISOR:

D. José Manuel Pinazo Ojer

AUTORES:

Prologo

Autor: Valeriano Ruiz Hernández.

Doctor Ingeniero en Física por la Universidad de Sevilla. Catedrático de Termodinámica del Departamento de Ingeniería Energética de la Universidad de Sevilla desde 1980. En la actualidad ejerce como director general de la Fundación "Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables" (CTAER).

Capítulo 1. Radiación Solar

Autor: Javier Cañada Rivera (†)

Doctor Ingeniero Industrial. Catedrático del área de máquinas y motores térmicos de la Universidad de Politécnica de Valencia, UPV.

Capítulo 2. Captadores Solares Térmicos

Autor: Manuel Lucas Miralles

Doctor Ingeniero Industrial. Profesor Contratado Doctor del Área de máquinas y motores térmicos de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Capítulo 3. Componentes de la Instalación Solar

Autor: Fernando Domínguez Muñoz

Doctor Ingeniero Industrial. Miembro de ATECYR. Profesor del área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad de Málaga.

Capítulo 4. Diseño de la Instalación Solar. Esquemas

Autor: Ricardo García San José

Ingeniero Industrial. Vicepresidente del Comité Técnico de Atecyr, Director Técnico de Factor 4 Consultores SA y Asesor de AFONVI.

Capítulo 5. Cálculo de las Instalaciones Solares Térmicas

Autor: José Manuel Cejudo

Doctor Ingeniero Industrial. Miembro del Comité Técnico de Atecyr, profesor titular de la Universidad de Málaga, ETSII.

Capítulo 6. Diseño y Dimensionado de los Circuitos Hidráulicos

Autor: Pedro G. Vicente Quiles

Doctor Ingeniero Industrial. Miembro del Comité Técnico de Atecyr. Profesor Titular del Área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Miguel Hernández de Elche

Capítulo 7. Producción de Frío con Energía Solar

Autor: Pedro Juan Martínez Beltrán

Doctor Ingeniero Industrial. Profesor Titular del Área de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Miguel Hernández de Elche

Capítulo 8. Análisis de Funcionamiento de la Instalación

Autor: Juan Carlos Martínez Escribano

Ingeniero Aeronáutico. Consultor Internacional en Energía Solar Térmica. Colaborador de AICIA y del CTAER.

Capítulo 9. Estudio de Casos

Autor: Simón Alelo Vives

Ingeniero Técnico Industrial. Socio Director de Prointer y HVAC Ingenieros.

Capítulo 10. Casos Prácticos

Autor: Cosme Segador Vegas

Ingeniero Industrial. Presidente Agrupación Atecyr Extremadura. Coordinador Técnico Agencia Extremeña de la Energía.

RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR

Presidente: D. José Manuel Pinazo Ojer

Vicepresidente: D. Ricardo García San José

Vocales:

D. Alberto Viti

D. Alejandro Cabetas Hernández

D. José María Cano Marcos

D. José Antonio Rodríguez Tarodo

D. Rafael Úrculo Aramburu

D. Antonio Vegas Casado

D. Ramón Velázquez Vila

D. José Luis Esteban Saiz

D. Pedro G. Vicente Quiles

D. Agustín Maíllo Pérez

D. Antonio García Laespada

D. Víctor Manuel Soto Francés

D. Iñaki Morcillo Irastorza

D. Antonio Paniego Gómez

D. Francisco Javier Rey Martínez

D. Adrián Gomila Vinent

D. Paulino Pastor Pérez

D. José Manuel Cejudo López

D. José Fernández Seara

D. Juan Travesí Cabetas

D. Pedro Torrero Gras

D. José Luis Barrientos Moreno

D. Miguel Ángel Navas Martín

D. Manuel Sánchez Marín Flores

D. Justo García Sanz-Calcedo

D. Ignacio Leiva Pozo

D. Gorka Goiri Celaya

D. Arcadio García Lastra

©ATECYR

Edita: ATECYR

Agastia 112 A

28043 Madrid

Producción y Realización:

ATECYR

Maquetación e impresión:

GRÁFICAS ELISA, S.L.

ISBN: 978-84-95010-54-4

Dep. Legal: M-14166-2015

***Queda prohibida la total o parcial reproducción del contenido de este documento salvo expresa autorización de Atecyr.**

CURSOS PROPIOS DE ATECYR

Un proyecto: Nuestro compromiso en la formación

ATECYR cumple al pie de la letra con su carácter asociativo y transforma, fielmente, los fines que figuran en sus estatutos en objetivos a cumplir y en forma de trabajar.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como fines de ATECYR:

- El estudio, en todas sus vertientes y manifestaciones, de la problemática, la ordenación, la reglamentación, y la protección y desarrollo de las técnicas de climatización, en su más amplio sentido, comprendiendo en tales, y sin carácter limitativo, la calefacción refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire en cualquiera de sus manifestaciones técnicas, así como en todo lo relacionado con el frío industrial, fontanería, uso racional de la energía, gestión de la energía, eficiencia energética, energías renovables, y, en particular la energía solar, térmica, eólica y biomasa, cogeneración, ingeniería del medio ambiente, y de cualesquiera otras actividades directa o indirectamente relacionadas con las mismas.
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a estas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre, la sostenibilidad y el desarrollo de la misma, así como el fomento y desarrollo del interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de mejor cumplir su función social.
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación y Transferencia de Tecnología.
- La organización de Cursos, Seminarios, Simposios, Conferencias y, en general, de cuantas actividades vayan encaminadas a la formación y divulgación, en su más amplio sentido, en el ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad, desde la propia Asociación o en colaboración con Entidades u Organismos públicos o privados nacionales o extranjeros de similares o complementarios campos de actuación.
- La certificación y acreditación de la capacitación de profesionales y de personal, en el ámbito de actuación material en el que la Asociación desarrolla su actividad.
- Potenciar la colaboración y realizar acuerdos con cualesquiera otras entidades de cualquier naturaleza, públicas o privadas, nacionales o extranjeras, en el desarrollo del ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad.
- Colaborar con las Administraciones Central, Autonómicas o Locales así como con cualquier otro organismo o entidad pública o privada, asesorándolas o prestándolas la asistencia necesaria para la confección, desarrollo y/o interpretación de la normativa y reglamentación relativa al ámbito material en el que la Asociación desarrolla su actividad.

Pensamos que nuestra aportación principal a la ingeniería y a la sociedad en general es ofrecer valiosas herramientas para la formación y el reciclaje.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de nuestra actividad y como instrumentos que nos permitan la cercanía y el servicio al socio, y el Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector, que, de alguna manera, han marcado las tendencias y la forma de hacer las cosas en los últimos años y que se constituye como el gran dinamizador de toda nuestra actividad.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas con el Ministerio de Fomento. Con el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, como miembro de pleno derecho en la Comisión Asesora de Certificación Energética y del RITE, así como asesor técnico en casos de tanta relevancia como la contabilización de consumos o las Auditorías Energéticas. Colaboramos con un

gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos llevan a cabo.

En el campo normativo es digno de resaltar la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), en diciembre de 2003 y que se aprobó y publicó el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007 y la secretaria y coordinación de las 26 asociaciones representativas del sector, para proponer al ministerio la modificación de este reglamento que se ha publicado en el año 2013, RD 238/2013.

En este ámbito, lo más destacado, en los últimos tiempos, es el desarrollo de 2 nuevos cursos propios desarrollados por el Comité Técnico de Atecyr y que cuentan con los más prestigiosos profesores del sector que son:

- El Curso de Experto en Climatización de 300 horas.
- El Curso de Auditor y Gestor Energético en la Edificación y la Industria de 264 horas.

ATECYR es autor junto al IVE de CERMA que ya es Documento Reconocido para la certificación de eficiencia energética, según lo dispuesto en el artículo 3 del Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción según registro CCE-DR-OOSI11.

La colección de Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DTIE) nace como una respuesta a la necesidad detectada de agrupar y ordenar la información técnica sobre una serie de temas específicos mediante la elaboración de unas guías donde se reúna toda la información que el técnico precisa sobre el tema en cuestión para desarrollar su labor.

El Comité Técnico de ATECYR viene trabajando desde hace años, en la elaboración de una ingente documentación de divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de climatización y refrigeración. Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

Se trata de ofrecer al técnico una herramienta útil para la realización de su trabajo, sin tratar de condicionar su creatividad, incluyendo la última tecnología y tendencias, dejando a su interpretación las cuestiones normativas.

Atecyr realiza este manual como motivo de la incorporación de las energías renovables dentro del consumo de energías final de los edificios y plantear en el libro de forma adecuada la integración de la energía solar en los edificios, tanto nuevos como existentes, realizando además una serie de ejercicios prácticos para que el lector tenga en papel una herramienta de diseño de sistemas de calefacción y refrigeración con esta fuente no fósil.

Por ello, se han reunido a los principales expertos en energía solar para la elaboración de este manual con el fin de ayudar a los técnicos que intervienen en el diseño, ejecución, planificación, desarrollo, puesta en marcha y mantenimiento de este tipo de instalaciones solares, para asegurar un “funcionamiento correcto, adecuado y óptimo” de las mismas.

El temario del libro, desarrollado en 10 capítulos, abarca desde el análisis de la fuente de energía: el sol, hasta la exposición del funcionamiento de instalaciones solares. Cada capítulo ha sido patrocinado por alguna de las empresas más prestigiosas del sector de la climatización y la refrigeración.

Sólo queda agradecer su aportación a los patrocinadores de los capítulos de este Manual de Fundamentos de Energía Solar para ACS y Climatización a BAXI, BUDERUS, IMI Technologies, ISOVER, SAUNIER DUVAL, VAILLANT y WILO sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto y presentarle este nuevo libro.

Juan José Quixano Burgos
Presidente de ATECYR

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO	17
0.1 LA ENERGÍA SOLAR.....	17
0.2 LAS INSTALACIONES	19
0.3 LAS TRANSFORMACIONES	21
0.3.1 Conversión fototérmica	22
0.3.2 Conversión fotovoltaica	25
0.3.3 Conversión Biomasa	27
0.4 PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR	29
0.5 RESUMEN	29
1 RADIACIÓN SOLAR	31
1.1 LA ENERGÍA DEL SOL, CONSTANTE SOLAR.....	31
1.1.1 Movimiento de la Tierra alrededor del Sol	31
1.1.2 Constante solar	32
1.1.3 Coordenadas geográficas terrestres	34
1.1.4 Solsticios y equinoccios	35
1.2 GEOTERMIA SOLAR.....	37
1.2.1 La esfera celeste.....	37
1.2.2 Sistema de referencia horizontal. Coordenadas horizontales	38
1.2.3 Sistema de referencia ecuatorial. Coordenadas ecuatoriales	39
1.2.4 Relación entre ambos sistemas de referencia	40
1.2.5 El Sol en la esfera celeste. Movimiento aparente	42
1.2.6 Orto y ocaso. Duración del día	44
1.2.7 Ecuación del tiempo	46
1.3 RADIACIÓN SOLAR	48
1.3.1 Definiciones. Irradiancia, irradiación	48
1.3.2 Ángulo de incidencia de la radiación solar sobre un plano horizontal	48
1.3.3 Ángulo de incidencia de la radiación solar sobre una superficie plana	49
1.3.4 Irradiancia solar extraterrestre	51
1.3.5 Irradiación solar extraterrestre	52
1.3.6 Radiación solar sobre la superficie terrestre	58
1.4 ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR CON DATOS DE IRRADIANCIA	60
1.4.1 Irradiancia solar sobre una superficie con cualquier inclinación y orientación	60
1.4.2 Irradiación solar diaria sobre una superficie con cualquier inclinación y orientación	63
1.5 ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR CON DATOS DE IRRADIACIÓN	65
1.5.1 Irradiación directa y difusa diaria media mensual sobre plano horizontal	67
1.5.2 Estimación de la irradiación global y difusa horaria media mensual sobre plano horizontal	68

1.5.3	Cálculo de la irradiación global sobre superficies inclinadas a partir de datos sobre la horizontal	69
1.6	MEDIDA DE LA RADIACIÓN SOLAR	73
1.6.1	Medida de la radiación solar directa	74
1.6.2	Medida de la radiación global y difusa	75
1.6.3	Medidas de horas de Sol	77
1.6.4	Distribución espectral de la radiación solar	77
1.6.5	Datos de medidas de la radiación solar	78
1.7	PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN Y SOMBRAS	79
1.7.1	Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación	79
1.7.2	Cálculo de las pérdidas de radiación solar por sombras	82
2	CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS	91
2.1	TIPOS DE CAPTADORES	91
2.1.1	Captadores solares planos	92
2.1.2	Captadores de vacío	93
2.1.3	Captador de concentración cilindro-parabólico compuesto	95
2.2	COMPONENTES DE UN CAPTADOR SOLAR PLANO	97
2.2.1	Cubierta	97
2.2.2	Absorbedor	100
2.2.3	Diseños del circuito de distribución de los absorbedores	102
2.2.4	Consideraciones prácticas de los absorbedores	104
2.2.5	Carcasa	107
2.2.6	Aislamiento	108
2.2.7	Otros elementos	109
2.3	BALANCE ENERGÉTICO EN EL CAPTADOR SOLAR PLANO	109
2.3.1	Análisis de los datos en base a temperatura de entrada y a temp. media	115
2.3.2	Temperatura de estancamiento	116
2.3.3	Curva cuadrática de un captador solar plano	117
2.3.4	Transformación de una ecuación cuadrática de rendimiento del captador en otra lineal en función de la temperatura media del fluido	118
2.3.5	Definición del área de un captador solar	120
2.3.6	Modificador del ángulo de incidencia	121
2.3.7	Constante de tiempo del captador solar	122
2.4	CURVA EXPERIMENTAL DE EFICIENCIA DEL CAPTADOR SOLAR SEGÚN UNE 12975	123
2.4.1	Medición del rendimiento del captador	123
2.4.2	Ensayos de durabilidad y fiabilidad del captador	130
2.5	PÉRDIDA DE PRESIÓN EN CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS	131
2.6	Anexo: DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA ENTRE TUBOS Y COEFICIENTE DE TRANSPORTE DE CALOR	133

3	COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN SOLAR.....	141
3.1	INTRODUCCIÓN	141
3.2	SISTEMA DE ACUMULACIÓN	142
3.2.1	Medio de almacenamiento	143
3.2.2	Estratificación térmica en el medio de almacenamiento	145
3.2.3	Fomento de la estratificación térmica en acumuladores solares	149
3.2.4	Pérdidas de calor de los acumuladores	153
3.2.5	Consideraciones de seguridad y mantenimiento de los acumuladores. Clasificación	162
3.2.6	Tecnología de los interacumuladores solares comerciales	164
3.2.7	Tecnología de los acumuladores solares comerciales	166
3.2.8	Tecnología de los acumuladores solares combinados	167
3.2.9	Conexión de los circuitos de carga y descarga de los acumuladores	168
3.3	SISTEMA DE APOYO	175
3.3.1	Clasificación de los sistemas de apoyo	175
3.3.2	Conexión sistema solar – apoyo instantáneo	176
3.3.3	Conexión sistema solar – apoyo con acumulación	177
3.3.4	Dimensionamiento del sistema de apoyo	179
3.3.5	Dimensionamiento de un apoyo instantáneo	181
3.3.6	Dimensionamiento de un apoyo con acumulación	184
3.4	INTERCAMBIADORES DE CALOR	189
3.4.1	Tipos de intercambiadores	189
3.4.2	Influencia del intercambiador de calor en la eficiencia de la instalación.....	191
3.4.3	Nociones básicas de modelado de intercambiadores de calor	193
3.4.4	Criterios para el dimensionado de intercambiadores de calor	197
3.5	SISTEMA DE CONTROL	204
3.5.1	Control de carga del acumulador	204
3.5.2	Control de descarga del acumulador de inercia	208
4	DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR. ESQUEMAS	213
4.1	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CIRCUITOS	213
4.2	CIRCUITO PRIMARIO	214
4.2.1	Conexión de los captadores	215
4.2.2	Conexión de las baterías, equilibrado hidráulico	216
4.2.3	Protección contra la recirculación nocturna	218
4.2.4	Protección contra heladas. Llenado y vaciado del circuito	219
4.2.5	Protección contra el estancamiento	222
4.2.6	Protección contra el sobrecalentamiento	226
4.2.7	Sistemas Drain Back	229
4.3	CIRCUITO SECUNDARIO	230
4.3.1	Acumulación del agua de consumo	231

4.3.2	Acumulación con depósito de inercia	232
4.3.3	Conexión de varios acumuladores	233
4.3.4	Aspectos a considerar en los circuitos secundarios	235
4.4	PRODUCCIÓN DE ACS DESCENTRALIZADA EN EDIFICIOS	238
4.4.1	Instalaciones totalmente individuales	239
4.4.2	Captadores colectivos y acumulación distribuida	239
4.4.3	Captadores colectivos y acumulación central y distribuida	243
4.4.4	Captadores colectivos, acumulación central e intercambiadores en viviendas	245
4.4.5	Captadores colectivos y acumulación central	247
4.4.6	Características de las calderas individuales	249
4.5	INSTALACIONES DE ACS CENTRALIZADAS	250
4.6	CALENTAMIENTO DEL AGUA DE PISCINAS	255
4.7	CALEFACCIÓN	256
4.8	USOS CONJUNTOS	257
5	CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS	261
5.1	INTRODUCCIÓN	261
5.1.1	Parámetros para la evaluación de IST	262
5.1.2	Influencia del área de captación y el volumen de acumulación en las prestaciones ..	265
5.2	METODOLOGÍA DE DISEÑO	267
5.2.1	Estimación de la demanda	267
5.2.2	Estimación del área de captación y el volumen de acumulación	269
5.3	MÉTODOS DE EVALUACIÓN	271
5.3.1	Introducción	271
5.3.2	Método de simulación	271
5.3.3	Métodos simplificados: Curvas-f (F-chart).....	275
5.3.4	Métodos simplificados: Utilizabilidad	280
5.4	INSTALACIONES PARA CALEFACCIÓN	282
5.5	INSTALACIONES PARA PISCINAS CUBIERTAS	283
5.5.1	Cálculo de la demanda	283
5.5.2	Métodos de cálculo de IST para piscinas	289
5.6	INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE FRÍO CON ENERGÍA SOLAR	290
6	DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LOS CIRCUITOS HIDRÁULICOS	295
6.1	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CIRCUITOS	295
6.1.1	Circuitos primarios	295
6.1.2	Circuitos secundarios	298
6.2	SELECCIÓN DEL FLUIDO DEL CIRCUITO PRIMARIO	299
6.3	SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LAS TUBERÍAS	301
6.3.1	Exigencias de los circuitos primarios y secundarios	301

6.3.2	Tuberías metálicas	302
6.3.3	Tuberías de plástico	302
6.4	DIMENSIONADO DE LAS REDES DE TUBERÍAS	306
6.4.1	Pérdida de presión en tuberías. Selección de diámetros	307
6.4.2	Pérdida de presión en accesorios	312
6.5	CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN DEL CIRCUITO PRIMARIO	213
6.6	CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN DEL CIRCUITO SECUNDARIO	320
6.7	SELECCIÓN DE BOMBAS	321
6.7.1	Bombas de rotor húmedo	321
6.7.2	Bombas de rotor seco	322
6.7.3	Selección práctica de la bomba de un circuito primario	323
6.8	PRESIONES DE DISEÑO	324
6.9	CÁLCULO DEL VASO DE EXPANSIÓN	326
6.9.1	Cálculo del vaso de expansión en circuitos primarios	327
6.9.2	Cálculo del vaso de expansión en circuitos secundarios cerrados	327
6.9.3	Cálculo del vaso de expansión en circuitos secundarios abiertos	329
6.10	AISLAMIENTO DE TUBERÍAS	329
7	PRODUCCIÓN DE FRÍO CON ENERGÍA SOLAR	333
7.1	INTRODUCCIÓN	333
7.2	PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO MEDIANTE ENERGÍA TÉRMICA	334
7.2.1	Refrigeración por absorción	335
7.2.2	Refrigeración por adsorción	342
7.2.3	Refrigeración mediante sistemas desecantes	343
7.3	TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO SOLAR	344
7.3.1	¿Qué tecnología de captador para qué tecnología de refrigeración?.....	345
7.3.2	Esquemas de funcionamiento	346
7.4	DISEÑO DEL SISTEMA	349
7.4.1	Valores de referencia	349
7.4.2	Métodos simplificados	350
7.4.3	Programas de simulación	352
7.5	CONCLUSIONES	353
8	ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	361
8.1	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO	361
8.1.1	Integración de la instalación solar y el sistema auxiliar	361
8.1.2	Aproximación al correcto funcionamiento de la instalación solar	362
8.1.3	Balance energético de la instalación solar	364
8.2	SISTEMAS PARA EVALUAR EL FUNCIONAMIENTO	365
8.2.1	Sistema de monitorización completo	365

8.2.2	Sistemas para otras configuraciones	366
8.2.3	Procedimientos para evaluar el funcionamiento	368
8.2.4	Evaluación en edificios multivivienda	369
8.3	SENSORES Y EQUIPOS DE MEDIDA	369
8.3.1	Medidas de presión	270
8.3.2	Medidas de temperatura	271
8.3.3	Medidas de caudal y de energía térmica	275
8.3.4	Otras medidas	275
8.3.5	Sistemas de monitorización	276
8.4	PLAN DE VIGILANCIA DE LA INSTALACIÓN	377
8.4.1	Presión del circuito primario	378
8.4.2	Sistema de control	379
8.4.3	Circulación de fluidos	381
8.4.4	Transferencia de calor y temperaturas de funcionamiento	382
8.4.5	Medidas de la energía y del rendimiento	382
8.5	DETECCIÓN DE PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO	386
8.5.1	Verificaciones previas	386
8.5.2	Presurización de circuitos	387
8.5.3	Sistema de control	388
8.5.4	Circulación de fluido	388
8.5.5	Temperaturas de funcionamiento	389
8.6	MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN	390
8.6.1	Generalidades	390
8.6.2	Limpieza de captadores	391
8.6.3	Sistemas de purga manuales y automáticos	392
8.6.4	Sectorización del campo de captadores	394
8.6.5	Plan de mantenimiento preventivo	398
9	ESTUDIO DE CASOS	403
9.1	ESTANCAMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR	403
9.1.1.	Caso de estancamiento de tipo “vaciado rápido”	404
9.1.2.	Caso de estancamiento de tipo “vaciado lento”	406
9.2	SOBRECALENTAMIENTO	407
9.2.1.	Caso de instalación de aerotermo para el enfriamiento del fluido primario	408
9.2.2.	Caso de diseño de acumulador solar que permite el sobrecalentamiento	409
9.2.3.	Caso de parada de la bomba para evitar el sobrecalentamiento	410
9.2.4.	Caso de sistema drainback para evitar sobrecalentamiento y como protección contra heladas	412
9.2.5.	Caso de sobrecalentamiento en intercambiador de piscina	413
9.3	INTERCAMBIADORES DE CALOR	415

9.3.1. Caso de análisis del funcionamiento de la instalación, mediante las temperaturas en el intercambiador de calor de primario	416
9.3.2. Caso de análisis del conexionado de intercambiadores de calor	416
9.3.3. Caso de intercambio de energía entre acumulador solar y de apoyo	418
9.4 SISTEMA DE LLENADO, VACIADO Y PURGA	420
9.4.1. Caso de esquema recomendado de sistema de llenado, vaciado y purga	420
9.4.2. Caso de llenado automático con agua de red	422
9.4.3. Caso instalación solar para máquina de absorción. Purgadores automáticos	423
9.5 TRATAMIENTOS ANTILEGIONELLA	425
9.5.1. Tratamientos antilegionella en edificio terciario	425
9.5.2. Tratamientos antilegionella en viviendas colectivas	426
9.6 SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL. SONDAS	428
9.6.1. Caso de regulación de instalación solar para ACS y Piscina	429
9.6.2. Caso de regulación de edificio de viviendas	430
9.6.3. Casos de problemas de lectura de las sondas	431
9.6.4. Caso de mal funcionamiento o ausencia de válvula antirretorno en un circuito de recirculación de ACS	432
9.7 MONTAJE DE CAPTADORES	433
9.7.1. Problemas en las uniones entre paneles	433
9.7.2. Problemas de condensaciones interiores	435
9.7.3. Protección hasta puesta en marcha	436
9.7.4. Soportación y vientos	437
9.7.5. Inclinación de paneles	438
9.7.6. Circuitos primarios con baterías de captadores poco estructuradas	439
9.8 MANTENIMIENTO	440
9.8.1. Caso de dificultad de accesibilidad a la instalación	440
9.8.2. Caso de ensuciamiento de intercambiadores y cortocircuitos	442
9.8.3. Caso de mala protección contra heladas	442
9.8.4. Limpieza de captadores solares	443
9.8.5. Caso de defectos de aislamiento	444
9.9 DEPÓSITOS. PROBLEMAS DE CORROSIÓN	446
9.9.1. Mantenimiento de acumuladores	446
9.10 MONITORIZACION DE INSTALACIONES	449
10 CASOS PRÁCTICOS	453
10.1 EJEMPLO DE CÁLCULO DE INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA ACS DE EDIFICIO DE VIVIENDAS	453
10.1.1 Características generales de la instalación	454
10.1.2 Datos geográficos y climatológicos	454
10.1.3 Cálculo de la demanda energética en ACS	455
10.1.4 Contribución solar mínima	457

10.1.5	Predimensionado de la instalación	457
10.1.6	Configuración inicial de la instalación	459
10.1.7	Pérdidas energéticas en tuberías y depósitos	460
10.1.8	Determinación de las pérdidas por sombras	463
10.1.9	Determinación de las pérdidas por orientación e inclinación	465
10.1.10	Dimensionado de la instalación real	466
10.1.11	Fluido de trabajo	468
10.1.12	Configuración de la instalación real	468
10.1.13	Dimensionado del intercambiador de calor del circuito primario	469
10.1.14	Dimensionado de la sección de tuberías de primario y pérdida de presión del circuito primario	470
10.1.15	Selección de la bomba del circuito primario	472
10.1.16	Dimensionado del vaso de expansión del primario	473
10.1.17	Dimensionado de intercambiadores del circuitos secundario	473
10.1.18	Dimensionado de la sección de tuberías del circuitos secundario	474
10.1.19	Selección de la bomba del circuito secundario	476
10.1.20	Dimensionado del vaso de expansión	477
10.1.21	Aislamiento y valvulería	477
10.1.22	Esquema resuelto de la instalación	477
10.1.23	Fotos de la ejecución de la instalación	478
10.2	EJEMPLO DE CÁLCULO DE INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA ACS EN RESIDENCIA DE ESTUDIANTES	480
10.2.1	Características generales de la instalación	481
10.2.2	Datos geográficos y climatológicos	482
10.2.3	Cálculo de la demanda energética para producción de ACS	483
10.2.4	Contribución solar mínima	485
10.2.5	Predimensionado de la instalación	485
10.2.6	Pérdidas energéticas en tuberías y depósitos	486
10.2.7	Determinación de las pérdidas por sombras	487
10.2.8	Determinación de las pérdidas por orientación e inclinación	490
10.2.9	Dimensionado de la instalación real	490
10.2.10	Fluido de trabajo	492
10.2.11	Configuración de la instalación real	492
10.2.12	Dimensionado del intercambiador externo del circuito primario	493
10.2.13	Dimensionado de la sección de tuberías de primario y pérdida de presión del circuito primario.....	495
10.2.14	Selección de la bomba del circuito primario	496
10.2.15	Dimensionado del vaso de expansión del primario	497
10.2.16	Dimensionado de la sección de tuberías de primario y pérdida de presión del circuito secundario.....	498
10.2.17	Selección de la bomba del circuito secundario	499

10.2.18 Dimensionado del vaso de expansión del secundario	500
10.2.19 Esquema de la instalación propuesta	501
10.2.20 Sistema de monitorización y control de la instalación solar	501
10.2.21 Fotos de la ejecución de la instalación	505
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	511
ANEXO A. TABLAS DE RADIACIÓN SOLAR	517
ANEXO B. TABLAS DE CÁLCULO DE CAUDALES Y DEMANDA	537
ANEXO C. TABLAS DE CÁLCULO DE TUBERÍAS	541
NOMENCLATURAS	555

PRÓLOGO

Valeriano Ruiz

La sociedad actual vive inmersa en la confusión. Excepto los seres humanos que no tienen nada; para ellos todo es claro, solo tienen que preocuparse de sobrevivir. Los que más tienen, sin embargo, están hechos un lío, lo que tienen a su alrededor es cada vez más complejo y no saben cómo interpretar lo que está sucediendo. Un ejemplo claro lo tenemos en la crisis económica actual de la que los “intérpretes de la realidad” (periodistas, políticos, economistas, etc.) hablan y escriben con suficiencia y parece que lo saben todo, pero la mayor parte de la población no entiende nada, solo siente las consecuencias; hasta el absurdo de querer hacerles creer que tienen una deuda con las compañías eléctricas cuando en realidad han pagado todo lo que les han requerido con las facturas correspondientes.

En el caso concreto de la energía esto que digo se pone de manifiesto de forma muy especial. Y en España todavía más. La mayor parte de los ciudadanos no sabe qué está ocurriendo ni entienden la jerga de los que se dicen especialistas. Solo sabe que el kWh de electricidad cada vez le cuesta más y que la gasolina y el gasóleo son más caros cada día con subidas continuas e inmediatas a poco que suba el precio del petróleo crudo y también sabe que no baja con la misma inmediatez que sube cuando hay una bajada del precio del petróleo. Por no saber no sabe que las grandes empresas energéticas de los sectores convencionales cada vez ganan más dinero siempre a costa del consumidor y que estos prácticamente no tienen intervención en el sistema cuando son ellos los que lo sostienen. De nuevo solo pagan las consecuencias sin conocer las causas.

En fin, que el sistema energético tiene que cambiar. Y lo está haciendo aunque a un ritmo excesivamente lento y con grandes dificultades. Pero está cambiando de manera inequívoca, continuada y también confusa. Y en ese cambio el aprovechamiento de la energía solar tiene grandes oportunidades.

0.1 LA ENERGÍA SOLAR

Desde el punto de vista de la Física, la energía solar es la radiación electromagnética que se origina en el Sol, consecuencia de los movimientos acelerados de las partículas cargadas eléctricamente que constituyen la estrella enana que nos da casi toda la energía que necesitamos. Esa radiación electromagnética tiene unas características físicas bien determinadas: temperatura de emisión equivalente, 5777 K, longitudes de onda entre 0,2 y 3 μm , potencia total de emisión, $3,86 \cdot 10^{20}$ MW, irradiancia, 63,5 MW/m², potencia con que llega a la Tierra, 1367 W/m², etc.

Pero, ¿qué entiende un ciudadano cualquiera por energía solar? Unos piensan en las instalaciones de agua caliente; otros en la fotovoltaica y algunos en la solar termoeléctrica. La mayor parte llama “placas solares” a todo. Tanto a los módulos fotovoltaicos como a los captadores solares térmicos de baja temperatura e incluso a los heliostatos que solo son espejos. Incluso algunos periodistas que se dicen especialistas en energía confunden las tecnologías y difunden –por ejemplo–, en un diario de tirada nacional, una fotografía del campo de heliostatos de la central PS 10 y en el pie de foto dicen que es la “central fotovoltaica que tiene Abengoa en Sanlúcar la Mayor”. Es una demostración clara de la ignorancia de ese periodista al respecto. Al mismo tiempo pontifica sobre todo el sistema energético.



Figura 0.1 Campo de heliostatos al que algunos periodistas llaman instalación fotovoltaica.

Se confunde muchas veces el recurso (la radiación electromagnética procedente del Sol) con las instalaciones, llamándole a todo “energía solar”.

Es conveniente por tanto algunas aclaraciones iniciales.

En primer lugar, el recurso energético que podríamos llamar energía solar es la energía contenida en la radiación solar que nos llega desde el Sol. Es un concepto muy claro y que se mide con los aparatos correspondientes con bastante precisión. Esos aparatos miden en realidad la potencia (W/m^2) que en cada instante les llega en forma de radiación electromagnética. La integral de esa potencia en el tiempo nos da la energía en ese intervalo temporal en J/m^2 o en otras unidades más familiares como kWh/m^2 . Por empezar a tener alguna referencia, en el sur de España la energía solar entendida así, -como recurso energético-, es del orden de $5 kWh/(m^2.día)$ con variaciones importantes entre el verano y el invierno.

Por tanto, yo voy a entender aquí por energía solar el recurso en forma de radiación procedente del Sol.

La radiación solar que incide sobre el planeta Tierra supone una cantidad de energía de $5,44 \cdot 10^{18}$ MJ/año (125000 Gtep/año) es decir 11000 veces superior a todo el consumo de energías intermedias convencionales (electricidad y combustibles) de los seres humanos actuales. Traducido este número a un valor de potencia media se llega al normalmente aceptado de $342 W/m^2$ que se puede comparar con el tamaño energético de un ser humano ($100 W$); es decir, en un metro cuadrado de la Tierra se reciben más de tres veces la energía que consume un ser humano como tal.

De la cantidad total de energía solar que llega al suelo, $1,577 \cdot 10^{18}$ MJ/año ($= 37533$ Gtep) se refleja hacia el espacio exterior, aproximadamente el 30 % de la radiación incidente. La mayor parte de esta radiación reflejada procede del interior de la atmósfera, una pequeña parte se origina en la superficie terrestre y el resto, en el límite exterior de la atmósfera.

Del total que se absorbe en el conjunto del planeta, $3,863 \cdot 10^{18}$ MJ/año (91939 Gtep), una parte (el 20%, equivalente a 24488 Gtep) se queda en la atmósfera y alimenta energéticamente los fenómenos que ocurren en ella y 61403 Gtep (casi el 50% del total) se absorbe en la superficie terrestre, de acuerdo con la siguiente distribución:

- 2,061.10¹⁸ MJ/año (49300 Gtep) en la hidrósfera (océanos, mares, lagos, embalses y ríos)
- 0,492.10¹⁸ MJ/año (11700 Gtep) en la litosfera (tierras agrícolas, bosques, desiertos, etc.)
- Solo 4,2.10¹⁵ MJ/año (100 Gtep) se acumula cada año en la biosfera en forma de biomasa.

Como comparación, el consumo total de energías convencionales en todo el mundo es del orden de 12 Gtep/año

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético de la energía solar es importante valorar aparte la componente directa de la radiación solar. Es la parte de la radiación solar que procede directamente del disco solar. Esta es la componente que se aprovecha en las instalaciones solares de concentración.

0.2 LAS INSTALACIONES

Cuestión aparte de la energía solar como tal son las instalaciones o dispositivos que transforman esa energía radiante en otras formas energéticas, sean estas las que sean. Las más familiares son calor, frío o electricidad. Pero no sería bueno ni coherente que en este breve repaso nos olvidáramos de los vegetales que son unos magníficos transformadores de energía solar en energía almacenada en lo que en el mundo de las energías renovables conocemos como biomasa; a su vez transformable en calor y/o electricidad. En ese sentido tenemos diferentes tipos de instalaciones que se comentan a continuación.

Generación de calor

En las que se calienta un sólido, un líquido o un gas para usos domésticos, en un proceso industrial o en la generación de frío mediante máquinas de absorción. También se pueden considerar de calor las instalaciones cuyo objetivo final es producir electricidad a través de una máquina termodinámica.

En definitiva, instalaciones de agua caliente sanitaria, instalaciones de media temperatura para otros usos de mayor temperatura y finalmente, las centrales termosolares que producen electricidad con un paso intermedio en forma de calor.



Figura 0.2 Instalación solar de agua caliente.