



# DTIE 8.04

ENERGÍA SOLAR. CASOS PRÁCTICOS

PATROCINA



EDITA



---

***DOCUMENTOS TÉCNICOS  
DE INSTALACIONES  
EN LA EDIFICACIÓN  
DTIE***

---

**DTIE 8.04:**  
Energía Solar Térmica. Casos Prácticos

**Autor:**

Pedro G. Vicente Quiles.

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

**Revisor:**

Ricardo Garcia San Jose. Ingeniero Industrial. Director Técnico de FACTOR 4 Ingenieros Consultores S.L. Vicepresidente del Comité Técnico de Atecyr y miembro del COA.

**RELACIÓN DE MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DE ATECYR**

Presidente: JOSÉ MANUEL PINAZO OJER

Vicepresidente: RICARDO GARCÍA SAN JOSÉ

Vocales:

- Agustín Maillo Pérez
- Alberto Viti Corsi
- Alejandro Cabetas Hernández
- Antonio Garcia Laespada
- Antonio Paniego Gomez
- Antonio Vegas Casado
- Arcadio Garcia Lastra
- Iñaki Morcillo Irastorza
- Francisco Javier Rey Martínez
- José Antonio Rodríguez Tarodo
- José Fernandez Seara
- José Luis Esteban
- José Manuel Cejudo
- José María Cano Marcos
- Juan Travesí Cabetas
- Manuel Sánchez Marin
- Miguel A. Navas Martín
- Paulino Pastor Pérez
- Pedro Torrero Gras
- Pedro Vicente Quiles
- Rafael Úrculo Aramburu
- Victor M. Soto Francés

© ATECYR

Edita: ATECYR  
Navaleno, 9  
28033 Madrid

Producción y realización:  
ATECYR

Maquetación e impresión:  
GRÁFICAS ELISA, S.L.

ISBN: 978-84-95010-35-3  
Dep. Legal: M-23355-2010

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

# PRESENTACIÓN

La Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), una entidad sin ánimo de lucro fundada en 1974, agrupa a más de 1.700 ingenieros y profesionales relacionados con los sectores de calefacción, refrigeración, ventilación y Aire Acondicionado.

Los Estatutos que rigen nuestra Asociación definen como fines:

- El estudio de la problemática y de la ordenación, reglamentación y protección de las técnicas de calefacción, refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire, frío industrial, fontanería, uso racional de la energía y aquellas otras actividades relacionadas o anexas con las mismas, considerando su particular circunstancia de especialidades en la ingeniería del medio ambiente.
- La creación, recopilación y divulgación de información científica relacionada con estas tecnologías en España respecto a dichas técnicas, cuyo objeto es el entorno ambiental del hombre y el desarrollo de la misma.
- Fomentar el interés por el diseño y equipamiento de este entorno, a fin de cumplir mejor su función social.
- La investigación, realización de estudios y análisis relativos a esta temática, así como la recomendación de planes de actuación.

Para la consecución de sus fines, ATECYR lleva a cabo una intensa actividad de colaboración con entes públicos y privados como AENOR, mediante la participación en grupos de trabajo para la elaboración de distintas normas; con el Ministerio de la Vivienda, con el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 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 normativa sobre la prevención de la Legionelosis. Colabora con un gran número de Comunidades Autónomas y Ayuntamientos, gracias a la incansable actividad de las Agrupaciones Provinciales con que contamos; con otras asociaciones, como la Asociación de Fabricantes Españoles de Climatización (AFEC), con la que se ha desarrollado un Plan de Calidad para las instalaciones de climatización que pronto será elevado a norma y con la Asociación de Fabricantes de Equipos y Generadores de Calor (FEGECA); con EUROVENT CERTIFICATION COMPANY; con el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Industriales y el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros Técnicos Industriales.

En el campo normativo es digno de resaltar la participación en la elaboración del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), publicado en 1998, así como la adjudicación del concurso restringido convocado por el IDAE para la revisión de este mismo reglamento, en diciembre de 2003 y que ha sido aprobado y publicado el 20 de julio de 2007, Real Decreto 1027/2007.

Desde el punto de vista internacional es miembro de REHVA, asociación europea que agrupa a las asociaciones de técnicos del sector, y de ASHRAE, su homónima americana, con la participación destacada de algunos de sus socios en los órganos de gobierno de las mismas.

En este ámbito, lo más destacado, en los últimos tiempos, es haber promovido, el Congreso Mediterráneo de Climatización CLIMAMED, en el que participan las asociaciones de España, Portugal, Francia e Italia. La primera edición tuvo lugar en Lisboa en el año 2004, la segunda edición en España en 2005, coincidiendo con el certamen CLIMATIZACIÓN 2005, la tercera edición en Lyon, Francia en abril de 2006, la cuarta edición en Génova, Italia, en septiembre de 2007 y la quinta ha tenido lugar en Lisboa, Portugal en abril de 2009. Está previsto que la siguiente edición se celebre en España en 2011.

En sus más de treinta y cinco años de vida, ATECYR no sólo ha participado en gran número de proyectos, sino que se ha convertido en un referente para todos los técnicos del sector de climatización y refrigeración.

ATECYR cuenta con un grupo de socios comprometidos con los fines de la asociación, que han trabajado y trabajan de una forma desinteresada por mantener el nivel y el prestigio, de alguna forma heredado, evolucionando hacia las nuevas tendencias técnicas, tecnológicas y de mercado.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de la actividad y como instrumentos que permiten 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, marcan las tendencias y la forma de hacer las cosas. Dicho Comité es el gran dinamizador de toda nuestra actividad

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

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.

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.

Esta colección de documentos pretende constituirse como guías prácticas sobre temas de interés dentro del ámbito de la climatización y refrigeración, dirigidas a técnicos que trabajen o que tengan inquietudes en este ámbito.

Sólo queda agradecer su aportación a los patrocinadores de este y los anteriores DTIE's, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

D. Juan José Quixano Burgos  
Presidente de ATECYR

# INTRODUCCIÓN

Desde el año 2004, ATECYR cuenta con un Documento Técnico de Instalaciones en la Edificación donde se detalla el funcionamiento de las instalaciones solares térmicas y se dan pautas de diseño y dimensionado de las mismas. El DTIE 8.03 fue revisado en 2007 para introducir las exigencias del Código Técnico de la Edificación y del nuevo RITE.

El presente DTIE trata de ser una continuación del anterior, avanzando más en los aspectos a considerar en el diseño y dimensionado de las instalaciones solares térmicas. El objetivo de este documento es ayudar a los técnicos que diseñan y dimensionan las instalaciones solares a que tengan en consideración los distintos aspectos normativos y de funcionamiento para que las instalaciones solares funcionen de forma eficiente durante muchos años.

En primer lugar se analizan los criterios de diseño de los componentes principales que forman la instalación solar térmica: capadores, acumuladores e intercambiadores de calor. Se dan criterios claros a considerar en la selección de los mismos y se realiza un análisis de cómo afecta su dimensionado en la eficiencia del conjunto de la instalación solar.

A continuación se analiza el funcionamiento de la instalación tanto en condiciones habituales de funcionamiento como en situaciones menos habituales pero que ocurren con cierta frecuencia y se deben considerar: estancamientos, sobrecalentamientos, heladas y tratamientos contra la legionela. El diseño de los circuitos hidráulicos se ha tratado bajo la perspectiva de que la instalación sea capaz responder de forma adecuada a las distintas condiciones de funcionamiento a las que se verá sometida. Además, se proporciona la metodología y cálculo para dimensionar los circuitos hidráulicos.

En el documento se representan distintos esquemas de tipo de funcionamiento. Se analizan esquemas de funcionamiento de instalaciones individuales y de instalaciones colectivas mediante esquemas centralizados y descentralizados. El Documento Técnico es fundamentalmente práctico y así se demuestra en la realización detallada de 5 casos prácticos: instalación para vestuario de polideportivo, instalación para hotel de 100 habitaciones; instalación descentralizada para edificio de viviendas, instalación para apoyo de ACS y calentamiento del vaso de piscina cubierta e instalación para vivienda unifamiliar con apoyo a ACS y calefacción.

# DTIE - Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación

## **SERIE 1: Instalaciones sanitarias**

- \*1.01 Preparación de agua caliente para usos sanitarios
- \*1.02 Calentamiento de agua de piscinas
- 1.03 Cálculo de redes de distribución de agua sanitaria
- 1.04 Cálculo de redes de evacuación y ventilación
- \*1.05 Prevención de la corrosión interior de las instalaciones de agua

## **SERIE 2: Condiciones de diseño**

- \*2.01 Calidad del ambiente térmico
- \*2.02 Calidad de aire interior
- \*2.03 Acústica en instalaciones de aire

## **SERIE 3: Psicrometría**

- \*3.01 Psicrometría

## **SERIE 4: Tuberías**

- \*4.01 Cálculo de las pérdidas de presión y criterios de diseño. (Edición revisada)

## **SERIE 5: Conductos**

- \*5.01 Cálculo de conductos

## **SERIE 6: Combustible**

- \*6.01 Combustión
- 6.02 Diseño y cálculo de chimeneas
- 6.03 Redes de distribución de gas, diseño y cálculo

## **SERIE 7: Cálculo de carga, demanda y consumo**

- \*7.01 Cálculo de carga y demanda térmica
- 7.02 Cálculo de consumo de energía: simulación de sistema
- \*7.03 Entrada de datos a los programas Lider y Calener Vyp

## **SERIE 8: Fuentes de energía de libre disposición**

- \*8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización
- 8.02 Bomba de calor
- \*8.03 Instalaciones Solares Térmicas para producción de Agua Caliente Sanitaria. (Edición revisada)
- \*8.04 Energía Solar Térmica. Casos Prácticos

## **SERIE 9: Sistemas de acondicionamientos de aire**

- \*9.01 Tipos de sistemas
- \*9.02 Aplicaciones a diferentes tipos de edificios
- \*9.03 Sistemas de climatización para viviendas, residencias y locales comerciales
- \*9.04 Sistema de suelo radiante

**SERIE 10: Sistemas de calefacción**

- 10.01 Tipos de sistemas
- 10.02 Aplicaciones para edificios residenciales
- \*10.03 Calderas individuales
- \*10.04 Piscinas cubiertas climatizadas con aire exterior como único medio deshidratante
- \*10.05 Principios básicos de las calderas de condensación

**SERIE 11: Control**

- 11.01 Esquemas de control
- 11.02 Regulación y control de instalaciones de climatización

**\*SERIE 12: Aislamiento térmico**

**SERIE 13: Difusión de aire**

**SERIE 14: Acumulación de energía térmica**

**SERIE 15: Salas de máquinas**

**SERIE 16: Puesta en marcha, recepción y mantenimiento**

**SERIE 17: Varios**

- 17.01 Análisis económico de sistemas
- \*17.02 Responsabilidad Civil del Ingeniero

\* Editadas

# Índice

<b>1. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR.....</b>	<b>1</b>
1.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN .....	1
1.1.1 Ensayo de pérdida de presión.....	4
1.1.2 Temperatura de estancamiento.....	6
1.1.3 Influencia del captador solar en el rendimiento de la instalación solar.....	6
1.1.4 Información de diseño necesaria .....	8
1.2 SISTEMA DE ACUMULACIÓN .....	8
1.2.1 Influencia del volumen del acumulador en el rendimiento de la instalación .....	9
1.2.2 Influencia del aislamiento del acumulador en el rendimiento .....	10
1.2.3 Información de diseño necesaria.....	11
1.3 SISTEMA DE INTERCAMBIO DE CALOR .....	11
1.3.1 Intercambiador incorporado en el acumulador.....	11
1.3.2 Intercambiador exterior de primario o de calentamiento. ....	13
1.3.3 Intercambiador instantáneo de secundario o de enfriamiento. ....	14
1.3.4 Intercambiador instantáneo de descarga .....	16
<b>2. FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....</b>	<b>19</b>
2.1 FUNCIONAMIENTO HABITUAL DE LA INSTALACIÓN SOLAR .....	19
2.1.1 Arranque y parada del primario de la instalación solar.....	19
2.1.2 Funcionamiento de la instalación en régimen cuasi-estacionario .....	23
2.2 ESTANCAMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR .....	25
2.2.1 Estancamiento de tipo vaciado rápido.....	26
2.2.2 Estancamiento de tipo vaciado lento.....	28
2.2.3 Estancamiento de tipo con aire .....	30
2.3 SOBRECALENTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR.....	31
2.4 FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FRENTE A HELADAS .....	32
2.5 TRATAMIENTO TÉRMICO CONTRA LA LEGIONELLA.....	33
2.6 PROTECCIÓN CONTRA QUEMADURAS: $T_p > 60^\circ\text{C}$ .....	35
<b>3. DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LOS CIRCUITOS .....</b>	<b>37</b>
3.1 TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO.....	37
3.2 TUBERÍAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO.....	41
3.3 AISLAMIENTO DE LA INSTALACIÓN .....	41
3.4 BOMBAS CIRCULADORAS .....	42
3.5 FLUIDO DEL CIRCUITO PRIMARIO.....	43
3.6 PRESIONES. VÁLVULAS DE SEGURIDAD .....	43
3.7 EXPANSIÓN DEL FLUIDO DE LOS CIRCUITOS. VASO DE EXPANSIÓN. ....	45
3.8 LLENADO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO .....	47
3.9 VACIADO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO .....	49
3.10 PURGA DEL CIRCUITO HIDRÁULICO.....	49
<b>4. ESQUEMAS DE PRINCIPIO.....</b>	<b>51</b>
4.1 CIRCUITOS PRIMARIOS.....	51
4.2 INSTALACIONES PARA ACS INDIVIDUALES .....	52
4.3 PRODUCCIÓN CENTRALIZADA DE ACS EN EDIFICIOS DE VIVIENDAS. ....	54
4.3.1 Esquema centralizado con apoyo centralizado .....	54
4.3.2 Esquema centralizado con apoyo descentralizado .....	55
4.4 INSTALACIONES DESCENTRALIZADAS DE PRODUCCIÓN DE ACS.....	56

4.4.1	Esquema descentralizado con intercambiadores en viviendas .....	56
4.4.2	Esquema descentralizado con interacumuladores en las viviendas .....	57
4.4.3	Esquema descentralizado con interacumuladores con apoyo en viviendas .....	60
4.5	INSTALACIÓN SOLAR PARA ACS Y CALEFACCIÓN .....	61
4.6	INSTALACIÓN SOLAR PARA PISCINA CUBIERTA .....	63
<b>5.</b>	<b>CASO PRÁCTICO 1. INSTALACIÓN SOLAR PARA PEQUEÑO VESTUARIO .....</b>	<b>65</b>
5.1	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN .....	65
5.1.1	Caudal instantáneo de ACS.....	65
5.1.2	Caudal de recirculación de ACS .....	66
5.1.3	Acumulación de apoyo del sistema de ACS.....	66
5.1.4	Potencia nominal de la caldera de apoyo de ACS .....	67
5.1.5	Demanda total de energía de la instalación de producción de ACS.....	67
5.1.6	Cálculo de la instalación solar .....	69
5.2	DISEÑO DEL CIRCUITO PRIMARIO.....	70
5.2.1	Selección del fluido del circuito primario .....	70
5.2.2	Presiones de funcionamiento.....	70
5.2.3	Cálculo del vaso de expansión del circuito primario .....	71
5.2.4	Calculo del sistema de intercambio de calor .....	71
5.2.5	Cálculo de las red de tuberías del circuito primario .....	72
5.2.6	Cálculo de la bomba del circuito primario .....	72
5.3	ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LA INSTALACIÓN TÉRMICA .....	73
5.4	FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR .....	74
5.4.1	Funcionamiento habitual de la instalación. Sistema de control.....	74
5.4.2	Estancamiento de la instalación solar .....	74
<b>6.</b>	<b>CASO PRÁCTICO 2 HOTEL DE 3 ESTRELLAS CON 100 HABITACIONES</b>	
<b>DOBLES.....</b>	<b>.....</b>	<b>77</b>
6.1	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN .....	77
6.1.1	Caudal instantáneo de ACS.....	77
6.1.2	Caudal de recirculación de ACS .....	77
6.1.3	Acumulación de apoyo del sistema de ACS.....	78
6.1.4	Potencia nominal de la caldera de apoyo de ACS .....	79
6.1.5	Demanda total de energía de la instalación de producción de ACS.....	79
6.1.6	Cálculo de la instalación solar .....	82
6.2	DISEÑO DEL CIRCUITO PRIMARIO.....	83
6.2.1	Selección del fluido del circuito primario .....	83
6.2.2	Presiones de funcionamiento.....	83
6.2.3	Cálculo del vaso de expansión del circuito primario .....	83
6.2.4	Calculo del sistema de intercambio de calor .....	84
6.2.5	Cálculo de las red de tuberías del circuito primario .....	85
6.2.6	Cálculo de la bomba del circuito primario .....	85
6.3	ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LA INSTALACIÓN TÉRMICA .....	86
6.4	FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR .....	87
6.4.1	Funcionamiento habitual de la instalación. Sistema de control.....	87
6.4.2	Estancamiento de la instalación solar .....	87
<b>7.</b>	<b>CASO PRÁCTICO 3. INSTALACIÓN DESCENTRALIZADA EN</b>	
<b>EDIFICIO DE VIVIENDAS .....</b>	<b>.....</b>	<b>91</b>
7.1	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN .....	91
7.1.1	Demanda de energía de la instalación .....	91
7.1.2	Esquema de la instalación.....	92
7.1.3	Pérdidas energéticas en la distribución .....	92

7.1.4	Cálculo de la instalación solar.....	93
7.2	DISEÑO DEL CIRCUITO PRIMARIO.....	94
7.2.1	Selección del fluido del circuito primario .....	94
7.2.2	Presiones de funcionamiento de los circuitos hidráulicos .....	95
7.2.3	Cálculo del vaso de expansión de los circuitos primario y secundario .....	95
7.2.4	Calculo del sistema de intercambio de calor .....	96
7.2.5	Cálculo hidráulico del circuito primario .....	87
7.2.6	Cálculo hidráulico del circuito secundario.....	98
7.3	ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LA INSTALACIÓN TÉRMICA.....	98
7.4	FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR .....	100
7.4.1	Funcionamiento habitual de la instalación. Sistema de control.....	100
7.4.2	Estancamiento de la instalación solar.....	100
7.4.3	Sobrecalentamiento de la instalación solar .....	100
<b>8.</b>	<b>CASO PRÁCTICO 4. INSTALACIÓN DE ACS Y CALEFACCIÓN DE VIVIENDA.....</b>	<b>101</b>
8.1	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE ACS.....	101
8.1.1	Demanda de energía de la instalación de ACS .....	102
8.1.2	Demanda de energía de la instalación de calefacción.....	102
8.1.3	Energía Solar disponible. Pérdidas por sombras.....	103
8.1.4	Cálculo de la instalación solar .....	105
8.2	ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LA INSTALACIÓN TÉRMICA .....	106
<b>9.</b>	<b>CASO PRÁCTICO 5. INSTALACIÓN PARA PISCINA CUBIERTA.....</b>	<b>107</b>
<b>10.</b>	<b>TERMINOLOGÍA .....</b>	<b>109</b>
	<b>ANEXO A. MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS CURVAS F-CHART.....</b>	<b>111</b>
	<b>ANEXO B. PÉRDIDAS POR SOMBRAS .....</b>	<b>117</b>
	<b>ANEXO C. PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN .....</b>	<b>121</b>
	<b>ANEXO D. CÁLCULO DE TUBERÍAS.....</b>	<b>123</b>

## Figuras

Figura 1 Curva de rendimiento de un captador solar según la norma UNE-EN 12975.....	2
Figura 2 Curva de rendimiento de un captador solar en función de $T^{**}$ .....	3
Figura 3 Curva de pérdida de presión de un captador solar de tipo serpentín obtenida según el ensayo de la norma UNE –EN 12975.....	5
Figura 4 Influencia del factor óptico del captador solar en el Área de Captación necesaria para obtener una Contribución Solar del 60%.....	7
Figura 5 Influencia del factor de pérdidas del captador solar en el Área de Captación necesaria para obtener una Contribución Solar del 60%. .....	7
Figura 6 Influencia de la curva de rendimiento del captador solar en el Área de Captación necesaria para obtener una Contribución Solar del 60%.....	8
Figura 7 Influencia de la relación Volumen de acumulación entre el Área de captación en el Área de Captación necesaria para obtener una Contribución Solar dada. ....	9
Figura 8 Funcionamiento de una instalación solar con la superficie de intercambio bien y mal seleccionada. ....	12
Figura 9 Funcionamiento de una instalación solar con el intercambiador externo del circuito primario bien y mal seleccionado. ....	13
Figura 10 Esquema de una instalación solar térmica con intercambiador de descarga.....	16
Figura 11 Representación del primer arranque del día de la instalación solar.....	20
Figura 12 Temperatura en el tubo superior del captador solar antes y durante el arranque de la instalación solar. $T_{CAP} = f(\text{Tiempo})$ .....	21
Figura 13 Arranques y paradas de la bomba de primario producidas a primera hora de la mañana. ....	21
Figura 14 Temperatura en el colector superior del captador solar antes y durante el arranque de la instalación solar. $T_{CAP} = f(\text{Tiempo})$ .....	22
Figura 15 Funcionamiento habitual de la instalación solar en régimen estacionario a horas próximas al medio día solar de un día soleado.....	23
Figura 16 Temperatura de impulsión y retorno de la instalación solar en las horas de funcionamiento de la instalación. Comparación con las temperaturas del acumulador en la parte inferior y en la parte superior .....	24
Figura 17 Medidas experimentales de la distribución de temperaturas en un interacumulador solar.....	24
Figura 18 Presión de la instalación en función del tiempo cuando se produce un estancamiento de tipo rápido. Parada de la bomba en el minuto 0 ( $I = 950 \text{ W/m}^2$ ).....	26
Figura 19 Estancamiento de la instalación solar de tipo “vaciado rápido”.....	27
Figura 20 Estancamiento de la instalación solar de tipo “vaciado rápido” con válvula todonada de tipo normalmente cerrada en la aspiración de la bomba.....	28
Figura 21 Presión de la instalación en función del tiempo cuando se produce un estancamiento de tipo lento. Parada de la bomba en el minuto 0 ( $I = 950 \text{ W/m}^2$ ).....	29
Figura 22 Estancamiento de la instalación solar de tipo “vaciado lento”.....	30
Figura 23 Estancamiento de la instalación solar con vaciado del circuito accidental o provocado por un sistema “drain-back”.....	31
Figura 24 Sobre calentamiento de una instalación solar.....	32
Figura 25 Temperatura de congelación de mezclas agua – propilenglicol.....	33
Figura 26 Esquema de una instalación solar preparada para la realización del tratamiento térmico contra la legionella.....	34
Figura 27 Esquema de una instalación solar realizando el tratamiento térmico contra la legionella.....	34

Figura 28 Esquema de una instalación de ACS con el acumulador de apoyo a 75°C. Funcionamiento sin y con consumo de ACS.....	35
Figura 29 Esquema de llenado mediante la presión de red .....	48
Figura 30 Esquema de llenado mediante depósito .....	48
Figura 31 Esquema de llenado del circuito primario de la instalación solar.....	49
Figura 32 Esquema de principio del circuito primario de una instalación solar con interacumulador.....	51
Figura 33 Esquema de principio del circuito primario de una instalación solar con intercambiador de calor externo.....	52
Figura 34 Esquema de principio de instalación solar de apoyo de ACS individual.....	52
Figura 35 Esquema de principio de instalación solar de apoyo de ACS individual.....	53
Figura 36 Esquema de principio de instalación totalmente centralizada para un edificios de viviendas. ....	54
Figura 37 Esquema de principio de instalación centralizada con apoyo descentralizado para un edificios de viviendas. ....	55
Figura 38 Esquema de principio de instalación descentralizada con intercambiadores de calor en las viviendas. ....	57
Figura 39 Esquema de principio de instalación descentralizada con interacumuladores en las viviendas. ....	58
Figura 40 Esquema de principio de instalación descentralizada con acumulación solar mixta: interacumulador central e interacumuladores en las viviendas.....	59
Figura 41 Esquema de principio de instalación descentralizada con interacumuladores con apoyo en las viviendas.....	60
Figura 42 Esquema de principio de instalación solar de apoyo a ACS y calefacción. Esquema con circuitos primarios separados.....	61
Figura 43 Esquema de principio de instalación solar de apoyo a ACS y calefacción. Esquema con un único circuito primario.....	62
Figura 44 Esquema de principio de instalación solar de apoyo a ACS y calefacción para vivienda unifamiliar de gran tamaño. Esquema con un único circuito primario y producción de ACS en acumulador de apoyo y recirculación de ACS.....	62
Figura 45 Esquema de principio de la instalación solar de apoyo al calentamiento del vaso de la piscina cubierta. ....	63
Figura 46 Esquema de principio de instalación convencional de calentamiento del vaso de la piscina y apoto de ACS. ....	64
Figura 47 Esquema de principio de instalación descentralizada con interacumuladores con apoyo en las viviendas.....	64

# 1. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR

## 1.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN

Los captadores solares se encuentran actualmente en una fase de evolución tecnológica avanzada donde existe un número concreto de tipos de captadores y el diseño de los mismos no experimenta cambios sustanciales. En los últimos años se han conseguido captadores solares cada vez más eficientes debido al empleo generalizado de superficies absorbedoras selectivas de alta calidad y a la mejora de la cantidad y calidad de los aislamientos.

Las prestaciones energéticas de los captadores se determinan actualmente mediante el ensayo de eficiencia energética descrito en la norma UNE-EN 12975. En este ensayo se determina el calor útil que proporciona el captador solar en función de la temperatura del circuito primario y de la irradiancia solar.

El rendimiento del captador solar  $\eta$  viene dado por:

$$\eta = \frac{Q_{CAP,U}}{E_{SOL}} = \frac{m c_p \Delta T_{CAP}}{A_{CAP} I}$$

donde  $m$  es el gasto másico del fluido que circula por el captador (0,02 kg/s m<sup>2</sup>, a menos que el fabricante especifique otro valor),  $c_p$  es el calor específico del fluido,  $\Delta T_{CAP}$  la diferencia entre las temperaturas de entrada y salida del captador  $\Delta T_{CAP} = T_{CAP,S} - T_{CAP,E}$ ,  $A_{CAP}$  el área de apertura del captador solar e  $I$  la irradiancia solar global en el plano del captador en W/m<sup>2</sup>.

El rendimiento del captador depende no sólo de la temperatura de impulsión del agua al captador sino también de la irradiancia en el plano del captador. La curva de eficiencia energética del captador se representa en función de la temperatura característica  $T^*$  dada por:

$$T^* = \frac{T_{CAP,M} - T_{EXT}}{I}$$

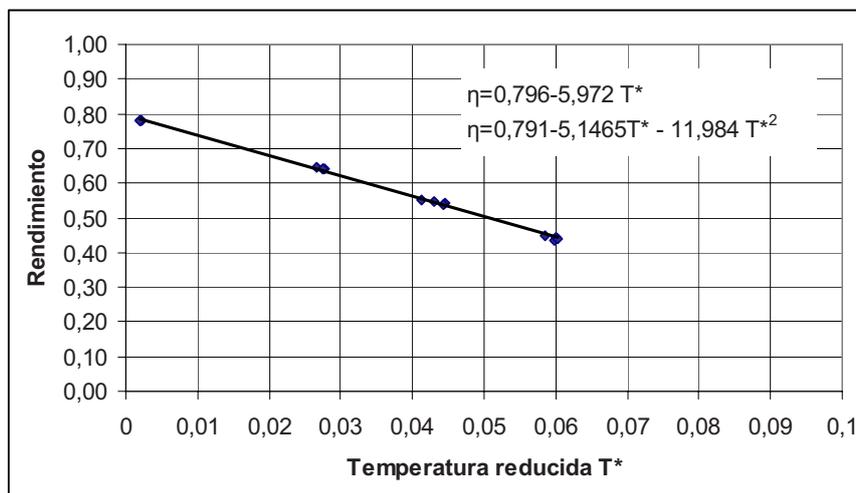
donde  $T_{CAP,M}$  es la temperatura media del agua en el captador solar  $T_{CAP,M} = (T_{CAP,S} + T_{CAP,E})/2$  y  $T_{EXT}$  la temperatura exterior (temperatura ambiente).

A continuación se muestran los 16 datos obtenidos en el ensayo de un captador solar siguiendo el procedimiento de la UNE-EN 12975. La norma obliga a realizar distintos ensayos a varios saltos de temperaturas sobre la temperatura exterior (aproximadamente: 0, 20, 40 y 60°C).

**Tabla 1 Medidas experimentales del ensayo de eficiencia energética realizado en un captador solar de 2 m<sup>2</sup>.**

MEDIDAS EXPERIMENTALES SEGÚN UNE 12975						DATOS CALCULADOS					
Punto	I (W/m <sup>2</sup> )	m (kg/s)	T <sub>CAP,E</sub>	T <sub>CAP,S</sub>	T <sub>EXT</sub>	E <sub>SOL</sub>	E <sub>CAP,U</sub>	η <sub>CAP</sub>	T <sub>CAP,M</sub>	T*	T**
1	993,3	0,03969	23,4	32,7	26,0	1,98	1,54	0,78	28,1	0,0021	-0,0026
2	977,7	0,03969	23,4	32,5	26,0	1,95	1,52	0,78	28,0	0,0021	-0,0026
3	960,8	0,03969	23,3	32,3	25,8	1,91	1,49	0,78	27,8	0,0022	-0,0025
4	1005,9	0,03969	23,4	32,8	26,1	2,00	1,56	0,78	28,1	0,0020	-0,0026
5	1000,8	0,03847	49,5	57,5	26,9	1,99	1,29	0,65	53,5	0,0266	0,0226
6	989,0	0,03864	49,4	57,2	26,0	1,97	1,26	0,64	53,3	0,0276	0,0236
7	956,0	0,03848	49,0	56,6	26,3	1,90	1,22	0,64	52,8	0,0277	0,0237
8	971,6	0,03848	49,2	56,9	26,3	1,93	1,24	0,64	53,0	0,0275	0,0235
9	991,5	0,03907	61,1	67,8	23,6	1,97	1,09	0,55	64,5	0,0412	0,0378
10	947,6	0,03907	61,0	67,3	23,3	1,89	1,03	0,55	64,1	0,0431	0,0398
11	908,3	0,03924	61,0	67,0	23,5	1,81	0,98	0,54	64,0	0,0446	0,0413
12	904,7	0,03908	61,0	66,9	23,9	1,80	0,97	0,54	63,9	0,0443	0,0410
13	989,3	0,03801	79,0	84,5	23,8	1,97	0,88	0,45	81,7	0,0585	0,0557
14	993,4	0,03817	79,3	84,7	22,6	1,98	0,86	0,44	82,0	0,0598	0,0571
15	992,6	0,03849	79,4	84,8	22,6	1,98	0,88	0,44	82,1	0,0600	0,0572
16	994,5	0,03833	79,3	84,7	22,1	1,98	0,87	0,44	82,0	0,0602	0,0575

Los datos experimentales obtenidos se pueden representar gráficamente en forma de rendimiento en función de la temperatura característica  $\eta = f(T^*)$ .



**Figura 1 Curva de rendimiento de un captador solar según la norma UNE-EN 12975.**

Se observa que el ajuste de datos se puede realizar empleando una recta

$$\eta = \eta_o - a_1 T^*$$

La norma indica que se debe calcular el término cuadrático cuando éste recoja la tendencia cóncava de los datos, esto es, que el signo sea negativo. De esta forma se obtienen la siguiente curva cuadrática.

$$\eta = \eta_o - a_1 T^* - a_2 T^{*2}$$

Sin embargo, los coeficientes de la ecuación de la curva se expresan de esta otra forma:

$$\eta = \eta_o - A_1 T^* - (A_2 I) T^{*2}$$

Por tanto, debe tenerse en cuenta que los coeficientes que se determinan en los ensayos y que por tanto proporcionan los fabricantes son los siguientes:

- Coeficiente de rendimiento  $\eta_o$  (adimensional) (En este caso  $\eta_o = 0,791$ )
- Coeficiente de pérdidas lineal  $A_1$  ( $W/m^2$ ) ( $A_1 = 5,15$ )
- Coeficiente de pérdidas cuadrático  $A_2$  ( $W/m^2$ ) ( $A_2 = a_2/850 W/m^2$ )  
( $A_2 = 11,98/850 = 0,014 W/m^2$ )

Los fabricantes están obligados a disponer de esta información y ponerla a disposición de sus clientes. En los catálogos de los fabricantes aparece por tanto la curva de rendimiento del captador de esta forma

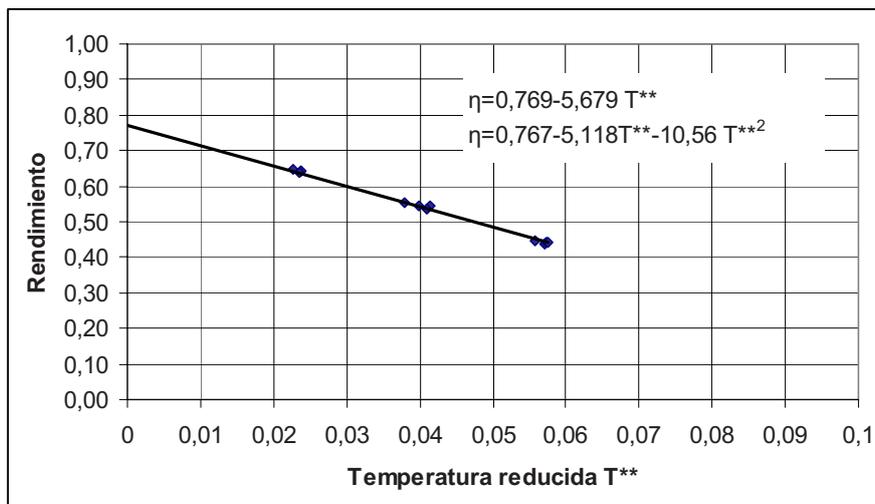
En algunos casos la curva del captador está representada en función de la temperatura característica expresada en función de la temperatura de entrada del agua al captador.

$$T^{**} = \frac{T_{CAP,E} - T_{EXT}}{I}$$

La expresión de la curva de rendimiento en función de esta temperatura expresada de forma lineal

$$\eta = k_o - k_1 T^{**}$$

Donde  $k_o$  es el factor óptico del captador y  $k_1$  el factor de pérdidas. El método f-chart emplea estos dos factores para determinar el rendimiento de la instalación. En el caso de emplear captadores cuyos datos están referenciados a  $T^*$ , se deberá realizar la conversión.



**Figura 2** Curva de rendimiento de un captador solar en función de  $T^{**}$ .

Cuando se utilice un programa de cálculo para el dimensionado de la instalación solar, deberá tenerse en consideración qué tipo de curva se implementa y respecto a qué superficie del captador (superficie absorbadora, de apertura o total). Lo habitual será referenciar la curva de rendimiento del captador a la superficie de apertura del captador. Además, debe tenerse en cuenta que el método de las curvas f (f-chart) requiere la curva lineal del captador basada en la temperatura de entrada. Los coeficientes a implementar son:

- Factor óptico del captador solar:  $k_o$
- Factor de pérdidas del captador:  $k_1$