GUÍAS

Guía Técnica de Energía Solar Térmica

022

IDAE

www.idae.es

ASIT
ASOCIACIÓN SOLAR de la INDUSTRIA TÉRMICA

www.asit-solar.com

Guía IDAE 022: Guía Técnica de Energía Solar Térmica (edición v1.0)

Madrid, abril de 2020

Publicación provisional pendiente de NIPO

AUTOR

La presente Guía ha sido redactada por la Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la energía solar térmica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas las personas que han participado en la elaboración de esta guía y a los responsables de su revisión técnica: el Comité Técnico de ASIT, el Departamento Solar del IDAE, y en particular a D. Juan Carlos Martínez Escribano y a D. Andrés Paredes Salvador respectivamente por su especial dedicación.

El presente estudio ha sido promovido por el IDAE. Aunque el IDAE ha supervisado la realización de los trabajos y ha aportado sus conocimientos y experiencia para su elaboración, el contenido de esta publicación no representa necesariamente la opinión del IDAE sobre los temas que se tratan en ella.

ÍNDICE

1 RESUMEN EJECUTIVO 12

1.1 INTRODUCCIÓN 14

1.2 CONFIGURACIONES 15

1.3 COMPONENTES Y MATERIALES 16

1.4 CONDICIONES DE TRABAJO 17

1.5 INCORPORACIÓN EN LOS EDIFICIOS 19

1.6 DISEÑO HIDRÁULICO Y TÉRMICO 21

1.7 CALCULO DE PRESTACIONES ENERGÉTICAS 23

1.8 MONTAJE, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA 24

1.9 OPERACIÓN, USO Y MANTENIMIENTO 25

2 CONFIGURACIONES 29

2.1 TIPOLOGIA Y TAMAÑOS DE LAS INSTALACIONES 29

2.2 DEFINICIÓN DE SISTEMAS Y CIRCUITOS DE LAS INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS 31

2.3 CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS PEQUEÑAS INSTALACIONES 32

2.4 CONFIGURACIONES DE LAS INSTALACIONES MEDIANAS Y GRANDES 40

2.5 CONFIGURACIONES DE INSTALACIONES EN EDIFICIOS MULTIVIVIENDA 44

3 COMPONENTES 53

3.1 CAPTADORES SOLARES 53

3.2 ACUMULADORES SOLARES 63

3.3 OTROS COMPONENTES 69

4 CONDICIONES DE TRABAJO 77

4.1 TEMPERATURAS 77

4.2 PRESIÓN 79

4.3 ACCIÓN COMBINADA DE TEMPERATURA Y PRESIÓN 80

4.4 FLUIDOS DE TRABAJO 81

4.5 FLUJO INVERSO 81

4.6 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN 82

5 INTEGRACIÓN EN EDIFICIOS 91

5.1 DIMENSIONADO BÁSICO Y SELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN 92

5.2 INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE PEQUEÑAS INSTALACIONES 92

5.3 INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE GRANDES INSTALACIONES 99
5.4 INCORPORACIÓN DE PEQUEÑAS INSTALACIONES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ACS 104
5.5 INCORPORACIÓN DE GRANDES INSTALACIONES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ACS 109
5.6 OTROS CONDICIONANTES DE LA INTEGRACIÓN 112
5.7 ESTRUCTURAS SOPORTE 114

6 DISEÑO HIDRÁULICO Y TÉRMICO 117

6.1 SISTEMA DE CAPTACIÓN 117
6.2 SISTEMA DE ACUMULACIÓN 124
6.3 SISTEMA DE INTERCAMBIO 131
6.4 CIRCUITO HIDRÁULICO 136
6.5 SISTEMAS DE MEDIDA 144
6.6 AISLAMIENTO TÉRMICO 151
6.7 SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL 153
6.8 ESQUEMAS DE PRINCIPIO 157

7 CALCULO DE PRESTACIONES ENERGÉTICAS 162

7.1 CÁLCULO DE LA DEMANDA Y EL CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA 162
7.2 PARÁMETROS DE USO 165
7.3 PARÁMETROS CLIMÁTICOS 169
7.4 MÉTODOS DE CÁLCULO UTILIZABLES 170
7.5 MÉTODO DE CÁLCULO F-CHART 176
7.6 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS TÉRMICAS 177
7.7 MÉTODO DE CÁLCULO METASOL 180

8 MONTAJE, PUESTA EN MARCHA Y RECEPCIÓN 184

8.1 CONDICIONES DE MONTAJE 184
8.2 PRUEBAS DE CIRCUITOS 191
8.3 LLENADO, PURGA Y PRESURIZACIÓN 192
8.4 PUESTA EN MARCHA 195
8.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO 198
8.6 RECEPCIÓN 201

9 OPERACIÓN, USO Y MANTENIMIENTO 204

9.1 MANUAL DE INSTRUCCIONES 204
9.2 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO 204
9.3 RECOMENDACIONES DE USO E INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD 205

9.4 PLAN DE VIGILANCIA 206
9.5 DETECCIÓN DE PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO 210
9.6 MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN 214
10 CALENTAMIENTO SOLAR DE PISCINAS 221
10.1 GENERALIDADES 221
10.2 CÁLCULO DE INSTALACIONES SOLARES PARA PISCINAS CUBIERTAS 222
10.3 CONFIGURACIÓN DE LAS INSTALACIONES 225
10.4 DISEÑO Y DIMENSIONADO DE SISTEMAS Y COMPONENTES 229
10.5 CLIMATIZACIÓN DE PISCINAS DESCUBIERTAS 233
11 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN SOLAR 236
11.1 ANÁLISIS DE LAS DEMANDAS TÉRMICAS EN EDIFICIOS 236
11.2 USO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA DIFERENTES APLICACIONES 239
11.3 DIMENSIONADO Y CÁLCULO DE PRESTACIONES 241
11.4 CONFIGURACIONES DE LAS INSTALACIONES DE ACS Y CALEFACCIÓN 242
11.5 DISEÑO Y DIMENSIONADO DE SISTEMAS Y COMPONENTES 244
12 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR 248
12.1 GENERALIDADES 248
12.2 TECNOLOGÍAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR 248
12.3 CONFIGURACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN 252
12.4 COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES DE REFRIGERACIÓN SOLAR 255
12.5 CÁLCULO DE INSTALACIONES DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN 261
13 SISTEMAS SOLARES PARA CLIMATIZACIÓN URBANA 265
13.1 GENERALIDADES 265
13.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN URBANA 266
13.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN URBANA 268
13.4 INTEGRACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA 270
14 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA 275
14.1 DOCUMENTOS DE REFERENCIA 275
14.2 DEFINICIONES 277
14.3 MEMORIA DE DISEÑO 282
14.4 TABLAS Y DATOS 290
14.5 ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS 301

Índice de figuras

Figura 1: Ejemplos de circuitos primarios con purgadores manuales que mejoran la estanqueidad y facilitan las labores de mantenimiento 14
Figura 2: Tipos de flujo inverso que pueden aumentar las pérdidas térmicas del acumulador 18
Figura 3: Cubiertas de un hospital antes y después de implantar la instalación solar térmica 19
Figura 4: Temperaturas en una instalación de producción de ACS 20
Figura 5: Esquema general de una instalación solar térmica 31
Figura 6: Clasificación por tipos de circulación y por sistemas de intercambio 34
Figura 7: Tipos de expansión 36
Figura 8: Tipos de circuitos primario según su contenido de líquido 37
Figura 9: Formas de acoplamiento 38
Figura 10: Instalación forzada con intercambiador 43
Figura 11: Instalación con intercambiador externo y acumulador de consumo 43
Figura 12: Instalación con acumulador de inercia e intercambiadores solar y de consumo externos 43
Figura 13: Instalación con acumuladores de inercia y de consumo e intercambiadores solar y de descarga externo 43
Figura 14: Instalación solar y sistema de apoyo centralizados 44
Figura 15: Instalación solar centralizada con sistema de apoyo distribuido 45
Figura 16: Instalación solar con acumulación distribuida 45
Figura 17: Instalación solar centralizada con intercambio distribuido 46
Figura 18: Instalación con doble acumulación solar, centralizada y distribuida 47
Figura 19: Sección constructiva de un captador solar plano indicando sus componentes 54
Figura 20: Captador de tubos de vacío con "tubo de calor" (heat-pipe) 55
Figura 21: Captador de tubos de vacío con "tubo en U" y con "tubos concéntricos" 56
Figura 22: Equipo solar con captador de tubos de vacío de flujo directo 57
Figura 23: Otros tipos de captadores solares 58
Figura 24: Diferentes áreas de un captador solar 61
Figura 25: Rendimiento de tres tipos de captador solar 61
Figura 26: Pérdida de carga de tres tipos de absorbedor 62
Figura 27: Diversos tipos de acumuladores con dispositivos para mejorar la estratificación 66
Figura 28: Diversos tipos de acumuladores e interacumuladores de ACS y de inercia 67
Figura 29: Aislamiento térmico del acumulador mal (izq.) y bien ejecutado (der.) 68
Figura 30: Diversos tipos de intercambiador: incorporados y externos 70
Figura 31: Sistemas de protección antihelada 85
Figura 32: Diseño del sistema de expansión con vaso tampón 86
Figura 33: Esquemas con sistema de expansión situado en el nivel más bajo (izq.) y más alto (der.) y valores comparativos de las presiones mínima y máxima 88
Figura 34: Ejemplos de incorporación a edificios de sistemas prefabricados, termosifón y forzados. 93
Figura 35: Disminución de la radiación global incidente en una superficie inclinada para diferentes ángulos de azimut y de elevación 94
Figura 36: Obstáculos frontales y laterales que pueden producir sombras. 97
Figura 37: Diagrama de trayectorias aparentes del sol 98
Figura 38: Ejemplos de integración arquitectónica de grandes instalaciones solares térmicas 99
Figura 39: Ejemplo de modulación en baterías y superposición en cubierta de captadores solares 99
Figura 40: Diversos ejemplos de modulación de baterías de captadores 100

Figura 41: Ejemplos de incorporación en cubierta plana, cubierta inclinada y fachada 101
Figura 42: Ejemplo de cubierta existente (izq.) y posterior integración (der.) de un sistema de captación con la misma orientación del edificio mediante líneas y baterías iguales. 101
Figura 43: Esquema de puntos de control de sombras en el contorno de varias unidades de captación 102
Figura 44: Ejemplos de selección de puntos de control para verificación de sombras 103
Figura 45: Esquemas de sistemas de apoyo individuales en instalaciones solares 104
Figura 46: Diferentes formas de conexión del sistema de apoyo en serie con el sistema solar térmico 106
Figura 47: Ejemplo de situación de punto de consumo, sistema de energía auxiliar y sistema solar térmico que puede justificar el conexionado en paralelo 107
Figura 48: Esquema de conexionado en paralelo con válvula de tres vías manual para conmutación y válvula mezcladora para el sistema solar (izq.) o para sistemas solar y auxiliar (der.) 107
Figura 49: Componentes básicos y complementarios del circuito de consumo de una instalación solar térmica 109
Figura 50: Esquema de acumuladores en serie con intercambiadores, solar y de apoyo, externos 110
Figura 51: Esquema con previsión de calentamiento de la acumulación solar con el sistema de apoyo para tratamiento térmico 111
Figura 52: Procedimientos de compensación de pérdidas térmicas del circuito de recirculación 112
Figura 53: Ejemplo de estructuras de equipos termosifón para cubierta plana (izq.) e inclinada (der.) 114
Figura 54: Ejemplos de bloques de hormigón como base de reparto y contrapeso de la estructura soporte de captadores 115
Figura 55: Formas de conexionado de captadores solares para constituir una batería 118
Figura 56: Formas de conexionado de dos baterías de captadores 118
Figura 57: Cuatro ejemplos de sectorización de un campo de captadores 120
Figura 58: Variación del rendimiento de una instalación solar con el caudal del circuito primario 121
Figura 59: Ejemplos de conexionado en paralelo y en serie de dos captadores solares 122
Figura 60: Rendimientos del captador y puntos de trabajo en función de su temperatura 122
Figura 61: Ejemplo de pérdida de carga de un captador en función del caudal másico 122
Figura 62: Conexión de baterías con diferente número de captadores y válvulas de equilibrado 123
Figura 63: Baterías de captadores conectados con ramal de ida invertido (izq.) y con válvulas de equilibrado (der.) 124
Figura 64: Variación del rendimiento de instalaciones con el volumen de acumulación 125
Figura 65: Diferentes formas de conexión de un único acumulador solar con intercambiador externo 125
Figura 66: Conexionado de dos interacumuladores en paralelo y en serie 126
Figura 67: Conexión de dos acumuladores, calentados por intercambiador externo, en paralelo y en serie 127
Figura 68: Mejoras en la conexión en serie de dos acumuladores calentados por intercambiador externo . 127
Figura 69: Dos diseños de circuitos de calentamiento de una instalación de acumulación distribuida 128
Figura 70: Diferentes formas (directa D e indirecta I) para incorporación del sistema de calentamiento solar (S) y del sistema de energía auxiliar (A) en acumuladores tanto de ACS como de inercia 129
Figura 71: Características del acumulador solar con volumen auxiliar incorporado 131
Figura 72: Esquema (izq.) y ejemplo (der.) del conexionado de un intercambiador solar independiente 132
Figura 73: Dos diseños de circuitos de calentamiento de una instalación de intercambio distribuido 134
Figura 74: Esquema de montaje de bombas de primario y secundario en paralelo. Der.: Ejemplo de montaje de bombas de primario y secundario en paralelo 138
Figura 75: Ejemplo de válvula de corte, instalada con mando accesible y símbolo habitualmente utilizado 138
Figura 76: Ejemplo de válvula de seguridad, esquema, instalada y símbolo habitualmente utilizado 139
Figura 77: Ejemplo de válvula de retención, instaladas en impulsión de bombas y símbolo habitualmente utilizado 140

Figura 78: Dos tipos de válvulas de equilibrado, instalada con mando accesible y símbolo habitualmente utilizado....140
Figura 79: Ejemplos de válvulas de vaciado instaladas y conducidas y símbolo habitualmente utilizado....141
Figura 80: Ejemplo de válvula de mezcladora termostática, instalada y símbolo habitualmente utilizado ..142
Figura 81: Izq.: Sistema de llenado de mezcla anticongelante (depósito de mezcla, bomba y válvulas de conexión). Der.: Sistema de llenado con agua de red (retención, filtro, válvula de corte y caudalímetro) 143
Figura 82: Ejemplos de purgadores manuales de aire en salida de aire con escapes conducidos 144
Figura 83: Termómetro, manómetro, caudalímetros y los símbolos habitualmente utilizados.....144
Figura 84: Distribución de sensores de medida en esquema de instalación con intercambiador externo 145
Figura 85: Puentes manométricos para medida de presión diferencial en bomba (izq.) e intercambiador (der.)....146
Figura 86: Izq.: Esquema eléctrico de alimentación a bombas en paralelo. Der.: Elementos de regulación de los valores de consigna del sistema de control y protección de una instalación solar.....154
Figura 87: Esquemas de conexionado de un sistema de protección de la temperatura máxima del acumulador (V1) junto con un sistema disipador de calor del circuito primario (V2) conectados en serie o en paralelo 155
Figura 88: Esquemas y componentes de los esquemas básico (izquierda) y avanzado (derecha) 157
Figura 89: Ejemplos de esquemas de subsistemas: Batería de captadores solares (habría que seleccionar si se representa de perfil o de frente) y ejemplo de varias baterías interconectadas. Tres ejemplos de subsistema de bombeo con una o dos bombas y de un interacumulador con diversos componentes 159
Figura 90: Ejemplos de esquemas de subsistemas con intercambiador independiente y un conjunto de dos acumuladores conectados en serie 160
Figura 91: Ejemplos de esquemas de principio para un sistema solar térmico con dos soluciones extremas. En la parte superior, sistema completo con todos los componentes. En la parte inferior, sistema muy simplificado al reducir los componentes a los mínimos imprescindibles.....160
Figura 92: Esquema de medidas de energías térmicas para realizar el balance energético en el cálculo de instalaciones.....164
Figura 93: Pantallas del programa de verificación CHEQ4.....180
Figura 94: Esquemas de las 8 configuraciones incluidas en el programa CHEQ4 181
Figura 95: Esquemas de distribución de acumuladores y otros componentes en diferentes locales técnicos 184
Figura 96: Distribución de varios acumuladores en un local técnico 185
Figura 97: Soluciones de estructuras de captadores solares en cubiertas invertidas soportadas con bandejas de grava o con soportes metálicos galvanizados y nivelados con varillas roscadas sujetas a elementos estructurales.....186
Figura 98: Montaje de acumuladores solares en el exterior y los circuitos hidráulicos que los conectan 187
Figura 99: Varios ejemplos de soportes de tuberías y soluciones de acabado en chapa de aluminio 188
Figura 100: Ejemplos de montajes de bombas en paralelo (una de reserva).....189
Figura 101: Acabado de aislamiento en chapa de aluminio (izq.) y preparación de tuberías con aislamiento de lana de vidrio para montaje al exterior protegido con venda y emulsión asfáltica como barrera de agua y vapor (der.).....190
Figura 102: Ejemplos de purgadores de aire manuales y con escapes conducidos.....190
Figura 103: Actuación de las válvulas del bypass de alimentación en funcionamiento normal y en mantenimiento.....194
Figura 104: Monitorización de sistema con múltiples encendidos y apagados diarios de la bomba.....199
Figura 105: Evolución diaria de diversas temperaturas de un equipo solar por termosifón 199

Figura 106: Sistemas de calentamiento convencional del agua del vaso de piscina utilizando una parte del caudal del circuito de depuración (A) o un circuito independiente (B) *225*
Figura 107: Opciones de conexionado de los intercambiadores de calentamiento, solar y convencional, en serie o en paralelo, para los dos casos de utilizar circuito de depuración (A) o circuito independiente (B) ... *226*
Figura 108: Esquema de instalación de calentamiento del vaso con recuperador de calor, energía solar y generador de calor *227*
Figura 109: Evolución temporal de temperaturas del agua del vaso, de la energía solar y la auxiliar *228*
Figura 110: Integración de la producción de ACS y el calentamiento del vaso de la piscina con un único sistema de captación con bombas de primario asociadas a las demandas o una única bomba de primario y válvula de tres vías *230*
Figura 111: Ejemplo típico de la variación anual de las demandas de ACS, calefacción y refrigeración *238*
Figura 112: Variación anual de la demanda de energía para ACS y el aporte solar *239*
Figura 113: Variación anual de la demanda de energía y el aporte solar de baja contribución para ACS y calefacción *239*
Figura 114: (Izq.) Variación anual de la demanda de energía para ACS y calefacción de una instalación de alta contribución solar con acumulación estacional. (Der.) Variación anual de la demanda de energía para ACS, calefacción y refrigeración y aporte solar de una instalación de alta contribución solar *240*
Figura 115: Instalación de ACS y calefacción con acumulación independiente (esquema en desuso) *242*
Figura 116: Esquemas de instalación con acumulador solar único ("combi") para ACS y calefacción y sistema auxiliar de ACS en acumulador (izq.) o integrado en el propio acumulador (der.) *243*
Figura 117: Esquema de instalación solar de medio o gran tamaño para ACS y calefacción con acumulador de inercia único para ambas demandas y descarga mediante sendos intercambiadores *244*
Figura 118: Ejemplos de acumuladores para ACS y calefacción con elementos estratificadores *245*
Figura 119: Distribución del número de instalaciones de cada tecnología *249*
Figura 120: Esquema de un sistema de absorción *249*
Figura 121: Esquema de un sistema de adsorción *250*
Figura 122: Esquema y diagrama de funcionamiento de un sistema desecante *251*
Figura 123: Esquema de una instalación solar térmica para refrigeración por absorción *252*
Figura 124: Sistema de calefacción y refrigeración por absorción solar con apoyo de caldera *253*
Figura 125: Sistema de calefacción y refrigeración mediante absorción solar y bomba de calor *254*
Figura 126: Sistema integral de calefacción y refrigeración por absorción solar con apoyo de caldera y de bomba de calor *255*
Figura 127: Variación de la capacidad dee enfriamiento (potencia de salida) con diferentes temperaturas de funcionamiento *257*
Figura 128: Función de rendimiento instantáneo del captador solar en función de la diferencia de temperaturas para distintos niveles de irradiancia *258*
Figura 129: Esquema de conexionado de una torre de refrigeración a un equipo de absorción *259*
Figura 130: Esquema de instalación de ACS, calefacción y refrigeración *262*
Figura 131: Sistemas de climatización urbana *265*
Figura 132: Dos formas de configurar el sistema de distribución de energía térmica *268*
Figura 133: Esquema de subestación de conexión indirecta *270*
Figura 134: Integración de instalaciones solares térmicas en sistemas de climatización urbana *271*
Figura 135: Diferentes formas de conectar instalaciones solares térmicas a redes urbanas de calor *272*
Figura 136: Diversas soluciones de implantación del campo de captadores solares *272*

Índice de tablas

Tabla 1: Principales características de instalaciones solares térmicas clasificadas por tamaño *30*
Tabla 2: Comparación de criterios entre los dos tipos de circulación *33*
Tabla 3: Comparación de criterios entre los dos tipos de intercambio *35*
Tabla 4: Comparación de criterios para las diferentes configuraciones (Parte 1) *49*
Tabla 5: Comparación de criterios para las diferentes configuraciones (Parte 2) *49*
Tabla 6: Características comparativas de captadores solares *53*
Tabla 7: Valores típicos de la función rendimiento de diversos tipos de captador *60*
Tabla 8: Tabla comparativa de características de los acumuladores solares *65*
Tabla 9: Caudales de consumo para diseño de intercambiadores distribuidos *135*
Tabla 10: Definición de 5 configuraciones de instalaciones en función de su tamaño *147*
Tabla 11: Equipamiento mínimo de equipos de medida para cada una de las configuraciones *148*
Tabla 12: Componentes de los circuitos primario y de consumo para los dos tipos de esquema *158*
Tabla 13: Consumo unitario y ocupación para la determinación de los consumos totales de ACS *167*
Tabla 14: Comparación de los métodos de cálculo bajo diversos criterios *172*
Tabla 15: Rangos de validez del f-chart para distintos parámetros de las instalaciones *175*
Tabla 16: Operaciones de mantenimiento preventivo *217*
Tabla 17: Comparación de sistemas utilizados para refrigeración solar *252*
Tabla 18: Tecnologías de almacenamiento estacional *274*

1 Resumen ejecutivo

La experiencia adquirida en instalaciones solares térmicas realizadas en España abarca un periodo de más de 40 años que, esencialmente, se puede considerar que ha tenido dos fases separadas por el cambio de siglo. Una primera fase en la que la promoción de instalaciones solares en edificios existentes fue incentivada con ayudas a la inversión y otras medidas de apoyo financiero, siempre dirigidas al usuario, y una segunda fase iniciada con la entrada en vigor de ordenanzas municipales solares y posteriormente con la aprobación del Código Técnico de la Edificación que establecía que una parte de la demanda de energía necesaria para la producción de agua caliente sanitaria o calentamiento de piscina de nuevos edificios se debía hacer con energía solar térmica, lo que obliga al promotor del edificio a considerarlo en el diseño y al usuario en su explotación.

Los requisitos técnicos que debían cumplir las instalaciones han ido evolucionando en todo el periodo y de forma resumida se pueden resaltar los siguientes hitos:

1991	Especificaciones Técnicas desarrolladas por el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) y ADESA (Asociación para el Desarrollo de la Energía Solar y Alternativas en Andalucía) y establecidas para el programa PROSOL de la Junta de Andalucía.
1998	Pliego de Especificaciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Térmica a Baja Temperatura elaborado por SODEAN (Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía, S.A.) y aplicado al programa PYMEs FEDER-IDAE.
1998	Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE).
1999	Normas técnicas asociadas a las Ordenanzas Municipales que se aprobaron en la mayor parte de los municipios de toda España entre 1999 y 2005
2002	Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura desarrollado en base al pliego elaborado por SODEAN en 1998 y elaborada a través del Convenio para el Impulso Tecnológico de la Energía Solar entre el IDAE y el INTA. Aplicado a la Convocatoria de Ayudas para la promoción de instalaciones de Energía Solar Térmica en el Plan de Fomento de Energías Renovables Posteriormente fue revisado en 2009.
2006	Documento Básico HE4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria del Código Técnico de la Edificación (CTE). Actualizado o revisado en 2013
2006	GUÍA ASIT DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. Versiones revisadas en 2007, 2008 y 2009. La versión de mayo de 2010 fue aprobada como documento reconocido del RITE.
2007	Nueva versión del Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE) para transponer Directiva Europea de Eficiencia Energética en los Edificios y la aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE). Actualizada y revisada en 2013

La evolución de la reglamentación vigente siempre se ha ido adaptando a los nuevos criterios de disminución del consumo de energía y del uso de energía procedente de fuentes renovables con el objetivo de reducir la dependencia energética de la Unión Europea y r las emisiones de gases de efecto invernadero. La exigencia relacionada con la demanda energética para ACS y el

calentamiento de piscina normalmente se establece mediante una contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables que se debe justificar con la información del proyecto.

Como los contenidos técnicos de la normativa se han ido simplificando cada vez más, la propia reglamentación prevé utilizar los documentos reconocidos que se han definido como documentos técnicos sin carácter reglamentario que podrán tener contenidos del tipo especificaciones, guías técnicas o códigos de buena práctica que incluyan procedimientos de diseño, dimensionado, montaje, mantenimiento, uso o inspección de las instalaciones térmicas así como métodos de evaluación, modelos de soluciones, programas informáticos y datos estadísticos sobre las instalaciones térmicas. Esta guía quiere servir como referencia al sector para su uso extensivo y complementar lo establecido en la reglamentación en aquellos aspectos que no sean expresamente establecidos. En muchos casos, los contenidos de esta guía han sido adaptados desde los documentos anteriormente referidos o desde los señalados en la bibliografía.

En cualquier caso, todas las recomendaciones incluidas en esta guía están basadas en la experiencia acumulada por el gran número de instalaciones solares térmicas realizadas en los últimos años y constituyen un conjunto de criterios técnicos suficientemente contrastados que pretenden facilitar las tareas de los agentes que intervienen en las labores de diseño, ejecución, operación y mantenimiento relacionadas con este tipo de instalaciones. Dichas recomendaciones no impiden que se pueda optar por soluciones diferentes ya que, como éste no es un documento de carácter normativo, cualquier decisión adoptada siempre será responsabilidad del técnico interviniente sea instalador, proyectista, etc. Adicionalmente y con independencia de lo expuesto en esta guía, se deja constancia expresa de la necesidad de cumplir siempre la normativa vigente.

La guía establece requisitos de seguridad, eficiencia, calidad, fiabilidad y durabilidad de las instalaciones solares térmicas y, para ello:

- Fija condiciones técnicas para que las instalaciones de energía solar térmica funcionen correctamente a lo largo de toda su vida útil y para que ésta sea lo más duradera posible.
- Proporciona criterios para todas las fases de la instalación: diseño, cálculo, selección de componentes, montaje, operación, uso y mantenimiento.

Los contenidos del documento se estructuran de la siguiente forma:

- **Como capítulo 1** se presenta el resumen ejecutivo con los criterios técnicos más significativos e importantes que se deben considerar en las instalaciones solares térmicas para ACS y que permite comprobar que **el proceso de diseño, cálculo y montaje de una instalación solar es muy sencillo pero es necesario conocer y comprender bien sus singularidades**. Un mayor detalle de los puntos indicados en este resumen ejecutivo puede encontrarse en los capítulos 2 al 9 del documento que está organizado con la misma numeración para facilitar su consulta.
- **Desde el capítulo 2 al 9**, se incluyen los contenidos que **cubren completamente las aplicaciones de energía solar térmica para calentamiento de agua sanitaria** las cuales se analizan y se describen con detalle; se incluyen desde instalaciones realizadas con sistemas prefabricados hasta instalaciones por elementos de cualquier tamaño para producción de agua caliente sanitaria en edificios de viviendas y del sector servicios. Para seleccionar la parte de la guía relacionada con sistemas prefabricados, en los capítulos 2 y 5 se han diferenciado las instalaciones de pequeño tamaño de las grandes. La mayor parte de las especificaciones

sobre instalaciones solares de agua caliente son utilizables para el resto de aplicaciones analizadas en el resto del documento.

- **Desde el capítulo 10 al 13** se incorporan las observaciones específicas de las restantes aplicaciones de la energía solar térmica en edificación: calentamiento del agua del vaso de piscinas, calefacción, refrigeración y sistemas de climatización urbana.
- **El capítulo 14** que incluye documentación de referencia, formatos a emplear, datos, etc.

1.1 Introducción

Este resumen ejecutivo pretende poner de relieve los aspectos más importantes tenidos en cuenta en esta guía resaltando aquellas cuestiones que se han considerado críticas en cuanto a su diseño y dimensionado, montaje, operación, selección de materiales y mantenimiento.

Las instalaciones solares térmicas para calentamiento de agua tienen muchos puntos en común y pueden parecer en principio muy similares a las de fontanería y calefacción, sin embargo, presentan diferencias significativas que afectan a aspectos relacionados con las temperaturas máximas que se pueden alcanzar y con la seguridad que deben conocerse y que se destacan en el documento. Dichas temperaturas máximas se producen debido a que el funcionamiento del generador de calor, el campo de captación solar, no se puede adaptar a la demanda como ocurre en el caso de las calderas, sino que, por el contrario, siempre produce calor mientras exista radiación solar.

Figura 1: Ejemplos de circuitos primarios con purgadores manuales que mejoran la estanqueidad y facilitan las labores de mantenimiento

Se destacan los dos principales puntos relacionados con el diseño y funcionamiento de las instalaciones que deben tenerse en cuenta:

- Disponer de circuitos primarios estancos: La mayor fiabilidad y disponibilidad de uso de las instalaciones se consigue cuando los circuitos primarios son completamente estancos y no tienen pérdidas de fluido. Esto se puede conseguir sustituyendo los purgadores automáticos por sistemas manuales, evitando la actuación de válvulas de seguridad mediante un correcto dimensionado de los sistemas de expansión, utilizando uniones entre elementos especiales para soportar las elevadas temperaturas que se generan, etc.
- Disponer de protocolos de vigilancia y mantenimiento adecuados: Las operaciones de vigilancia y de mantenimiento son habitualmente mucho más sencillas de lo que parecen y, normalmente, los problemas de mantenimiento surgen en las instalaciones que han sido mal proyectadas o ejecutadas.

1.2 Configuraciones

La selección de la configuración de la instalación solar térmica es un aspecto clave para que esta se adapte a las necesidades de uso exigidas por los usuarios o por el edificio y se alcance un adecuado balance técnico-económico. La selección más adecuada debería hacerse en base a experiencias previas, propias o de terceros, considerando las siguientes recomendaciones:

Instalaciones inferiores a 7 kW (10 m^2):

- Utilizar sistemas prefabricados elimina el riesgo de realizar un mal diseño y simplifica su montaje.
- La selección entre sistemas termosifón o de circulación forzada está condicionada por las características constructivas del edificio y también por la radiación solar y la temperatura del lugar donde se encuentre la instalación que afecta a sus prestaciones.

Instalaciones de mediano tamaño entre 7 y 70 kW (10 y 100 m^2):

- Emplear sistemas de intercambio de calor interiores al acumulador para las instalaciones de menor tamaño (de 7 a 35 kW) tanto por razones económicas como por reducir el mantenimiento.
- En las instalaciones más grandes es recomendable emplear sistemas de intercambio externo (entre 35 y 70 kW). Cuando se utilizan intercambiadores de placas es necesario tener en cuenta sus necesidades de limpieza para evitar las incrustaciones calcáreas en el caso de aguas duras.

Instalaciones de mediano o gran tamaño, superiores a 70 kW (100 m^2):

- La utilización de acumuladores de inercia en lugar de acumuladores de agua caliente sanitaria puede compensar económicamente a medida que aumenta el tamaño por los menores costes de inversión (el menor coste del acumulador de inercia compensa al coste adicional de intercambiador y bomba), por reducir el volumen sujeto a prevención de legionelosis y por disminuir las necesidades de mantenimiento.

Para las instalaciones en edificios multivivienda:

- La configuración más eficiente, con menos costes de explotación y que supone una menor inversión es aquella en la que tanto la instalación solar como el sistema de apoyo se encuentran completamente centralizados siempre que estos estén bien diseñados y ejecutados. Con esta configuración se debería prever un sistema automático de medida de caudales y distribución de gastos.
- Cualquier otra configuración alternativa ofrece diferentes ventajas e inconvenientes tanto de ejecución como de explotación que deben ser evaluadas en cada caso.
- Es muy importante evaluar correctamente las pérdidas térmicas de este tipo de instalaciones.

1.3 Componentes y materiales

Una correcta selección de materiales y componentes a utilizar en instalaciones solares garantizará que ésta se adapte de forma óptima a las condiciones de uso de la aplicación abastecida y asegurará su durabilidad en el tiempo.

Para aplicaciones de Agua Caliente Sanitaria es difícilmente justificable la utilización de otros captadores distintos a los de baja temperatura (normalmente planos), ya que para los incrementos moderados de temperatura que se requieren, no se justifica la utilización de captadores de alto rendimiento. En la selección del tipo de captador solar para las restantes aplicaciones debe tenerse en cuenta, principalmente, cuál va a ser la temperatura de trabajo de la instalación que a su vez está ligada a la aplicación a la que va a abastecer. Altas temperaturas de operación requerirán el uso de captadores con mejores curvas de rendimiento que permitan proporcionar saltos térmicos significativos.

En relación con los acumuladores solares para ACS, es necesario prestar especial atención a las temperaturas máximas que los revestimientos interiores de protección pueden soportar y evaluar las garantías relacionadas con la resistencia y durabilidad de los materiales utilizados.

Antes de seleccionar el resto de componentes y teniendo en cuenta el esquema completo de la instalación, es necesario definir las temperaturas y presiones, máximas y mínimas, que se van a alcanzar en cada uno de los tramos de los circuitos, así como la parte de los mismos y los componentes que van a quedar situados en el exterior.

Se precisa conocer las especificaciones de los materiales utilizados en intemperie para poder determinar si se cumplen con los requisitos de resistencia a las condiciones extremas y condiciones exteriores que deban de soportar. En especial, es necesario prestar atención a la elección del aislamiento y su protección contra agentes exteriores (radiación UV, lluvia, acción de animales, etc.) así como analizar soluciones de mejor calidad, estética y durabilidad de las que habitualmente se implementan porque, aunque en un principio sean más costosas, se rentabilizan a largo plazo ya que disminuye en gran medida la necesidad de mantener y reparar el aislamiento instalado a la intemperie.

Es necesario, asimismo, revisar la compatibilidad de todos los componentes y materiales utilizados con los fluidos de trabajo que se vayan a utilizar ya sea el agua de la red o una mezcla anticongelante.

1.4 Condiciones de trabajo

Una diferencia fundamental entre las instalaciones solares y el resto de instalaciones térmicas está relacionada con las condiciones de trabajo tanto de temperaturas como de presiones. Es el proyectista quién define las condiciones extremas de funcionamiento, tanto máximas como mínimas, a las que puede llegar la instalación sin sobrepasarlas en ningún caso y sin que afecten al funcionamiento normal adoptando las medidas adecuadas. A estos efectos es importante que la decisión que se adopte relacionada con la posibilidad de permitir o no la formación de vapor en el circuito primario ya que de esa decisión dependerán en gran medida los materiales a utilizar, las estrategias de control, etc.

La utilización de materiales plásticos requiere un especial cuidado por los efectos que sobre ellos pueda producir la acción combinada de condiciones extremas de temperatura y presión. Es necesario considerar a esos efectos, no solamente la resistencia y durabilidad de la tubería, sino también la estanqueidad de los accesorios de conexión, las altas variaciones diarias de temperatura y que en el circuito pueda producirse vapor.

Si el circuito primario, sea convencional o de vaciado automático, es un circuito cerrado y estanco que no da lugar a tener que realizar reposiciones se evitaran los problemas de dilución de la mezcla anticongelante, aporte de oxígeno, etc.

En caso de ser necesario tener que utilizar anticongelante, su elección debe tener en cuenta la temperatura máxima que se puede alcanzar porque existe el riesgo de que éste se pueda degradar perdiendo sus propiedades anticongelantes.

1.4.1 Flujo inverso

El flujo inverso se produce porque el acumulador solar está a temperaturas superiores a las del entono donde se ubica y porque puede impulsar movimientos de fluido por circulación natural que, si no se adoptan las medidas necesarias, contribuyen a aumentar las pérdidas térmicas del mismo y por tanto provocar su enfriamiento.

Se pueden distinguir los siguientes tipos:

1. El efecto de flujo inverso, el habitualmente más conocido, es el movimiento en sentido contrario al movimiento habitual de circulación del circuito primario que se evita con la válvula de retención de la bomba de ese circuito. El agua caliente acumulada en la parte superior del acumulador circularía hacia los captadores y retornaría a la parte baja del acumulador por la parte inferior disipando la energía acumulada con el ambiente exterior. La principal precaución que debe adoptarse es verificar el completo cierre de la válvula de

retención y establecer un control de las temperaturas en puntos alejados del acumulador en el plan de vigilancia.

2. También puede producirse circulación natural en el interior de una misma tubería a partir de las conexiones con el acumulador, especialmente cuando estas tuberías son de gran diámetro. En el caso de conexión vertical la circulación ascendente del fluido caliente se produce por la parte interna y la descendente por la parte exterior. En el caso de tuberías horizontales la circulación caliente se realiza por la parte superior y la del fluido frío por la parte inferior de la misma tubería (ver apartado 4.5).
3. Por último, es preciso señalar que el aumento de temperatura del acumulador solar crea una sobrepresión en el mismo que, cuando los puntos de consumo se mantienen cerrados, tiende a evacuarse por la tubería de alimentación de agua fría lo que puede generar un flujo inverso en la tubería de alimentación si no se dispone de la correspondiente válvula antirretorno.

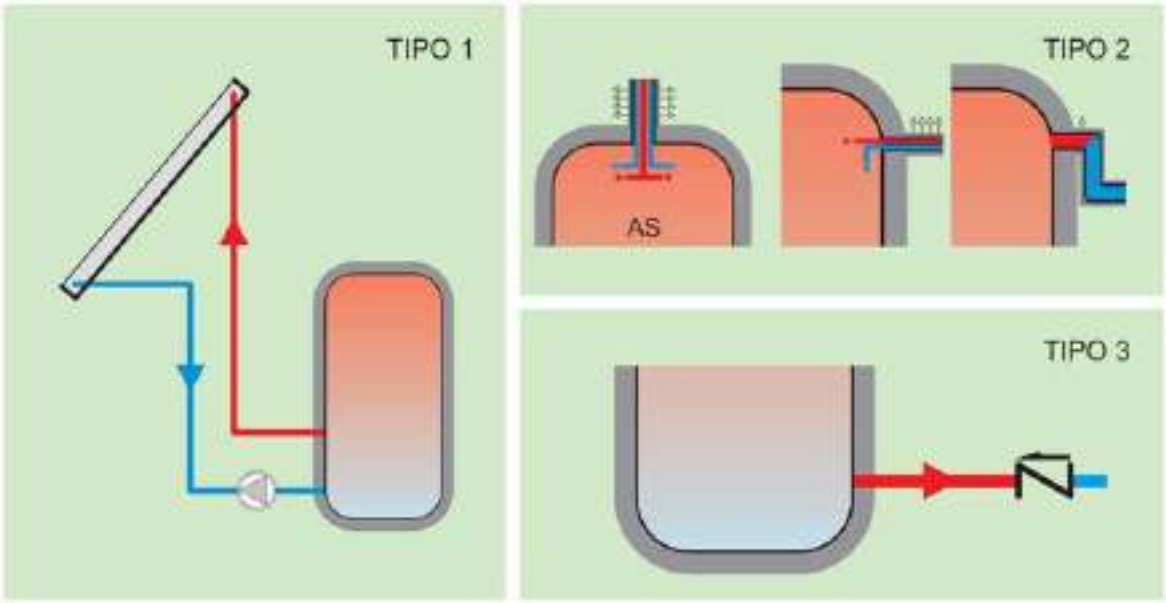


Figura 2: Tipos de flujo inverso que pueden aumentar las pérdidas térmicas del acumulador

1.4.2 Sistemas de protección

Las instalaciones solares pueden producir ACS a temperaturas superiores a 60ºC por lo que deben utilizarse dispositivos de protección del usuario frente altas temperaturas, como válvulas mezcladoras termostáticas que protejan el circuito de distribución y a los usuarios. Por otro lado, los captadores solares deben ser confinados en una zona técnica, solamente accesible a personal técnico autorizado, ya que la superficie exterior del captador (cubierta o carcasa) pueden alcanzar temperaturas muy elevadas y producir quemaduras.

La protección de la instalación frente a altas temperaturas siempre será de seguridad intrínseca para que la instalación pueda volver a su estado normal de funcionamiento sin que el usuario tenga que hacer ninguna actuación. El sistema utilizado puede ser alguno de los siguientes:

- Permitir la formación de vapor en el interior del circuito primario calculando y diseñando adecuadamente el sistema de expansión para que este pueda absorber todo el volumen de

líquido contenido en los captadores solares (que será desplazado por el vapor formado) a la vez que se protege adecuadamente el vaso de las altas temperaturas producidas en la instalación.

- Impedir la formación de vapor en el circuito primario diseñándolo para trabajar a una presión de trabajo siempre superior a la presión de vapor del fluido a la temperatura máxima.
- Diseñar el circuito con drenaje automático que garantice que, en las condiciones extremas de funcionamiento, no exista fluido de trabajo en los captadores.

La protección contra heladas en localidades de riesgo de heladas elevado se realizará mediante el uso de mezclas anticongelantes en circuitos primarios indirectos o mediante el drenaje automático de circuitos. En los casos de riesgo medio de heladas se podrá utilizar, además de los anteriores, un sistema de protección mediante recirculación del fluido.

1.5 Incorporación en los edificios

Las instalaciones solares deben de procurar en la medida de lo posible que su incorporación en la edificación suponga una alteración favorable para el edificio donde se emplazan, tanto a nivel estético como de diseño. Idealmente, las instalaciones solares deben ser parte integrante del edificio e incluso mejorar su estética.

Para una adecuada integración arquitectónica de pequeñas instalaciones en los edificios es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Buscar un lugar continuamente soleado para la superficie de captación y lo más cercano posible al sistema de acumulación, al sistema de apoyo y a los puntos de consumo.
- Orientar los captadores solares siempre que se pueda al Sur geográfico siempre intentando conseguir la mejor integración arquitectónica y sabiendo que desviaciones de hasta ± 45º, respecto del Sur no afectan significativamente a las prestaciones de la instalación.
- Diseñar la disposición del campo de captación para que no tenga sombras y así evitar problemas de funcionamiento. Se recomienda utilizar herramientas simplificadas para su justificación.

Figura 3: Cubiertas de un hospital antes y después de implantar la instalación solar térmica

022

Para conseguir una adecuada integración arquitectónica de grandes instalaciones, es necesario añadir a las observaciones anteriores, que siguen siendo válidas, que el sistema de captación debe disponerse siempre que sea posible en baterías de igual tamaño que deben estar distribuidas de forma homogénea en el espacio disponible.

Para una mejor integración en un sistema de producción de ACS, el equipo de apoyo siempre debería estar conectado en serie con el equipo solar de forma que la temperatura de entrada al sistema de apoyo sea la de salida de la parte solar. La temperatura de preparación del sistema de apoyo debería ser lo más baja posible, compatible con la demanda y los requisitos sanitarios, y no reducir el caudal de consumo a través del sistema solar, por la acción de una válvula termostática mezcladora, que penalizaría el rendimiento y las prestaciones energéticas. El sistema de apoyo, además, debería ser un sistema capaz de modular su aporte energético en función de la temperatura de entrada que recibe.

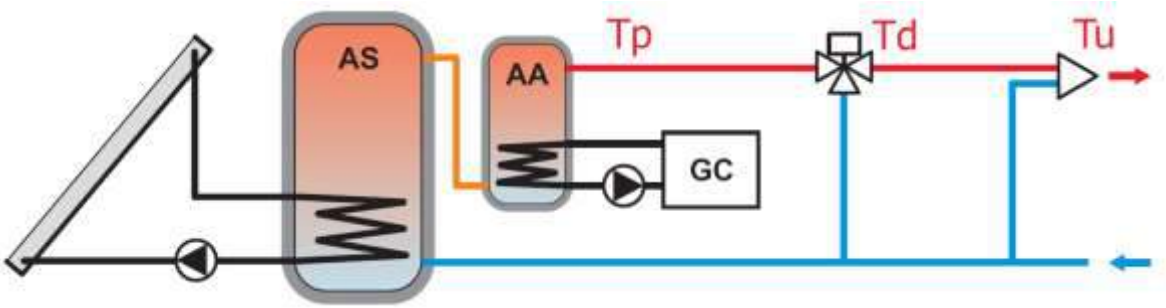


Figura 4: Temperaturas en una instalación de producción de ACS

En aquellas instalaciones de producción de agua caliente en las que se deban adoptar medidas para prevención de la legionelosis, los materiales y equipos de los acumuladores y de los circuitos de agua caliente sanitaria deben estar diseñados para que se pueda realizar el tratamiento de choque térmico a 70ºC. En estos casos se debe impedir, utilizando la válvula termostática correspondiente, que esa temperatura pueda llegar a los puntos de consumo cuyo tratamiento térmico es a 50ºC.

En instalaciones con grandes variaciones del consumo, el aporte solar podría reducir el consumo energético producido por el circuito de recirculación y una posible forma de solucionarlo es utilizando una válvula de tres vías de forma que cuando el acumulador solar esté más caliente que el retorno, éste sea conducido a través del solar.

Se resaltan otros aspectos relacionados con la integración de las instalaciones solares en los edificios que es necesario considerar:

- Siempre existirá la necesidad de evacuar fluidos al exterior de la instalación (actuación de válvulas de seguridad, drenajes, etc.) que pueden producirse a altas temperaturas por lo que deberá verificarse la resistencia a éstas de las redes de saneamiento.
- A veces puede ser necesario un sistema de recogida de agua de condensación en captadores.
- Adoptar las medidas necesarias para protección del usuario, limitación de acceso a determinados recintos, etc. y para que resulten simples las actividades de uso y vigilancia.

- Disponer de una adecuada y segura accesibilidad del mantenedor a todas las partes del circuito disponiendo de las necesarias servidumbres de paso, registros, pasarelas, líneas de vida, etc. necesarias para poder realizar todas las operaciones previstas de operación y mantenimiento.

1.6 Diseño hidráulico y térmico

1.6.1 Sistema de captación

En relación con el diseño del sistema de captación:

- Homogeneizar la disposición del campo de captadores: lo más adecuado sería utilizar baterías y trazados iguales. Optimizar el número de captadores de las baterías y el tipo de conexionado entre ellas considerando los criterios del fabricante.
- Minimizar los recorridos del circuito primario: menos coste, menos pérdidas, menos problemas.
- Reducir la valvulería del primario al mínimo imprescindible, ya que casi siempre ésta se instala en el exterior.

1.6.2 Sistema de acumulación

El sistema de acumulación debe disponer de un volumen suficiente para almacenar toda la energía captada diariamente por el sistema de captación solar siendo recomendable al menos disponer de una relación entre volumen de acumulación V en litros y superficie de captadores A en m^2 de V/A = 75 litros/m^2.

Es recomendable que todo el volumen de acumulación se disponga en un único acumulador, vertical e instalado en el interior del edificio. En el caso de tener que utilizar varios acumuladores, debe estudiarse el funcionamiento con detalle y se debe de analizar qué tipo de conexionado hidráulico es más adecuado, en serie o paralelo.

En los sistemas de acumulación distribuida, es necesario minimizar las pérdidas térmicas de los acumuladores que serán en general mayores que en el caso de los sistemas de acumulación centralizada, considerando la calidad del aislamiento, y tratando en la medida de lo posible de que su ubicación sea interior y no exterior, etc.

Los sistemas de energía auxiliar incorporados en el acumulador solar pueden suponer una mejora significativa del rendimiento global de la instalación solar si se diseñan y se utilizan adecuadamente. Es necesario que sean de configuración vertical, que se puedan diferenciar los dos volúmenes solar y auxiliar y cumplir las condiciones que se detallan en el capítulo 6.

1.6.3 Sistema de intercambio

La correcta definición de los parámetros de diseño de un intercambiador externo, tales como la potencia, caudales, salto térmico de cada circuito, etc. deben ser seleccionados conforme a su

aplicación y, para no reducir el rendimiento de la instalación, es fundamental que su efectividad no sea inferior a 0,7.

En el caso de intercambiadores internos la potencia de intercambio es proporcional a la superficie del intercambiador incorporado en el acumulador solar. La superficie de intercambio recomendada debe ser superior a 0,2 m^2 por cada m^2 de superficie de captación.

En los sistemas de intercambio distribuido en edificios multivivienda, además de las condiciones de diseño y eficiencia, es muy importante garantizar que por cada intercambiador individual se garantice el caudal nominal correspondiente en el primario que asegure el correcto salto térmico en el intercambiador, aunque el caudal total del circuito de distribución se calcule aplicando los coeficientes de simultaneidad correspondientes.

1.6.4 Circuito hidráulico

Una vez definidos los caudales correspondientes al esquema de principio de la instalación elegido, es necesario destacar algunos aspectos relacionados con el diseño y dimensionado de los circuitos hidráulicos de las instalaciones solares:

- La necesidad de racionalizar el consumo eléctrico de las bombas dimensionando correctamente las bombas de circulación.
- Utilizar solo las válvulas que se consideren imprescindibles para un correcto mantenimiento.
- Los sistemas de llenado de agua de red deben disponer de una válvula de corte que debe permanecer normalmente cerrada y los de llenado con anticongelante, encargados de introducir la mezcla de forma manual o automática, no deben tener ningún sistema de llenado directo del circuito con agua de red.
- Se recomienda el uso de sistemas de purga manuales. Evitar el uso de los automáticos y, en caso de utilizarlos, instalar válvulas de corte que permanezcan cerradas para evitar la salida de vapor o la entrada de aire.

El proyectista debe establecer los sensores necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones solares, así como para poder vigilarlas, evaluarlas y mantenerlas correctamente. El diseño de estos sistemas debe ser proporcional al tipo de instalación al que sirven, desde el equipo más sencillo, como puede ser un equipo termosifónico, hasta la solución más compleja, grandes instalaciones solares por elementos con varios circuitos. En este último caso deben considerarse las ventajas de disponer de un sistema de telemonitorización que permita optimizar la operación de la instalación y efectuar un mantenimiento efectivo. Es necesario tener presente lo establecido en la normativa vigente en lo referente a suministrar de los medios necesarios a los usuarios de las instalaciones para que estos puedan estar al tanto de su correcto o mal funcionamiento. Se resalta la necesidad de prever dispositivos de medida que permitan detectar si se están produciendo flujos inversos, así como de verificar el correcto equilibrado de los diferentes circuitos (baterías de captadores o acumuladores conexionados en paralelo) o la circulación por ramales alternativos a circuitos dotados con válvulas de tres vías.

Dada la importancia del aislamiento térmico en las prestaciones energéticas de la instalación se resalta que la calidad y espesor de aislamiento que se establezca debe extenderse a todos los

accesorios, válvulas y componentes del circuito. Un correcto aislamiento debería impedir que fuera posible tocar ninguna superficie caliente de la instalación.

El control de funcionamiento normal de las bombas, tanto del primario como del secundario, siempre debería ser de tipo diferencial, actuando en función del salto de temperatura entre la salida de una batería de captadores y el acumulador solar. Es muy conveniente que las funciones de protección de la instalación solar estén integradas en el mismo sistema de control.

1.7 Calculo de prestaciones energéticas

Las instalaciones solares térmicas deben tener el rendimiento suficiente que las haga económicamente viables. Dicha viabilidad debe determinarse a través de una adecuada valoración de sus prestaciones energéticas que debe a su vez basarse en cálculos que partan de parámetros objetivos y fiables.

Desde el punto vista del cálculo de prestaciones energéticas de las instalaciones solares térmicas para agua caliente sanitaria cabe diferenciar dos objetivos que definen las condiciones a satisfacer:

1. Cumplimiento de requisitos mínimos establecidos por la normativa local, regional o nacional en caso de existir. El cálculo debe comprobar que la instalación proyectada cumple con todos los requisitos y niveles de exigencia normativos verificando que se realiza en las mismas condiciones para cualquier otra tecnología lo que puede requerir la comparación con otros sistemas de producción térmica (calderas convencionales, de biomasa, bomba de calor, etc.).
2. Optimización y comparación entre distintos tipos de instalaciones solares térmicas. El cálculo debe permitir la selección de la mejor solución para una determinada aplicación comparando las configuraciones posibles, tipos de captadores, sistema de acumulación, superficie de captación y volumen de acumulación, así como el resto de componentes y condiciones de funcionamiento de la instalación.

En cualquiera de los casos y para que las soluciones sean comparables, es necesario que los datos de partida para realizar los cálculos sean los mismos:

- Los parámetros de uso con los que se determina la demanda energética de ACS, esto es el caudal de consumo de agua caliente a una determinada temperatura y las temperaturas de agua fría.
- Los parámetros climáticos de radiación solar y temperatura ambiente que deberán estar referenciados a bases de datos de fuentes oficiales.
- Los criterios para calcular las pérdidas térmicas de las instalaciones, evaluar las demandas y consumos energéticos.

A efectos de verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por la normativa, se deben definir criterios y procedimientos que permitan evaluar y comparar las tecnologías de producción de energía térmica, tanto fósiles como renovables, por lo que el proyectista debe considerar en su análisis:

- El uso de métodos de dimensionado y cálculo validados por modelos de simulación y contrastados con medidas experimentales.
- La utilización de parámetros de diseño de los componentes de las instalaciones que sean resultados de ensayo realizados o validados por terceras partes.
- Datos de funcionamiento reales de las instalaciones que permitan contrastar que se van a alcanzar los resultados previstos.

Existen métodos de simulación y cálculo suficientemente validados que se podrían utilizar para comparar las diferentes tecnologías empleando los mismos datos de partida, aunque en la práctica, se tenderá a utilizar métodos simplificados específicos para cada tecnología cuya validez habría que contrastar para determinar su equivalencia.

Los métodos de cálculo simplificados f-Chart y Metasol se consideran los más representativos y aplicables al dimensionado de instalaciones solares ya que se trata de programas simples que, en base a valores medios mensuales y que, utilizando los parámetros de entrada más significativos como el tipo y números de captadores, volumen de acumulación, etc. tienen precisión suficiente respecto al resultado de una simulación en base anual. El uso de estos métodos es muy recomendable teniendo en consideración las diferencias entre ellos y las limitaciones fundamentales como son los tipos de configuración en los que son aplicables, tamaño de instalación y la contabilización de las pérdidas térmicas.

1.8 Montaje, pruebas y puesta en marcha

El montaje de una instalación solar es una fase crítica a la que hay que prestar una atención especial. La correcta selección de soldaduras a realizar, anclaje y ubicación de equipos, pendientes de circuitos, etc. es clave para garantizar su correcto funcionamiento.

Es necesario realizar un adecuado replanteo antes de iniciar el montaje de una instalación solar térmica vigilando el cumplimiento de las especificaciones de proyecto, la normativa vigente y las indicaciones de los fabricantes de cada subsistema o componente.

Una vez completado el montaje, se deben realizar todas las pruebas y ajustes especificados en la normativa, pliegos de condiciones, etc., antes de proceder a la puesta en marcha de la instalación. Cabe resaltar la importancia de realizar las pruebas de estanqueidad de todos los circuitos hidráulicos y las pruebas de estancamiento del circuito primario.

Una vez realizadas las pruebas, es preciso prestar especial atención en la realización de las operaciones de limpieza, llenado, purga de aire y de presurización de circuitos para empezar a funcionar. Y una vez puesta en marcha la instalación, realizar todas las comprobaciones y ajustes, así como todas las pruebas de funcionamiento que se indican: encendido y apagado diario, evolución diaria de temperaturas, entrega de agua caliente y sistemas de protección de la instalación.

1.9 Operación, uso y mantenimiento

Es imprescindible realizar un adecuado uso, operación y mantenimiento de las instalaciones solares para maximizar su aprovechamiento energético, aumentar su disponibilidad y prolongar su vida útil. Las instalaciones solares térmicas tienen ciertas características particulares que hacen necesario que los planes de vigilancia y mantenimiento incluyan esos aspectos que las diferencian de las instalaciones convencionales de manera específica. Se dispone de experiencias instalaciones solares que han funcionado durante más de 25 y 30 años con un adecuado mantenimiento y también de instalaciones descuidadas y sin mantenimiento que a los pocos años se vuelven inservibles. Sirva de ejemplo el caso las instalaciones que se quedan sin anticongelante y cuyos captadores sufren roturas por una helada.

Hay que resaltar la necesidad de disponer de un adecuado Manual de Instrucciones (MI) con toda la información de la que deben disponer el usuario y el mantenedor para asegurar el correcto uso y funcionamiento de la instalación y para que funcione con la máxima eficiencia energética, garantizando la seguridad, la durabilidad y la protección del medio ambiente.

El plan de vigilancia establece la forma de realizar el seguimiento del funcionamiento para tener la seguridad de que los valores operacionales de la instalación sean correctos y prever que las prestaciones esperadas se adecuan a las previsiones. A esos efectos, los procedimientos se establecen en función de los sistemas de medida disponibles y se establece el criterio de decisión relativo a si la vigilancia la realiza un operador del servicio de mantenimiento o el propio usuario. Se distinguen varios niveles de seguimiento:

- Observación simple de los principales indicadores y parámetros de funcionamiento.
- Sistema electromecánico de avisos
- Sistema de tele-monitorización

Para la vigilancia manual o automática de la instalación, se pueden detallar los indicadores a utilizar para controlar el correcto funcionamiento de la instalación solar:

1. Presión del circuito primario
2. Sistema de control
3. Circulación de fluidos
4. Transferencia de calor y temperaturas de funcionamiento
5. Medida de energía y del rendimiento

El programa de mantenimiento debe incluir las operaciones necesarias para que el sistema funcione correctamente y con seguridad durante su vida útil y prolongar ésta lo máximo posible. Debe resaltarse, como ya se indicó, que es mucho más sencillo de lo que parece; sobre todo, si se eliminan las prácticas de corregir defectos y errores de diseño o ejecución de las instalaciones como, por ejemplo, la calidad de la protección del aislamiento al exterior, la existencia de fugas, etc.

Del plan de mantenimiento preventivo con actividades recomendadas que se incluye, se resalta la necesidad de generar una lista de chequeo específica para cada instalación. Debe resaltarse que

022

las actividades principales suelen ser la limpieza y cuidado de la protección interior del acumulador y el estado de conservación de la mezcla anticongelante del circuito primario.

En resumen, en esta guía:

Los capítulos 1 al 9 analizan con detalle las instalaciones de energía solar térmica para calentamiento de ACS:

1. **Resumen ejecutivo**
2. **Configuraciones**
3. **Componentes y materiales**
4. **Condiciones de trabajo**
5. **Incorporación de instalaciones solares térmicas en edificios**
6. **Diseño hidráulico y térmico**
7. **Calculo de prestaciones energéticas**
8. **Montaje, pruebas y puesta en marcha**
9. **Operación, uso y mantenimiento**

En el resumen ejecutivo (capítulo 1) se describen los criterios técnicos más significativos que se analizan con más detalle en los capítulos posteriores.

Los capítulos 10 al 13 se incorporan las observaciones específicas de las restantes aplicaciones de la energía solar térmica en edificación:

10. **Calentamiento del agua del vaso de piscinas,**
11. **Calefacción solar,**
12. **Refrigeración solar**
13. **Climatización urbana.**

El capítulo 14 incluye documentación de referencia, formatos y datos

2 Configuraciones

En este apartado se establecen, exclusivamente para las instalaciones solares de producción de ACS, definiciones para los diferentes tipos de instalación solar térmica, las denominaciones que se recomienda utilizar, así como las posibles configuraciones a emplear y los criterios para su selección.

Las configuraciones recogidas en esta guía corresponden a esquemas suficientemente probados de manera que su utilización, de forma adecuada, maximizará la fiabilidad del funcionamiento de las instalaciones solares, aunque es necesario tener en cuenta que no es suficiente la correcta selección de una configuración determinada para garantizar el buen funcionamiento de una instalación. Asimismo, pueden existir otras configuraciones que no estén incluidas en la presente guía cuyo uso sea factible pero que para generalizar su implantación requeriría de disponer de una mayor experiencia en su utilización que permitiera verificar su fiabilidad, evaluar la idoneidad de sus estrategias de funcionamiento, así como definir los criterios de integración de los distintos componentes. En general, el diseño debe evitar la complejidad ya que las configuraciones más sencillas acostumbran a dar como resultado instalaciones más fiables.

2.1 Tipologia y tamaños de las instalaciones

2.1.1 Sistemas solares prefabricados y sistemas solares a medida

En las normas europeas UNE-EN de energía solar térmica elaboradas por el comité técnico de normalización AEN/CTN 94 se distinguen dos categorías de instalaciones denominadas sistemas solares de calentamiento prefabricados y sistemas solares de calentamiento a medida. La clasificación como sistema prefabricado o a medida es una elección del suministrador final de los equipos, de acuerdo con las siguientes definiciones:

2.1.1.1 Sistema solar prefabricado

Un sistema solar prefabricado, también denominado sistema solar térmico (en adelante, SST), es una instalación de aprovechamiento de energía solar para producción de agua caliente sanitaria destinada, normalmente, a satisfacer pequeños consumos. El SST está fabricado mediante un proceso estandarizado que presupone resultados uniformes en prestaciones, se ofrece en el mercado bajo un único nombre comercial y se vende como una unidad directamente preparada para su instalación. El SST puede estar constituido por un único componente integral, o bien, por un conjunto de componentes normalizados en cuanto a características, ensamblaje y configuración. El SST debe ser ensayado como una unidad completa para certificar su eficiencia, durabilidad, etc., proporcionando resultados representativos para todos los sistemas con la misma marca, componentes, configuración y dimensiones. Si un sistema prefabricado es modificado alterando su configuración o cambiando uno o más de sus componentes, el sistema

modificado se considera como un nuevo sistema, para cuya caracterización sería necesario realizar un nuevo ensayo.

2.1.1.2 Sistema solar a medida (IST)

Los sistemas solares de calentamiento a medida, también denominados instalaciones solares térmicas (en adelante, IST), están definidos como sistemas construidos de forma única o montados eligiéndolos de una lista de componentes. Las IST son consideradas como un conjunto de componentes que se ensayan de forma separada y los resultados de los ensayos se integran en una evaluación del sistema completo.

Los sistemas solares de calentamiento a medida se subdividen en otras dos categorías:

- **Sistemas pequeños a medida** forman parte del catálogo de un fabricante de productos, en el cual se especifican todos los componentes y posibles configuraciones de los sistemas. Cada posible combinación de componentes que conforma una configuración de la lista se considera un solo sistema a medida.
- **Sistemas grandes a medida** que son diseñados de forma única para una situación específica. En general son diseñados por ingenieros, fabricantes y otros expertos.

2.1.2 Clasificación de instalaciones solares térmicas por tamaños

A los efectos de analizar las características y configuraciones de las instalaciones solares térmicas, éstas se pueden diferenciar en función de su superficie conforme a la siguiente clasificación que va a ser utilizada posteriormente para explicación de las características más importantes de cada una de ellas.

En el siguiente cuadro se resumen las principales características de las instalaciones en función de su clasificación por superficie, en cuanto al volumen de acumulación, sistema de circulación e intercambio, número de bombas:

Tamaños de instalación	**Pequeñas**	**Medianas**	**Grandes**
Superficie captación (A en m^2)	A ≤ 10	10 ≤ A < 100	A ≥ 100
Potencia solar (Ps) en kW (Ps = A * 0,7 kW/m^2)	Ps < 7	7 ≤ Ps < 70	Ps ≥ 70
Volumen acumulación aproximado V en litros	V < 1.000	1.000 ≤ V < 10.000	V ≥ 10.000
Denominación	Sistemas SST	Instalaciones IST	
Según normas	Prefabricados	A medida	
Circulación	Natural	Forzada	
Intercambio	Interno	Interno o externo	Externo
Bombas	-	Simple	Simple o Doble

Tabla 1: Principales características de instalaciones solares térmicas clasificadas por tamaño

2.2 Definición de sistemas y circuitos de las instalaciones solares térmicas

Las diferentes partes de una instalación solar térmica se pueden dividir en una serie de sistemas caracterizados por la función que realizan.

Se establece la denominación de los sistemas y circuitos que componen una instalación solar térmica para ACS que, en el caso más general, pueden estar constituidas por 7 sistemas básicos y 2 sistemas de interconexión. Los sistemas básicos son: Sistema de captación, dos sistemas de intercambio, dos sistemas de acumulación, sistema de apoyo y sistema de consumo. Los sistemas de interconexión son el sistema hidráulico y el sistema de control. Todos se describen a continuación.

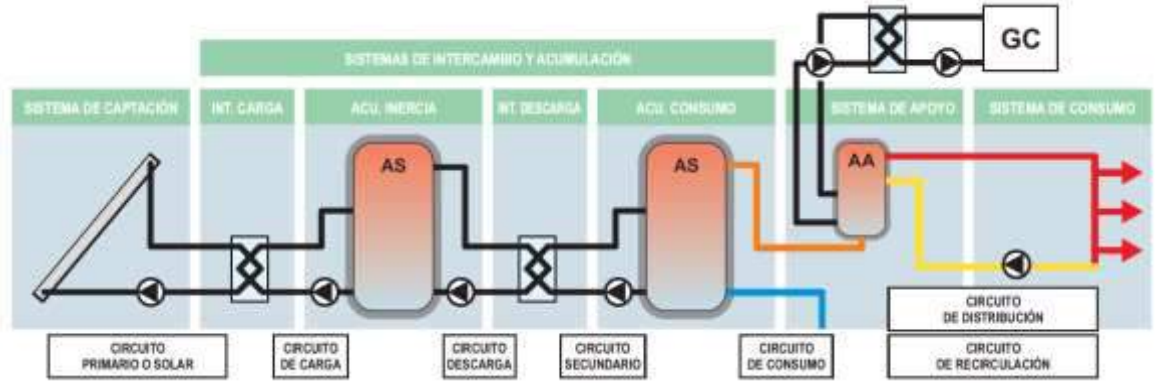


Figura 5: Esquema general de una instalación solar térmica

El **sistema de captación** se encarga de transformar la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura de un fluido de trabajo que circula por el circuito denominado como primario.

Los **sistemas de intercambio** realizan la transferencia de calor entre distintos circuitos. Esta transferencia se puede efectuar directamente desde el circuito primario al agua de consumo mediante un único sistema de intercambio, o bien a través de dos sistemas de intercambio entre los cuales se inserta una acumulación solar de inercia. Se pueden distinguir dos tipos de intercambio:

- Intercambio solar o de carga. Que transfiere la energía del circuito primario al circuito de carga o directamente al circuito secundario cuando no haya acumulación de inercia.
- Intercambio de descarga. Que transfiere el calor del acumulador de inercia al agua de consumo. Cuando no exista acumulación de consumo, el intercambio de descarga se denomina de consumo.

En cualquiera de los dos casos el intercambiador puede ser interno, cuando se incorpora dentro del acumulador correspondiente, o externo cuando es un componente independiente de la instalación.

022

Los **sistemas de acumulación** almacenan la energía térmica hasta que se precise su uso. Fundamentalmente se utiliza la acumulación de calor sensible en líquido o agua caliente. Pueden ser:

- Acumulación de inercia. Utiliza un fluido intermedio en circuito cerrado que no se consume directamente que normalmente es agua y que no precisa tratamiento sanitario.
- Acumulación de consumo. Contiene siempre agua para consumo humano que debe tener la calidad sanitaria correspondiente.

El **sistema de apoyo** complementa el aporte solar suministrando la energía adicional necesaria para cubrir el consumo previsto

El **sistema de consumo** está constituido por el conjunto de equipos y componentes a través de los cuales se satisface la demanda de agua caliente sanitaria; básicamente está constituido por la grifería y aparatos sanitarios que se utilizan para proporcionar el servicio de agua caliente sanitaria.

El **sistema hidráulico** está formado por los circuitos - constituidos por tuberías con su aislamiento, accesorios, bombas, válvulas, etc. - que interconectan los distintos sistemas y que, mediante la circulación de fluidos, producen la transferencia de calor. Se pueden distinguir hasta 7 tipos de circuitos:

- Primario o solar, que transporta la energía térmica en el campo de captación.
- De carga, que realiza el calentamiento del sistema de acumulación de inercia.
- De descarga, que extrae el calor del sistema de acumulación de inercia.
- Secundario, circuito de agua para consumo humano que realiza el calentamiento del sistema de acumulación de consumo.
- De consumo, que comprende desde la entrada de agua fría hasta la salida de agua caliente del sistema de apoyo.
- De distribución, comprende desde la salida de agua caliente sanitaria del sistema de apoyo hasta los puntos de uso.
- De recirculación, canaliza el circuito de retorno desde puntos del circuito de distribución próximos a los de consumo hasta el sistema de apoyo.

El **sistema de control** aplica las estrategias de funcionamiento y de protección organizando el arranque y parada de bombas, las actuaciones de las válvulas de tres vías y cualquier otra actuación electromecánica que se requiera.

2.3 Criterios de clasificación de las pequeñas instalaciones

Las pequeñas instalaciones se pueden clasificar atendiendo a cinco criterios funcionales (principio de circulación, sistema de intercambio, sistema de expansión, contenido de líquido en el circuito y forma de acoplamiento) que se describen a continuación.

2.3.1 Principio de circulación

Se refiere al mecanismo mediante el cual se produce el movimiento del fluido que circula en el circuito primario de captadores, existiendo dos tipos:

- **Circulación natural o termosifón**: el fluido de trabajo circula por convección libre producida por la diferente densidad del fluido caliente y frío.
- **Circulación forzada**: el circuito dispone de una bomba circuladora que produce el movimiento del fluido de trabajo.

Aunque ambas soluciones son admisibles para pequeñas instalaciones, cada una tiene sus ventajas e inconvenientes. Para diversos criterios de evaluación, en el cuadro siguiente se reflejan las características para cada uno de los tipos de circulación:

CRITERIO	CIRCULACIÓN FORZADA	CIRCULACIÓN NATURAL
Bomba de circulación y control	Si necesita	No necesita
Caudales de calentamiento	Normalmente caudal fijo	Función de la radiación solar
Regulación de caudal	Para ajustar saltos temperatura	No es necesaria. Es natural
Posición relativa del captador y acumulador	No afecta al funcionamiento	Acumulador debe situarse más elevado que el captador
Tipo de absorbedor solar	Cualquiera	Debe ser de parrilla
Pérdida de carga componentes	No es importante	Baja facilita el efecto termosifón
Trazado de tuberías	Sin muchos condicionantes	Delicado y con pendientes
Alimentación eléctrica	Si	No
Integración arquitectónica	Más sencilla	Con mayor dificultad
Pérdidas térmicas acumulador	Menores si se instala en interior que es lo más habitual	Mayores si se instala en exterior que es lo habitual
Pérdidas térmicas en circuito	Más en circuito primario	Más en recorridos a consumo
Salto temperatura en captador	Pequeño (normal entre 5 y 10ºC)	Mayor (normal de 10 a 20 ºC)
Temp. máxima acumulador	Necesario sistema de control	Sólo controlable por diseño
Protección anti heladas	Cualquier sistema de protección	Sólo mezcla anticongelante
Coste de la inversión	Normalmente es mayor	Suele ser menor
Coste de mantenimiento	Mayor por control y bomba	No tiene control ni bomba
Coste de explotación	Coste de la energía eléctrica	No tiene costos adicionales

Tabla 2: Comparación de criterios entre los dos tipos de circulación

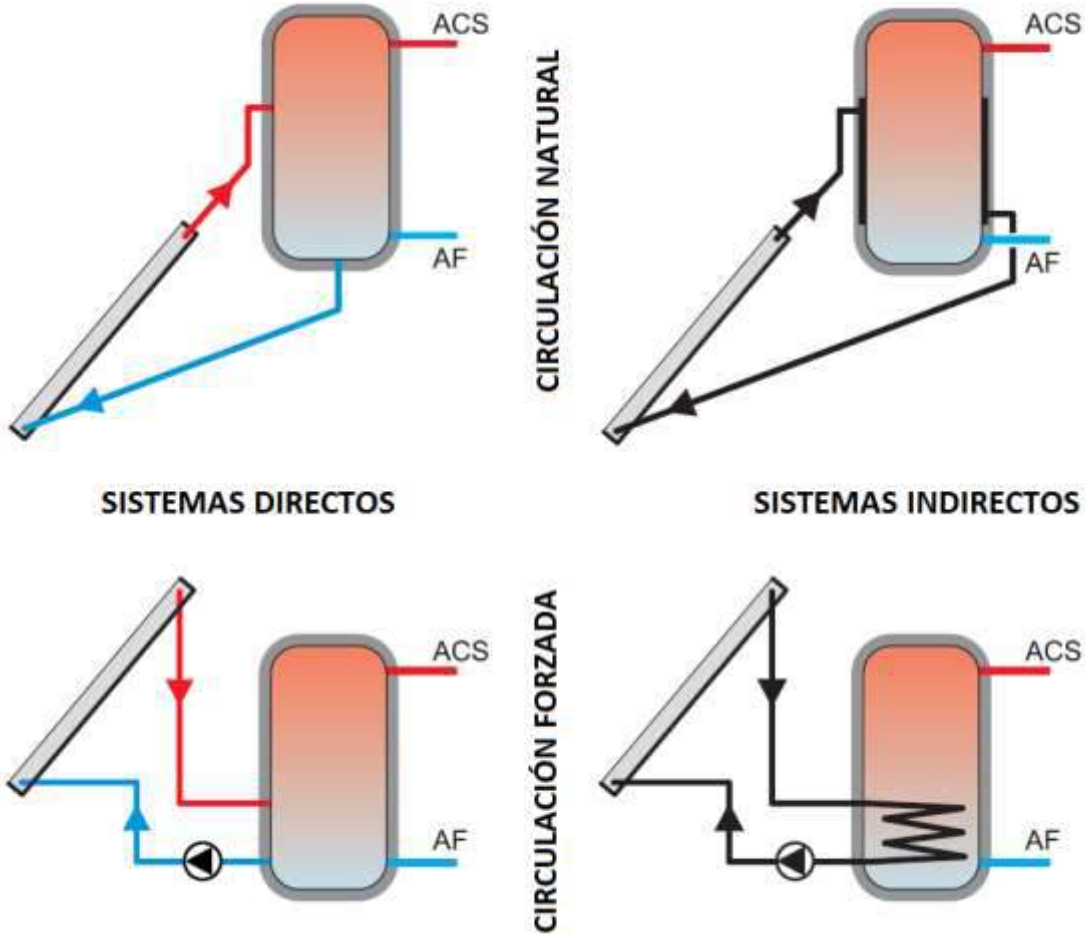


Figura 6: Clasificación por tipos de circulación y por sistemas de intercambio

2.3.2 Sistema de intercambio

Este criterio se refiere a la forma de transferir la energía del circuito primario de captadores al circuito de consumo. Puede dar lugar a:

- **Sistemas directos**: la transferencia de calor es directa ya que la propia agua de consumo es el fluido de trabajo de captadores.
- **Sistemas indirectos**: se mantiene el fluido de trabajo de captadores en un circuito independiente, separado por un intercambiador y sin posibilidad de ser distribuido al consumo.

La utilización de un intercambiador en los sistemas indirectos supone aumentar la temperatura en el circuito primario para compensar la pérdida de efectividad del proceso de transferencia de calor a través de un intercambiador entre captadores y acumulador; si este aumento de temperatura fuera significativo se podría producir una disminución del rendimiento del captador pero el efecto no es importante si el dimensionado y mantenimiento del intercambiador es adecuado.

La utilización del intercambiador está justificada porque elimina o reduce los problemas que surgen en los sistemas directos por depósitos calcáreos, heladas o presiones elevadas en circuito primario por lo que, en general, no se recomienda el uso de los sistemas directos.

En el cuadro siguiente se comparan varios criterios de evaluación:

CRITERIO	SISTEMA DIRECTO	SISTEMA INDIRECTO
Fluido de trabajo	Sólo agua de la red	Agua y el fluido del primario
Presión de trabajo en circuitos	Todo a presión de suministro	Pueden diseñarse los circuitos para presiones distintas
Sistema de llenado	No requiere	Si necesita
Sistema constructivo del conjunto	Más sencillo	Más complejo
Evolución del rendimiento	Empeora con el tiempo	Se mantiene constante
Uso en zonas con riesgo de heladas	Desaconsejado	Recomendado
Uso con aguas muy duras	Desaconsejado	Recomendado
Coste de la inversión	Menor	Mayor
Mayor costo de mantenimiento	Limpieza interna del captador	Fluido del circuito cerrado

Tabla 3: Comparación de criterios entre los dos tipos de intercambio

2.3.3 Sistema de expansión

El fluido de trabajo de cada circuito de las instalaciones solares está sometido a variaciones de temperatura que provocan las correspondientes variaciones de volumen del fluido y como medio para absorberlas deben utilizarse los sistemas de expansión que podrían ser:

- **Expansión abierta**: cuando el circuito está comunicado de forma permanente con la atmósfera (se denomina sistema ventilado si la superficie de contacto con la atmósfera es pequeña).
- **Expansión cerrada**: cuando el circuito no está en comunicación con la atmósfera.

Referido al circuito primario, en los sistemas de expansión abierta las variaciones del volumen del fluido se absorben en un depósito abierto a la atmósfera donde varía el nivel de agua de acuerdo con las dilataciones o contracciones que sufra el fluido de trabajo. El depósito de expansión debe situarse por encima del punto más alto de la instalación y deben tomarse precauciones para evitar la evaporación del fluido y la entrada de aire en el circuito.

En los sistemas cerrados la dilatación del agua produce un aumento de volumen y presión que deforma la membrana elástica del vaso de expansión cerrado aumentando la capacidad del circuito de agua. Los vasos cerrados tienen menos condicionantes de instalación que los abiertos.

022

No es recomendable el uso de sistemas abiertos ni ventilados ya que el contacto con la atmósfera siempre produce evaporación el fluido por lo que es necesaria una reposición continua que introduce oxígeno y sales que producen mayor corrosión e incrustaciones en la instalación. En la práctica, solamente deberían utilizarse los sistemas de expansión cerrados.

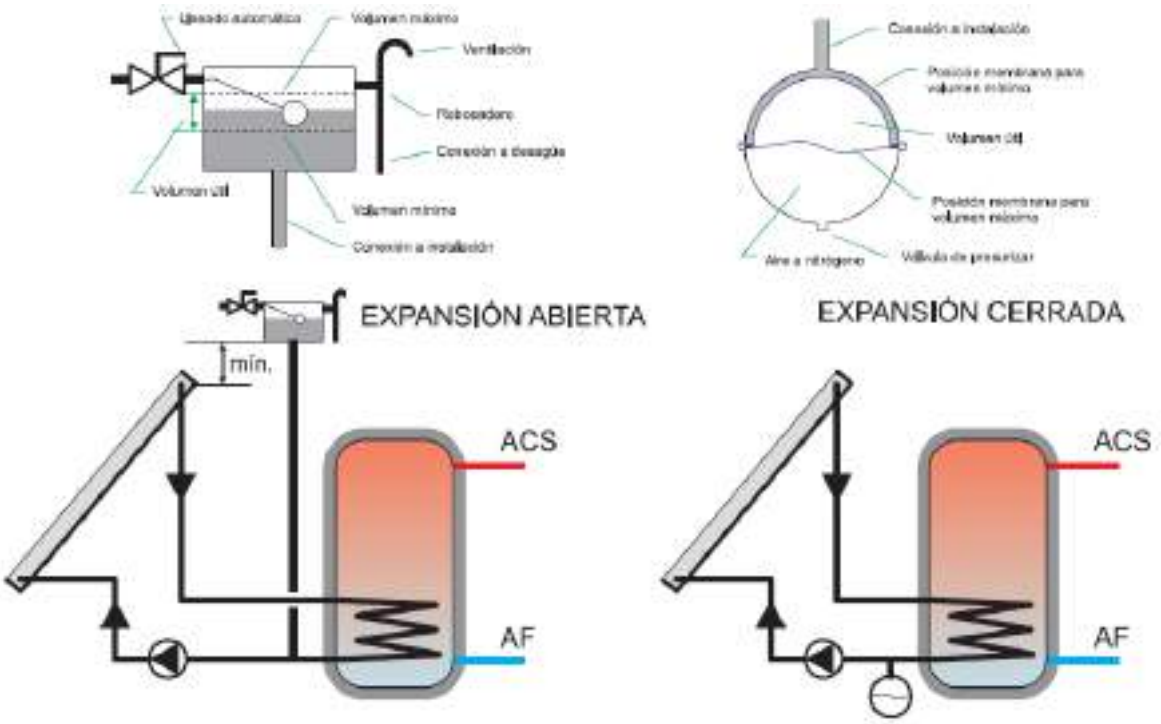


Figura 7: Tipos de expansión

2.3.4 Contenido de líquido

En relación con el contenido de líquido, los circuitos primarios de las instalaciones solares pueden ser de dos tipos:

- **Circuito lleno**: cuando el circuito permanece siempre completamente lleno con el fluido caloportador y, cuando ha sido debidamente purgado, no contiene nada de aire.
- **Circuito con drenaje**: cuando el circuito está a la vez parcialmente lleno de agua y de aire de forma que el líquido contenido en los captadores se puede vaciar dejando estos llenos solo con aire. La ausencia de líquido en los captadores evita la generación de vapor y la posible congelación como se verá en el capítulo 4. El drenaje puede ser interior o exterior:
  - Drenaje interior cuando el aire que permite hacer el vaciado de parte del circuito cerrado se alberga en el interior de éste. Normalmente se dispone de un depósito o volumen adicional para acumular el líquido caloportador drenado de tal forma que, cuando la bomba se detiene, el fluido contenido en los captadores cae por gravedad ocupando completamente el depósito que está situado en la parte inferior desplazando el aire contenido en él que ascenderá llenando los captadores que están en la parte superior.

- Drenaje exterior cuando el líquido caloportador puede ser drenado desde el captador hasta un desagüe o un recipiente externo si se quiere recuperar. El rellenado requeriría volver a aportar líquido al circuito y, por tanto, prever la reposición continua desde el exterior.

No son recomendables las instalaciones que utilizan el sistema de drenaje al exterior por el contacto del circuito con el aire exterior y la necesaria reposición continua de fluido que puede afectar a la durabilidad del circuito. Si el líquido es agua de consumo y la reposición es con agua de la red, los problemas de durabilidad pueden agravarse en función de la calidad del agua.

Los sistemas de circuito lleno y los de drenaje interior deberían ser los utilizados en los circuitos primarios de las instalaciones solares. Desde el punto de vista constructivo, son más complejos los de drenaje interior ya que requieren un cuidadoso trazado de tuberías con pendiente para que el vaciado sea completo y para que el aire sea completamente evacuado cuando la instalación comienza a funcionar.

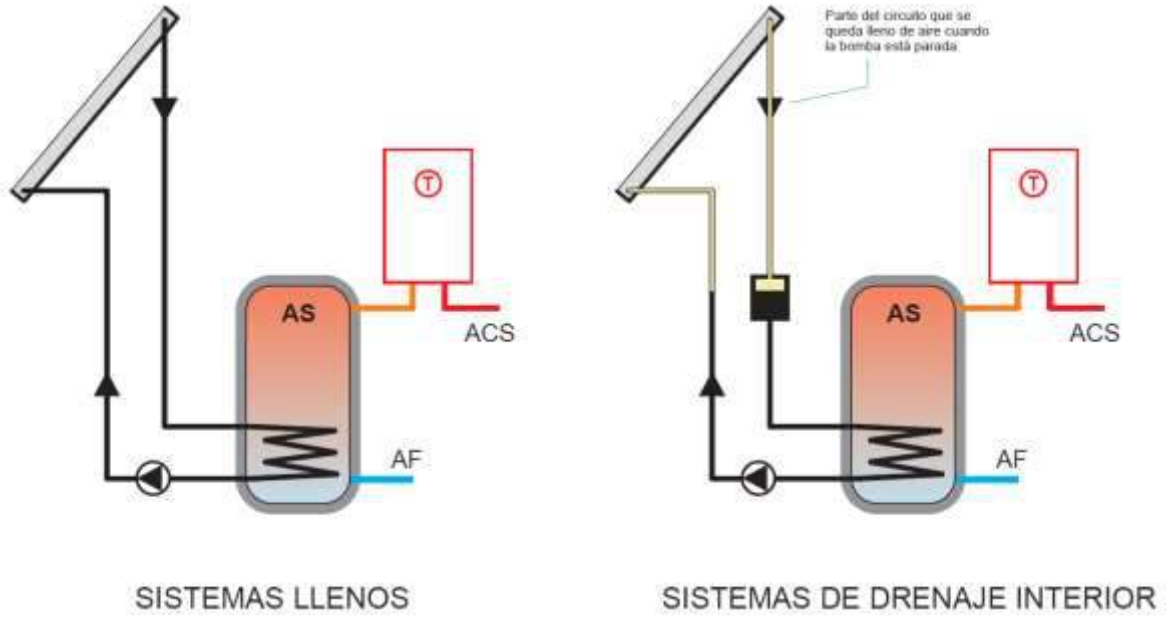


Figura 8: Tipos de circuitos primario según su contenido de líquido

Los sistemas de drenaje interior están siendo cada vez más utilizados en sistemas prefabricados para pequeñas instalaciones o como sistemas a medida de diseño normalizado desarrollado por fabricantes que lo comercializan con todas las garantías e instrucciones necesarias para su correcta ejecución. En lugar de proyectar estos sistemas, se recomienda el uso de los sistemas completos anteriormente referenciados que tienen resueltas las precauciones que es necesario adoptar en el diseño y dimensionado de estos sistemas para su correcto funcionamiento, entre otras: bomba de llenado y de circulación, distancias y alturas máximas y capacidades fluidos a acumular, etc.

022

2.3.5 Forma de acoplamiento

Por la forma de acoplamiento de los principales componentes, captador y acumulador, las pequeñas instalaciones se pueden clasificar en tres tipos:

- **Sistema compacto**: cuando todos los componentes, como los captadores, acumulador y resto de accesorios, se encuentran montados en una sola unidad lista para instalar, aunque físicamente puedan estar diferenciados. Se suelen instalar en terrazas horizontales, para lo cual van dotados de una estructura soporte, o en tejados inclinados, donde la integración arquitectónica puede ser compleja si las orientaciones del edificio no son adecuadas.
- **Sistema integrado**: cuando dentro del mismo sistema se realizan las funciones de captación y acumulación de energía, es decir, captador y acumulador constituyen un único componente y no es posible distinguirlos físicamente.
- **Sistema partido**: cuando existe una separación física y distancia relevante entre el sistema de captación y el de acumulación. Ofrecen más posibilidades de integración arquitectónica al poder tratar de forma independiente los sistemas de captación y de acumulación. Aunque normalmente son sistemas de circulación forzada, también pueden funcionar por termosifón si la ubicación, distancias, diseño y trazados de tuberías entre ambos sistemas son las adecuadas.

Salvo para los sistemas compactos e integrados que pueden incluir componentes específicamente desarrollados para ellos, las pequeñas instalaciones solares térmicas de ACS suelen utilizar captadores y acumuladores estándar que pueden ser utilizados de forma separada de manera que el diseño del conjunto puede resolverse como sistema prefabricado o como sistemas a medida según sean las necesidades:

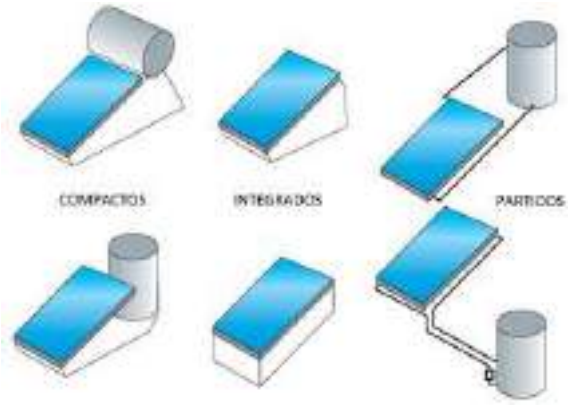


Figura 9: Formas de acoplamiento

- La solución como sistema prefabricado supone que el equipo ha sido diseñado y optimizado por el fabricante, ha sido ensayado en sus instalaciones y en laboratorio acreditado para su certificación y además todo el proceso está respaldado por un plan de calidad. Los resultados son muy fiables y permiten asegurar que, siempre que se respeten las instrucciones de montaje, los sistemas van a funcionar correctamente y con las mismas prestaciones.
- Por el contrario, en los sistemas pequeños a medida, el técnico tiene que diseñar pequeñas instalaciones conectando captadores solares, depósitos, estructuras, tuberías, etc. sobre todo si se requiere diseñar circuitos donde la circulación sea por termosifón ya que normalmente no se podrá optimizar su correcto funcionamiento y, en el caso de querer replicar el diseño, sería difícil garantizar un funcionamiento uniforme de los mismos.

En resumen, para los diferentes tipos de pequeñas instalaciones, utilizar:

1. **Sistemas llenos indirectos con expansión cerrada, o**
2. **Sistemas de drenaje interior pero nunca drenaje al exterior**

022

2.4 Configuraciones de las instalaciones medianas y grandes

2.4.1 Criterios de funcionamiento

En relación con los criterios anteriormente descritos para pequeñas instalaciones, se pueden realizar las siguientes observaciones adicionales para los casos de instalaciones medianas y grandes:

1.4.1.1. Principio de circulación

Las instalaciones de cierto tamaño deberían ser siempre instalaciones de circulación forzada ya que un funcionamiento por termosifón, además de los condicionantes exigidos en cuanto a la ubicación de captadores, acumulador y trazado de tuberías, etc. puede suponer que el rendimiento térmico de la instalación se reduzca significativamente. Esto es debido a que la diferencia de temperaturas necesaria para vencer la pérdida de carga aumenta a medida que lo hace el tamaño de las instalaciones, por lo que las temperaturas de trabajo son mayores haciendo que los captadores trabajen con peor rendimiento.

1.4.1.2. Sistema de intercambio

La recomendación de no utilizar sistemas directos en pequeñas instalaciones debe ser más estricta en las instalaciones medianas y grandes que deberían ser siempre sistemas indirectos con intercambiador. Los problemas fundamentales derivados del uso de sistemas directos son, como ya se ha indicado, la posible congelación del agua en zonas con riesgo de heladas y los depósitos calcáreos que se pueden producir en función de la dureza y de la temperatura del agua. En los captadores de un sistema directo los depósitos de cal se producen principalmente en el interior del captador donde se alcanzan las mayores temperaturas depositándose en el interior del circuito hidráulico del absorbedor, o caen al colector ubicado en la parte inferior, lo que reduce los caudales, provoca pérdidas de rendimiento y finalmente, impide su funcionamiento por obstrucción de las tuberías. El diseño de las instalaciones debe prever que las incrustaciones calcáreas, si se producen, sean lo más reducidas posibles y que, de producirse, lo hagan en un componente accesible y fácil de mantener como debe ser un intercambiador de calor.

1.4.1.3. Sistema de expansión

Serían aplicables las mismas observaciones que se hicieron para las pequeñas instalaciones.

1.4.1.4. Contenido de líquido

Tanto los sistemas llenos como los de drenaje interior podrían ser utilizados en circuitos primarios de instalaciones solares de mayor tamaño aunque mientras mayor es el campo de captación, más compleja es la correcta ejecución la instalación de drenaje interior por el trazado de tuberías con pendiente que se requiere para que el vaciado sea completo.

1.4.1.5. Forma de acoplamiento

Las instalaciones medianas y grandes siempre serían del tipo sistema partido

En resumen, para las medianas y grandes instalaciones, considerar:

1. **Siempre sistemas de circulación forzada**
2. **Sistemas indirectos**
3. **Solamente sistemas de expansión cerrada y no abiertos**
4. **Sistemas llenos si el drenaje interior no es posible**
5. **Como forma de acoplamiento, serán siempre sistema partido**

2.4.2 Criterios de selección de los sistemas de acumulación y de intercambio

Partiendo de la configuración más completa presentada en el apartado 2.2 y considerando que las instalaciones medianas y grandes siempre son sistemas indirectos y de circulación forzada, las diversas configuraciones que se pueden derivar de éstas están asociadas a los diferentes tipos de sistemas de acumulación e intercambio que es posible utilizar.

En relación con la selección de acumuladores de inercia o de consumo, los criterios para decidir que configuración es la más adecuada pueden ser algunos de los siguientes:

- **Temperatura máxima de trabajo**
  La temperatura máxima de trabajo de los acumuladores de consumo estará limitada normalmente por las características o resistencia del tratamiento interior, pero a veces también para limitar los depósitos de cal o para la protección del usuario; sin embargo, los acumuladores de inercia sólo tendrán la limitación de su propia resistencia a la temperatura máxima.
- **Presión máxima de trabajo**
  La presión máxima de trabajo de los acumuladores de consumo vendrá impuesta por la presión de red de alimentación de agua fría para consumo humano mientras que los acumuladores de inercia pueden diseñarse sin ese condicionante ya que, al formar parte de un circuito cerrado, su presión será independiente de la de la presión de la red de alimentación.
- **Necesidades de intercambio**
  El acumulador de consumo sólo necesita intercambiador de calentamiento o carga, mientras que la utilización de acumulación de inercia precisa de dos sistemas de intercambio para carga y descarga.
- **Prevención de la legionelosis**
  No requieren ningún tipo tratamiento ni mantenimiento para prevención de la legionelosis los acumuladores de inercia ya que no contienen agua para consumo humano mientras que los acumuladores de ACS deben estar sujetos a los requisitos que se hayan establecido.
- **Costes de inversión y de explotación**

022

La selección final debe incluir el análisis de los costes de inversión y de explotación de los sistemas completos ya que cada configuración puede requerir la necesidad de determinado tipo de componentes como sistemas de intercambio de descarga, bombas, etc.

La configuración más completa que incluye la utilización simultánea de acumulación de inercia y de consumo puede estar justificada, en el caso de grandes instalaciones, para:

- Reducir los costes de la acumulación de consumo
- Ajustar el dimensionado del intercambiador de consumo ya que al pasar a ser intercambiador de descarga las condiciones de diseño son menos exigentes como se verá en el capítulo 6.
- Evitar pérdidas de carga en el circuito de consumo dado que, si los tamaños de conexiones son adecuados, las que introducen los acumuladores de consumo son mínimas.

Como criterios específicos para seleccionar las configuraciones en función del tipo de intercambiador, interno o externo, cabe señalar los siguientes:

- **Estratificación**
  Desde el punto de vista de funcionamiento, el intercambiador interno facilita la estratificación en mayor medida que el externo porque evita el movimiento de fluido en el interior del acumulador que provocan las bombas de circulación. La instalación con intercambiador externo exige un estudio detallado de las condiciones de circulación del agua producida por el circuito de carga y el secundario en el interior del acumulador.
- **Simplicidad**
  Una instalación con intercambiador interno dispone de un único circuito de calentamiento y es más sencilla que una con intercambiador externo que, además de necesitar dos circuitos forzados para su funcionamiento, puede requerir componentes adicionales para mejorar la estratificación.
- **Costes de inversión**
  El coste de los acumuladores que utilizan intercambiadores internos (interacumuladores) aumenta significativamente en los volúmenes mayores de manera que a medida que aumenta el tamaño de la instalación es más económico sustituir el intercambiador interno por uno externo, aunque la necesidad de disponer de dos circuitos suponga un mayor coste.

Además, cabe considerar las siguientes recomendaciones en función del tamaño de las instalaciones:

- Intercambiadores internos cuando el tamaño de la instalación sea inferior a 7 kW (10 m^2).
- Intercambiadores externos cuando el tamaño de la instalación sea superior a 70 kW (100 m^2).
- En instalaciones entre 10 y 100 m^2, la decisión no es inmediata, es necesario estudiar cada caso pero, por razones económicas, normalmente es recomendable utilizar intercambiadores externos cuando el sistema de acumulación sea superior a 3.000 litros (a partir de esos volúmenes el coste de los interacumuladores empieza a crecer significativamente y puede dejar de compensar el coste de disponer de dos circuitos, intercambiador externo, etc.), o, cuando éste esté constituido por más de un depósito.

Por ser las configuraciones más probadas, para medianas y grandes instalaciones se recomienda utilizar algunas de las siguientes:

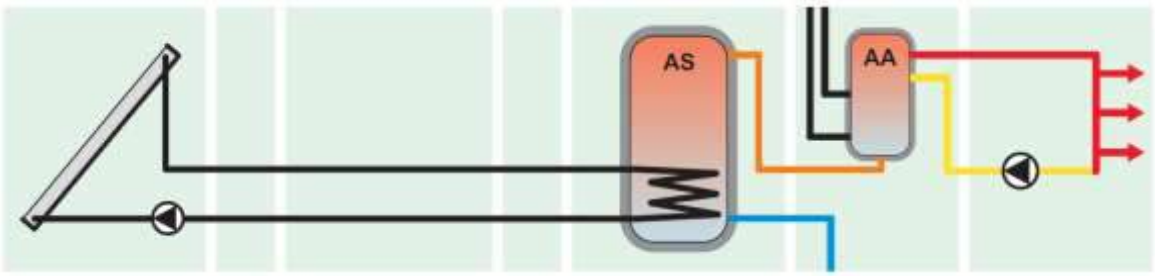


Figura 10: Instalación forzada con intercambiador

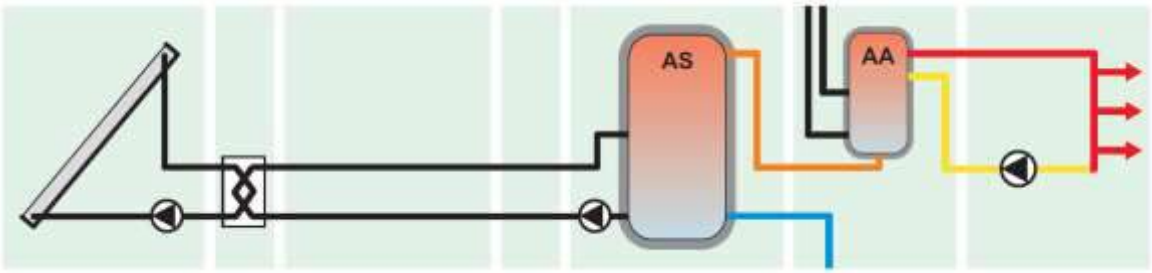


Figura 11: Instalación con intercambiador externo y acumulador de consumo

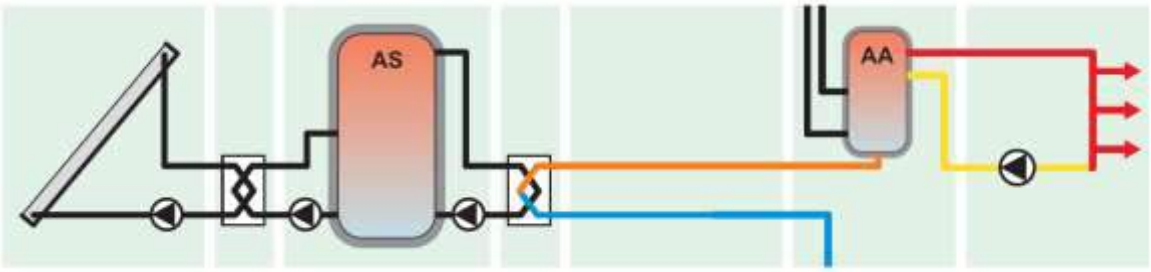


Figura 12: Instalación con acumulador de inercia e intercambiadores solar y de consumo externos

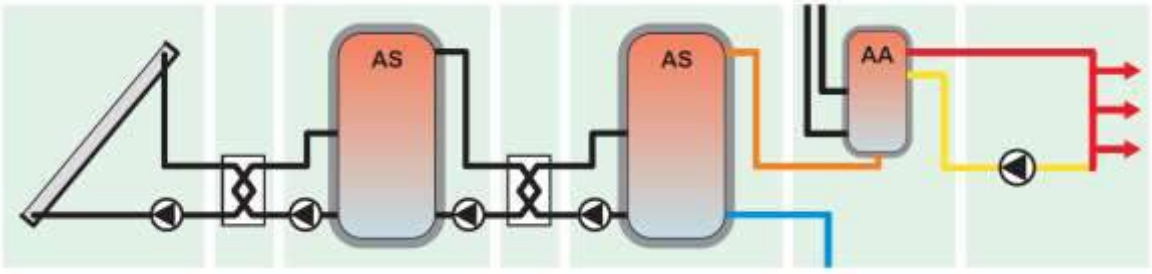


Figura 13: Instalación con acumuladores de inercia y de consumo e intercambiadores solar y de descarga externo

022

2.5 Configuraciones de instalaciones en edificios multivivienda

Cualquiera de las configuraciones anteriormente referidas puede utilizarse para la instalación de producción solar de ACS de un edificio multivivienda simplemente teniendo en cuenta que es necesario añadir un sistema de distribución a cada una de las viviendas. Los elementos diferenciales y adicionales más significativos en estas instalaciones son:

- La distribución de agua caliente o calor a cada una de las viviendas efectuada mediante un circuito de distribución, normalmente de largo recorrido y con recirculación, por lo que será necesario cuidar su diseño y ejecución para evitar unas pérdidas térmicas elevadas.
- La necesidad, o no, de controlar consumos en viviendas para realizar la distribución del gasto.

2.5.1 Instalación solar y sistema de apoyo centralizados

Toda la instalación, incluyendo el sistema de apoyo, es centralizado y realiza la preparación del ACS que se suministra a las viviendas.

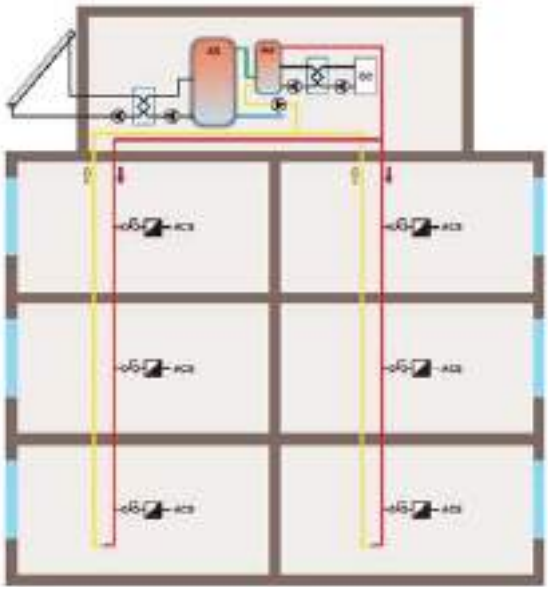


Figura 14: Instalación solar y sistema de apoyo centralizados

El agua precalentada en la instalación solar pasa al sistema de apoyo donde, cuando es necesario, se termina de calentar hasta alcanzar la temperatura de consigna. Posteriormente, el ACS se pone a disposición de cada una de las viviendas a través del circuito de distribución. En cada acometida a vivienda se debe instala un contador para el control del consumo de agua caliente; es importante que la lectura de contadores y la gestión de consumos (transmisión de datos, asignación de costes, emisión de recibos y gestión de cobro) sea lo más automatizada posible. Los sistemas de distribución requieren de un circuito de recirculación que permita garantizar la disponibilidad de agua caliente de forma casi instantánea en todas las viviendas.

El diseño de esta configuración requiere la disponibilidad de espacio suficiente en las zonas comunes, para albergar tanto al sistema de captación y acumulación solar como el sistema de apoyo. Por el contrario, no requiere ningún espacio para equipos de agua caliente en el interior de las viviendas. En relación con las redes de suministro de agua, cada vivienda dispone de una acometida de agua fría con su correspondiente contador de la empresa de abastecimiento de agua situado en la centralización de contadores, y una acometida de agua caliente procedente del sistema de apoyo centralizado con su correspondiente contador de la comunidad de propietarios normalmente situado en los rellanos del edificio en el exterior de la vivienda. El sistema solar a su vez debe disponer de una acometida de agua fría de sección suficiente que debe ser capaz de abastecer el consumo de agua caliente de todas las viviendas.

2.5.2 Instalación solar centralizada con sistema de apoyo distribuido

La instalación solar centralizada, realiza el precalentamiento del agua que será llevada a su correspondiente temperatura de consigna mediante el sistema de apoyo que estará distribuido en cada una de las viviendas. Existe una única acometida y contador de agua fría para la instalación centralizada.

El circuito de distribución pone a disposición de cada una de las viviendas agua precalentada por la instalación solar. Cada vivienda debe disponer de un contador de agua en la acometida de agua caliente que, en este caso, contabiliza el caudal de agua precalentada por la instalación solar. Cada vivienda dispone de un sistema de energía de apoyo individual que garantice que el agua alcance la temperatura de preparación y un circuito de distribución interior con recirculación para suministrar el agua caliente sanitaria a todos los puntos de consumo.

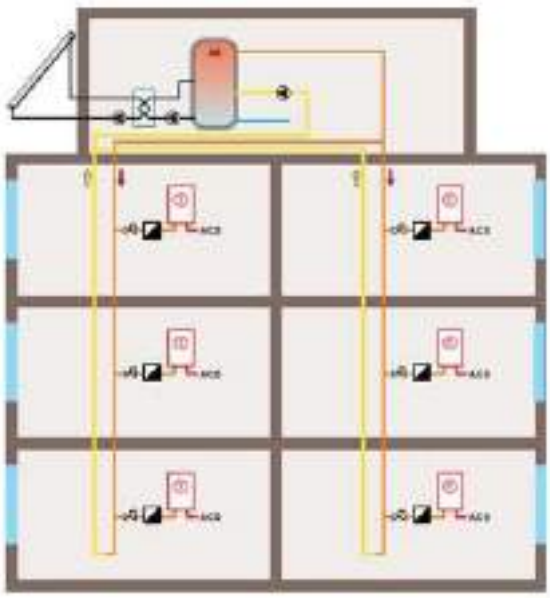


Figura 15: Instalación solar centralizada con sistema de apoyo distribuido

El diseño de este tipo de instalación requiere menos espacios comunes que el "todo centralizado" pero necesita ocupar espacios en la vivienda para ubicar el sistema de apoyo y los condicionantes necesarios para su instalación: suministro de energía, ventilación, desagües, etc.

2.5.3 Instalación solar con acumulación distribuida

Esta configuración, al contrario de las dos anteriores, no precisa de la medida individualizada del consumo de agua caliente. En cada vivienda se instala un interacumulador solar donde el agua de consumo es precalentada antes de entrar en el sistema de apoyo.

Existe un circuito cerrado para transferir la energía solar captada a los circuitos primarios de todos los interacumuladores solares situados en cada vivienda. Este circuito de calentamiento puede ser directamente el circuito primario de captadores o bien un circuito de carga cuando se incorpora un intercambiador solar para

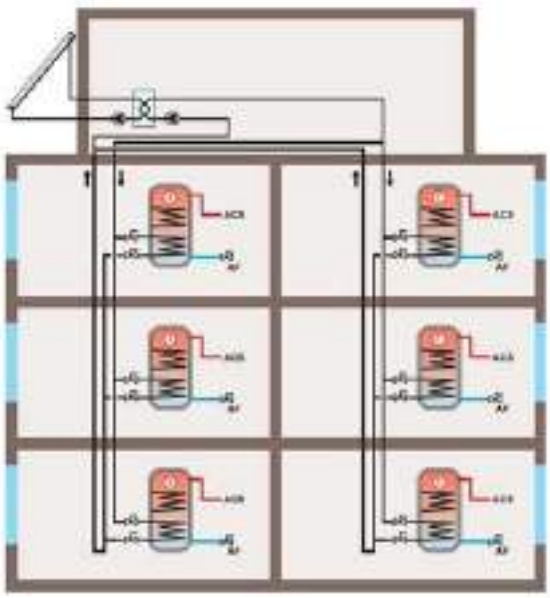


Figura 16: Instalación solar con acumulación distribuida

independizar circuitos lo que se realiza normalmente para tener un circuito primario de menor tamaño lo que permite usar menos anticongelante y confinar las mayores temperaturas del circuito primario en las partes del edificio más fácilmente accesibles de la cubierta. No es necesario contabilizar el aporte de energía solar térmica a cada vivienda ya que no existe un consumo de combustible asociado que repercutir a cada usuario, que no justifica el sistema de medida. En su lugar, se contabiliza la energía solar producida de forma centralizada a los efectos de poder verificar su rendimiento.

En la configuración con acumulación distribuida, el circuito de calentamiento únicamente funcionará durante las horas de funcionamiento de la captación solar lo que es una gran ventaja por la disminución de las pérdidas térmicas que se puede producir en el mismo; por el contrario, las pérdidas térmicas en los acumuladores pueden ser globalmente más significativas y hay que controlarlas.

Se requieren significativos espacios en las viviendas debido a la necesidad de tener que ubicar el acumulador solar y el sistema de apoyo lo que puede suponer un problema para su implantación. Opcionalmente el sistema de apoyo se podría incorporar en el acumulador solar siguiendo las recomendaciones incluidas en el apartado 6.2.5. Desde la propia red interior de cada vivienda se extrae la alimentación al sistema de preparación de ACS individual.

2.5.4 Instalación solar centralizada con intercambio distribuido

Al igual que ocurría en la configuración de acumulación solar distribuida, de la acometida de agua fría que tiene la vivienda se extrae la alimentación al sistema de preparación de agua caliente individual, de manera idéntica a como se haría en caso de no existir instalación solar. En este caso, cada vivienda dispone de un intercambiador de calor que realiza el precalentamiento del agua antes de la entrada al sistema de apoyo solo cuando ésta se consume.

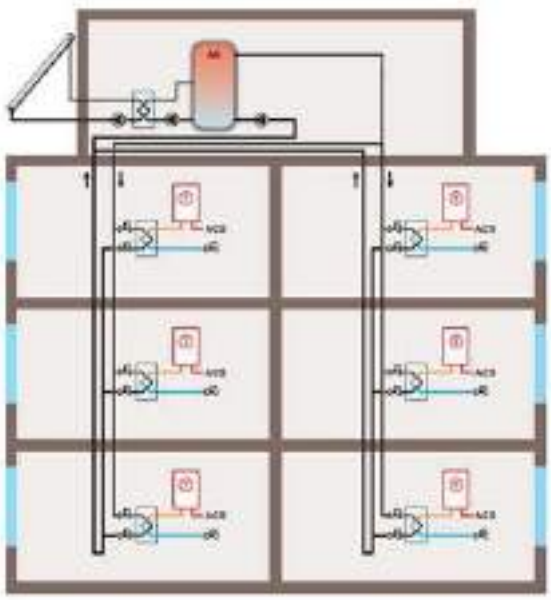


Figura 17: Instalación solar centralizada con intercambio distribuido

La instalación solar se realiza de forma que, desde un acumulador solar centralizado de inercia, se alimenta un circuito de descarga cerrado que alimenta a todos los primarios de los intercambiadores de consumo instalados en cada una de las viviendas. Este sistema de intercambio proporcionará un precalentamiento instantáneo del agua caliente cuando ésta se consuma.

Esta configuración, en relación con la de acumulación distribuida, supone una menor ocupación de espacios, aunque, por el contrario, requiere espacios de zonas comunes para la acumulación centralizada.

Cabe resaltar en este caso la importancia que adquieren las pérdidas térmicas ya que son proporcionales a los tiempos de funcionamiento de los circuitos. El lazo de recirculación debe ser lo más próximo a los intercambiadores individuales, de manera que cuando exista consumo, y se abra el paso del lazo de recirculación a éstos, no exista demora en producir el calentamiento del agua de consumo. Asimismo, la ubicación relativa, conexionado y control de cada intercambiador y el sistema de apoyo de forma que se minimicen encendidos innecesarios de éste y las pérdidas térmicas de los circuitos.

2.5.5 Instalación con doble acumulación solar, centralizada y distribuida

Se puede considerar una solución intermedia entre la acumulación solar distribuida y el intercambio distribuido. La existencia de un volumen solar centralizado puede reducir la capacidad de la acumulación distribuida con lo que resulta más fácil la integración del acumulador individual en la vivienda.

Esta configuración presenta la ventaja de poder reducir el volumen de los acumuladores en el interior de las viviendas que, como ya se indicó, es uno de los principales inconvenientes para su implantación. También, como en el caso de los sistemas con acumulación distribuida, es utilizable en zonas con aguas duras que dificultan la opción del intercambio distribuido. Además, tiene la ventaja de permitir la incorporación del sistema de apoyo distribuido en el acumulador solar.

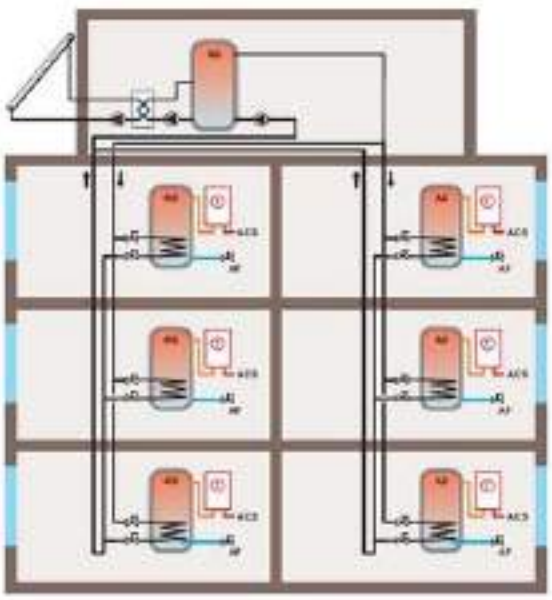


Figura 18: Instalación con doble acumulación solar, centralizada y distribuida

Por el contrario, esta configuración puede tener mayores pérdidas térmicas que las anteriores debido a que, además de las pérdidas de los acumuladores distribuidos, el circuito de distribución funciona bastantes horas al día.

2.5.6 Selección de configuraciones para edificios multivivienda

Las instalaciones, solar y de apoyo, completamente centralizadas son las más eficientes en edificios multivivienda que se utilizan continuamente, fundamentalmente, porque se utiliza un único sistema centralizado de generación de calor de mejor rendimiento en lugar de equipos individuales por vivienda que son menos eficientes. Además, las prestaciones de los equipos

individuales están muy afectadas por las múltiples actuaciones de marcha y paro para atender la demanda mientras que un servicio de ACS centralizado amortigua las variaciones de ocupación a la vez que aprovecha las condiciones de simultaneidad para alcanzar las mejores prestaciones.

Por el contrario, el mayor inconveniente y la principal atención que requiere esta configuración es la de minimizar las pérdidas térmicas de la instalación completa y, sobre todo, del circuito de distribución y recirculación. Es fundamental saber que estas pérdidas térmicas, llamadas de disponibilidad porque se generan solamente por disponer de ACS en las acometidas a las viviendas, existen, aunque el consumo de agua caliente sea muy pequeño o incluso nulo y pueden ser muy significativas si no se toman las medidas adecuadas de diseño y ejecución.

En cualquier caso, la configuración completamente centralizada es la que supone una menor inversión y costes de explotación si se ejecuta en forma correcta. Es la configuración que se debería utilizar por defecto, aunque, en determinadas circunstancias, se plantee la necesidad de utilizar cualquiera de las otras que, en general, no aportan mayores ventajas que las derivadas de la individualización de los sistemas de apoyo y su coste de explotación.

En el cuadro siguiente y como resumen, se evalúan diversos criterios para cada una de las configuraciones lo que permite asignar las ventajas e inconvenientes de cada una:

	1	2	3	4	5
Denominación	Instalación solar y sistema de apoyo centralizados	Instalación solar centralizada con sistema de apoyo distribuido	Instalación solar con acumulación distribuida	Instalación solar centralizada con intercambio distribuido	Instalación doble acumulación solar, centralizada y distribuida
Alimentación de agua fría a la instalación solar	Centralizada	Centralizada	Individual	Individual	Individual
Contador del consumo de agua fría de la empresa de abastecimiento	Para consumo de agua caliente centralizada de la comunidad	Para consumo de agua caliente centralizada de la comunidad	Para consumo de agua fría y preparación de ACS individual por vivienda	Para consumo de agua fría y preparación de ACS individual por vivienda	Para consumo de agua fría y preparación de ACS individual por vivienda
Contador del consumo individual de agua caliente	Necesario. Gestión por la comunidad	Necesario. Gestión por la comunidad	No necesita	No necesita	No necesita
Sistema de apoyo	Centralizado	Individual	Individual	Individual	Individual

Eficiencia del sistema de apoyo	Máximo	Menor	Menor	Menor	Menor

Tabla 4: Comparación de criterios para las diferentes configuraciones (Parte 1)

	1	2	3	4	5
Temperaturas del circuito de distribución	Temperatura distribución (55ºC)	Temp. solar de suministro (30 a 55ºC)	Temp. de carga (50-60ºC)	Temp. descarga (50-60ºC)	Temp. carga y descarga (50-60ºC)
Tiempos de funcionamiento del circuito de distribución	24 h/día	I/V: 10/20 h/día	I/V: 6/9 h/día	I/V: 10/20 h/día	I/V: 10/20 h/día
Pérdidas térmicas en distribución	Por disponibilidad a temp. de preparación	Por disponibilidad a temp. solar	Circuito de carga	Circuito de descarga	Circuito de descarga
Tipo de pérdidas térmicas en acumulación solar y cantidad	Centralizadas	Centralizadas	Distribuidas	Centralizadas	Centralizadas y distribuidas
	Menos	Menos	Más	Menos	Las que más
Espacios para acumulación solar	Centralizada	Centralizada	Individual	Individual	Individual
Espacios para sistema de apoyo	Centralizado	Individual	Individual	Individual	Individual
Uso de espacios individuales	1 (Ninguno)	2	5 (Máximo)	3	4
Uso de espacios colectivos	5 (Máximo)	3-4	1 (Mínimo)	3-4	2
Costes de inversión	1 (Económico)	2	3	4	5 (Costoso)
Costes de explotación energía	Centralizado	Individual	Individual	Individual	Individual
Costes de explotación mantenimiento	Centralizado	Centralizado e Individual	Centralizado e Individual	Centralizado e Individual	Centralizado e Individual

Tabla 5: Comparación de criterios para las diferentes configuraciones (Parte 2)

022

En resumen:

Para la selección de configuraciones en medianas y grandes instalaciones se recomienda utilizar:

1. **Instalación forzada con intercambiador**
2. **Instalación con intercambiador externo y acumulador de consumo**
3. **Instalación con acumulador de inercia e intercambiadores solar y de consumo externos**
4. **Instalación con acumuladores de inercia y de consumo e intercambiadores solar y de descarga externo**

Para edificios multivivienda se pueden utilizar las siguientes configuraciones:

1. **Instalación solar y sistema de apoyo centralizados**
2. **Instalación solar centralizada con sistema de apoyo distribuido**
3. **Instalación solar con acumulación distribuida**
4. **Instalación solar centralizada con intercambio distribuido**
5. **Instalación con doble acumulación solar, centralizada y distribuida**

En edificios multivivienda, la instalación solar y de apoyo completamente centralizada:

1. **Es la más eficiente si se utiliza a lo largo de todo el año**
2. **La mayor precaución es la de minimizar las pérdidas térmicas, sobre todo, del circuito de distribución y recirculación.**
3. **Requiere la menor inversión y supone los menores costes de explotación si se ejecuta en forma correcta.**

3 Componentes

3.1 Captadores solares

El captador solar térmico es el dispositivo que transforma la radiación solar en la energía térmica que se transfiere a un fluido caloportador aumentando su temperatura. Es el principal componente del sistema de captación, el generador de calor de las instalaciones solares térmicas. Además de producir el calor de manera eficiente, el captador debe estar diseñado para soportar la continua exposición a condiciones exteriores (lluvia, nieve, granizo, polvo, etc.) y para resistir las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, a las que puede estar sometido.

En la siguiente tabla se resumen y comparan las principales características de los captadores solares más utilizados en instalaciones solares térmicas de producción de agua caliente sanitaria:

	Planos		Tubos de vacío
	No selectivo	Selectivo	Heat-pipe y en U
Rendimiento: Factor de ganancia	≈ 0.9	≈ 0.8	≈ 0.6
Rendimiento: Factor de pérdidas ($W/m^2.K$)	6,0 - 8,0	3,0 - 5,0	2,0 - 3,1
Temperatura de estancamiento (ºC)	120-160	180-220	200-239
Relación de superficie apertura/bruta	> 0,9		< 0,6
Espesor de la cubierta de vidrio	2 a 4		1,6 a 2,1
Resistencia de la cubierta de vidrio	Mayor		Menor
Durabilidad: principal problema	Entrada de agua al interior		Pérdida del vacío
Resistencia al viento	Elevada		Menor

Tabla 6: Características comparativas de captadores solares

3.1.1 Captador solar plano

Un captador solar térmico debe maximizar la captación de la radiación solar y minimizar las pérdidas térmicas con el exterior. Su funcionamiento está basado en el denominado “efecto invernadero” que aprovecha las propiedades de transmisión de la cubierta que permite el paso de la radiación solar que a su vez incide en la superficie del absorbedor produciendo el calentamiento de un fluido.

022

De la radiación solar incidente, de longitud de onda corta (0,3 - 3 µm), una parte pequeña es reflejada y otra es absorbida por la cubierta, pero la mayor parte la atraviesa e incide sobre el absorbedor que la transforma en calor aumentando su temperatura. El absorbedor, al calentarse, emite radiación, pero en una longitud de onda larga (3 - 30 µm) que no puede salir al exterior debido a que la cubierta es opaca frente a esa radiación.

Dado que se pretende que el calor sea extraído por un fluido caloportador que recorre el absorbedor, se deben reducir las pérdidas térmicas que se producen cuando el absorbedor se calienta y para ello, se utilizan:

- La cubierta que, además de eliminar las pérdidas radiantes producidas por el aumento de temperatura que se genera en el absorbedor, también disminuye las pérdidas por convección ya que evita el contacto directo del absorbedor con el aire ambiente.
- El aislamiento en la parte posterior y en los laterales del absorbedor.

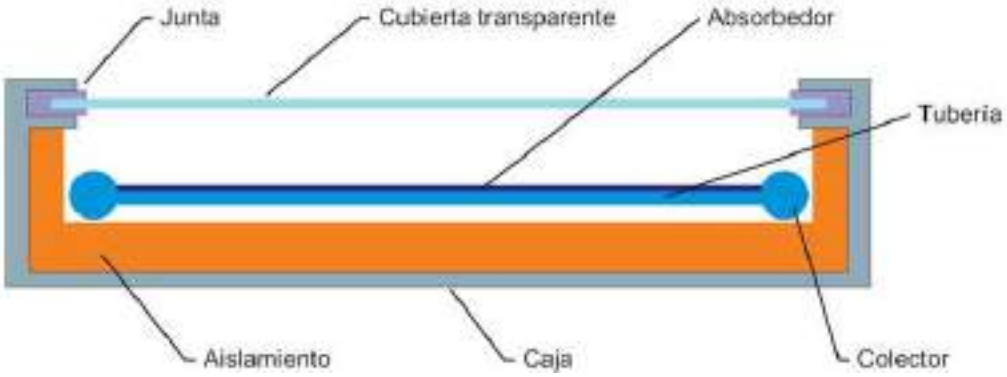


Figura 19: Sección constructiva de un captador solar plano indicando sus componentes

Los componentes básicos del captador plano son:

- La **cubierta transparente** normalmente es de vidrio y, además de reducir las pérdidas por radiación y convección, asegura la estanqueidad del captador protegiendo a los componentes interiores frente de agentes externos.
- El **absorbedor** es una placa plana, normalmente metálica, que se calienta al recibir la radiación del sol que ha atravesado la cubierta. El rendimiento del captador depende, en gran medida, del tipo y calidad del tratamiento superficial del absorbedor que, básicamente, determina su capacidad de absorber radiación (absortancia) y su capacidad de emitir radiación cuando se calienta (emisividad). Se pueden distinguir básicamente entre dos tipos de tratamientos que pueden ser selectivos y no selectivos. Los selectivos reducen la emisividad del tratamiento, a valores entre 0,05 y 0,5) para minimizar las pérdidas radiantes mientras que la emisividad en los no selectivos es bastante elevada y normalmente, superior a 0,8.
- El **circuito hidráulico** por el que circula el fluido caloportador debe garantizar la correcta transferencia del calor generado en el absorbedor. El aumento de la temperatura del fluido es el efecto útil que se pretende conseguir que, a su vez, hace disminuir la temperatura del

absorbedor. Es imprescindible un buen contacto térmico entre la parte plana del absorbedor y las tuberías del circuito para facilitar la transferencia de calor al fluido por conducción. Existe gran cantidad de tipos distintos de absorbedor, siendo los más habituales los que tienen un circuito de tubos de cobre en forma de parrilla o de serpentín.

- El **aislamiento** en la parte posterior y en los laterales reduce las pérdidas térmicas del absorbedor. Normalmente se utiliza lana de vidrio o lana mineral y, algunas veces, poliuretano rígido, pero, en este caso y para que no le afecten las elevadas temperaturas de estancamiento del captador, se toman medidas incorporando una capa de lana mineral intermedia entre el absorbedor y el poliuretano.
- La **carcasa** es la caja que contiene al resto de los componentes, los protege del exterior y da rigidez al conjunto. La carcasa debe tener una elevada resistencia mecánica, un buen comportamiento frente a la corrosión y a las variaciones de temperatura. Habitualmente se emplea aluminio, acero inoxidable, acero galvanizado y lacado o material plástico reforzado con fibra de vidrio. Normalmente se fabrican las carcasas con perfiles extruidos para construir el marco y una lámina plana en el fondo, aunque también se utilizan las carcasas realizadas con una única chapa, normalmente de aluminio, a la que se proporciona su forma por embutición.

3.1.2 Captador solar de tubos de vacío

Un captador de tubos de vacío está compuesto por un conjunto de tubos, conectados hidráulicamente a un colector o distribuidor. Los tubos por donde circula el fluido a calentar se encuentran encapsulados en un tubo de vidrio que actúa como cubierta y envolvente exterior donde se hace el vacío. El vacío reduce las pérdidas térmicas, tanto de convección como de conducción, en el espacio entre el absorbedor y el tubo exterior con lo que se consigue alcanzar temperaturas elevadas. El nivel de vacío es un parámetro fundamental en la efectividad de la reducción de las pérdidas térmicas y, a la vez, es el factor funcional cuya fiabilidad a largo plazo es más difícil de garantizar.

Hay varios tipos de captadores de tubos de vacío entre los que destacan los tubos de calor (o “heat-pipe”), los tubos en U o concéntricos y los de flujo directo que se describen a continuación.

3.1.2.1 Captador de vacío de tubos de calor (Heat-Pipe)

En el interior del tubo de vacío de vidrio hay un tubo de cobre cerrado por ambos extremos que dispone de un absorbedor adosado, normalmente de configuración cilíndrica, para aumentar la superficie expuesta. En el interior del tubo hay un fluido que se mantiene a la presión adecuada para que se evapore y condense en un rango determinado de

Figura 20: Captador de tubos de vacío con “tubo de calor” (heat-pipe)

temperaturas. Cuando se calienta el tubo absorbedor se evapora una parte del líquido y se desplaza, en forma de vapor, hacia la parte superior del tubo, a la zona de transferencia de calor conectada al distribuidor, donde cede calor a otro fluido de trabajo, se condensa y vuelve a un estado líquido para descender por el tubo hasta que se evapore otra vez.

3.1.2.2 Captador de vacío de tubo en U (U-Tube) o tubos concéntricos

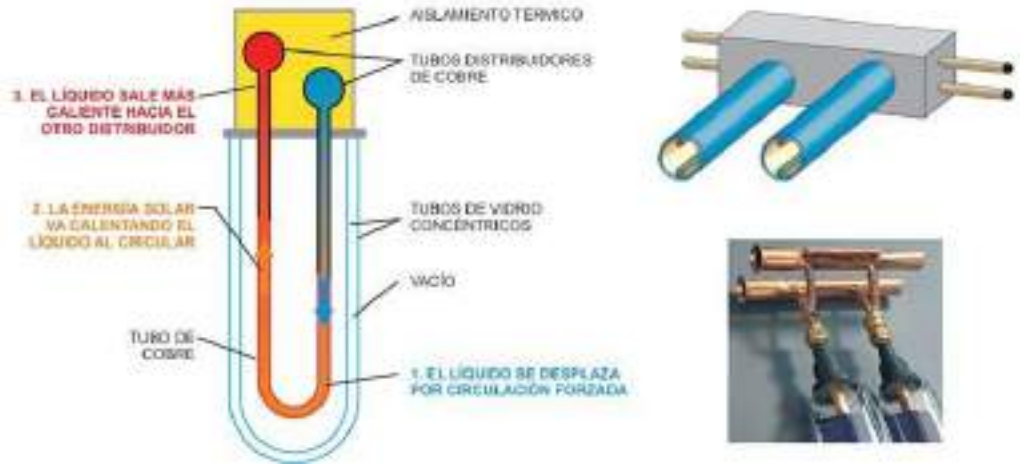


Figura 21: Captador de tubos de vacío con "tubo en U" y con "tubos concéntricos"

En el interior del tubo de vacío hay un tubo de cobre en U, con entrada y salida desde el distribuidor, por el que circula el fluido caloportador que entra a baja temperatura, recorre el circuito en U y vuelve a salir a mayor temperatura. El absorbedor adosado a los dos tubos de cobre puede ser de morfología plana o cilíndrica.

Alternativamente, el recorrido de calentamiento se puede realizar mediante dos tubos concéntricos con un tubo de entrada de menor diámetro situado en el centro y un tubo exterior concéntrico de mayor diámetro para la salida del fluido caliente.

3.1.2.3 Captador de tubos de vacío de flujo directo

El agua circula en contacto directo con el tubo de vidrio interior cuya cara exterior tiene el tratamiento selectivo para actuar como absorbedor cilíndrico. En el interior del tubo se establece la circulación natural bajando el agua fría por la cara inferior y subiendo la caliente por la parte superior. Los tubos de vacío se insertan directamente en la envolvente del acumulador y el cierre se realiza mediante una junta elástica. Este cierre no soporta mucha presión, se deterioran con relativa frecuencia por los cambios de temperatura a los que está sometido lo que obliga a frecuentes sustituciones y la rotura de un tubo inutiliza el equipo completo.

El agua caliente se puede utilizar directamente o mediante un intercambiador de consumo incorporado en la parte superior del depósito; en cualquiera de los casos, estos son equipos de escasa fiabilidad y durabilidad.

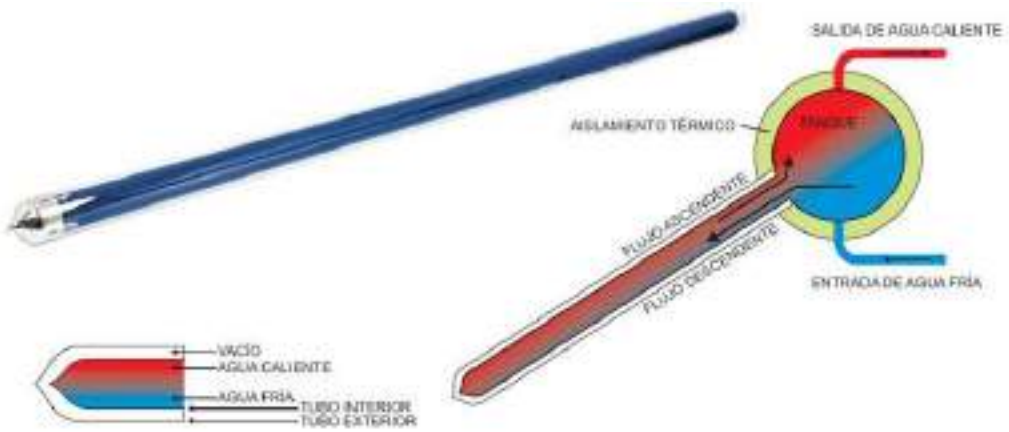


Figura 22: Equipo solar con captador de tubos de vacío de flujo directo

3.1.3 Otros tipos de captadores solares

Existe una gran variedad de tecnologías de captación solar, aunque su utilización en instalaciones de ACS no está muy extendida. Normalmente introducen, sobre la base del captador plano, diversas adaptaciones para conseguir objetivos de mayor eficiencia o de menor costo.

Entre otros cabe destacar los que se refieren a continuación junto con las características más importantes:

- **Captadores sin cubierta**.
  Son absorbedores metálicos con tratamiento selectivo que, sin cubierta ni aislamiento ni carcasa, están diseñados para soportar las condiciones exteriores y pueden alcanzar temperaturas suficientes para la producción de ACS. La tecnología es muy diferente a la de los captadores sin cubierta fabricados en materiales plásticos que se utilizan para el calentamiento de piscinas.

- **Captadores con varias cubiertas**.
  Utilizan más de una cubierta, de los mismos o distintos materiales, para reducir las pérdidas térmicas por la cara expuesta a la radiación solar del captador, aunque disminuye la transmitancia y aumenta significativamente el costo del captador.

- **Captadores con cubierta TIM** (Transparent Insulating Materials).
  Se utilizan cubiertas aislantes TIM que son estructuras transparentes en forma de panal de abeja que, colocadas en la cara interna de la cubierta, reducen significativamente las pérdidas por convección. Este tipo de cubierta también disminuye la transmitancia global, pero se compensa, a elevadas temperaturas, con la reducción de pérdidas térmicas.

- **Captadores tipo CPC** (Captador de concentración cilindro-parabólico compuesto).

En lugar de un absorbedor que ocupa la superficie completa dispone de canales reflectores adosados que reflejan la radiación solar sobre los absorbedores constituidos por tubos con pequeñas aletas.

- **Captadores planos de vacío**.
  Son captadores planos con carcasa hermética a los que se les hace el vacío interior y disponen de unos soportes internos que impiden que la cubierta y la carcasa se deformen o quiebren hacia dentro.

- **Captadores híbridos**.
  Son captadores que producen simultáneamente electricidad y calor combinando las tecnologías fotovoltaica y térmica en un mismo panel. La gran ventaja es la reducción del espacio ocupado al conseguir la transformación de la radiación solar incidente en una misma superficie un rendimiento eléctrico del 10-15% y un rendimiento térmico del 40-50%.

- **Captadores planos a medida**.
  En determinadas ocasiones y para conseguir una mejor integración arquitectónica se fabrican captadores a medida que se incorporan como parte de la cubierta o envolvente del edifico.

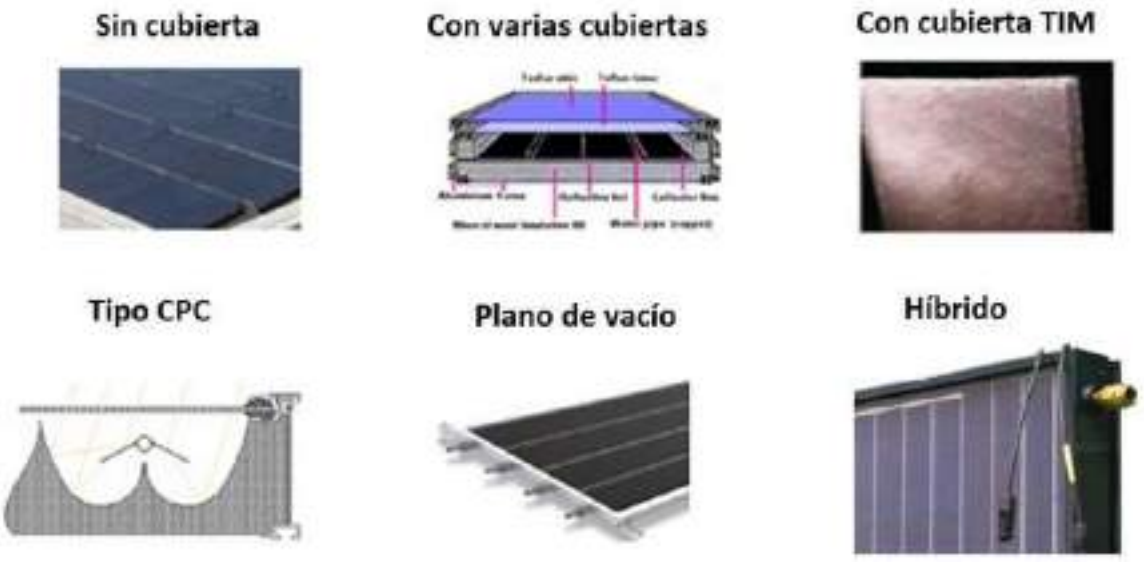


Figura 23: Otros tipos de captadores solares

3.1.4 Características funcionales de los captadores solares

3.1.4.1 Rendimiento del captador solar

La potencia térmica útil extraída del captador solar (POT_{CAP}) se emplea en aumentar la temperatura del fluido caloportador que circula por el absorbedor y puede expresarse con la siguiente expresión

$$POT_{CAP} = m_{CAP} \cdot c_p \cdot (T_s - T_e) = \eta \cdot A_{CAP} \cdot G_t$$

Siendo
m_{CAP} : el caudal másico que circula por el captador y es igual al caudal volumétrico multiplicado por la densidad del fluido
c_p : el calor específico a presión constante del fluido
T_s : la temperatura de salida del captador (ºC)
T_e : la temperatura de entrada del captador (ºC)
η : el rendimiento del captador
A_{CAP} : la superficie o área útil del captador (m^2)
G_t : la irradiancia total sobre la superficie del captador (W/m^2)

La potencia obtenida del captador solar es por tanto proporcional al rendimiento y a la irradiancia total por lo que es necesario conocer las variables de las que depende el rendimiento del captador.

El rendimiento de un captador se puede establecer mediante un modelo físico matemático que es función de las condiciones de trabajo y se puede comprobar que la transformación de la energía radiante en energía térmica se realiza conforme a una expresión de la forma:

$$\eta = F_R \cdot (\tau . \alpha) - F_R \cdot U_L \frac{T_e - T_a}{G}$$

Donde $F_R . (\tau\alpha)$ es el rendimiento óptico del captador, también denominado factor de eficiencia óptica, y representa el rendimiento del captador cuando la temperatura de entrada al captador Te es igual a la temperatura ambiente Ta y es, por tanto, el máximo rendimiento que puede alcanzar el captador. El valor de $F_R U_L$ corresponde al coeficiente de pérdidas térmicas y representa la disminución del rendimiento producido por las pérdidas térmicas del captador. Las pérdidas térmicas aumentarán, y por tanto el rendimiento disminuirá, a medida que este coeficiente sea mayor.

Ambos valores se pueden determinar por análisis teórico de las características del captador o experimentalmente mediante la realización de un ensayo en condiciones reales de funcionamiento en el que se miden todas las variables y se realiza un ajuste de la función que representa el rendimiento en función de la variable (Te – Ta)/G que representa las condiciones de funcionamiento. Una vez determinados dichos valores se dispone de la función lineal representativa del funcionamiento del captador solar y se puede calcular el rendimiento para

diversas condiciones de trabajo conociendo la temperatura de entrada del fluido caloportador [T_e], la temperatura ambiente [T_a] y la irradiancia sobre la superficie del captador [G].

Se indican en la siguiente tabla valores típicos de la función de rendimiento de diferentes tipos de captador solar:

Factores de la función rendimiento	$F_R.(\tau\alpha)$	$F_R U_L$ (W/K.m^2)
Captador con absorbedor negro sin cubierta	0,85 - 0,90	10-20
Captador metálico no selectivo con cubierta simple	0,80 - 0,85	6 – 8
Captador metálico selectivo con cubierta simple	0,75 - 0,80	3 – 5
Captador metálico selectivo con cubierta doble	0,70 - 0,75	3 – 5
Captador de tubos de vacío	0,65 – 0,70	1,5 – 2,5

Tabla 7: Valores típicos de la función rendimiento de diversos tipos de captador

El rendimiento también se puede representar en función de la temperatura de salida (T_s) del captador en lugar de la temperatura de entrada (T_e) o, lo que es más habitual, de la temperatura media $T_m = (T_e + T_s)/2$ del mismo. En cualquiera de los casos, se puede transformar la función rendimiento del captador utilizando los valores de $m_{CAP} . c_p$.

Debido a que el valor de U_L no es exactamente constante, sino que tiene una cierta dependencia con la temperatura, la precisión de la función lineal anteriormente expuesta mejora si se ajusta como función cuadrática del modelo físico real. En este caso, el rendimiento del captador solar se puede expresar mediante un modelo matemático muy utilizado y que se aplica en la norma UNE-EN 12975 para calcular experimentalmente, a partir de los resultados del ensayo y en función de la temperatura media (T_m) según la expresión:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{T_m - T_a}{G} - a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{G} \text{ Siendo } T_m = \frac{T_e + T_s}{2}$$

Es necesario señalar que la función de rendimiento determinada experimentalmente en el ensayo del captador solar siempre está asociada a un caudal de ensayo y a una superficie de referencia que, normalmente, es la de apertura. Cualquier cambio de los valores de referencia modifica los parámetros de rendimiento del captador por lo que deben estar siempre biunívocamente referenciados.

Como caudal de ensayo, según establece la norma UNE-EN 12975, se utiliza habitualmente el valor de 0,02 kg/s.m^2 (72 Kg/h.m^2) aunque el ensayo se puede realizar para cualquier otro valor que solicite el fabricante.

Para el área de un captador se pueden utilizar las siguientes definiciones:

Figura 24: Diferentes áreas de un captador solar

- El área total o área bruta es el área delimitada por los bordes exteriores de la carcasa del captador. Es el área de mayor tamaño.
- El área de abertura o de apertura corresponde a la proyección vertical en un plano de la superficie transparente del captador expuesta a la radiación solar incidente no concentrada.
- El área del absorbedor es la superficie del absorbedor

Ejemplo. El gráfico adjunto representa, para una irradiancia de 1.000 W/m^2, rendimientos de tres captadores solares con los factores η_0, a_1 y a_2 siguientes:

	η_0	a_1	a_2
CS1	0,85	8,50	0,030
CS2	0,80	4,00	0,025
CS3	0,75	2,00	0,020

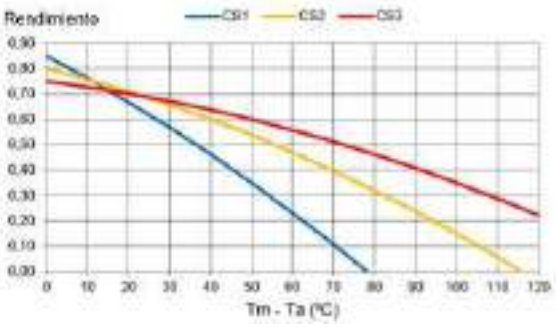


Figura 25: Rendimiento de tres tipos de captador solar

En el gráfico puede observarse que el mayor rendimiento se alcanza en un tipo de captador u otro en función de diferencia entre la temperatura de trabajo y la temperatura ambiente. Como este valor es variable a lo largo del día y del año no se puede discriminar ninguna tecnología de captador solar por su rendimiento instantáneo, sino que hay que evaluar las prestaciones anuales de cada solución.

Ejemplo: Calcular el rendimiento y la temperatura de salida de un captador solar de 2,00 m^2 con factores de rendimiento $F_R(\tau\alpha)$ = 0,80 y F_RU_L = 4,40, si circula un caudal de agua de 100 kg/h por el captador y la radiación global incidente es de 1.000 W/m^2, la temperatura de entrada es de 30ºC y la del ambiente es de 20ºC:

- Rendimiento = 0,80 – 4,40 * (30-20)/1000 = 0,756
- Salto de temperaturas = 0,756 * 2 * 1.000 * 0,864 / 100 = 13,1 ºC
- Temperatura de salida = 20 + 13,1 = 33,1 ºC

Para las mismas condiciones, si la temperatura de entrada es de 70ºC

- Rendimiento = 0,80 – 4,40 * (70-20)/1000 = 0,580
- Salto de temperaturas = 0,580 * 2 * 1.000 * 0,864 / 100 = 10,0 ºC
- Temperatura de salida = 70 + 10,0 = 80,0 ºC

Como se puede apreciar, existe una pérdida de rendimiento cuando mayor es la temperatura de entrada al captador, lo que ocurre en las instalaciones cuando el depósito se encuentra a elevada temperatura que produce el aumento de la temperatura de entrada a captadores.

3.1.4.2 Pérdidas de carga

La dependencia de la pérdida de carga del captador PC_{CAP} (expresada en mbar o en Pa) con el caudal másico m_{CAP} (en kg/h o kg/s) se determina experimentalmente en un ensayo que mide la caída de presión a través del captador en función del caudal de agua y es una función exponencial del tipo:

$$PC_{CAP} = k_1 \cdot m_{CAP} + k_2 \cdot m_{CAP}^{\ 2}$$

La figura adjunta es una representación gráfica de la pérdida de carga de distintos tipos de circuitos en absorbedores.

La pérdida de carga es un factor relevante tanto para el cálculo de la pérdida de carga total del circuito primario como para el equilibrado de captadores y de baterías de captadores.

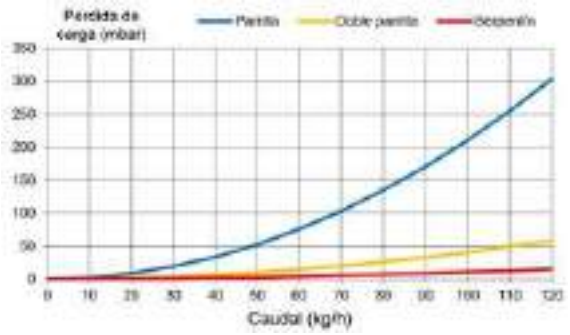


Figura 26: Pérdida de carga de tres tipos de absorbedor

3.1.4.3 Temperatura de estancamiento

Cuando no hay circulación de fluido por un captador expuesto a la radiación solar, su temperatura aumenta, y aumentan también las pérdidas térmicas, hasta que llega un momento en que las pérdidas térmicas igualan la energía captada de la radiación solar incidente alcanzándose un equilibrio térmico. La temperatura a la cual se alcanza este equilibro térmico se denomina temperatura de estancamiento.

La temperatura máxima de fluido que se debe considerar en el diseño de un captador es la temperatura de estancamiento que debe calcularse para las condiciones más desfavorables y se determina en los ensayos referida a una irradiancia global incidente superior a 1000 W/m^2 y a una temperatura ambiente del aire circundante de 30 ºC (admisible entre 20 y 40ºC).

Las temperaturas típicas de estancamiento que se encuentran en la gran mayoría de captadores solares, según las condiciones anteriores, suelen estar entre 120-140 ºC en captadores sin tratamiento selectivo y entre 160-200 ºC en captadores selectivos.

Es fundamental tener en consideración que una parte de los elementos del circuito primario de la instalación solar, como por ejemplo los racores, juntas y tuberías de conexión de captadores, deben de ser capaces de soportar la temperatura de estancamiento que es la máxima temperatura que se puede producir en el circuito.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que la temperatura de estancamiento obtenida en el ensayo se ha definido para unas condiciones determinadas de radiación y temperatura ambiente, por lo que el manual del captador deberá indicarlas para que el captador no se pueda instalar en otras condiciones más desfavorables.

3.1.5 Criterios de selección de captadores solares

Para realizar una correcta selección del captador solar se deberían evaluar los siguientes factores:

- La vigencia del certificado de homologación del captador emitido por el organismo competente conforme a la normativa establecida.
- La disponibilidad de los resultados del ensayo: parámetros de rendimiento del captador, la pérdida de carga, temperatura de estancamiento y durabilidad.
- Las características de los materiales que lo componen: espesor y calidad del vidrio, materiales y tratamiento del absorbedor, material del circuito hidráulico, formas de conexionado exterior, tipo de aislamiento y materiales de la carcasa.
- La facilidad para configurar baterías de captadores y los tipos de accesorios de conexión y de sujeción, número máximo de captadores por batería, así como procedimientos de montaje.
- La capacidad de adaptación al edificio y a las condiciones de generales de la instalación.
- Los requisitos exigibles al fluido de trabajo que se pueda utilizar.
- La disponibilidad de un manual de instrucciones de montaje y utilización que sea fácil de entender.
- Las condiciones de mantenimiento previstas en el manual.
- Las formas de embalaje, transporte y almacenaje previstos.
- Las condiciones y los plazos de la garantía del fabricante y del distribuidor.
- Las referencias de instalaciones en los que se ha utilizado y los años de experiencia constatable.
- El costo de adquisición del captador y de los accesorios necesarios para su montaje y acoplamiento, estructura, etc.
- Los costos de transporte y montaje incluso las diferencias de costos de la instalación asociada a cada caso específico.
- Realizar un análisis comparativo de las prestaciones energéticas de la instalación estudiando los resultados de los programas de cálculo con distintos captadores.

3.2 Acumuladores solares

Hasta ahora y casi exclusivamente, en las instalaciones solares térmicas de producción de ACS se han utilizado los sistemas de acumulación en forma de calor sensible y fundamentalmente utilizando agua como fluido caloportador que son los tipos de acumulador solar que se analizan en este capítulo.

3.2.1 Tipos y características constructivas de los acumuladores solares

Los acumuladores utilizados en las instalaciones solares térmicas pueden ser del mismo tipo que los empleados en sistemas convencionales para producción de agua caliente sanitaria, ya sean de agua caliente sanitaria o de inercia teniendo en consideración las particularidades de las

instalaciones solares. Como recipientes a presión estarán sujetos a la necesidad de disponer del marcado CE, dispondrán de una placa de identificación con la información requerida por la normativa y, adicionalmente, deberán cumplir las Directivas Europeas de ecodiseño (ErP) para reducir el impacto medio ambiental y de etiquetado energético (ELD) que establece los requisitos de consumo de energía.

Los acumuladores pueden tener incorporados uno o más intercambiadores de calor y, en ese caso, se denominarán interacumuladores. Es necesario tener en cuenta que las condiciones de funcionamiento y de diseño del intercambiador (potencia, caudal, presión, salto térmico y temperatura máxima) son diferentes cuando son utilizados para calentamiento con energía solar que cuando son utilizados con calderas.

Los acumuladores de agua caliente sanitaria deben de ser aptos para su uso con agua para consumo humano. Podrán ser de acero con recubrimiento interior vitrificado, de acero con protección interior mediante resinas epoxi o equivalente, de acero inoxidable (de calidad AISI 316 L o similar) o de cobre. Frente a la corrosión se utilizarán protecciones activas permanentes (protección catódica) o protecciones pasivas recambiables (ánodo de sacrificio). Los acumuladores mayores de 750 litros dispondrán de una boca de hombre con un diámetro mínimo de 400 mm., fácilmente accesible, que permita la inspección y limpieza adecuada del interior.

Los acumuladores de inercia podrán ser de acero negro con o sin protección interior, de acero inoxidable, o no metálicos, pero en este caso, además de soportar las condiciones extremas del circuito, deben resistir la acción combinada de presión y temperatura más desfavorable. También pueden ser de hormigón lo que requerirá la elaboración de un proyecto realizado por un técnico competente.

Los acumuladores de inercia se pueden diseñar:

- Para acumular a temperaturas máximas de trabajo superiores a los depósitos de ACS dado que las características de la protección interior de estos normalmente requieren limitar la temperatura máxima a 80-90ºC lo cual, puede afectar al rendimiento global de la instalación solar, ya que puede disminuir su disponibilidad. La temperatura máxima en los acumuladores de inercia podrá llegar a 100-110ºC y estará limitada por las presiones de trabajo máximas y los requisitos a cumplir por las dilataciones del material.
- Para presiones máximas de trabajo inferiores a los de ACS gracias a que el intercambiador de consumo, que siempre debe existir para transferir la energía captada, permite trabajar a presiones distintas a las de red. En ese caso, los acumuladores de inercia metálicos normalmente se diseñan para que tengan una ligera sobrepresión sobre la atmosférica para que no se evapore el agua y también para evitar la entrada de aire. No son recomendables los acumuladores abiertos o ventilados en circuitos realizados con materiales metálicos porque la evaporación del fluido exige una reposición continua de agua de red que puede afectar a la durabilidad del conjunto; normalmente los acumuladores abiertos o ventilados solamente se utilizan con materiales plásticos. Aunque no precisen de acceso al interior para operaciones de prevención de la legionelosis normalmente disponen de boca de hombre para realizar revisiones interiores de prevención de la corrosión o de limpieza interior.

- Pueden hacerse a medida de las dimensiones que se precisen e incluso ser fabricados in situ si es necesario dado que, al no necesitar de tratamientos interiores, el proceso de fabricación es mucho más sencillo. Esta particularidad les confiere una gran flexibilidad a la hora de adaptarse a lugares donde sea complicado incorporar acumuladores comerciales.

En la siguiente tabla se resumen las características comparativas de los acumuladores solares.

Tipo de acumulador	INERCIA	ACS
Materiales utilizados	Acero Negro, Acero Inoxidable, No metálicos o de Hormigón	Acero con protección interior, Acero inoxidable AISI 316L o Cobre
Tratamiento interior	No necesita	Vitrificado o resina epoxi
Mantenimiento de potabilidad	No necesita	Si es necesaria
Protección anti corrosión	No necesita si el agua no se renueva	Necesaria protección catódica o ánodos de sacrificio
Temperaturas máxima	Limitada por razones constructivas	Limitada por el tipo de tratamiento interior
Presión máxima	Seleccionable	Normal 8 bar
Principal problema	Necesita intercambio para circuito de consumo	Protección y corrosión del circuito de consumo
Mantenimiento	Bajo	Alto
Coste de inversión	Bajo	Alto

Tabla 8: Tabla comparativa de características de los acumuladores solares

3.2.2 Otros tipos de acumuladores solares

Sobre la base de los acumuladores solares que utilizan agua como fluido caloportador, existen diversas soluciones alternativas a los dispositivos anteriormente descritos cuyo uso permite mejorar la estratificación y reducir los efectos de mezcla aumentando, por tanto, el rendimiento de las instalaciones solares.

Existen, por ejemplo, elementos estratificadores que canalizan el agua de entrada por tubos verticales que disponen de varias salidas a distintos niveles en el interior del acumulador que canalizan las entradas de agua caliente al nivel de temperatura que les corresponde.

Otras veces se utilizan deflectores y difusores que redirigen el caudal y reducen la velocidad del fluido de entrada para evitar la mezcla del acumulador. A veces la carga a diferentes niveles térmicos se hace por el exterior del acumulador mediante válvulas de tres vías y tuberías que se conectan al acumulador a distintas alturas del mismo.

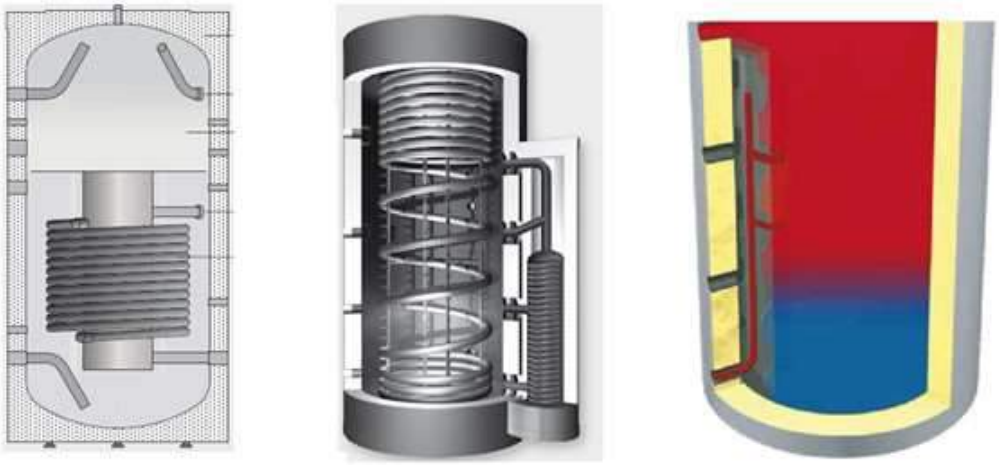


Figura 27: Diversos tipos de acumuladores con dispositivos para mejorar la estratificación

Por último, reseñar que existen otro tipo de acumuladores que aprovechan el calor latente de cambio de fase de determinados fluidos y que, aunque en la actualidad no son utilizados de manera generalizada, están empezando a penetrar en el mercado por lo que las instalaciones solares térmicas en el futuro podrán incorporar nuevas tecnologías de acumulación de calor.

3.2.3 Características funcionales de los acumuladores solares

3.2.3.1 Estratificación

El agua del acumulador, cuando se calienta, disminuye su densidad y tiende a ascender por efecto termosifón mientras que el agua fría, más densa, tiende a bajar, de esta manera el agua se estratifica por temperatura en el interior del acumulador. El mejor aprovechamiento de la energía térmica se consigue cuando el agua caliente en el interior del acumulador se almacena con un gradiente vertical de temperaturas y se evitan flujos entre las capas de agua a distinta temperatura manteniendo así la estratificación anteriormente mencionada. Este efecto es siempre deseable dado que permite tener el agua más caliente en la parte superior del acumulador que será la primera en alimentar al sistema de apoyo, mientras que el agua más fría se acumula en la parte inferior para que sea calentada por la energía solar que así se realizará con el mayor rendimiento.

Para mejorar la estratificación se deben incorporar medidas que la favorezcan y evitar, o reducir, los efectos que la destruyen. Es recomendable adoptar al menos las siguientes:

- Utilizar la disposición vertical, con relaciones altura/anchura superior a 1,5 siempre que sea posible, ya que se favorece el movimiento vertical y se disminuye la superficie de transferencia de calor hacía abajo.
- Introducir el agua fría de consumo por la parte inferior y, para evitar mezclas, reducir la velocidad de entrada de agua aumentando los diámetros correspondientes y utilizando deflectores o difusores en la entrada.

- Es conveniente que la tubería de salida hacia consumo tome el agua de la parte superior del acumulador pero que la boca de salida, en lugar de estar en la parte superior, esté en el lateral de forma que se evite que el agua caliente de la tubería de salida, cuando se enfríe porque no hay consumo, retorne al acumulador rompiendo la estratificación.
- Es conveniente que la situación y la geometría de la tubería de entrada de agua fría y de salida de agua caliente reduzcan al mínimo los volúmenes "no útiles" en los fondos del acumulador.

Asimismo, se pueden adoptar precauciones equivalentes en los procesos de carga y descarga cuyo objetivo siempre será mejorar la estratificación y evitar mezclas. Para ello, se tendrán en cuenta las características y situación de las conexiones de entrada y salida con los siguientes criterios:

- La tubería de entrada de agua caliente al acumulador procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se localizará por la parte superior de éste, preferentemente a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del acumulador.
- La tubería que conecta el acumulador con la entrada a intercambiador de carga o en su caso con la entrada a los captadores se realizará por la parte inferior de aquel, a la altura más baja posible compatible con las conexiones de alimentación y de vaciado.
- En el caso de intercambiador incorporado al acumulador solar, éste se situará en la parte inferior del mismo, preferentemente en la mitad inferior del acumulador.
- En los acumuladores horizontales las tomas de agua caliente y fría estarán situadas en extremos diagonalmente opuestos de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido. En general este tipo de disposición es menos recomendable, dado que la estratificación será menor en estos casos perjudicando el rendimiento de la instalación.

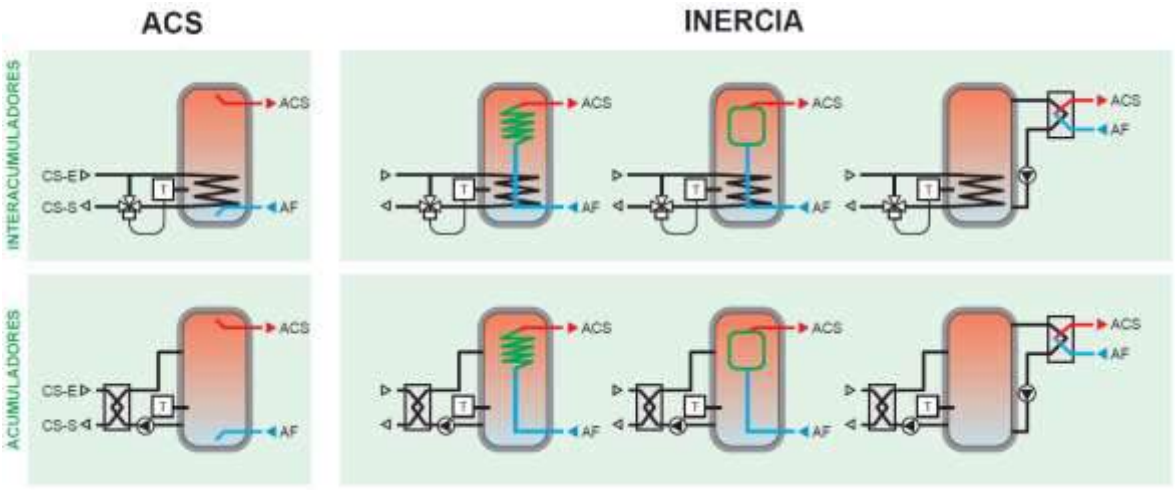


Figura 28: Diversos tipos de acumuladores e interacumuladores de ACS y de inercia

Los acumuladores de inercia ubicados en circuitos cerrados normalmente utilizan agua de llenado de la red y siempre requieren un intercambiador del lado del consumo para realizar el calentamiento del agua sanitaria que puede realizarse mediante un serpentín sumergido en la parte alta del acumulador solar de inercia, un depósito interior de calidad sanitaria (vitrificado, inoxidable o cobre) o un intercambiador de placas externo cuyo primario es alimentado por una

bomba de caudal variable en función del mayor o menor caudal de consumo. Estos acumuladores también pueden ser utilizados en sistemas combinados para ACS y calefacción.

3.2.3.2 Características térmicas

Las pérdidas térmicas del acumulador se deben evaluar para, además de cumplir la normativa vigente, ajustar las soluciones óptimas de cara a la integración en la instalación solar dada su importancia en las prestaciones energéticas globales. Es imprescindible tener en cuenta la necesidad de cubrir con el aislamiento toda la superficie exterior del acumulador, incluyendo tuberías, bocas de conexión y tapas de registro. Todo el aislamiento debe disponer del espesor necesario establecido según la normativa vigente en función de la temperatura de uso y quedar correctamente sellado ya que cualquier cámara de aire interior permitirá movimientos convectivos que aumentarían las pérdidas térmicas.

En caso de que el acumulador esté situado al exterior, el material aislante debe disponer de una envolvente de protección para evitar su deterioro por efecto de la humedad, radiación solar, pájaros, etc. utilizando un recubrimiento exterior resistente (aluminio, chapa lacada, poliéster, etc.) y completamente sellado que evite la posible penetración de agua al interior ya que el aislamiento mojado pierde sus propiedades aislantes por lo que aumentan significativamente las pérdidas térmicas.

Los requisitos de aislamiento que se establezcan se pueden cumplir con acumuladores que estén totalmente construidos, aislados y terminados en fábrica o bien con acumuladores que expresamente se construyan, aíslen y terminen en el lugar de instalación.

Los criterios anteriores deben considerarse para definir características térmicas del acumulador, aunque se debe evolucionar a que la caracterización térmica proceda de los resultados de los ensayos realizados conforme a UNE 12977-3.

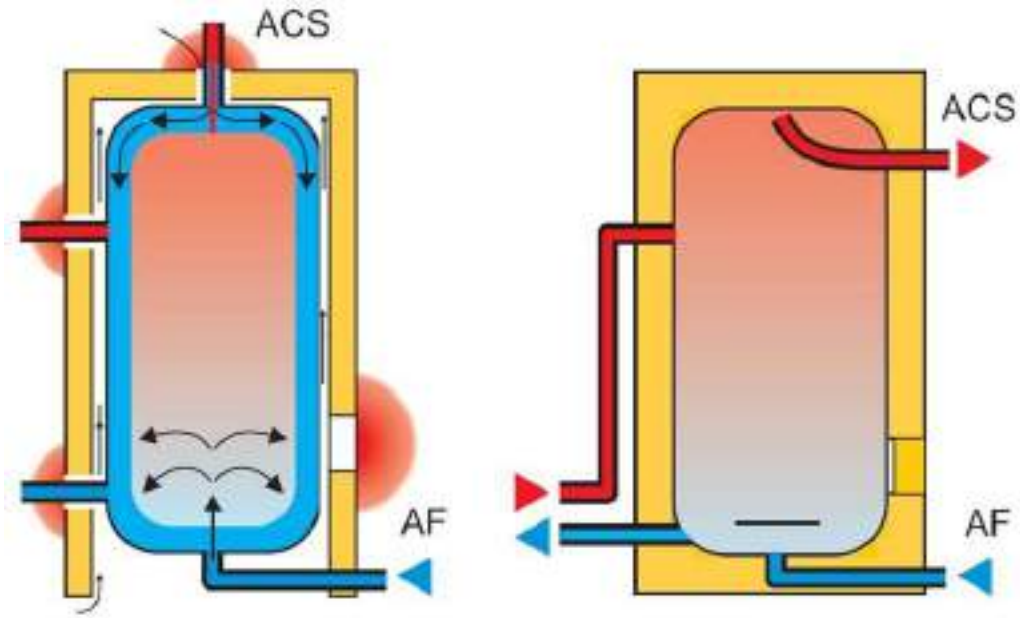


Figura 29: Aislamiento térmico del acumulador mal (izq.) y bien ejecutado (der.)

3.2.4 Criterios de selección del acumulador solar

Entre los criterios específicos que definen el correcto funcionamiento y durabilidad del acumulador y son necesarios para evaluar y decidir su elección se encuentran:

- La disponibilidad del certificado CE y, en su caso, del etiquetado energético.
- El cumplimiento de los requisitos exigidos para mantener la potabilidad y calidad del agua caliente sanitaria.
- La capacidad de trabajar adecuadamente dentro de los márgenes de presión y temperatura previstos en el interior del acumulador y también, en su caso, del intercambiador interno.
- Las dimensiones en relación con los espacios disponibles para su ubicación definitiva, para su traslado durante la instalación, accesibilidad a conexiones y boca de hombre para su mantenimiento, etc.
- Los materiales constructivos y los revestimientos interiores. La compatibilidad con el resto de materiales de la instalación.
- El tipo de aislamiento térmico necesario en función del material, espesor, pérdidas térmicas, protecciones exteriores en relación con el procedimiento de traslado y el lugar de ubicación.
- El tipo de sistema de protección catódica.
- La disposición del depósito acumulador, forma y relación superficie/volumen.
- La disponibilidad de todas las bocas necesarias para entradas y salidas de agua así como para elementos de medida, vaciado y de purga.
- La situación de conexiones de entrada y salida, así como las facilidades de conexión.
- La existencia de medidas y dispositivos para favorecer la estratificación.
- Los costes de adquisición, traslado y montaje, incluyendo los accesorios hasta conexión de tuberías.
- Las necesidades de mantenimiento y previsión de costes.
- Los plazos y condiciones de garantía ofrecidas por el fabricante y el distribuidor

3.3 Otros componentes

3.3.1 Requisitos generales

En general, todos los componentes, materiales y accesorios de las instalaciones solares térmicas son los que se utilizan en las instalaciones térmicas convencionales de producción de ACS, pero, dadas las específicas condiciones de la instalación solar, para que sean adecuados deberán:

1. **Cumplir la normativa vigente** que les sea de aplicación y disponer de los certificados justificativos correspondientes.
2. Estar preparados para **resistir las condiciones extremas de presión y temperatura** a las que pueden estar sometidos. Estas condiciones de trabajo, para cada uno de los circuitos, se definirán de acuerdo con los contenidos que se incluyen en esta guía.

3. Estar expresamente diseñados y preparados, los que se instalen al exterior, para **resistir las condiciones exteriores** a las que vayan a estar expuestos: rayos UV, oxidación por acción combinada de agua y aire, etc.
4. **Ser compatibles con los fluidos de trabajo** que puedan contener; especial precaución se tendrá con los materiales en contacto con el agua caliente sanitaria a la que no podrán contaminar para mantener las condiciones higiénico-sanitarias necesarias para su utilización y también su resistencia al cambio de comportamiento que puedan sufrir los fluidos caloportadores en el caso de que estos vean modificadas sus características químicas iniciales, como un posible incremento de pH, etc.

En lo que sigue se hace referencia a algunos materiales y a las características más significativas que los diferentes componentes de una instalación deben tener en relación con su aplicación en las instalaciones solares térmicas.

3.3.2 Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor pueden ser internos o externos:

- Intercambiador interno o incorporado al acumulador solar. Son, normalmente, de tipo serpentín construido con tubería de cobre o de acero inoxidable. Para acumuladores de pequeño tamaño también se utilizan los intercambiadores de doble envolvente.
- Intercambiador externo o independiente. Los más usados son intercambiadores de placas dado su bajo coste y su pequeño tamaño en relación a su área de transferencia de calor. Los intercambiadores pueden ser de placas de cobre, de acero inoxidable o de titanio, bien desmontables o bien electrosoldadas.

Figura 30: Diversos tipos de intercambiador: incorporados y externos

Es necesario resaltar que los intercambiadores siempre separan circuitos que pueden contener fluidos diferentes y estar a temperaturas y presiones muy distintas por lo que deberán soportar las condiciones extremas más adversas que puedan presentarse que pueden ser muy distintas a las de instalaciones de calderas. Así, por ejemplo, hay que destacar la influencia de los fluidos y las

temperaturas en la selección de materiales y de las juntas de estanqueidad, así como la de las variaciones de las presiones máximas sobre todo en los circuitos primarios de los intercambiadores de doble envolvente.

Debe limitarse la pérdida de carga de diseño y vigilar su ensuciamiento para que no pierda su capacidad de transferencia de calor. En las instalaciones con aguas duras debe hacerse la previsión de un sistema de limpieza de los depósitos calcáreos

En instalaciones de tamaño medio, aunque se pueden utilizar intercambiadores de placas desmontables, pueden interesar los de placas electrosoldadas por su menor coste de inversión, aunque, ante la imposibilidad de desmontaje de placas, hay que prever un adecuado sistema de limpieza externa a través de los circuitos de conexión.

3.3.3 Bombas de circulación

La bomba de circulación podrá ser del tipo en línea (de rotor seco o húmedo) y tendrán que cumplir los requisitos de marcado CE y ecodiseño que les sean de aplicación. Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado. En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión y a las incrustaciones calcáreas como bronce o acero inoxidable.

En los circuitos primarios se pueden utilizar bombas de rotor húmedo especialmente previstas para instalaciones solares térmicas de pequeño tamaño, pero, en general, es preferible utilizar bombas de rotor seco, donde el motor no es refrigerado por el fluido caloportador como ocurre en las bombas de rotor húmedo, debido a las elevadas temperaturas esperables en el circuito primario.

Las bombas calculadoras utilizadas en instalaciones solares son normalmente de caudal constante salvo las utilizadas en los circuitos de descarga de las instalaciones de intercambio distribuido que deben ser de caudal variable. En ese caso se utilizan bombas electrónicas con variación de frecuencia lo que permite ajustarla a las condiciones de funcionamiento en cada momento con un significativo ahorro de energía y sin producir ruidos en el circuito si se mantuvieran los caudales totales.

3.3.4 Tuberías

En el circuito primario de la instalación solar podrán utilizarse tuberías de cobre, de acero negro o de acero inoxidable compatible con el fluido que utilizan, que soporten las condiciones extremas de funcionamiento en función de su ubicación. Las tuberías de cobre serán tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión que soporten las condiciones extremas en forma de vapor o mediante soldadura por capilaridad que se realizará mediante soldadura fuerte.

En cuanto al uso del acero negro en el circuito primario es necesario tener en cuenta que, en circuitos que contengan cobre, como ocurre con los circuitos de los absorbedores de la gran mayoría de los captadores solares, no tendrá problemas de corrosión interior si se mantiene el

mismo fluido de trabajo sin reposición gracias a la hermeticidad del circuito y tampoco existirá corrosión exterior si el tubo se protege exteriormente con tratamiento anticorrosivo. Por el contrario, pueden producirse oxidaciones si los circuitos no son herméticos y requieren ser rellenados frecuentemente, ya que el aporte de oxígeno provocará la oxidación del circuito donde se haya utilizado acero y se pueden producir oxidaciones en el acero debido al par galvánico entre materiales de diferente electronegatividad si los tubos no están protegidos exteriormente.

No se recomienda el uso de tuberías de material plástico en el circuito primario dado que no se dispone de experiencia suficiente sobre su utilización en estos circuitos, ni sobre su resistencia a elevadas temperaturas y presiones del agua sobrecalentada o del vapor que se pueda generar, ni sobre la capacidad de mantener sus características nominales en el tiempo, ni acerca de su envejecimiento al estar sometido a los ciclos térmicos con grandes variaciones de temperatura y presión.

En los circuitos de agua caliente sanitaria (secundario y de consumo) podrá utilizarse cobre, acero inoxidable y materiales plásticos aptos para uso sanitario que estén autorizados por la normativa vigente. En aquellas zonas que puedan producirse temperaturas superiores a las habituales de los circuitos de producción de ACS, como los tramos de circuito que unen el sistema de intercambio externo con el acumulador solar, no se recomienda la utilización de materiales plásticos.

3.3.5 Vasos de expansión

Los vasos de expansión de las instalaciones solares deberán ser siempre cerrados, como ya se indicó en apartados anteriores, y, en el caso de estar instalados a la intemperie deberán estar expresamente diseñados para ello.

Los vasos de expansión utilizados en los circuitos primarios deberían tener una temperatura máxima de funcionamiento superior a 100ºC y se deben adoptar las medidas necesarias, como la incorporación de un vaso tampón, o un disipador, para que no se alcance en el interior del vaso de expansión fluido a temperatura superior a la que el mismo pueda soportar. La membrana elástica, el elemento interno menos resistente del vaso, debe ser capaz de soportar las elevadas temperaturas que se pueden producir en la instalación y ser aptas para trabajar con fluidos que contienen anticongelante.

En circuitos de consumo también es necesaria la instalación de vasos de expansión que absorban la dilatación del agua caliente y eviten el accionamiento de las válvulas de seguridad. En este caso, los vasos de expansión deben ser aptos para su uso con agua sanitaria.

En caso de fugas del lado gas, los vasos de expansión deberían presurizarse con nitrógeno puro. El uso de aire no es aconsejable porque puede reducir la vida útil de la membrana y puede oxidar el interior del vaso. Es preciso un adecuado llenado de gas del vaso en función de la altura manométrica de la instalación y de la presión de trabajo, para asegurar que se emplea toda la capacidad volumétrica del mismo para la absorción de la dilatación del fluido de la instalación.

3.3.6 Válvulas y accesorios hidráulicos

Los principales tipos de válvulas y accesorios hidráulicos utilizados en las instalaciones de energía solar térmica son:

- **Válvulas de corte**.
  Normalmente se utilizan válvulas de esfera o de bola y se emplean para abrir o cerrar el paso de fluido a través de una tubería o un equipo, lo que permite independizar componentes aislándolos del resto del circuito, o también para realizar vaciados. Las válvulas de bola disponen de un obturador esférico perforado dentro del cuerpo, que consigue un cierre muy hermético y que puede girar alrededor de su eje, al mover una palanca solidaria a éste. Es imprescindible tener en cuenta las temperaturas máximas de operación de las válvulas. Existen modelos específicamente diseñados para trabajar a altas temperaturas. No se recomienda la utilización de válvulas de compuerta como válvulas de corte.

- **Válvulas de seguridad.**
  En caso de sobrepresión, expulsa fluido de trabajo al exterior del circuito y evita presiones más elevadas. Son válvulas de resorte donde el obturador permanece cerrado por la acción de un muelle. Cuando la presión del fluido es superior a la que ejerce el resorte, éste cede y el obturador se desplaza dejando pasar fluido. Es fundamental tener en cuenta las temperaturas máximas que soportan este tipo de válvulas debido a que en ocasiones incorporan componentes de plástico que pueden resultar dañadas en caso de sobrecalentamiento y provocar fugas o goteos en el futuro.

- **Válvulas antirretorno.**
  Impiden el paso de fluido en un sentido y permite la circulación en el otro. Suelen ser de clapeta, de muelle o de disco. Se suelen utilizar en la impulsión de bombas para evitar que los rodetes de las mismas giren en sentido contrario y en la alimentación de agua fría a depósitos de ACS para evitar que el agua caliente pase al circuito de agua fría. Es importante que no generen una elevada pérdida de carga en el circuito. Al igual que en el caso de las válvulas de seguridad, parte de los componentes están fabricados en materiales plásticos y es conveniente tener en cuenta las temperaturas máximas que estas soportan para que su correcto funcionamiento no se vea afectado al ser utilizadas en instalaciones solares.

- **Válvula de regulación de caudal o equilibrado.**
  Se utilizan para controlar y regular los caudales lo que permite equilibrar hidráulicamente los circuitos. Las válvulas de equilibrado generan una pérdida de carga adicional en el circuito para que todos los lazos tengan el caudal previsto. Pueden ser válvulas de equilibrado estático, que realizan el ajuste mediante un proceso iterativo, o dinámico que consiguen un caudal constante mediante un sistema automático que compensa continuamente las posibles variaciones de caudal.

- **Válvulas de presión diferencial.**
  Son válvulas que mantienen constante la diferencia de presión entre dos puntos de un circuito y se utilizan en sistemas de caudal variable para limitar el incremento de presión diferencial

- **Válvula mezcladora.**
  Son válvulas de tres vías que mezclan el agua caliente de la acumulación con agua fría de red para regular la temperatura del agua que alimenta a los puntos de consumo a través del circuito de distribución. Pueden ser motorizadas, con servomotores de acción proporcional que actúan en función de la temperatura de salida, o termostáticas que incorporan el sensor de la temperatura de mezcla que regula las proporciones de los caudales correspondientes.

- **Válvula de llenado automático de agua de red.**
  Sirve para reponer circuitos cerrados, como el circuito primario y mantener la presión mínima cuando se han producido pérdidas de fluido por accionamiento de las válvulas de seguridad, vapor por los purgadores, pequeñas fugas, etc. No deben utilizarse en el caso de circuitos con mezcla anticongelante.

- **Equipos de medida**.
  Además de los elementos de medida de tipo electrónico que las instalaciones puedan disponer integrados en el sistema de control, la instalación debería tener los equipos de medida necesarios para visualizar directamente los principales parámetros funcionales como termómetros, manómetros, caudalímetros y contadores de energía

En resumen:

Son requisitos aplicables a todos los componentes:

- ✓ **Cumplir la normativa vigente**
- ✓ **Soportar condiciones extremas de presión y temperatura**
- ✓ **Resistir las condiciones exteriores**
- ✓ **Ser compatibles con los fluidos de trabajo**

Los materiales utilizables para tuberías son:

- ✓ **PARA CIRCUITO PRIMARIO: cobre, acero negro o acero inoxidable. Precaución con el uso de acero negro. No usar material plástico.**
- ✓ **PARA EL CIRCUITOS DE CONSUMO: cobre, acero inoxidable y materiales plásticos. En este último caso, adoptar precauciones en tramos cercanos al intercambiador.**

4 Condiciones de trabajo

En este capítulo se especifican las condiciones de trabajo y las características de los fluidos para cada uno de los circuitos de la instalación solar. Las condiciones de trabajo de cada circuito quedan definidas por los valores, nominal, máximo y mínimo, de las temperaturas y presiones a las que van a trabajar y por el tipo de fluido caloportador. Los fluidos de trabajo se seleccionarán de acuerdo con el tipo de circuito, las condiciones de operación y las condiciones extremas que pueden dar lugar a la formación de vapor y a congelaciones.

4.1 Temperaturas

4.1.1 Temperaturas nominales

Las instalaciones solares térmicas durante su funcionamiento dispondrán de temperaturas variables en todos sus circuitos debido a que el rendimiento y las temperaturas de trabajo de la instalación varían continuamente en función, principalmente, del consumo de agua caliente, de la disponibilidad de radiación solar y de la temperatura ambiente.

Las temperaturas nominales (TNOM) de cada uno de los circuitos representan las temperaturas medias de funcionamiento y se utilizarán, fundamentalmente, para calcular la potencia de intercambio entre circuitos, el rendimiento de la instalación y pérdidas térmicas.

A continuación, se muestran las temperaturas nominales más habituales determinadas a partir de las temperaturas medias de funcionamiento de la instalación de generación solar, así como de la temperatura del sistema de preparación y del circuito de distribución de agua caliente para una temperatura de preparación de ACS a 60ºC.

CIRCUITO[1]	PRI	CAR	DES	SEC	CON	DIS	REC
T_{NOM} (ºC)	60	55	50	45	60	55	50

Cuando sea necesario calcular las pérdidas térmicas, como complemento del método de cálculo utilizado según se establece en el apartado 7.6, se determinarán de acuerdo con los valores anteriores.

[1] PRI: Primario, CAR: Carga, DES: Descarga, SEC: Secundario, CON: Consumo, DIS: Distribución, REC: Recirculación

022

4.1.2 Temperaturas máximas

Las temperaturas máximas del circuito primario se definirán a partir de la temperatura de estancamiento del captador, que se obtiene del informe de ensayo, y la del circuito secundario y/o de consumo, de la temperatura de preparación del sistema de apoyo que deberá estar definida por las condiciones de diseño y funcionamiento del mismo.

Para el circuito primario se consideran hasta tres temperaturas máximas de trabajo que estarán definidas y asociadas a tres partes diferentes del circuito:

- la temperatura de estancamiento del captador (TEST) será la máxima temperatura que se puede alcanzar en los captadores, elementos de interconexión y tramos del circuito solar que conectan con los captadores.
- la temperatura correspondiente a la de saturación del fluido a la presión máxima en los tramos de circuito desde captadores hasta expansión y por donde pueda circular vapor. Normalmente no será inferior a 140ºC salvo para captadores con tratamiento no selectivo.
- la temperatura máxima de la parte más fría del circuito primario será de 110ºC, es decir, en el resto de tramos de circuito no alcanzables por el vapor.

La temperatura máxima TMÁX del resto de circuitos vendrá impuesta por el sistema de transferencia de calor, los diseños de los circuitos y las estrategias del sistema de control y la valvulería asociada, que deberán evitar el paso de fluidos a determinada temperatura a algunas partes del circuito. Por defecto, los valores de las temperaturas máximas para todos los circuitos nunca serán inferiores a las siguientes:

CIRCUITO	PRI	CAR	DES	SEC	CON	DIS	REC
$T_{MÁX}$	T_{EST}/ 140/ 110	110	100	100	80	80	80

4.1.3 Temperaturas mínimas

La temperatura mínima de cada uno de los circuitos se definirá a partir de la temperatura ambiente mínima exterior a la que estos se expongan. En el caso del circuito primario ésta será la temperatura mínima local histórica registrada durante un periodo de 20 años o, en su defecto, se tomará de la Tabla B4 del capítulo 14 para las localidades indicadas.

La temperatura ambiente mínima exterior será la temperatura mínima de circuito primario de captadores y de cualquier otro circuito cuyo trazado tenga alguna parte en el exterior, aunque esté térmicamente aislado.

En el caso de los circuitos cuyo trazado discurra completamente por zonas interiores, la temperatura mínima alcanzable será la del local donde estos se encuentren si su localización aporta la certeza de que no se alcanzarán las temperaturas mínimas exteriores.

4.2 Presión

En lo que sigue, salvo indicación contraria, se utilizarán presiones manométricas, es decir presiones relativas que toman como referencia la presión atmosférica.

4.2.1 Presión nominal

La presión nominal de cada uno de los circuitos es la presión de trabajo admisible a la que pueden trabajar sin que se reduzca la vida útil y corresponde a la presión que selecciona el proyectista para su funcionamiento que debe ser siempre inferior o igual a la menor presión nominal de los componentes y materiales que lo componen.

La diferencia de altura manométrica, entre las partes alta y baja de los circuitos, supondrá un incremento de presión en la parte inferior que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar los equipos que irán ubicados en esta parte del circuito. Por ello, en los cálculos de presiones siempre habrá que tener en consideración las diferencias que se producen por el peso de la columna del fluido de trabajo debido a la diferencia de alturas. Para el diseño hidráulico de los circuitos se considerará que cada 10 metros de altura equivale a 1 bar.

Este aspecto es de especial relevancia si se quiere garantizar en el intercambiador que la presión del circuito secundario sea superior a la del circuito primario para evitar que, en caso de rotura o perforación del intercambiador, el fluido caloportador del primario pase al circuito de consumo.

La presión de trabajo nominal en el circuito de consumo será en principio la de presión de red de la acometida, salvo que esta sea superior a la presión que puedan soportar los equipos a los que alimenta, en cuyo caso deberían de ir provistas de válvulas reductoras de presión que eviten que una sobrepresión en la red pueda dañar los equipos que se conecten a ella.

La presión de tarado de la válvula de seguridad de un circuito debe evitar que en cualquier punto del mismo la presión del fluido pueda superar la presión nominal.

4.2.2 Presión máxima

La presión máxima de trabajo de cada circuito, es el valor máximo que puede alcanzarse durante cualquiera de las condiciones de funcionamiento normal o accidental, será siempre inferior a la presión de tarado de la válvula de seguridad con un margen de seguridad adicional del 10% y, al menos, de 0,5 bar. La presión máxima de trabajo de cada circuito se utiliza para el dimensionado del sistema de expansión como más adelante se verá.

Para el diseño y dimensionado de los circuitos conectados a la acometida de agua de red se tendrán en cuenta las presiones de suministro, cuyos valores máximos deben estar garantizadas por la empresa de abastecimiento. En el caso de que, como hemos visto anteriormente, la presión de red supere la presión máxima que puedan soportar los equipos a los que se conecte, deberá de dotarse a la acometida de una válvula reductora de presión.

022

4.2.3 Presión mínima

La presión mínima de cada uno de los circuitos cerrados es el valor mínimo de presión que se puede alcanzar durante cualquiera de las condiciones de funcionamiento. Debe ser siempre superior a la presión atmosférica para evitar que entre aire en los circuitos. Las instalaciones estarán diseñadas para asegurar que, en las condiciones de temperaturas más frías, los circuitos dispongan de una presión entre 0,5 y 1,5 bar por encima de la presión atmosférica.

Los circuitos de consumo conectados a la acometida de agua tendrán en cuenta que la presión mínima de trabajo de la red de abastecimiento puede ser cero, lo que debe tenerse en consideración para la prueba de presión del circuito primario de interacumuladores e intercambiadores.

También deberán considerarse aquellos casos en que la presión mínima pueda ser negativa que normalmente estará producida por la depresión que genera el peso de una columna de agua para lo que deberán utilizarse un dispositivo anti-vacío que permita que la columna se pueda descargar y evite la depresión.

4.2.4 Diferencia de presiones

En ocasiones el problema de presiones está producido por la diferencia entre circuitos separados por un intercambiador en los que éste debe soportar las máximas diferencias. A esos efectos, es necesario resaltar la importancia de que los intercambiadores soporten la diferencia de presiones que puede ocurrir entre los circuitos que separa en las condiciones más desfavorables.

Por ejemplo, es habitual y requiere especial precaución el caso de los interacumuladores de doble envolvente, que requieren comprobar se soportan las diferencias de presiones entre los circuitos primario y de consumo en las condiciones de trabajo más desfavorables que pueden oscilar desde +8 bar con $P_{consumo}$ = 8 bar y $P_{primario}$ = 0 hasta -3 bar con $P_{consumo}$ = 0 y $P_{primario}$ = 3 bar.

4.3 Acción combinada de temperatura y presión

La acción combinada de temperaturas y presiones puede dar lugar a efectos distintos a los previstos en cada una de ellas por separado, por lo que deberá analizarse las posibilidades de que esta situación ocurra y los efectos que se puedan inducir.

Se debe prestar especial atención a la resistencia a la presión máxima de trabajo de materiales plásticos para las diversas temperaturas que se puedan presentar como, por ejemplo, en circuitos secundarios si se alcanzan 80 ó 90ºC.

Deberá distinguirse el análisis de la resistencia de materiales a la acción combinada de la disminución de la vida útil de los materiales plásticos empleados debido a las continuas variaciones de las presiones y temperaturas de trabajo.

4.4 Fluidos de trabajo

Deben especificarse las características del agua consumo y de los restantes fluidos de trabajo que se empleen en los diferentes circuitos de la instalación y verificar que se cumplen las especificaciones que se establezcan para evitar problemas de incrustaciones, corrosión, etc. en las instalaciones.

4.4.1 Agua de consumo

El agua de la red, de uso sanitario o de consumo siempre va a ser uno de los fluidos de trabajo. Debería cumplir, o debería ser tratada si no los cumple, los siguientes requisitos:

- La salinidad del agua no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles.
- El contenido en sales no excederá de 200 mg/l expresados como contenido en carbonato cálcico.
- El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

4.4.2 Mezclas anticongelantes

Deberían utilizarse mezclas de agua con propilenglicol que no presenta riesgo para la salud humana y no deben usarse mezclas con etilenglicol por el riesgo que existe debido a su toxicidad.

La proporción de anticongelante se adoptará en función de las características suministradas por el fabricante y se deberá ajustar, como mínimo, a la temperatura de congelación 5ºC inferior a la temperatura mínima histórica del emplazamiento donde se vaya a ejecutar la instalación definida en el apartado 4.1.3.

La instalación debe disponer de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la instalación en el caso de que ésta pierda fluido de trabajo y para asegurar que el anticongelante esté perfectamente mezclado. Para ello se podrá utilizar un recipiente o depósito para preparar la mezcla que, posteriormente, se introducirá en el circuito de forma manual o automática normalmente mediante una bomba de llenado. El sistema de llenado no permitirá las pérdidas de concentración de la mezcla que se puedan producir por fugas del circuito y resueltas con reposición de agua de red.

4.5 Flujo inverso

Se entiende como flujo inverso cualquier circulación de fluido no previsto en cualquier circuito de la instalación que se produce cuando el acumulador está a cierta temperatura, normalmente superior a su entorno, de forma que puede impulsar el movimiento del fluido por circulación natural cuando existen tuberías que permiten la circulación. El efecto del flujo inverso produce el enfriamiento indeseado de los acumuladores de agua caliente y, por ello, el diseño y el montaje

de la instalación debe asegurar que no se producen pérdidas térmicas significativas debidas a flujo inverso en ningún circuito hidráulico del sistema.

Se pueden distinguir (ver Figura 2) los siguientes tipos:

1. El efecto de flujo inverso más conocido es el movimiento en sentido contrario al previsto en el circuito primario que se evita con la válvula de retención que se debe de incorporar al mismo. La principal precaución que debe adoptarse es verificar el completo cierre de la válvula de retención y establecer un control de las temperaturas en puntos alejados del acumulador en el plan de vigilancia. A veces se utilizan válvulas automáticas que se cierran cuando deja de funcionar la bomba, de esta forma se interrumpe la circulación por el circuito primario en cualquiera de los dos sentidos y a su vez, su acción, protege la instalación interior de la posible circulación del vapor generado en los captadores en caso de sobrecalentamiento. Se deben tomar especiales precauciones en el caso que el acumulador esté situado por debajo del nivel de los captadores.
2. También puede producirse circulación natural en el interior de una misma tubería a partir de las conexiones con el acumulador. En el caso de conexión vertical de salida la circulación ascendente del fluido caliente es por la parte interna y la descendente, del fluido que se enfría, es por la parte exterior. En el caso de tubería horizontal la circulación caliente se realiza por la parte superior y la del fluido más frío por la parte inferior de la misma tubería. En estos casos, la solución pasa, en primer lugar, por evitar las tuberías conectadas en la parte superior y, en el caso de las conexiones laterales, realizar un sifón térmico mediante un codo orientado hacia abajo de forma que se evite que el agua caliente progrese su avance ya que al agua caliente no descenderá. En cualquier tramo de tubería horizontal donde exista dicho problema se puede reducir realizando el mismo tipo de sifón térmico antes descrito.
3. Por último, señalar que el aumento de temperatura del acumulador solar crea una sobrepresión en el mismo que, cuando los puntos de consumo se mantienen cerrados, tiende a evacuarse por la tubería de alimentación de agua fría lo que puede genera un flujo inverso en la misma si no se dispone de la correspondiente válvula antirretorno

4.6 Dispositivos de protección

En este apartado se hace referencia a los dispositivos que deben utilizarse para proteger a los usuarios y a la instalación de las condiciones extremas de temperatura y presión definidas anteriormente.

4.6.1 Protección frente a altas temperaturas

Se tienen que proteger de altas temperaturas a los usuarios para evitar quemaduras por contacto accidental y también a los componentes de la instalación por razones de resistencia y durabilidad de los materiales.

Para evitar quemaduras de los usuarios hay que tener en cuenta que:

- La temperatura de uso, o de distribución, nunca podrá superar los 60ºC. Cuando la temperatura de preparación o de distribución pueda ser superior a 60ºC, la instalación ha de disponer de un sistema automático de mezcla o cualquier otro dispositivo que limite esta temperatura a 60ºC como máximo.
- La instalación de todos los elementos que puedan evacuar fluido al exterior (válvulas de seguridad, de vaciado, purga manual, etc.) debe realizarse de forma conducida para que su actuación no pueda provocar accidentes o daños.
- Ninguna superficie con la que exista la posibilidad de que el usuario tenga un contacto accidental podrá tener una temperatura mayor de 80ºC. A estos efectos se debe tener en cuenta que, como las superficies externas del captador pueden alcanzar temperaturas superiores a 80º C, los captadores solares deben estar localizados en una zona técnica solamente accesible a personal especializado que desarrolle operaciones de mantenimiento en la instalación. El resto de la instalación debe disponer del aislamiento correspondiente con objeto no solo de minimizar las pérdidas sino también de evitar el contacto accidental con superficies calientes.

La protección de la instalación de energía solar frente a altas temperaturas será de seguridad intrínseca, es decir, su actuación no dependerá de elementos externos a la instalación y estará diseñada para que después de alcanzar la temperatura máxima por cualquier situación, la instalación pueda volver a su forma normal de funcionamiento sin que sea necesaria ninguna actuación. Como sistemas de seguridad intrínseca frente a altas temperaturas del circuito primario se podrán utilizar:

- Si **se permite la formación de vapor** en el interior del circuito primario que ocurre cuando la temperatura de estancamiento de la instalación es superior a la temperatura de vaporización del fluido correspondiente a la presión máxima, hay que tener prevista la expansión del mismo de forma que el aumento de volumen sea completamente absorbido por el sistema de expansión. Esta solución no puede impedir el funcionamiento de la instalación cuando exista demanda y para ello se comprobará que el dimensionado de la bomba y la estrategia del sistema de control garantizan la puesta en funcionamiento de la instalación después del proceso de protección contra altas temperaturas. El diseño y dimensionado adecuado del sistema de expansión en cada circuito es el procedimiento adecuado para absorber la dilatación del fluido, evitar que la presión supere los máximos previstos y que nunca actúe la válvula de seguridad.
- Si se diseña el circuito para soportar una presión elevada de forma que **no se permite la formación de vapor** porque la presión del circuito es siempre superior a la presión de vapor del fluido correspondiente a la temperatura de estancamiento. Esta solución obliga al circuito a trabajar a presiones altas y por tanto a seleccionar elementos que sean capaces de soportarla.
- Si **se utilizan sistemas con drenaje automático** que garanticen que, en las condiciones extremas de funcionamiento, los captadores permanecen totalmente vacíos del fluido de trabajo. Esta solución será posible cuando la instalación, geometría y la ubicación relativa entre campo de captación y acumulación permita las adecuadas pendientes y la no existencia de sifones que garanticen su correcto vaciado.

022

La exposición continua a altas temperaturas puede producir el envejecimiento acelerado de la mezcla anticongelante y de algunos materiales plásticos. Por ello, en algunos casos, se recomienda utilizar procedimientos para evacuar el calor y reducir el tiempo en el que determinados componentes o circuitos trabajen a temperaturas elevadas. Los más utilizados son los disipadores estáticos o dinámicos de calor, aunque hay que tener en cuenta que estos últimos no son sistemas de seguridad intrínseca al requerir alimentación eléctrica para su funcionamiento.

La protección contra altas temperaturas de determinados componentes, como por ejemplo el recubrimiento de los acumuladores para proteger el tratamiento interior de los mismos o para proteger los materiales de las tuberías del circuito de consumo, que se realiza desde el propio sistema de control debe considerar que establecer limitaciones de uso en cuanto a la temperatura, afectan negativamente al rendimiento y prestaciones de la instalación.

4.6.2 Protecciones anti heladas

Los sistemas de protección anti helada que se describen a continuación pueden ser de tres tipos: circuito indirecto con mezcla anticongelante, drenaje automático con recuperación y recirculación del circuito primario.

El riesgo de heladas, para cada localización, queda establecido por la temperatura ambiente mínima del lugar donde se vaya a ejecutar la instalación establecida en el apartado 4.1.3. A los efectos de definir los sistemas de protección frente a heladas, se deben diferenciar:

- Las instalaciones situadas en localidades con temperatura mínima histórica inferior a 0ºC tienen **riesgo de heladas elevado** y se tendrá que utilizar un sistema de protección adecuado: circuito indirecto con mezcla anticongelante o vaciado automático de circuitos.
- Las instalaciones situadas en localidades con temperatura mínima histórica inferior a 3ºC se podrá considerar que tienen **riesgo de heladas medio** y se podrá utilizar, además de los anteriores, un sistema de protección antiheladas mediante recirculación del fluido.

4.6.2.1 Circuitos indirectos con mezclas anticongelantes

El sistema de protección antiheladas se realizará utilizando circuitos indirectos con mezclas anticongelantes cuya proporción garantizará que el fluido no se congelará a una temperatura de 5ºC por debajo de la temperatura mínima local histórico registrada.

4.6.2.2 Drenaje automático con recuperación de fluido

El fluido de trabajo podrá ser agua o una mezcla anticongelante. El diseño de los circuitos permitirá el completo drenaje por gravedad y el vaciado de todas las partes de la instalación expuesta a heladas. El vaciado del circuito de captadores podrá realizarse a un acumulador auxiliar de almacenamiento de fluido o a otra parte del circuito con capacidad suficiente. El sistema de circulación del circuito primario será el mismo encargado de realizar el llenado de los captadores solares recuperando el fluido previamente drenado cuando el riesgo haya

desaparecido. El sistema de control parará las bombas de circulación siempre que la temperatura detectada en captador alcance un valor superior (+3ºC) al de congelación del fluido de trabajo.

4.6.2.3 Recirculación del circuito primario

La recirculación del fluido de trabajo del circuito con riesgo de heladas aprovecha la energía térmica acumulada para calentar el fluido de trabajo contenido en el circuito primario y por tanto en aquellas partes de la instalación expuestas a heladas. El sistema de control pondrá en funcionamiento la bomba de circulación cuando la temperatura detectada en captadores alcance un valor ligeramente superior (+3ºC) al de congelación del fluido de trabajo y la parará con una temperatura de +6ºC. Se asegurará que el fluido de trabajo está en movimiento en todas las partes del circuito primario y, especialmente, se evitará la existencia de baterías cortadas y con fluido en el interior del circuito.

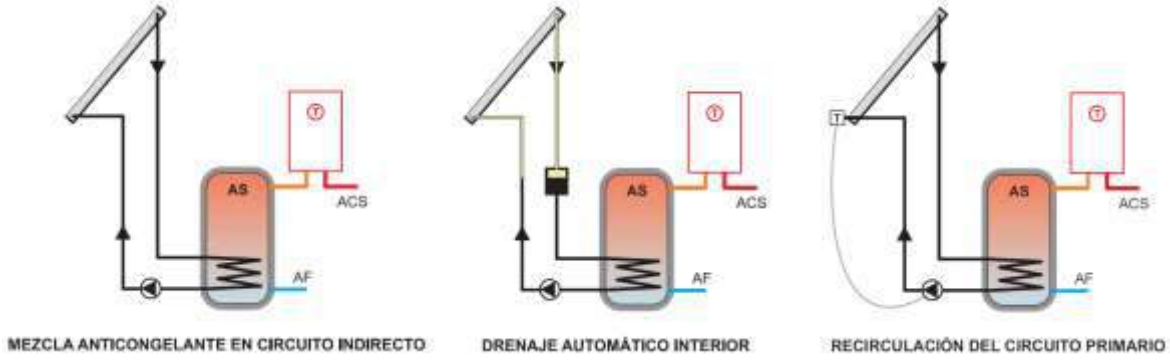


Figura 31: Sistemas de protección antihelada

4.6.3 Protección frente a altas presiones

Cada uno de los circuitos de la instalación debe estar diseñado para que nunca se alcance la presión máxima de trabajo, por lo que siempre debe incorporar un sistema de expansión cuya función es absorber la dilatación del fluido, evitar que la presión supere los máximos previstos y que nunca tenga que actuar la válvula de seguridad correspondiente.

El procedimiento de diseño y dimensionado del sistema de expansión de los diferentes circuitos de la instalación se realizará de la misma forma considerando las condiciones particulares de cada circuito. A continuación, se desarrolla el caso más complejo del circuito primario con formación de vapor. El procedimiento descrito es utilizable para la expansión de otros circuitos, aunque también se puede aplicar la norma UNE 100155.

4.6.3.1 Diseño del sistema de expansión

El sistema de expansión sólo podrá ser cerrado y se requiere especificar el número, volumen unitario, marca y modelo de los vasos de expansión, así como la presión nominal.

Teniendo en cuenta que la membrana elástica del vaso de expansión es el componente más crítico en relación con su durabilidad debido a la temperatura que debe soportar y al envejecimiento al que puede estar sometido por las continuas dilataciones y contracciones, la conexión del sistema de expansión se realizará en la parte más fría de los circuitos para reducir las elevadas temperaturas que puedan llegar a la membrana del vaso y, en el caso del circuito primario, de forma que se facilite la salida de fluido que se expande en captadores por las tuberías de entrada a los mismos. Para ello, se debe asegurar que el sistema antirretorno no impida que el fluido desplazado alcance al sistema de expansión.

El ramal de conexión del sistema de expansión del circuito primario tendrá la capacidad necesaria para que la disipación de calor durante la fase de dilatación evite que el fluido de trabajo llegue al sistema de expansión a una temperatura superior a la de diseño de sus componentes. Para ello y cuando sea necesario, el ramal estará constituido por un tramo de tubería sin aislamiento que puede ser aleteada. A veces puede ser necesario intercalar un depósito no aislado, o vaso tampón, que disponga de la suficiente superficie de evacuación y la capacidad de acumulación necesaria para que el fluido se enfríe antes de llegar al sistema de expansión a una temperatura inferior a la que pueda soportar la membrana del mismo. En el caso de utilizar un vaso tampón, se puede estimar a la hora de su dimensionamiento que su volumen puede ser del orden de un 50% del correspondiente al definido para el sistema de expansión

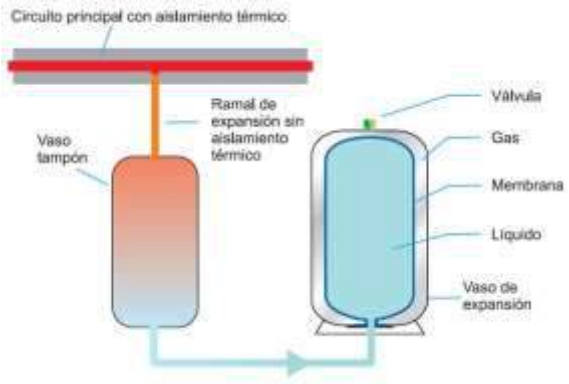


Figura 32: Diseño del sistema de expansión con vaso tampón

El diámetro del ramal de conexión del vaso de expansión al circuito primario debe de ser lo suficientemente grande de manera que permita la adecuada disminución de la presión del circuito dejando pasar el caudal de líquido suficiente al vaso de expansión y no debería ser inferior al determinado en la siguiente tabla en función de la superficie de captadores:

Superficie de captadores (m^2) hasta	15	50	150	500
Diámetro de conexión no inferior a	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"

4.6.3.2 Criterios de dimensionado

El dimensionado de los circuitos con seguridad intrínseca exige que se evite la apertura de las válvulas de seguridad lo que se realizará conforme al rango de presiones y temperaturas máximas y mínimas previstas. Ello implica que, previamente al dimensionado, debería decidirse en qué condiciones va a funcionar la instalación, es decir, si en el circuito correspondiente se formará vapor o no. Para ello, una vez definido el tipo de fluido, se habrá determinado para cada circuito, la presión de vaporización del fluido caloportador a la temperatura máxima de trabajo y se comparará con las presiones (mínima y máxima) del circuito.

Los vasos de expansión cerrados se dimensionarán de forma que la presión mínima en frío $P_{mín}$ en el punto más alto del circuito esté comprendida entre 0,5 y 1,5 bar de manera que se garantice que no penetre aire en la instalación, y la presión máxima Pmáx no alcance la presión de tarado de la válvula de seguridad Pvs cumpliéndose que $P_{máx} = 0,9 * P_{vs} \leq P_{vs} - 0,5$.

4.6.3.3 Cálculo del volumen del sistema de expansión

El procedimiento establecido a continuación sirve para cada uno de los circuitos. El volumen nominal del sistema de expansión VE_{NOM} será la suma del volumen útil VE_{UTI} o volumen de líquido máximo del vaso y el volumen de gas VE_{GAS} que debe contener; se puede calcular por la siguiente expresión:

$$VE_{NOM} = VE_{UTI} + VE_{GAS} = VE_{UTI} * CP = (VE_{RES} + VE_{DIL} + VE_{VAP}) * CP$$

- El volumen de reserva VE_{RES} compensa la contracción del fluido a temperaturas muy bajas y las eventuales pérdidas de fluido. Se calculará como el 3% del volumen total del circuito VC_{TOT} que se obtiene sumando la cantidad de fluido contenido en cada uno de los componentes del circuito hidráulico, pero en ningún caso será inferior a 3 litros.
- El volumen de dilatación $VE_{DIL} = VC_{TOT} * CET$ será igual al volumen total del circuito VC_{TOT} multiplicado por el coeficiente de expansión térmica del fluido CET cuyo valor será igual a 0,043 para el agua y 0,085 para las mezclas agua-glicol.
- El volumen de vapor VE_{VAP} se obtiene sumando el contenido líquido de los captadores de acuerdo con los datos suministrados con el fabricante y de la parte del circuito solar que está situado por encima de la parte más baja de los captadores.
- El coeficiente de presión CP, que nunca será inferior a 2, se calcula por la fórmula siguiente:

$$CP = (P_{máx} + 1)/(P_{máx} - P_{mín}) \geq 2$$

Dado que el llenado de la instalación no se realiza en las condiciones extremas de presión y temperatura, debería verificarse que el vaso tiene la presión inicial de precarga del lado gas PPRE debiendo ajustarse a 0,3 bar por debajo de la presión mínima y teniendo en cuenta la presión debida a la altura manométrica de la instalación en el punto donde se sitúe el vaso: $P_{PRE} = P_{mín} - 0,3$.

Ejemplo: En una instalación con interacumulador, se estudian las presiones producidas en el circuito primario y se analiza las diferencias producidas al instalar la expansión en el nivel más bajo y en el nivel más alto del circuito. La diferencia de alturas es de 12 metros. Se establece una presión mínima en captadores de 1,5 bar que en la parte inferior será de 2,7 bar (1,5+1,2). Se va a suponer que todos los componentes tienen una presión de trabajo superior a 8 bar con lo que se puede prever una válvula de seguridad tarada a 6 bar en ambos casos.

- CASO 1. Si el vaso de expansión se instala en la parte inferior, la presión máxima de trabajo en la parte inferior será 5,4 bar (6*0,9). La correspondiente presión máxima en la parte superior será 4,2 bar (5,4 – 1,2). El sistema de expansión se calcula entre 2,7 bar de mínima y 5,4 bar de máxima.
- CASO 2. Si el vaso de expansión se instala en la parte superior, la presión máxima de trabajo en la parte superior será 5,4 bar. La correspondiente presión máxima en la parte inferior será

022

6,6 bar (5,4 + 1,2). El sistema de expansión se calcula entre 1,5 bar de mínima y 5,4 bar de máxima.

Para calcular el vaso de expansión para ambos casos, que solamente se diferencian por la situación del mismo y la válvula de seguridad, se considera que el circuito primario contiene glicol y tiene 20 captadores solares de 1,5 litros de volumen de fluido cada uno, las tuberías del circuito primario tienen 10 litros de capacidad por encima de captadores y 20 litros en el resto del trazado hasta intercambiador; el intercambiador tiene 5 litros de capacidad.

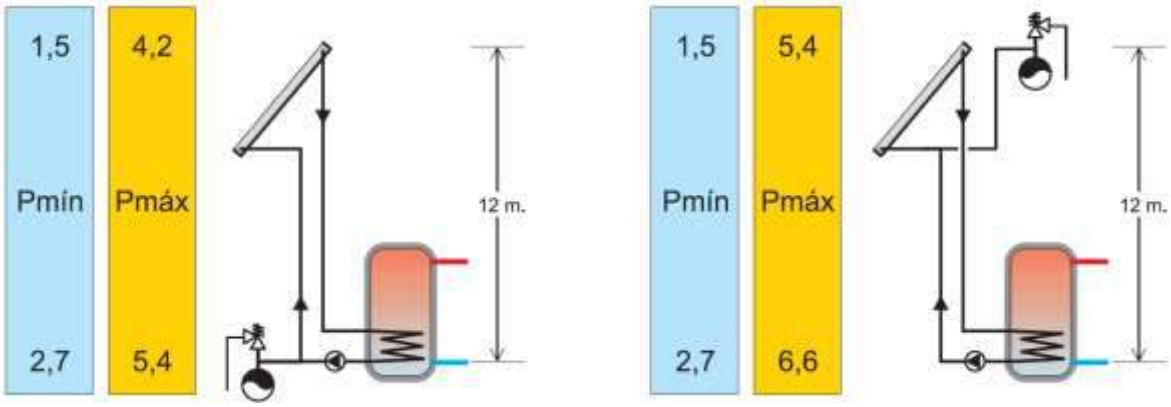


Figura 33: Esquemas con sistema de expansión situado en el nivel más bajo (izq.) y más alto (der.) y valores comparativos de las presiones mínima y máxima

Para ambos casos: VE_{DIL}= 0,085 * (20*1,5+10+20+5) = 5,5

VE_{VAP}= 20*1,5 + 10 = 40

VE_{RES} = 3

VE_{UTI} = 5,5 + 40 + 3 = 48,5 litros.

Para el caso 1: CP = (5,4+1)/ (5,4–2,7)= 6,4 / 2,7 = 2,37

VE_{UTI} = 48,5 *2,37 = 114,9 litros.

Seleccionar un vaso de 120 litros.

Para el caso 2: CP = (5,4+1)/ (5,4–1,5)= 6,4 / 3,9 = 1,64

Aplicando la restricción de CP ≥ 2 sería:

VE_{UTI} = 48,5 * 2,0 = 97 litros.

Seleccionar un vaso de 100 litros.

En resumen, para cada sistema de protección frente altas temperaturas, la característica de diseño más importante es:

1. **Formación de vapor - Tamaño del vaso de expansión**
2. **Presión elevada - Circuito de mayor presión de trabajo**
3. **Drenaje automático - Trazado de circuitos para vaciado**

Y para el sistema de protección antiheladas:

1. **Mezcla anticongelante - Mantenimiento del anticongelante**
2. **Drenaje automático - Trazado de circuitos para vaciado**
3. **Recirculación de primario - No es de seguridad intrínseca**

Y para el sistema de protección frente a altas presiones, el correcto dimensionado del sistema de expansión

5 Integración en edificios

En este capítulo, y en primer lugar, se establecen los criterios para realizar el dimensionado básico y la selección de la configuración de la instalación (5.1). Posteriormente se analiza la incorporación de las instalaciones solares térmicas en los edificios tanto desde el punto de vista arquitectónico y constructivo (5.2 y 5.3) como su integración en el sistema completo de producción de ACS (5.4 y 5.5) y se analizan por separado las pequeñas y grandes instalaciones. También se incluyen las interrelaciones con las restantes instalaciones del edificio (5.6) así como las soluciones estructurales relacionadas con el sistema de captación (5.7).

En edificios de nueva construcción, la integración arquitectónica de las instalaciones solares no genera ningún inconveniente dado que, al estar planteada su incorporación desde el principio del proyecto, se pueden buscar las mejores soluciones de compromiso entre la estética del diseño arquitectónico y el óptimo funcionamiento de la instalación. La problemática de una deficiente integración arquitectónica de las instalaciones solares surge, normalmente, en las instalaciones incorporadas en edificios existentes, con escasas posibilidades de integración y forzando las soluciones técnicas a adoptar.

En su sentido más amplio la integración arquitectónica de la instalación se refiere a los factores que permiten su correcta incorporación al edificio. Estos factores comprenden desde condiciones urbanísticas, hasta pequeños detalles constructivos pasando por el diseño completo de la edificación y de la instalación, así como la normativa que se deba cumplir. Existe otra definición de integración arquitectónica que supone la consideración de que el captador solar debe sustituir parte de los elementos constructivos del edificio para formar parte integrante de éste, como podría ser el caso de captadores fabricados a medida que sustituyen parte de la cubierta.

Aunque las mayores complicaciones surgidas a la hora de realizar una adecuada integración arquitectónica, suelen estar relacionada con los captadores solares, no hay que olvidar otras partes relevantes de la instalación como son los acumuladores solares, especialmente si estos deben ubicarse en espacios visibles como cubiertas, patios, etc. y, a veces también, el trazado de circuitos que interconecten los diferentes sistemas. La problemática a estos efectos que pueda generar el resto de componentes puede considerarse, en general, que no es significativa, aunque deberá verificarse en cada caso.

En referencia al campo de captación, el elemento más complicado en general de integrar en la cubierta, una regla fundamental es la de mantener la alineación con los ejes principales de la edificación. Esta decisión lleva consigo la necesidad de evaluar la disminución de prestaciones que se origina al modificar la orientación e inclinación óptimas del área de captación y, con ello, decidir si una instalación debe desviarse de su máximo rendimiento energético. Este hecho resulta especialmente crítico en cubiertas inclinadas que no cuenten con la adecuada orientación, dado que a la desviación respecto del óptimo azimut se suma la necesidad de tener que adaptarse a la inclinación de la cubierta que puede no contar con el ángulo adecuado.

022

Otro aspecto significativo a tener en cuenta en la integración arquitectónica es tratar de no romper la armonía de la construcción resolviendo la unión de la instalación con la edificación mediante elementos constructivos que proporcionen cierta continuidad. En este sentido, debería evitarse que la instalación solar pueda generar un gran volumen que sobresalga en exceso del de la edificación distorsionando el conjunto arquitectónico.

5.1 Dimensionado básico y selección del tipo de instalación

Como paso previo a estudiar la incorporación de la instalación al edificio, se debe disponer de los datos fundamentales para su diseño por lo que se deberá:

- Conocer las **variables del entorno** que, además de las climáticas como la radiación solar y las temperaturas ambiente y de agua fría que afectan al rendimiento, pueden incidir en la durabilidad y/o mantenimiento de la instalación y que están relacionadas con las condiciones exteriores extremas, como el riesgo de heladas, y con las características del agua potable, sobre todo su dureza.
- Realizar el **dimensionado básico** que supone elegir el tamaño de instalación en función de los objetivos energéticos a satisfacer (fracción solar mínima, máxima rentabilidad, etc.). El dimensionado básico queda definido por el tipo y número de captadores solares, o la superficie de apertura de captadores solares y el volumen de acumulación solar.
- Definir las **condiciones de contorno** de la edificación y los criterios del usuario que permiten la configurar la adaptación al edificio, así como las medidas que se toman en éste para facilitar la instalación.

En base al riesgo de heladas y a las características del agua y una vez realizado el dimensionado básico se puede seleccionar el tipo de configuración (termosifón o forzado, etc.). En base a las condiciones de contorno solamente queda definir la forma de integrarlo en el edificio y en la instalación sanitaria de producción de ACS incluyendo el conexionado con el sistema de energía auxiliar.

En el caso de instalaciones de pequeño tamaño, se debe analizar si se dispone de un sistema prefabricado adecuado cómo solución óptima a emplear; en caso contrario, se podrá proyectar un sistema a medida, de pequeño tamaño, que requiere un diseño previo y un cálculo completo antes de integrarlo en el edificio y en las instalaciones sanitarias.

5.2 Integración arquitectónica de pequeñas instalaciones

Deben considerarse los siguientes criterios para conseguir la mejor integración del sistema solar térmico en una edificación:

1. La **ubicación** del sistema solar térmico completo y, en particular, del sistema de captación.
2. La **orientación e inclinación** de la superficie de captación.
3. El estudio de **sombras**.

Aunque en este apartado se hará referencia específica a la vivienda, por tratarse del caso más generalizado de uso de las pequeñas instalaciones, los criterios son aplicables a cualquier otro tipo de edificación.

5.2.1 Ubicación del sistema solar térmico y su sistema de captación

La selección del emplazamiento debe ser aquella que maximice la eficiencia de la instalación solar logrando la mayor integración posible con el edificio y el resto de instalaciones. Suele ser una solución de compromiso entre las diversas alternativas que pueden plantearse analizando las ventajas e inconvenientes de cada una. Es fundamental a estos efectos utilizar la experiencia, propia o ajena, sobre soluciones anteriormente adoptadas ante la variedad de situaciones que se pueden presentar.

Se debe especificar el lugar de ubicación de la instalación y, para ello, se requieren planos de situación del edificio, de la instalación convencional y, si fueran necesarios, planos de planta, alzado y secciones de la edificación que permitan claramente situar los sistemas de captación y de acumulación, así como resolver su conexionado.

El sistema de captación se ubicará en un lugar que maximice la captación solar y lo más cercano posible al sistema de acumulación, al sistema de apoyo y a los puntos de consumo. El acumulador debe situarse siempre que sea posible en el interior para minimizar las pérdidas caloríficas del propio acumulador y de los circuitos que lo conectan. Si el lugar es de difícil acceso, se deben tomar las medidas oportunas para facilitar la accesibilidad y prever su mantenimiento y reparación mediante líneas de vida, servidumbre de paso, etc.

Figura 34: Ejemplos de incorporación a edificios de sistemas prefabricados, termosifón y forzados.

Las zonas de edificio que con más frecuencia se utilizarán para ubicar el sistema de captación son las cubiertas inclinadas y las cubiertas planas, ya sean éstas transitables o no. En otras ocasiones se pueden ubicar directamente sobre el terreno o en estructuras construidas expresamente para

ubicar el sistema de captación (pérgolas, cubiertas de aparcamiento, etc.) aunque estas soluciones podrían suponer mayores recorridos de tuberías que deberían evitarse.

Las soluciones de integración arquitectónica son más sencillas de definir en el caso de sistemas partidos que cuando se trata de equipos compactos y en ese caso se deberá definir la solución de ubicación, tanto para el sistema de captación como para la acumulación, entre las diversas alternativas y los posibles espacios que el edificio permita.

5.2.2 Orientación e inclinación del sistema de captación

Se especificará la orientación e inclinación del sistema de captación que se definirá como la solución óptima que haya considerado las máximas prestaciones energéticas y la mejor integración arquitectónica. Cuando estos criterios sean contrarios se buscará la mejor solución de compromiso entre ambos.

Aunque las mejores condiciones de orientación e inclinación deben ser evaluadas en cada caso se debe indicar, como criterio general, que la mejor orientación para los captadores solares es el Sur geográfico teniendo en cuenta, sin embargo, que desviaciones de hasta ± 45º, respecto del Sur geográfico no afectan significativamente a las prestaciones de la instalación. Puede observarse en la figura adjunta que la radiación incidente se reduce al 95% del máximo en un amplio margen de valores de azimut e inclinación. No obstante, la disminución debe evaluarse en cada caso analizando cómo afecta al rendimiento de la instalación estacionalmente (mes a mes).

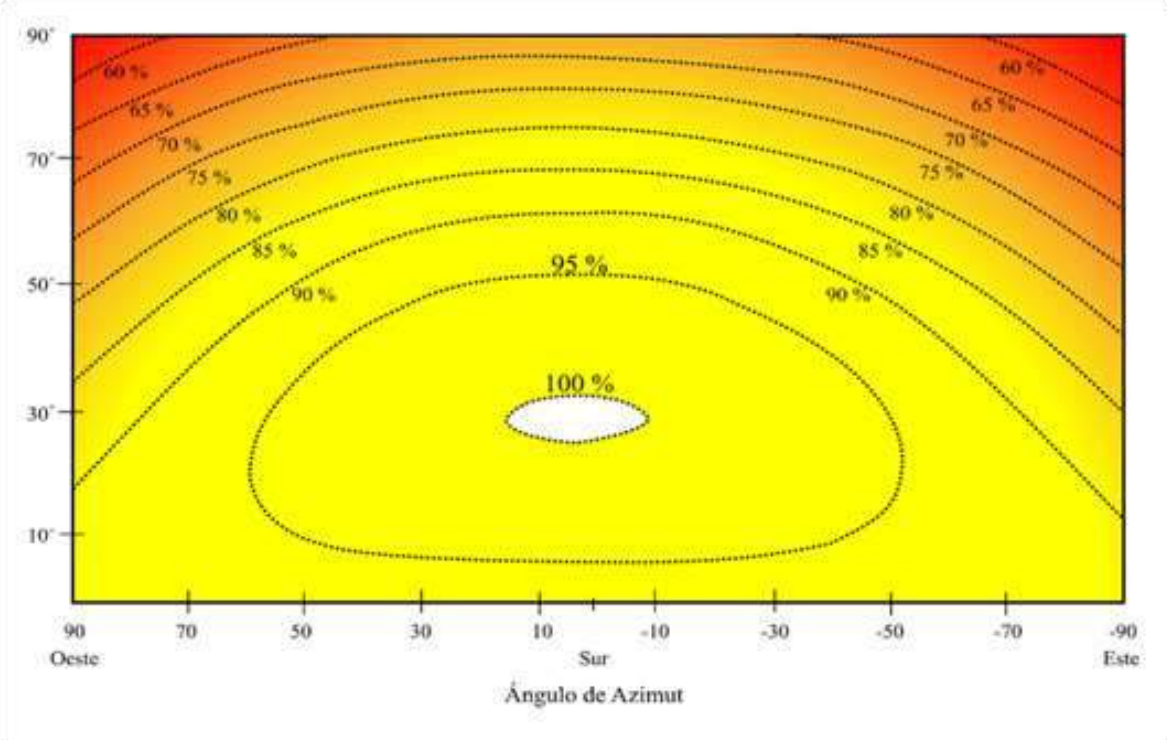


Figura 35: Disminución de la radiación global incidente en una superficie inclinada para diferentes ángulos de azimut y de elevación

Esta consideración es muy importante para conseguir la mejor integración arquitectónica ya que permite un amplio abanico de soluciones para la orientación del sistema de captación sin que se produzca una reducción significativa de las máximas prestaciones energéticas y, sobre todo, permite no plantearse ninguna duda cuando sean necesarias pequeñas desviaciones para conseguir una óptima integración.

Para definir la inclinación óptima es necesario estudiar, previamente, la variación a lo largo del año del consumo de agua caliente. En función de esa variación se definen tres tipos de consumo que se denominan anual constante, estival o invernal:

- El consumo es **anual constante** cuando no cambia a lo largo del año o cuando los valores medios diarios mensuales de consumo varían menos de un 25% respecto del valor medio diario anual. En viviendas los consumos se considerarán siempre de este tipo.
- Se define una instalación solar de uso **estival** como aquella en la que el consumo de agua caliente durante al menos los 4 meses de verano es superior en un 50% al valor medio anual.
- Se define una instalación solar de uso **invernal** como aquella en la que el consumo de agua caliente durante al menos 4 meses de invierno es superior en un 50% al valor medio anual.

Para cada caso debe estudiarse y justificarse la inclinación óptima de los captadores, aunque, como criterio general, se recomienda que la inclinación respecto al plano horizontal sea:

- En instalaciones de uso anual constante: la latitud geográfica.
- En instalaciones de uso estival: la latitud geográfica – 10º.
- En instalaciones de uso invernal: la latitud geográfica + 10º.

Hay que considerar que, sobre los valores anteriores, son admisibles desviaciones de ± 15º en la inclinación sin que se produzcan grandes disminuciones en las prestaciones que deben estudiarse en cada caso para facilitar la integración arquitectónica. También es necesario verificar que la inclinación adoptada está dentro de los márgenes establecidos por el fabricante.

Se recomienda optimizar la orientación e inclinación realizando un análisis de sensibilidad sobre las prestaciones energéticas. Este análisis debe contemplar además de los valores anuales, las variaciones mensuales de los aportes solares sobre distintas demandas de ACS. En instalaciones solares completamente integradas en la edificación, las desviaciones podrán superar, en beneficio de una correcta integración, los límites establecidos en los puntos anteriores, pero es imprescindible conocer la disminución de prestaciones por lo que deberá estudiarse cada caso.

5.2.3 Estudio de sombras.

Previamente a realizar el análisis de las sombras en las instalaciones solares y, dado que muchos profesionales actúan simultáneamente en los sectores de la energía solar térmica y la fotovoltaica, se debe resaltar la diferente influencia de las sombras sobre los captadores solares y los paneles fotovoltaicos y los efectos sobre el rendimiento de las instalaciones por lo que es necesario su análisis diferenciando la tecnología de que se trate.

Para su estudio se deben definir los obstáculos, tanto del entorno cercano como lejano, y determinar los efectos producidos en el rendimiento de la instalación la proyección de sombras

en el sistema de captación que pudiera producirse. Cuando sea necesario documentar los obstáculos:

- Se podrán utilizar fotografías dirigidas al horizonte que recojan los obstáculos emplazados al sur de la instalación y, si se estimase conveniente también aquellos ubicados en orientaciones SE y SO.
- Se deberá analizar la planificación urbanística del entorno del edificio y tratar, en la medida de lo posible, de predecir si la futura construcción de edificios en las parcelas situadas al Sur (± 45º) podrán, en un futuro, proyectar sombras sobre el campo de captadores.
- Se dejará constancia de la presencia de árboles al Sur (±45º), su tamaño actual, su previsible crecimiento y las posibles incidencias de sus sombras en el sistema de captación en un futuro.

La finalidad del estudio de sombras es justificar que una instalación solar térmica se proyecta sin problemas de sombras y, para ello, se recomienda seguir tres sencillos criterios de control consecutivos, que permitan descartar posibles efectos debidos a las sombras. En esos casos, se considerará que no hay reducción de prestaciones energéticas en relación con el cálculo de la instalación sin sombras:

1. Cuando la disposición de captadores se realiza de forma que se cumplan todos los **requisitos geométricos** que se especifican a continuación (apartado A).
2. Cuando no se cumpla alguno de los requisitos geométricos anteriores, se evaluará (apartado B) que, durante aproximadamente 4 horas al mediodía solar del **solsticio de invierno** no haya más del 10% de la superficie de captación en sombra.
3. Cuando no se cumplan los requisitos anteriores, se determinarán las **pérdidas de la radiación solar** global incidente sobre el campo de captadores debidas a todos los obstáculos de acuerdo con el método de cálculo detallado en el apartado C y, cuando éstas sean inferiores al 10%, se admitirá que no hay reducción de prestaciones energéticas.

Si algunos puntos de los captadores incumplen los criterios anteriores, se verificará que los mismos no suponen más del 10% de la superficie total para dar por válido el sistema completo. Cuando no se cumplan los requisitos anteriores, se plantea la necesidad de realizar la evaluación de dichos efectos con un cálculo justificativo más complejo que debe determinar, mediante un programa de simulación detallado, las prestaciones energéticas de la instalación teniendo en cuenta el efecto de las sombras.

A) REQUISITOS GEOMÉTRICOS DE SOMBRAS.

1. La dirección a considerar siempre es la del sur geográfico.
2. Para las sombras propias, se establece que la distancia d entre filas de captadores que tienen una diferencia de alturas h entre la parte alta de la fila anterior y la parte baja de la fila posterior, será superior a la obtenida por la expresión:

   $$d = k * h$$

   Siendo k un coeficiente adimensional que se obtiene de la tabla siguiente en función de la latitud:

Latitud	29	37	39	41	43	45
k	1,280	1,732	1,881	2,050	2,246	2,475

3. Para las sombras frontales (obstáculos que en planta están situados dentro de un ángulo con respecto al azimut sur inferior o igual a 45º), se establece que la distancia d entre la parte baja y anterior de una fila de captadores y un obstáculo frontal, que pueda producir sombras sobre la misma será superior al valor obtenido por la expresión anterior aplicando h a la altura relativa del obstáculo en relación con la parte baja y anterior del captador.
4. Para las sombras laterales (obstáculos que en planta están situados fuera de un ángulo con el sur superior a 45º) la distancia d entre los captadores y los obstáculos laterales que puedan producir sombras sobre la instalación será superior al valor obtenido por la expresión: d = 0,5 * h donde h es la altura relativa del obstáculo

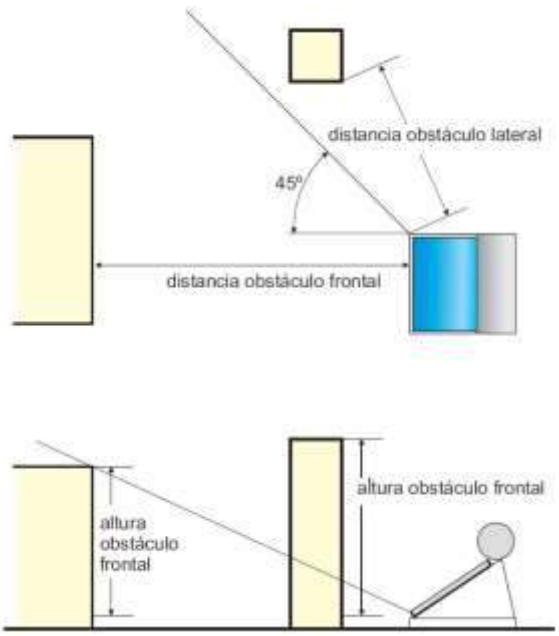


Figura 36: Obstáculos frontales y laterales que pueden producir sombras.

5. Para las sombras puntuales, producidas por cualquier obstáculo distinto a los anteriores, se verificará que ni frontal ni lateralmente se producen sombras sobre el área de apertura de los captadores.

B) SOMBRAS AL MEDIODÍA SOLAR DEL SOLSTICIO DE INVIERNO.

1. La dirección a considerar a los efectos de sombra es la del sur geográfico.
2. Se determinará la altura solar α en función de la latitud del lugar ϕ y de la declinación solar δ, que durante el solsticio de invierno tiene un valor de -23,5º: $\alpha = 90 – (\phi - \delta)$
3. Se determinarán las superficies de captadores, medidas en planta, que estén en sombra producida tanto por las sombras propias de unas filas sobre otras como por todos los obstáculos previsibles (frontales, laterales y puntuales) para las proyecciones de sombra más desfavorable de las comprendidas en ± 30º del Sur geográfico de acuerdo con la altura y posición de los obstáculos y con la distribución del campo de captadores.
4. La ubicación y disposición del campo de captadores deberá cumplir que la suma de las superficies de captadores en sombra, en la posición más desfavorable del mediodía solar del solsticio de invierno, sea inferior al 10% del área de apertura del sistema de captación de la instalación.

C) CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR SOMBRAS DE LA RADIACIÓN GLOBAL INCIDENTE.

1. Este apartado describe un método para calcular las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debida a sombras circundantes y se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie, de no existir sombra alguna.

2. El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias aparentes del sol. Los pasos a seguir son:

- Localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas angulares de posición azimut (ángulo de desviación con respecto al sur) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal). Puede usarse un teodolito.
- Representación del perfil de obstáculos en el diagrama de la figura siguiente, en el que se muestra la banda de trayectorias del sol a lo largo de todo el año, válido para localidades de la Península Ibérica y Baleares (para las Islas Canarias el eje de abscisas del diagrama debe desplazarse 12º en sentido vertical ascendente). Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por una letra y un número (A1, A2,...D14).
- Cada una de las porciones de la figura representa el recorrido del sol en un cierto periodo de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquélla que resulte interceptada por el obstáculo.
- La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25, 0,50, 0,75 ó 1.

3. Las tablas de referencia están incluidas en el apartado 14.4.3 del capítulo 14 y están referidas a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación (β y α, respectivamente). Deberá escogerse aquélla que resulte más parecida a la superficie en estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

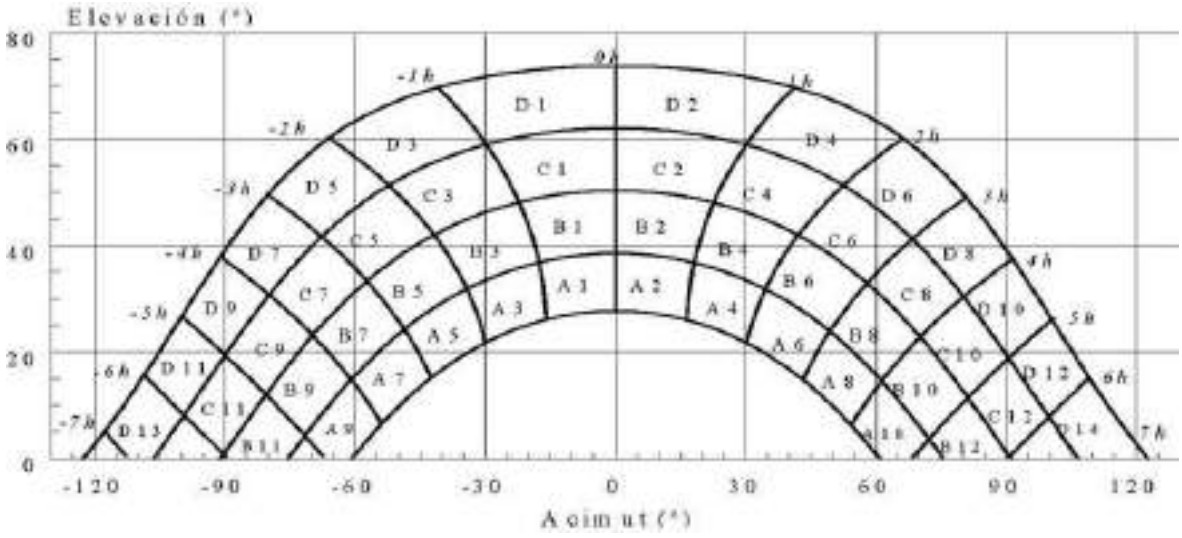


Figura 37: Diagrama de trayectorias aparentes del sol

5.3 Integración arquitectónica de grandes instalaciones

Los criterios de integración de pequeñas instalaciones descritos anteriormente que incluyen la ubicación del sistema de captación, su orientación e inclinación y el estudio de sombras, son generalizables y aplicables a instalaciones de tamaño medio y grande, aunque, adicionalmente, deben considerarse las singularidades de estas instalaciones que se especifican a continuación.

Figura 38: Ejemplos de integración arquitectónica de grandes instalaciones solares térmicas

Es necesario reseñar que en este apartado se analizan los condicionantes e implicaciones del diseño de la instalación desde el punto de vista edificatorio, constructivo, estético, etc. mientras que todo lo relacionado con el diseño hidráulico y térmico de la instalación se desarrolla en el capítulo 6.

5.3.1 Ubicación y distribución de la instalación

Figura 39: Ejemplo de modulación en baterías y superposición en cubierta de captadores solares

022

Para las instalaciones de mayor tamaño se debe analizar la ubicación, disposición, organización del sistema de captación que es el sistema más crítico a efectos de integración, aunque a veces la incorporación del sistema de acumulación puede representar problemas significativos, fundamentalmente debido a su volumen y peso, cuando no se dispone de espacios adecuado para habilitar un local técnico.

El campo de captadores se realizará agrupando los captadores en baterías y realizando la distribución de baterías en una o varias filas que siempre deben ser rectas y paralelas.

La selección del tipo y número de captadores, que es el dato de partida para todo el proyecto, debe ser el resultado de un proceso iterativo de diseño del sistema de captación cuyo resultado permita disponer de baterías de igual tamaño y distribuidas de forma homogénea en el espacio disponible. Una distribución homogénea del campo de captadores mejorará la estética del mismo y hará que los circuitos sean más sencillos de equilibrar y de ejecutar.

Figura 40: Diversos ejemplos de modulación de baterías de captadores

Cuando no sea posible alcanzar dicho objetivo, se recomienda o bien renunciar a una parte del campo de captadores cuya instalación pueda desajustar las baterías, complicar la ejecución o desequilibrar los circuitos o, en otras ocasiones y por las mismas razones, o bien instalar algunos captadores adicionales a los inicialmente previstos.

En función de las características del lugar de implantación, muchas veces resulta complicado disponer de baterías iguales y es preciso diseñar un campo con baterías de distintos tamaños asumiendo, por tanto, que será necesario utilizar válvulas de equilibrado para ajustar los caudales en cada batería como posteriormente se verá en el apartado 6.1.1.

En el caso de grandes instalaciones siguen siendo aplicables los criterios de exposición a la radiación solar, accesibilidad para mantenimiento y cercanía al resto de sistemas para evitar recorridos, aunque afectan de forma distinta dados los tamaños de los sistemas a implantar y las dimensiones de los espacios a ocupar.

Las zonas del edificio donde con más frecuencia se localiza el campo de captadores son:

- Cubiertas planas, que pueden ser transitables o no.
- Cubiertas inclinadas.
- Fachadas, medianeras y otros paramentos verticales.
- Estructuras construidas expresamente para ubicar el campo de captación (pérgolas, cubiertas de aparcamiento, etc.).

Figura 41: Ejemplos de incorporación en cubierta plana, cubierta inclinada y fachada

5.3.2 Orientación e inclinación

Deben aplicarse los mismos criterios que para pequeñas instalaciones con la condición adicional de que las baterías de captadores, cuando estén distribuidas en varias filas, siempre deberían de disponerse de forma recta y paralela. En caso de superficies disponibles insuficientes para la ubicación del campo de captación, se pueden estudiar soluciones diferentes al óptimo en cuanto a inclinación y orientación de captadores y separaciones entre filas que permitan maximizar la producción solar en función del espacio disponible.

No se consideran en esta guía las instalaciones constituidas por conjuntos de baterías de captadores con distintas orientaciones o inclinaciones, aunque se deja constancia de que se pueden diseñar adoptando determinadas precauciones ya que son muy variables las cantidades de energía incidente a lo largo del día. En estos casos deben de adaptarse los caudales de funcionamiento para que la temperatura de salida de las diversas baterías o grupos de captadores sea la misma o independizar los circuitos que abastezcan campos de captación con distintas orientaciones o inclinaciones para que cada uno actúe o no en función de sus características. Si no se toman las debidas precauciones, podrían producirse situaciones no deseadas en las que toda la energía generada por una parte del campo se estuviese disipando en otra.

Figura 42: Ejemplo de cubierta existente (izq.) y posterior integración (der.) de un sistema de captación con la misma orientación del edificio mediante líneas y baterías iguales.

022

5.3.3 Estudio de sombras

El estudio de sombras en sistemas de captación de gran tamaño se debería realizar en base a un análisis más detallado sobre distintas zonas del campo de captación. Con el mismo objetivo de no complicar en exceso los cálculos de sombras, pero con criterios conservadores, se plantea establecer un procedimiento de verificación del cumplimiento de los requisitos A, B o C anteriores en distintas posiciones del sistema de captación para justificar que los posibles problemas de sombras ocurren en menos del 10% de la superficie de captación. A esos efectos será suficiente verificar algunos puntos del contorno de la unidad de captación que el proyectista seleccione (captador, batería, línea, grupo, etc.) en base a las cuatro esquinas y estableciendo los puntos intermedios que sean necesarios para cubrir el contorno de la unidad de captación para lo que se recomienda que la distancia entre puntos guarde una proporción que no sea superior a 2.

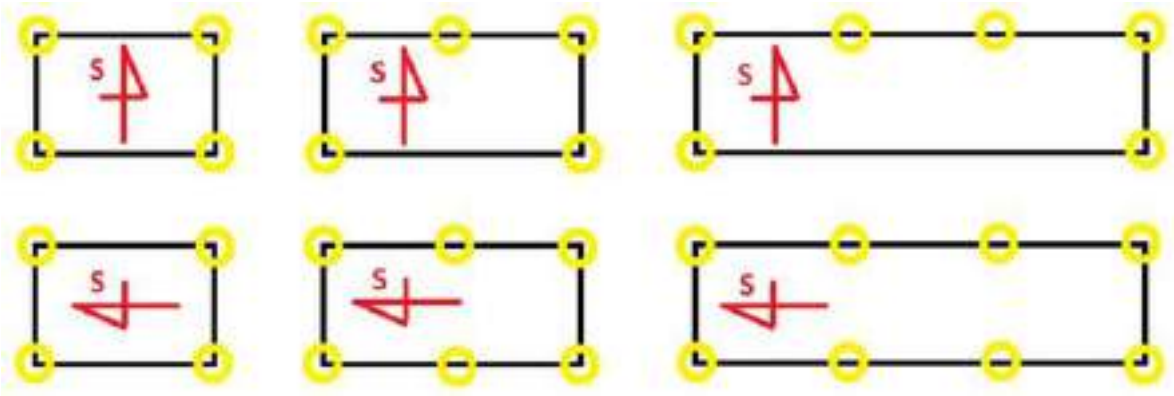


Figura 43: Esquema de puntos de control de sombras en el contorno de varias unidades de captación

En este caso, al igual que en el caso de pequeñas instalaciones, se establece que el cumplimiento de los requisitos de sombra de un captador se pueda considerar válido si no existe una reducción de la radiación solar incidente superior al 10% de la superficie útil del captador. Por tanto, se estará estimando que, en el caso más desfavorable, el 10% de la superficie del captador tiene un 10% de pérdidas. El proceso de verificación requeriría analizar todos los captadores de la instalación para comprobar que el número de captadores no válidos es inferior al 10%.

Se puede simplificar el proceso de verificación si se selecciona una unidad de referencia de mayor tamaño que el captador, como puede ser la batería, el grupo de baterías, etc. Si se adopta la batería de captadores como unidad de referencia, el mismo criterio anterior sería aplicable a la superficie de la batería completa. Habría que analizar cada una de las baterías de la instalación, verificar que es válida si no existe una reducción de radiación del 10% y contabilizar que el número de baterías no válidas es inferior al 10%. El procedimiento de simplificación es similar para el caso de varias baterías.

En cualquier caso, siempre deberá tratarse de campos de captadores solares con las mismas condiciones de funcionamiento y la misma problemática de sombras. Por eso se deben considerar campos de captadores situados sobre una misma cubierta en una distribución y agrupación

homogénea (separaciones ajustadas y ordenadas); también se podrán considerar todos los captadores situados en un mismo plano inclinado.

Figura 44: Ejemplos de selección de puntos de control para verificación de sombras

022

5.4 Incorporación de pequeñas instalaciones en los sistemas de producción de ACS

Para asegurar la continuidad del suministro de ACS, la instalación solar debe disponer de un sistema de apoyo y, aunque el diseño de los sistemas de apoyo no es objeto de esta guía, su toma en consideración es imprescindible porque un mal diseño o inadecuado funcionamiento del mismo puede tener efectos muy perjudiciales en el funcionamiento y las prestaciones de la instalación solar.

Si el sistema de apoyo es nuevo, se especificará el sistema elegido, la fuente de energía utilizada, la capacidad de acumulación auxiliar si la hubiera y las características del equipo generador de calor y su sistema de regulación. Si el equipo de producción de ACS es existente y se va a utilizar como sistema de apoyo de la instalación solar, se especificarán las mismas características requeridas para un sistema nuevo ya que se resalta la necesidad de revisar un sistema existente y asegurarse de sus condiciones de funcionamiento para garantizar las prestaciones energéticas del conjunto solar y apoyo como más adelante se verá.

5.4.1 Sistemas de apoyo individuales

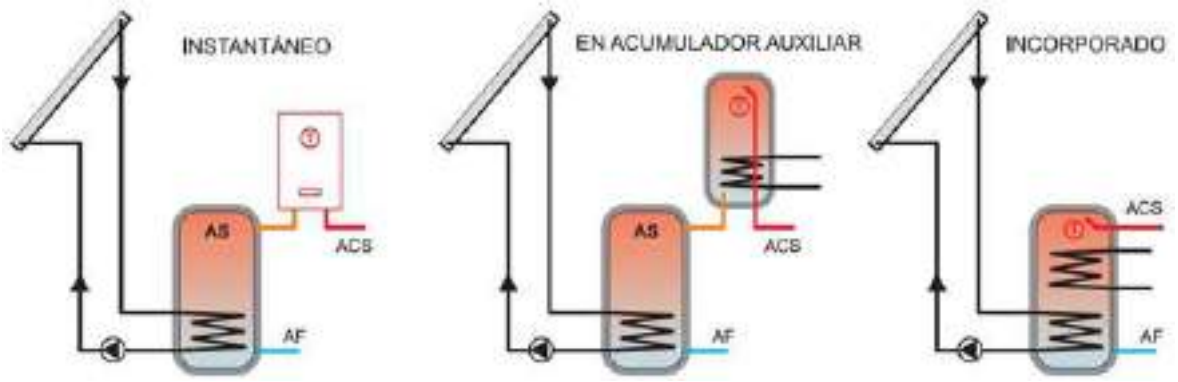


Figura 45: Esquemas de sistemas de apoyo individuales en instalaciones solares

Los sistemas de apoyo a pequeñas instalaciones solares podrían ser cualquiera de los utilizados en los sistemas individuales de preparación de agua caliente sanitaria convencionales ya sean del tipo instantáneo o con acumulación:

- Como sistemas individuales instantáneos se suelen utilizar calentadores instantáneos o calderas mixtas. A efectos de optimizar el funcionamiento de la instalación solar, el requisito funcional más importante es que permitan la regulación final del aporte energético del sistema de apoyo en función de la energía suministrada por el sistema solar. El sistema de apoyo debería disponer de un termostato de control de la temperatura de salida del agua caliente de forma que actúe sobre la regulación del aporte energético del mismo, de manera que se aporte única y exclusivamente la energía de apoyo necesaria para garantizar que el

agua caliente alcanza la temperatura de consigna. Este requisito de control no será posible en los sistemas de apoyo no modulantes.

- Como sistemas individuales de acumulación se pueden utilizar termos eléctricos, pequeños interacumuladores acoplados a cualquier generador de calor (caldera, bombas de calor, etc.) que pueden ser exclusivos o no para producción de ACS. Las calderas pueden utilizar cualquier tipo de energía final como GN, GLP, gasoil o biomasa. El propio diseño de los sistemas de acumulación debería llevar implícito que dispongan de un termostato de regulación de la temperatura de preparación.

En determinadas ocasiones y bajo determinadas condiciones (ver apartado 6.2.5) se pueden utilizar los sistemas de apoyo incorporados en el acumulador solar.

5.4.2 Acoplamiento de los sistemas solar y de apoyo para la producción de ACS

5.4.2.1 Conexionado en serie

El sistema de apoyo siempre debería estar conectado en serie con la instalación solar en el circuito de consumo de forma que éste se encarga, solo cuando sea necesario, de realizar el calentamiento final hasta la temperatura de preparación establecida.

La temperatura de entrada al sistema de apoyo será la de salida de la instalación solar y ésta a su vez será función de múltiples factores como la radiación disponible y condiciones meteorológicas, la temperatura del agua fría, el consumo, la configuración de la instalación solar elegida, el funcionamiento del sistema de control, etc. La temperatura de salida del sistema solar térmico es variable y estará comprendida entre la temperatura de agua fría como valor mínimo, en el caso de que no se haya producido calentamiento alguno, y un valor máximo, que normalmente siempre será superior a 60ºC y que puede estar definido por:

- la temperatura regulada por una válvula mezcladora instalada a la salida del equipo solar,
- la temperatura máxima a la que el control permite calentar el agua del acumulador solar, o
- la que pueda alcanzar el sistema solar térmico sin ningún tipo de limitación.

En los casos en los que el sistema de apoyo se conecte en serie con el solar, la alimentación al circuito de distribución a consumo siempre deberá disponer una válvula termostática (VT) mezcladora que garantice que al usuario no le llegan más de 60ºC, de esta manera se evitará que se produzcan quemaduras accidentales. Adicionalmente a la limitación anterior, se deberá regular, tanto la temperatura de preparación del sistema de apoyo y fijar la temperatura de salida a consumo de la válvula termostática, a las menores temperaturas posibles compatibles con el consumo, donde el usuario podrá realizar el ajuste final de la temperatura de uso utilizando un mezclador en el grifo de consumo.

Cuando el sistema de apoyo, la tubería de alimentación al mismo o los componentes que la misma incorpore, no soporten la temperatura máxima que pueda suministrar el equipo solar, la instalación deberá disponer de una válvula termostática a la salida del equipo solar, o a la entrada del sistema de apoyo si es éste el único elemento que no puede soportar dichas temperaturas. Si

la temperatura de preparación del equipo de apoyo siempre es inferior a 60ºC, se puede eliminar la válvula termostática mezcladora situada a la salida del mismo.

También se podrá utilizar una válvula de tres vías diversora (VD) cuya función es hacer el by-pass al sistema de apoyo, cuando la temperatura solar es superior a un valor determinado, para conducir el fluido directamente a la válvula mezcladora ubicada a la salida del sistema de apoyo.

Figura 46: Diferentes formas de conexión del sistema de apoyo en serie con el sistema solar térmico

Es fundamental tener en cuenta que temperaturas de preparación elevadas en los sistemas de apoyo, reducen significativamente el caudal de consumo que pasa por el equipo solar por lo que se penaliza el rendimiento y las prestaciones energéticas de la instalación solar. Esta situación se presenta habitualmente en los equipos de apoyo con baja capacidad de acumulación que no son capaces de proporcionar el servicio previsto donde normalmente se opta por subir la temperatura de consigna. Sería necesario que la temperatura del sistema de preparación fuera lo más baja posible (preferiblemente 45-50ºC a 55-60ºC) siempre que la aplicación de los requisitos para prevención de la legionelosis lo permitan.

5.4.2.2 Conexionado en paralelo

Excepcionalmente, la conexión del equipo solar y del sistema de apoyo se podrá realizar en paralelo cuando el recorrido de la tubería de agua caliente desde el acumulador solar hasta el punto de consumo más lejano sea superior a 15 metros lineales a través del sistema de apoyo de forma que se eviten los consumos de agua y de energía que se producen en caso de largas distancias. También se puede utilizar esta configuración cuando el sistema de apoyo no admita temperatura de entrada de agua calentada por la instalación solar, muy habitual en instalaciones auxiliares existentes.

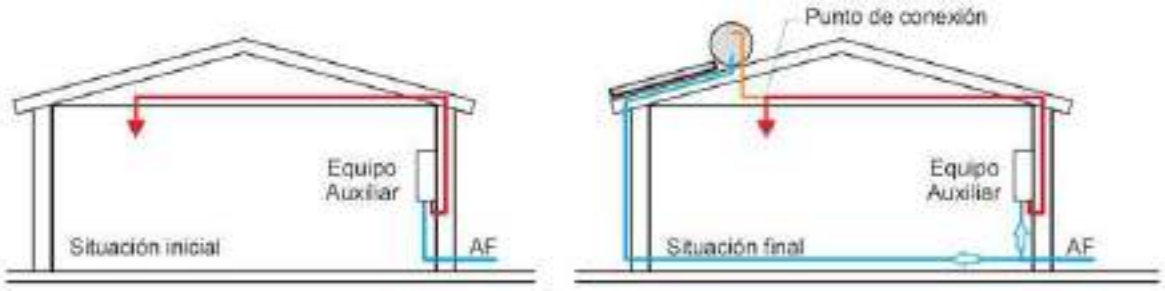


Figura 47: Ejemplo de situación de punto de consumo, sistema de energía auxiliar y sistema solar térmico que puede justificar el conexionado en paralelo

En el caso de conexión en paralelo, el abastecimiento de agua caliente al consumo se puede realizar, opcionalmente, desde el sistema de apoyo o desde la instalación solar. Para dar el servicio adecuado, este conexionado requiere que en el acumulador solar el agua caliente tenga la temperatura mínima de servicio requerida (45 ó 50ºC). Cuando la temperatura del acumulador solar desciende del valor de consigna asignado, el aporte a consumo debe de dar paso al sistema de apoyo. La conmutación entre ambos sistemas se podrá realizar manual o automáticamente; cuando la conmutación sea manual, ésta deberá ser accesible para el usuario que conocerá la temperatura del acumulador solar mediante un indicador remoto fácilmente visible.

La conmutación se podrá realizar mediante dos válvulas de corte situadas a la entrada o salida de cada equipo y sobre las que habrá que actuar simultáneamente o, idealmente, con una válvula de tres vías que realice la misma función en una única operación.

El conexionado en paralelo se puede realizar, si el sistema de apoyo no genera temperaturas a 60 ºC y no requiere válvula termostática mezcladora, utilizando exclusivamente la válvula termostática del sistema solar térmico:

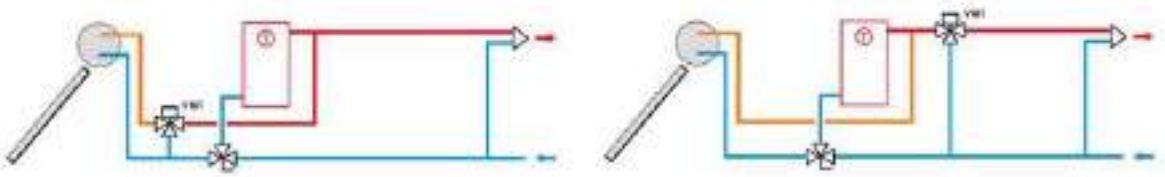


Figura 48: Esquema de conexionado en paralelo con válvula de tres vías manual para conmutación y válvula mezcladora para el sistema solar (izq.) o para sistemas solar y auxiliar (der.)

Cuando el sistema de apoyo requiere válvula termostática mezcladora, ésta se debe montar en la salida a consumo; opcional y adicionalmente se podría montar otra a la salida del sistema solar si, para proteger las tuberías o reducir pérdidas térmicas, se quisiera reducir la temperatura de salida de aquel.

En caso de utilizar la conmutación manual, además de cumplir las condiciones anteriores, es imprescindible que vaya acompañada de instrucciones sencillas a los usuarios ya que se ha comprobado la facilidad con la que el usuario adquiere experiencia para utilizar la conmutación manual relacionada con la capacidad de suministro del ACS a temperatura de uso de la instalación solar.

5.4.3 Circuito hidráulico de consumo

Una instalación solar siempre se tendrá que integrar en el circuito de consumo por lo que será necesario conocer los requisitos normativos que les puedan ser de aplicación.

El esquema de la instalación indicará, sobre los planos de la edificación, la ubicación del sistema solar, del sistema de apoyo y el trazado de tuberías de los circuitos de la instalación hasta los puntos de consumo. En el esquema se indicará el caudal de diseño, el dimensionado y características de los diferentes circuitos y las especificaciones a exigir a su aislamiento térmico. Todas las tuberías de la instalación, ya sean metálicas o de material plástico, y todos sus accesorios y componentes dispondrán de aislamiento térmico cuando transporten agua caliente. Para la determinación de los espesores de aislamiento y el cálculo de pérdidas térmicas de cualquiera de los circuitos hidráulicos de la instalación de producción de ACS serán aplicables los criterios y valores de los apartados 6.6 y 7.6.3. sin perjuicio de lo que establezca la legislación aplicable.

Para la elección de los puntos de conexión con las redes de agua fría y caliente se debe tener en cuenta el diámetro de las tuberías, así como la presión y caudales disponibles para garantizar que se van a alcanzar los caudales de consumo previstos. Se debe cuidar además la compatibilidad de los materiales de la instalación interior, sea nueva o existente con los que se van a instalar para garantizar la durabilidad del conjunto.

El diseño del circuito de consumo para la integración de la nueva instalación solar, dado que puede introducir mayores recorridos de tuberías y aumentar las pérdidas de carga, deberá realizarse de forma que se garantice la estabilidad del caudal y la temperatura de servicio. Se controlará que no existan pérdidas de carga distintas que introduzcan una modificación significativa en los caudales de los circuitos de consumo con recorridos alternativos de forma que se minimicen las pérdidas térmicas de la instalación completa.

A continuación, se describen los componentes que se deben incorporar en el circuito de consumo de pequeñas instalaciones diferenciando entre una opción básica que contiene tan solo los elementos imprescindibles para garantizar el funcionamiento y durabilidad de la instalación y una opción más avanzada que incorpora otros componentes complementarios que pueden facilitar los ajustes, el uso, la vigilancia o el mantenimiento de la instalación.

En la opción básica, los componentes mínimos imprescindibles en el circuito de consumo son:

- Una válvula de retención y válvula de corte en la entrada de agua fría.
- Un sistema de protección con válvula de seguridad y vaso de expansión.
- Una válvula mezcladora termostática para regular y limitar la temperatura de salida a consumo.
- Un sistema de vaciado del acumulador.

Aunque normalmente los equipos y componentes del circuito de consumo deben seleccionarse para soportar las presiones extremas de alimentación (ya sea procedente de la red de abastecimiento o de equipo de presión) en algunos casos se puede utilizar una válvula reductora

de presión en la alimentación, aunque en estos casos se aconseja que sea de aplicación a todos los circuitos tanto de agua fría como caliente para no establecer presiones distintas en los puntos de consumo.

Como elementos complementarios para la opción avanzada, se pueden prever:

- Una válvula mezcladora, que podría ser válvula diversora, previa al sistema auxiliar que evite la circulación a través de él dado el caso de que éste no soportara la temperatura de salida del SST.
- Un by-pass de conexión del SST que permita aislarlo hidráulicamente y poder mantener en funcionamiento la producción de ACS con el sistema auxiliar
- Un contador de calorías que mida la energía térmica entregada por el SST. El contador volumétrico debe ubicarse en la tubería de alimentación de agua fría para evitar que pueda ser dañado por altas temperaturas. Las sondas de temperatura que medirán el salto de temperatura proporcionado por la SST se ubicarán en la toma de agua fría y a la entrada del sistema de apoyo.

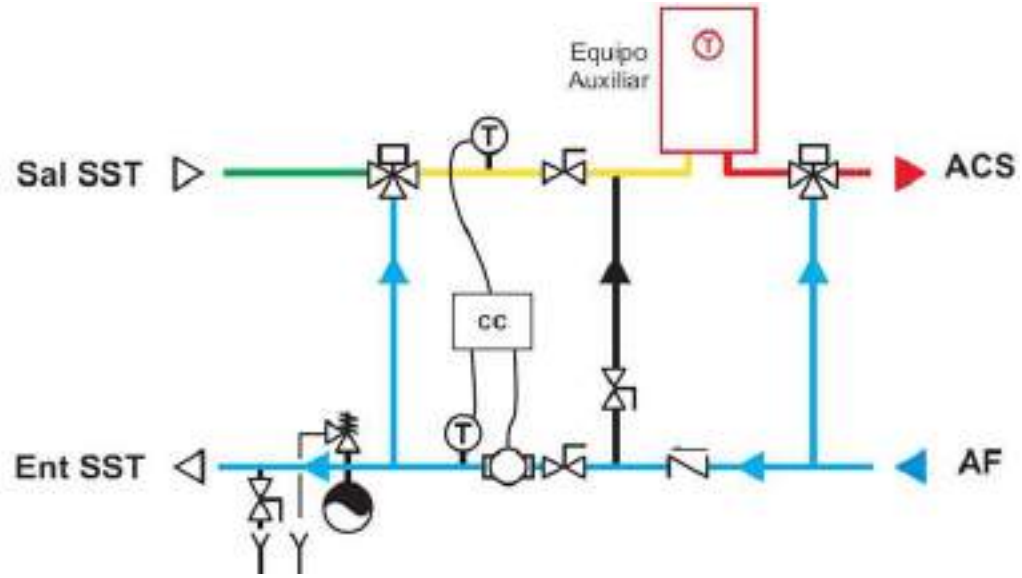


Figura 49: Componentes básicos y complementarios del circuito de consumo de una instalación solar térmica

5.5 Incorporación de grandes instalaciones en los sistemas de producción de ACS

5.5.1 Sistemas de apoyo centralizados

El sistema de apoyo, instantáneo o con acumulación, podrá ser cualquiera de los utilizados en los sistemas convencionales de preparación de agua caliente sanitaria centralizada:

- Los **sistemas de producción instantánea de ACS** normalmente están constituidos por un intercambiador de calor cuyo circuito secundario es alimentado por agua fría que se calienta de forma instantánea hasta la temperatura de preparación. El primario del intercambiador es

un circuito de calentamiento por caldera que puede ser específica para la producción de ACS o compartida con otras aplicaciones, normalmente calefacción, en el caso de disponer de una central térmica que abastezca ambas aplicaciones conjuntamente. El dimensionado del intercambiador debe realizarse para poder satisfacer la máxima demanda de agua caliente prevista y bajo la hipótesis de que no exista aporte solar. Es decir, que se debe prever que el sistema pueda aportar el salto térmico necesario para elevar la temperatura del agua de red hasta la de consigna para la caudal punta de consumo. Por este motivo, este tipo de sistemas de producción, y sus intercambiadores, suelen tener potencias muy elevadas.

- Los **sistemas de producción de ACS con acumulación** utilizan depósitos para acumular agua caliente hasta que se precise su uso de forma que en las puntas de demanda se utiliza el agua caliente acumulada, lo que permite disminuir la potencia de producción de calor. Existen multitud de combinaciones de dimensionado en función de la capacidad de acumulación, los tiempos de preparación y las potencias necesarias.

5.5.2 Configuraciones de las instalaciones

Los sistemas de apoyo centralizados siempre estarán conectados en serie con la acumulación solar en el circuito de consumo, se debe descartar siempre la opción de conexión en paralelo, y se dispondrá de un termostato de consigna de la temperatura de preparación.

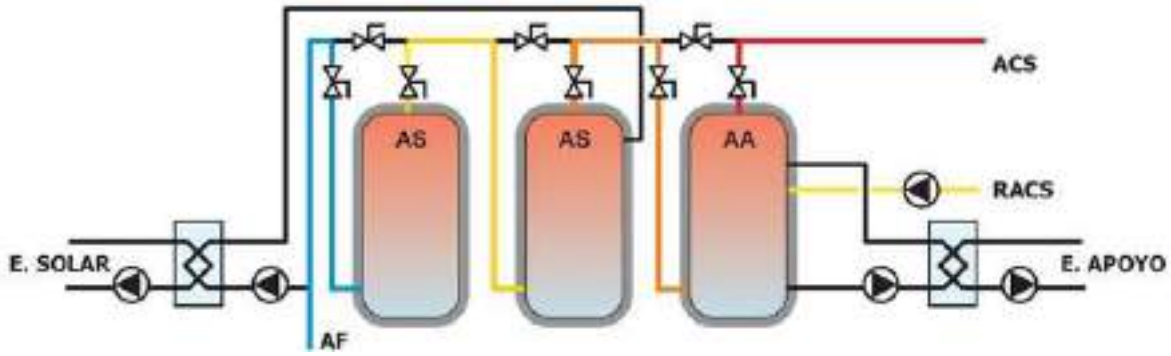


Figura 50: Esquema de acumuladores en serie con intercambiadores, solar y de apoyo, externos

Se cumplirán los requisitos establecidos anteriormente para pequeñas instalaciones que le sean de aplicación considerando que es similar el acoplamiento del sistema de apoyo a la instalación solar y que adicionalmente pueden realizarse las siguientes observaciones:

- Se debe utilizar el by-pass de conexión para poder aislar hidráulicamente la instalación solar en caso de ser necesario tener que realizar alguna reparación o actuación de mantenimiento, aunque es mejor hacerlo individualmente en cada uno de los acumuladores.
- Se podría limitar la temperatura de salida de la acumulación solar si el acumulador de apoyo no la soporte, pero, como ya se indicó, no es buena solución porque se reduce el caudal de consumo de la instalación solar.

5.5.3 Prevención legionelosis

Las instalaciones de producción de agua caliente que requieran someterse al tratamiento térmico a 70ºC de los acumuladores y circuitos de agua caliente sanitaria para la prevención de la legionelosis deben estar diseñadas para que se pueda realizar el tratamiento. En estos casos, la normativa sanitaria que le sea de aplicación, definirá el procedimiento en función del riesgo de la aplicación, del diseño de la parte solar y del sistema de apoyo convencional.

Aunque se pueden plantear otras soluciones, es normal considerar el conexionado de la acumulación solar con el circuito del sistema de apoyo de forma que se permita realizar el tratamiento térmico utilizando la circulación de calentamiento del sistema de apoyo de forma que cuando se realice el tratamiento térmico de éste se haga el de la instalación completa.

En algunos casos, y siempre que se reúnan las condiciones necesarias, se puede realizar el tratamiento térmico de los acumuladores solares utilizando exclusivamente como fuente de energía térmica el sistema de captación. Para ello, es necesario aislar la instalación solar impidiendo que haya consumo y dejar que los captadores calienten los acumuladores solares hasta que estos alcancen las temperaturas requeridas. En los acumuladores de inercia, donde el fluido acumulado no es agua caliente de uso sanitario, el tratamiento para prevención de la legionelosis no es necesario.

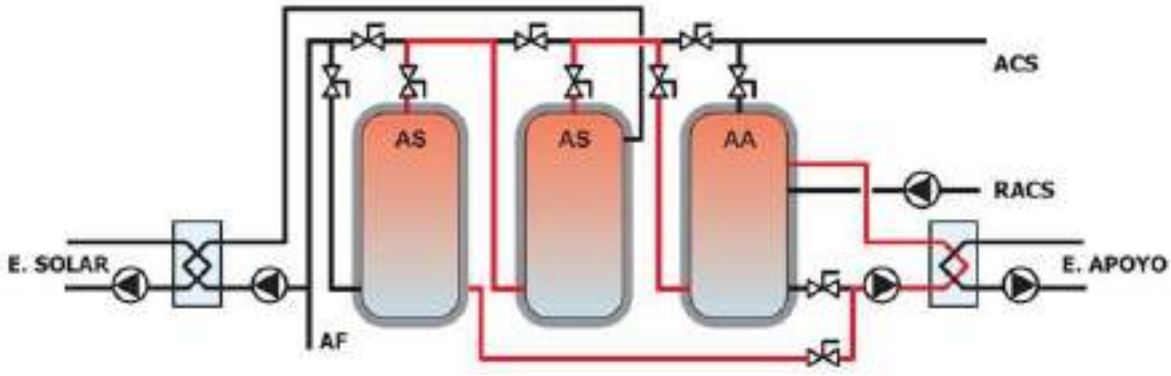


Figura 51: Esquema con previsión de calentamiento de la acumulación solar con el sistema de apoyo para tratamiento térmico

5.5.4 Recirculación de consumo contra acumulador solar

En los circuitos de distribución que tienen largos recorridos de tuberías hasta los puntos de consumo, se instalan circuitos de recirculación que no deben interferir en el funcionamiento de la instalación solar por lo que la conexión del retorno de agua caliente debe realizarse en principio al sistema de apoyo.

No obstante, en instalaciones con grandes variaciones del consumo, puede darse el caso de que cuando los consumos sean pequeños y se disponga en el acumulador solar de una elevada temperatura, se pueda evitar que el acumulador auxiliar consuma energía convencional pudiendo utilizarse el aporte solar para compensar las pérdidas térmicas del circuito de recirculación conforme alguno de los dos procedimientos indicados a continuación:

- Válvula de tres vías. Una posible forma de solucionarlo es utilizando una válvula de tres vías que derive el caudal de recirculación de manera que cuando el acumulador solar esté más caliente que el retorno éste sea conducido a través del acumulador solar. El control de funcionamiento de la válvula debería ser mediante control diferencial para que la temperatura de la recirculación al entrar al acumulador solar no sea superior a la que tiene el propio acumulador y deberá tener en cuenta la situación de las conexiones.
  El problema más importante que tiene el uso de estas válvulas en circuitos de ACS, sobre todo con aguas duras, está relacionado con su mantenimiento, se requiere limpieza periódica para eliminar incrustaciones, y también con la fiabilidad de funcionamiento ya que se pueden producir caudales indeseados con la apertura o cierre incompletos.
- Bomba de trasvase. Otra opción alternativa es disponer de una bomba de trasvase entre ambos sistemas que puede funcionar actuada por un control diferencial que compare las temperaturas del acumulador solar y del sistema de apoyo, aunque en este caso no se evita que la entrada de agua de retorno al sistema auxiliar enfríe al acumulador convencional.

El diseño de estos circuitos requiere adoptar precauciones con las conexiones y caudales para no perder las condiciones de estratificación de los acumuladores.

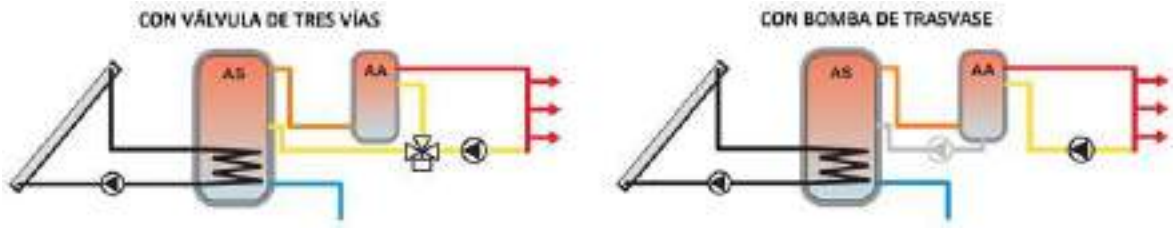


Figura 52: Procedimientos de compensación de pérdidas térmicas del circuito de recirculación

5.6 Otros condicionantes de la integración

En la integración de la instalación solar en el edificio hay otros condicionantes que deben estudiarse y resolverse en cada caso y cuyos criterios generales se resumen a continuación.

5.6.1 Relaciones con otras instalaciones

Además de las conexiones del circuito de consumo con las redes sanitarias de agua fría y caliente, que ya se han considerado, se deben analizar las conexiones con la red eléctrica, así como con la red de desagües y saneamiento del edificio.

Cuando se necesite alimentación eléctrica para el funcionamiento de algún componente de la instalación solar se verificarán el tipo de corriente monofásica o trifásica, las características de tensión, la disponibilidad de sección suficiente para la potencia necesaria, así como las protecciones correspondientes de la línea de acometida.

En relación con la conexión de los desagües del circuito con la red de saneamiento cabe señalar que siempre existirá la necesidad de proceder a la evacuación de fluidos al exterior que pueden ser a altas temperaturas y que pueden estar producidos por:

- Drenajes voluntarios o involuntarios de válvulas de vaciado, de seguridad y sistemas de purga,
- Fugas en campo de captadores, acumulador, de componentes o de circuitos tanto en exteriores como en el interior del edificio.

Se debe tener en cuenta que:

- Los drenajes de mezclas anticongelantes deberían realizarse, siempre que sea posible, al propio depósito de llenado de la instalación o al menos proceder a su recuperación de algún modo para su reutilización.
- Los escapes de las válvulas de vaciado, de seguridad o de los sistemas de purga deben estar conducidos a desagües de forma que el paso de fluido resulte visible en caso de actuación, de esa manera se puede verificar si existen vertidos no deseados al circuito de desagüe.
- Todas las actuaciones deben estar protegidas contra maniobras accidentales. Se puede, por ejemplo, desmontar las manetas de las válvulas de vaciado para evitar que por un golpe éstas se abran, las manetas sin embargo deben de estar enganchadas a la propia válvula para que estas puedan accionarse en cualquier momento.

Siempre se considerará que existe la posibilidad de que se produzcan vertidos de fluidos a muy alta temperatura a las redes de saneamiento del edificio, por lo que deberá verificarse la resistencia de las mismas a la temperatura del fluido y, en caso que sea necesario, adoptar las medidas adecuadas para que no afecten a la resistencia y durabilidad de la misma.

Por último, puede ser necesario prever, en función del uso o actividades que se desarrollen en los espacios cercanos a los captadores, un sistema de recogida del agua de condensación que se puede producir sobre la superficie de los mismos, ya que, en determinadas condiciones, puede ser necesario tener que evitar los efectos perjudiciales (goteos, manchas, corrosión, etc.) que se podrían producir.

5.6.2 Seguridad y protección del usuario

Se deben destacar las medidas que es necesario implantar en los edificios para hacer eficaces los sistemas de protección frente altas temperaturas detallados en 4.6.1, en particular:

- Revisar los trazados de todos los elementos que puedan evacuar fluido al exterior (válvulas de seguridad, de vaciado, etc.) de forma que se puedan adoptar las medidas necesarias para que su actuación no pueda provocar accidentes o daños como, por ejemplo, utilizar materiales metálicos en los sistemas de recogida en lugar de plásticos, dar mayor recorrido a los escapes para provocar su enfriamiento, etc.
- Estudiar las posibilidades de acceso a cada parte de la instalación para evitar el contacto accidental con cualquier superficie que pueda alcanzar una temperatura mayor de 80ºC. En el caso del campo de captadores, se debe restringir siempre la accesibilidad a las personas en general y solamente permitir el acceso a personal técnico exclusiva y expresamente

autorizado. Para ello, es necesario considerar que el espacio donde se ubican los captadores es una zona técnica de acceso restringido. En el caso de los locales técnicos que contienen los acumuladores, intercambiadores, etc. la restricción de acceso deberá estudiarse en cada caso y dependerá de las condiciones de diseño de los mismos.

5.6.3 Necesidades de operación y mantenimiento

Es fundamental considerar, desde la fase de proyecto, las necesidades del edificio y de las instalaciones que se requieren para que el usuario o el operador pueda realizar el control básico de correcto funcionamiento de las instalaciones de forma simple y fácil permitiendo el acceso a los sistemas de medida de forma sencilla de manera que se pueda dar cumplimiento al plan de vigilancia.

Asimismo, para realizar el mantenimiento se deben considerar todas las operaciones previstas para el mantenedor: vaciado, preparación y llenado con anticongelante, purga, etc. así como los criterios de accesibilidad que se necesiten.

5.7 Estructuras soporte

Se debe disponer la documentación necesaria, realizada por técnico competente, que defina las características y detalles constructivos de la estructura justificando el cumplimiento de la normativa aplicable para resistir todas las posibles acciones establecidas: pesos propios, sobrecarga de uso, viento, carga de nieve, etc.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación permitirán las necesarias dilataciones térmicas sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de captadores y de cualquier parte de la edificación. El sistema de sujeción de captadores que se puede utilizar será el descrito en el manual del fabricante.

Los captadores y equipos solares normalmente se suministran con una estructura diseñada por el fabricante que establece los puntos de sujeción necesarios y la forma de sujeción de componentes, utilizando materiales con protección intemperie y con diferentes soluciones en función de la aplicación y del tipo y número de captadores.

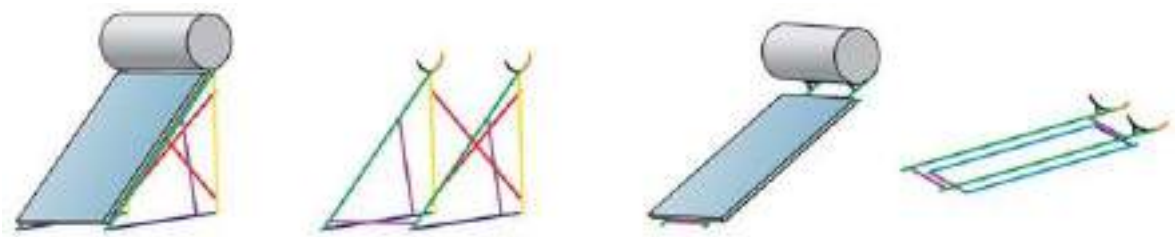


Figura 53: Ejemplo de estructuras de equipos termosifón para cubierta plana (izq.) e inclinada (der.)

Cumpliendo todos los requisitos establecidos por la normativa vigente, el técnico competente debe desarrollar el proyecto estructural completo, comprobando la resistencia estructural del edificio e incorporando y diseñando, si fuera necesaria, una estructura intermedia que solucione la adaptación de la estructura soporte con el sistema constructivo de la edificación, a la que puede estar anclada o simplemente apoyada.

Normalmente son soluciones con vigas o zunchos de hormigón o estructuras metálicas que siempre deben tener en cuenta la correcta evacuación del agua. Deben evitarse estructuras ancladas a elementos frágiles, como los bordillos de hormigón, que no garantizan la resistencia a esfuerzos para los que no estaban previstos.

Figura 54: Ejemplos de bloques de hormigón como base de reparto y contrapeso de la estructura soporte de captadores

6 Diseño hidráulico y térmico

Este capítulo recoge los criterios de diseño de los sistemas solares a medida y el procedimiento para definir y seleccionar todos los componentes y subsistemas de una instalación solar térmica a partir del tipo y número de captadores de la instalación que son los datos fundamentales que se determinan en el dimensionado básico. Como ya se ha indicado anteriormente, el proceso de diseño y cálculo de una instalación es iterativo, ya que una vez diseñada la instalación se debe volver a calcular sus prestaciones energéticas para confirmar la validez del diseño y decidir si es necesario modificarlo.

6.1 Sistema de captación

Para realizar el diseño de un sistema de captación se parte del número de captadores y de las características principales del captador solar seleccionado, definido por su marca, modelo y tamaño, que deberá cumplir los requisitos del apartado 3.1.

Todos los captadores que integren una instalación solar deben ser del mismo tipo y, a los efectos de esta guía, se considera que todos son iguales.

La configuración del campo de captadores quedará definida por los siguientes datos:

- Número de grupos, baterías y captadores por batería.
- Caudal total del circuito solar, y caudal específico por batería y captador.
- Tipo de conexionado: serie o paralelo entre captadores de una batería y entre baterías.
- Configuración de baterías, grupos y criterios de equilibrado (válvulas o retorno invertido).
- Valvulería (válvulas de corte, seguridad, equilibrado, etc.), purga y accesorios hidráulicos del campo de captadores.

Los datos anteriores se complementan con los planos de ubicación de la instalación y, si fueran necesarios, planos de planta, alzado y secciones de la edificación incluyendo el campo de captadores con la siguiente información:

- Emplazamiento del edificio con orientación, obstáculos y sombras producidas sobre la zona donde se vayan a ubicar los captadores.
- Ubicación, distribución y orientación de captadores con distancias entre ellos y separaciones a elementos constructivos. Accesibilidad a la zona técnica de captadores.
- Trazado de circuitos, dimensionado y situación de componentes (válvulas de corte, seguridad, equilibrado y purga).
- Diseño de la estructura base, intermedia y sujeción de captadores con detalles constructivos.

022

6.1.1 Diseño del campo de captadores

6.1.1.1 Baterías de captadores.

La batería está constituida por un conjunto de captadores instalados sobre una estructura común que se comporta como un único captador solar de mayor tamaño que tiene:

- Un área de captación suma de la de todos los captadores que la componen.
- Un rendimiento calculado por la composición de los rendimientos de cada captador, del tipo de conexionado y del caudal de diseño. En paralelo, la temperatura de entrada es la misma para todos y en serie, la temperatura de salida de uno es la de entrada del siguiente.

Los captadores de una batería podrán estar conectados entre sí en paralelo, de forma externa o interna a la batería, en serie o combinando ambos tipos de conexiones.

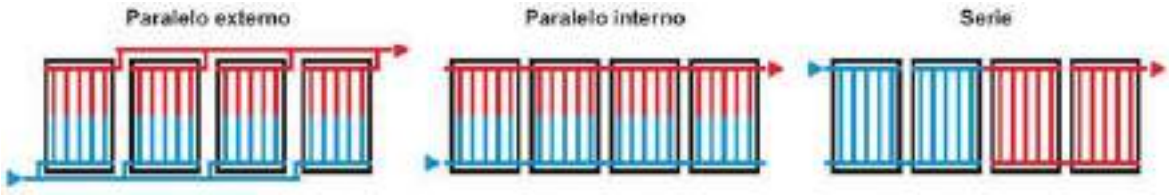


Figura 55: Formas de conexionado de captadores solares para constituir una batería

Todas las baterías de un campo de captadores deberían tener el mismo número de captadores y estar conectadas de la misma forma. De este modo el campo es más fácil de equilibrar hidráulicamente el circuito como se verá posteriormente.

El fabricante del captador solar debe establecer, y así debe figurar en el manual correspondiente, el número de captadores conectados en paralelo que pueden componer una batería, los rangos de caudales admisibles correspondientes, así como las formas y condiciones de conexión de las baterías con el circuito ya sea por extremos opuestos o por el mismo lado. En el caso de baterías de captadores conectados en paralelo interno, el fabricante debe garantizar que no existen desequilibrios de caudales en circuitos alternativos ni diferencias apreciables de la temperatura de salida entre los captadores centrales y extremos que forman parte de una misma batería.

6.1.1.2 Grupos de baterías de captadores.

Las baterías de captadores se pueden conectar entre sí formando grupos. Las baterías de un mismo grupo, podrán estar conectada entre sí en serie y/o en paralelo o combinando ambos.

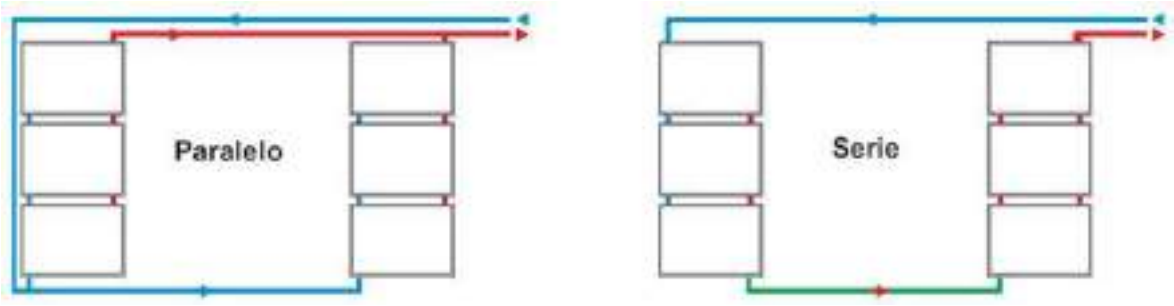


Figura 56: Formas de conexionado de dos baterías de captadores

Todos los grupos de un campo de captadores tendrán el mismo número y tipo de baterías y éstas estarán conectadas de la misma forma. En el caso de que esto no sea posible se utilizarán válvulas de equilibrado para evitar diferencias en las temperaturas a la salida de cada grupo.

6.1.1.3 Sectorización del campo de captadores.

La sectorización de un campo de captación permite realizar la sustitución o reparación de cualquier componente hidráulico del sector sin tener que detener el funcionamiento de la instalación. La sectorización cobra mayor importancia en instalaciones de gran tamaño donde la parada completa de una instalación puede suponer una pérdida energética considerable.

Un campo de captadores se puede sectorizar por baterías utilizando válvulas de corte en la entrada y salida de cada una, aunque en muchos casos se ha comprobado que, si no se actúa sobre éstas durante años, pueden no funcionar correctamente cuando se quieren utilizar y que, además, introducen sobrecostes, más pérdidas térmicas y más posibilidades de fugas.

Alternativamente a la sectorización por baterías, la sectorización se puede hacer por grupos de baterías. Cada grupo debe disponer de dos válvulas de corte, situadas a la entrada y salida del grupo, para poder realizar su desconexión y eliminando las válvulas de corte en cada batería. Este sistema disminuye los problemas derivados del gran número de uniones que se evitan al disponer muchas menos válvulas en el circuito.

Es necesario recordar que cualquier sector de un campo de captación estará generando calor mientras la radiación solar siga llegando al absorbedor, de manera que, si un grupo del campo de captación se aísla mediante el uso de esas válvulas de corte, la temperatura y la presión de la zona aislada aumentará hasta el punto de producir vapor en su interior. Para evitar roturas por exceso de presión se puede dotar a la sectorización de válvulas de seguridad y/o disponer de válvulas de vaciado para extraer el fluido caloportador.

En base a las condiciones de presión y temperatura que pueden alcanzarse en el grupo aislado de la instalación, se definirán las medidas de protección que deben adoptarse que, como mínimo, será una válvula de seguridad tarada a la presión necesaria para proteger todos los componentes del circuito aislado y siempre superior a la presión de tarado de la válvula de seguridad general para que sea ésta la que actúe en caso de sobrepresión.

La sectorización de un campo de captadores se define por el número de grupos en el que se puede dividir y cada proyectista debe decidir en cada caso particular. No obstante, en función del tamaño de la instalación, se pueden realizar las siguientes recomendaciones generales:

- Para tamaño inferior a 7 kW (10 m^2): sin sectorización y un único grupo.
- Para tamaño comprendido entre 7 y 70 kW (de 10 a 100 m^2): hasta 4 grupos.
- Para tamaño superior a 70kW (100 m^2): hasta 4 grupos cada 100 m^2

Ejemplo de una misma distribución de captadores, con 16 baterías agrupadas de dos a dos en serie, y resueltos con distintos niveles de sectorización desde 8 grupos a 1 grupo:

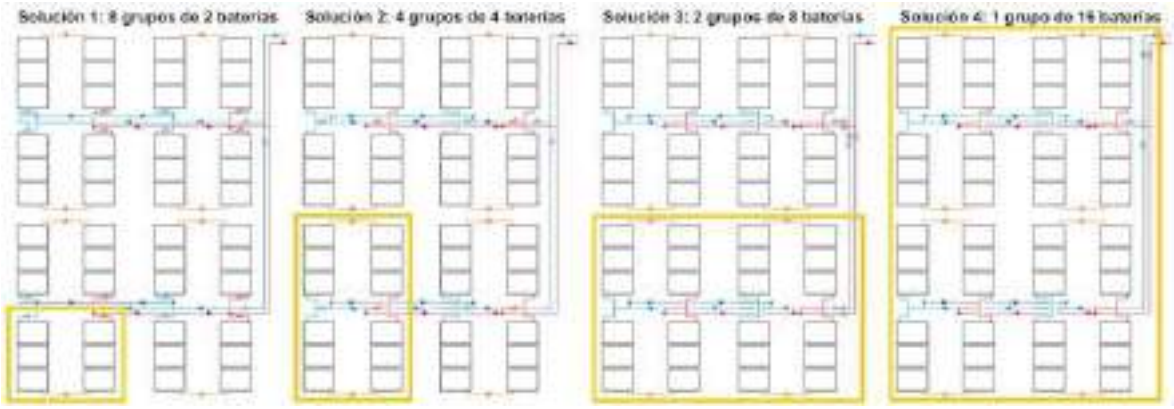


Figura 57: Cuatro ejemplos de sectorización de un campo de captadores

6.1.2 Diseño del circuito primario.

6.1.2.1 Potencia del sistema de captación.

Los captadores solares son generadores de calor cuya potencia depende de la radiación solar disponible, de la temperatura ambiente y de la temperatura del fluido de trabajo. Por lo tanto, la potencia térmica proporcionada por el sistema de captación varía desde cero hasta un valor máximo que será función del rendimiento η y de la irradiancia (G) recibida sobre la superficie A del plano de captadores. Esa potencia térmica POT_{PRI} suministrada al circuito primario se destina a aumentar la temperatura (T_S - T_E) del fluido de trabajo que circula por el sistema de captación, siendo m_{PRI} el caudal másico en kg/s·m^2 y cp el calor específico en J/kg·K del fluido de trabajo conforme a la expresión siguiente:

$$POT_{PRI} = \eta \cdot A \cdot G = m_{PRI} \cdot c_p \cdot (T_S - T_E)$$

En el funcionamiento del circuito primario siempre serán variables el régimen de caudal o el salto de temperatura. Aunque los caudales pudieran ser variables utilizando bombas con variador de frecuencia, en esta guía se consideran siempre circuitos de caudal constante que son más fiables y sencillos de equilibrar por lo que será variable el salto de temperaturas.

6.1.2.2 Caudales de diseño del circuito primario.

El caudal del circuito primario se determina en función del caudal de diseño de cada batería, seleccionado de entre los valores de caudales recomendados por el fabricante y teniendo en cuenta el número de baterías y el tipo de conexionado, en paralelo o en serie, entre las mismas.

El caudal lo define el proyectista con el objetivo de maximizar el aporte energético de captadores minimizando las pérdidas de carga y las pérdidas térmicas encontrando un balance adecuado entre el caudal seleccionado y un diámetro no excesivo en las tuberías a utilizar. Con carácter general y según se observa en el gráfico adjunto, aunque pueden variar los valores en función de las configuraciones y tipos de captador, el rendimiento de la instalación solar térmica varía enormemente en función del caudal utilizado y presenta un máximo normalmente entre los 15 y 25 l/h.m^2. Por debajo de ese valor el rendimiento cae bruscamente ya que el caudal es

insuficiente para evacuar el calor transferido por el absorbedor al fluido aumentando la temperatura del fluido y las pérdidas del captador. Con caudales mayores el rendimiento también disminuye, pero no tan bruscamente como lo hace cuando el caudal es inferior al máximo. En ese caso, el rendimiento disminuye debido al aumento de diámetro de las tuberías que es necesario para transportar mayor caudal, por lo que es mayor la superficie exterior de los circuitos y, por tanto, las pérdidas térmicas correspondientes.

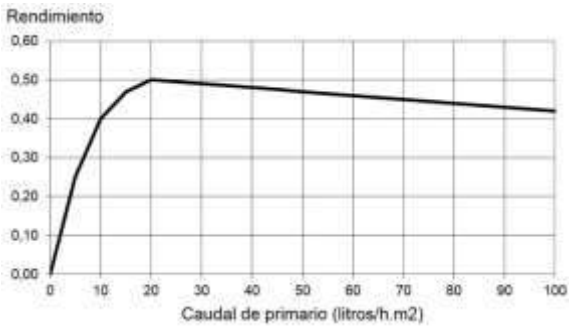


Figura 58: Variación del rendimiento de una instalación solar con el caudal del circuito primario

Inicialmente, se recomienda adoptar criterios conservadores y seleccionar valores de alto caudal, entre 40 y 60 l/h.m^2 ya que son las soluciones que con mayor seguridad harán disminuir menos el rendimiento en el caso de que la pérdida de carga de la instalación realmente ejecutada sea muy diferente a la de diseño, ya que si el caudal se calcula de forma muy ajustada para tener un óptimo rendimiento y la pérdida de carga real hace que el caudal de funcionamiento de la instalación quede por debajo del óptimo como se observa en el gráfico anterior. Con suficiente experiencia, se pueden ir disminuyendo paulatinamente esos valores para ajustar el dimensionado y optimizar el funcionamiento de las instalaciones.

Principales diferencias entre los sistemas de alto y bajo caudal:

CAUDAL DEL PRIMARIO	ALTO	BAJO
Salto de temperaturas	Menor	Mayor
Rendimiento del captador	Mejor	Peor
Diámetros de tubería	Mayores	Menores
Pérdidas térmicas	Aumentan	Disminuyen
Riesgo de cálculo	Menor	Mayor

EJEMPLO. Analizar el comportamiento de una instalación de dos captadores de 2 m^2 cada uno conexionados en paralelo y en serie por los que circula el mismo caudal total de 200 l/h y cuya temperatura de entrada es de 40ºC. Se supone que la irradiancia incidente es de 1.160 W/m^2. ¿En qué configuración se alcanza mayor temperatura?

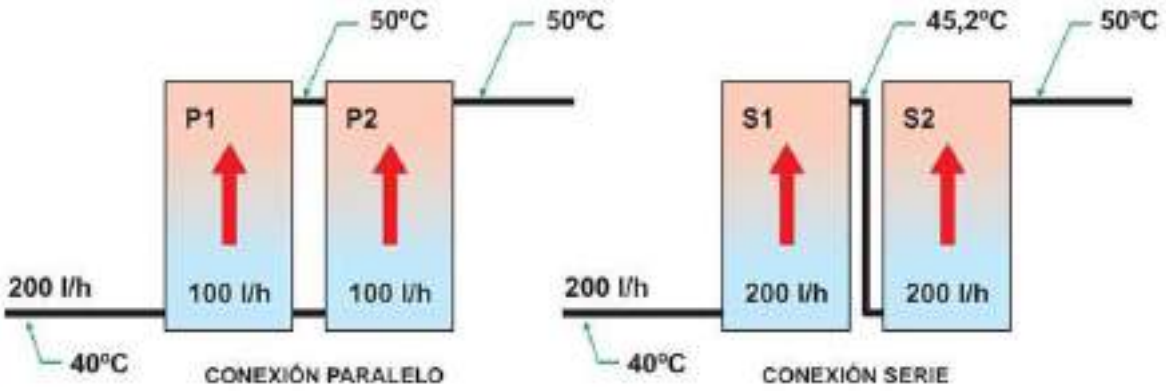


Figura 59: Ejemplos de conexionado en paralelo y en serie de dos captadores solares

Cuando se plantea el ejemplo sin dar los datos de temperatura de salida se tiende a responder que es mayor en la conexión en serie y nunca se relaciona con el caudal.

En la configuración en paralelo, el caudal se distribuye de manera homogénea en ambos captadores resultando que por cada uno de ellos circula un caudal de 100l/h y, si se supone un rendimiento del 50%, se producirá un incremento de temperatura de 10K calculado por la expresión:

$$(T_S - T_E) = POT_{PRI} / m_{PRI} \cdot c_p = \eta \cdot A \cdot G / m_{PRI} \cdot c_p = (0{,}5 * 2 * 1.160 * 3.600) / (100 * 4.186) = 10ºC$$

La temperatura media de los captadores conectados en paralelo es de 45º C pero, para el caso de los captadores conectados en serie, como el caudal total de la instalación atraviesa el primer captador, su temperatura media de funcionamiento es menor por lo que su rendimiento obtenido de la curva d, por tanto, debe ser algo mayor; si suponemos que es del 52%, se producirá un incremento de temperatura de 1.160*0,864*2*0,52/200 = 5,2 K. Todo el caudal atraviesa después el segundo captador, que tendrá una temperatura de entrada superior (45,2ºC) y una temperatura media (≈ 47,5ºC) superior a la del primer captador (≈ 42,5ºC) y a la de cualquiera de los captadores en paralelo (≈ 45ºC); si suponemos que el rendimiento es del 48% el incremento de temperatura será de 4,8 K con lo que la temperatura final en ambos casos sería la misma. En la práctica la temperatura de salida obtenida en ambas configuraciones es muy similar y se puede determinar en qué condiciones es exactamente igual.

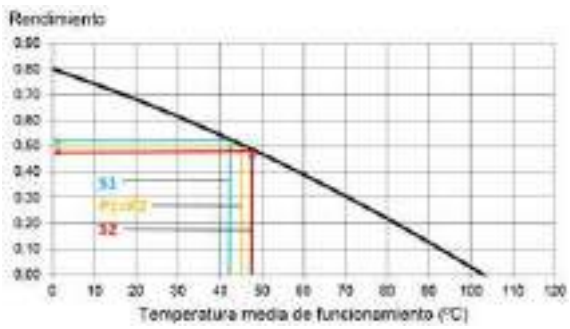


Figura 60: Rendimientos del captador y puntos de trabajo en función de su temperatura

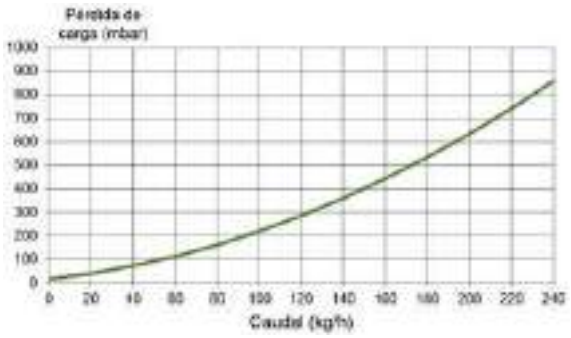


Figura 61: Ejemplo de pérdida de carga de un captador en función del caudal másico

En relación con la pérdida de carga, considerando el gráfico que la relaciona con el caudal, sucede que:

- Para la conexión en paralelo (caudal de 100 kg/h) la pérdida de carga es pequeña y corresponde prácticamente a la de un captador (214 mbar en la figura).
- Para la conexión en serie (caudal de 200 kg/h), la pérdida de carga es muy superior (633 mbar en la figura), pero además hay que contabilizar la de los 2 captadores en serie (serían más de 1.266 mbar)

Por último, se debe señalar la diferencia entre caudales específicos de la instalación, definidos por el proyectista, y los del captador que deben estar entre los recomendados por el fabricante:

Caudales:	Total (l/h)	Específico instalación (l/h.m^2)	Específico captador (l/h.m^2)
Paralelo	200	50	50
Serie	200	50	100

6.1.2.3 Equilibrado de circuitos

El trazado hidráulico del circuito primario debe garantizar una distribución equilibrada de los caudales de manera que por todos los grupos, baterías y captadores de la instalación circule el caudal de diseño y además debe minimizar tanto las pérdidas de carga como de las pérdidas térmicas de la instalación completa.

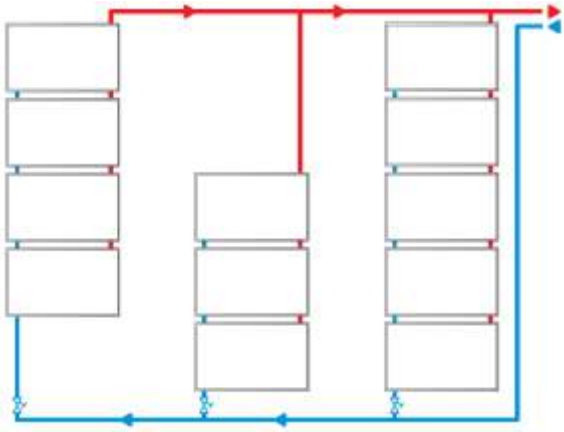


Figura 62: Conexión de baterías con diferente número de captadores y válvulas de equilibrado

Cuando las baterías de un campo de captadores no tienen el mismo número de captadores, se deberán utilizar válvulas de equilibrado que permitan regular el caudal que deba pasar por cada una de ellas, que deberá ser distinto, de forma que se puedan conseguir las mismas temperaturas a la salida de todas las baterías

El equilibrado hidráulico se alcanza cuando son mínimas las diferencias de la temperatura de salida de cada grupo de captadores y, para ello, se puede establecer como criterio general que las diferencias de caudales entre los distintos grupos sean inferiores al 10%. Para garantizar el criterio de equilibrado las pérdidas de carga en los grupos de baterías deben ser iguales y se recomienda que sean equivalentes, como mínimo, al 30% de la pérdida de carga total del circuito.

Para obtener un circuito equilibrado se podrá utilizar:

- Ramal invertido del circuito, ya sea de ida o de retorno, para obtener recorridos hidráulicos iguales por todos los lazos del campo;
- Válvulas de equilibrado u otras válvulas de control de caudal, en cada lazo para forzar y regular las pérdidas de carga necesarias

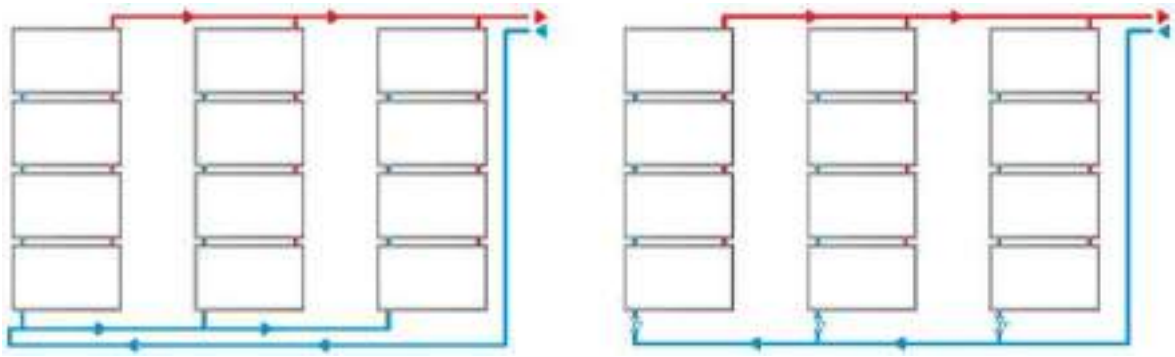


Figura 63: Baterías de captadores conectados con ramal de ida invertido (izq.) y con válvulas de equilibrado (der.)

Para minimizar las pérdidas térmicas asociadas a la circulación del fluido en el circuito primario, el trazado hidráulico se realizará:

- Ajustando los caudales de circulación para reducir los diámetros de tuberías.
- Reduciendo la longitud total del trazado.
- Priorizando que el tramo caliente sea el más corto.

6.2 Sistema de acumulación

La definición del sistema de acumulación debe especificar el volumen total, la marca y modelo del acumulador seleccionado, así como el número de ellos. El acumulador solar seleccionado cumplirá los requisitos del apartado 3.2 y se especificará el material con el que está construido, la protección interior si procede, el tipo y nivel de aislamiento y la protección exterior. Asimismo, se especificará su ubicación, exterior o interior, y su disposición, vertical u horizontal.

Desde el punto de vista del comportamiento térmico se recomienda siempre que el sistema de acumulación solar esté constituido por un único depósito, de configuración vertical y situado en un espacio interior, pero, por razones de fiabilidad de la instalación, por espacio disponible u otras causas, puede ser necesario o recomendable que la instalación tenga más de un acumulador.

6.2.1 Dimensionado del volumen de acumulación centralizado

El volumen de acumulación seleccionado debe ser el resultado óptimo obtenido tras la realización de un análisis de sensibilidad que determine el rendimiento de la instalación para las diversas soluciones posibles considerando variaciones sobre un volumen base de cálculo (V en litros) determinado en función de la superficie de captadores (A en metros cuadrados) por la expresión: $V = 75 \cdot A$ El análisis de sensibilidad se realizará comparando los distintos costes del sistema completo con las diferentes prestaciones de la instalación lo que permitirá minimizar el coste del ciclo de vida.

El volumen de acumulación total nunca debería ser inferior al valor determinado por $V = 60 \cdot A$

El rendimiento global de la instalación solar aumenta con la relación volumen de acumulación- área V/A, pero para valores superiores a 100-120 litros/m^2, el aumento del rendimiento es muy pequeño o incluso podría descender si las pérdidas térmicas del sistema de acumulación son elevadas.

Figura 64: Variación del rendimiento de instalaciones con el volumen de acumulación

6.2.2 Diseño de sistemas con un único acumulador

En instalaciones con un único acumulador e intercambiador externo debe de optimizarse la forma en la que se produce la aportación de calor entre el intercambiador y el acumulador, ya que la temperatura de salida del intercambiador es variable y puede perjudicar la estratificación del acumulador si resulta que la temperatura procedente del intercambiador es menor que la temperatura a la que el agua está acumulada a la altura a la que se ha realizado la conexión entre la salida del intercambiador y el acumulador.

- El **esquema 1** es totalmente desaconsejable ya que el calentamiento solar se realiza en las mismas tuberías de consumo del acumulador y el caudal de salida del intercambiador solar puede romper completamente la estratificación en el caso de ser su temperatura menor que la del acumulador o puede pasar directamente al acumulador auxiliar.
- En el **esquema 2**, se pueden evitar los dos efectos mencionados anteriormente, aunque depende de la altura a la que se conecte la salida del intercambiador y de la velocidad de entrada. La conexión de la aspiración de la bomba del secundario BS en el acumulador o en la tubería de entrada tiene un efecto menor.
- El **esquema 3** con baja velocidad de entrada del agua del secundario sería una de las mejores soluciones, ya que la moderada altura de la conexión entre la salida del intercambiador con el acumulador favorece el mantenimiento de la estratificación.
- El **esquema 4** incorpora una válvula de 3 vías que permite mejorar la estratificación térmica ya que el aporte entre el intercambiador y el acumulador se hace a la altura más adecuada en función de la temperatura de salida del intercambiador. Esta solución introduce nuevos elementos mecánicos que aumentan el riesgo de averías, ya que la válvula desviadora debe situarse en el lado caliente del circuito de carga, por lo que debe evaluarse si compensa el aumento de rendimiento.

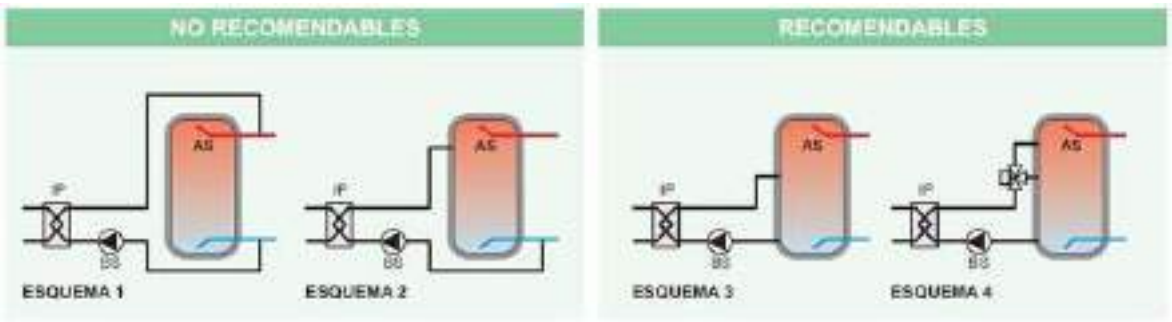


Figura 65: Diferentes formas de conexión de un único acumulador solar con intercambiador externo

022

Sistema de acumulación con varios acumuladores

Si la instalación dispone de varios acumuladores se recomienda que:

- los acumuladores sean iguales,
- se pueda realizar la desconexión individual sin interrumpir el funcionamiento de la instalación,
- se conecten preferentemente en serie si no existen otros condicionantes, ya que la configuración en serie es la que maximiza la distribución en altura de los estratos de agua caliente y, por tanto, la estratificación del conjunto.

En **instalaciones con intercambiador interno** con el conexionado en serie (derecha) el sistema de acumulación funciona como un único acumulador de volumen igual a la suma de todos los volúmenes y la altura equivalente correspondería a la suma de alturas de cada uno de los acumuladores por lo que se mejora la estratificación. Se recomienda la conexión en serie con los circuitos de calentamiento de primario y el de consumo en serie con sentido invertido, esto es, el primer interacumulador en el circuito de calentamiento es último en el circuito de consumo. En este caso, por tanto, las temperaturas de los acumuladores son distintas ya que hay uno más caliente que otro.

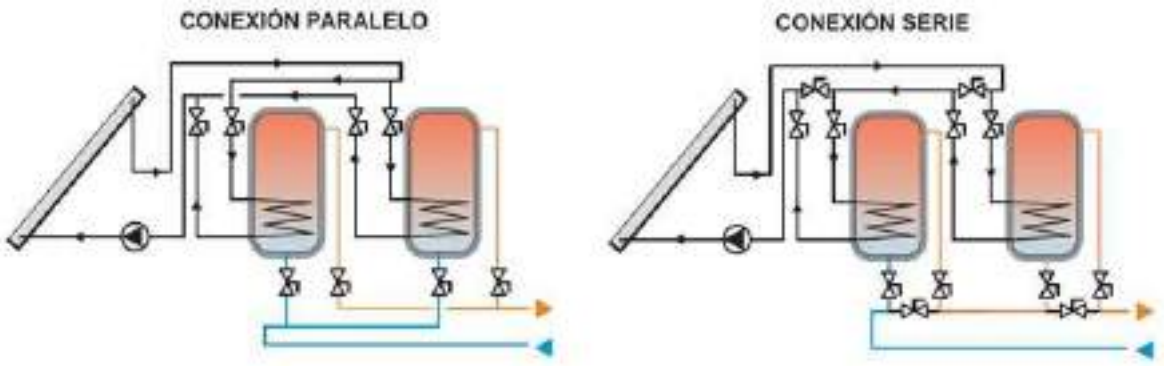


Figura 66: Conexionado de dos interacumuladores en paralelo y en serie

Es factible la conexión en paralelo (izquierda) siempre que los circuitos primarios y de consumo estén equilibrados lo que se deberá asegurar con la medida del caudal o de las temperaturas de salida, que deberían ser iguales, de cada uno de los circuitos en paralelo. Los dos acumuladores deben estar a la misma temperatura.

Para la desconexión individual de cada uno de los acumuladores sin interrumpir el funcionamiento de la instalación, todos los acumuladores deben disponer de válvulas de corte en la entrada y salida de cada uno de los circuitos que le conectan y si la conexión es en serie, debe de preverse una válvula adicional para constituir un by-pass.

De manera similar, en las **instalaciones con intercambiador externo** es factible la conexión en paralelo (izquierda) siempre que los circuitos primarios y de consumo estén equilibrados, pero también se recomienda la conexión en serie (derecha) con los circuitos de calentamiento y de consumo en serie invertida:

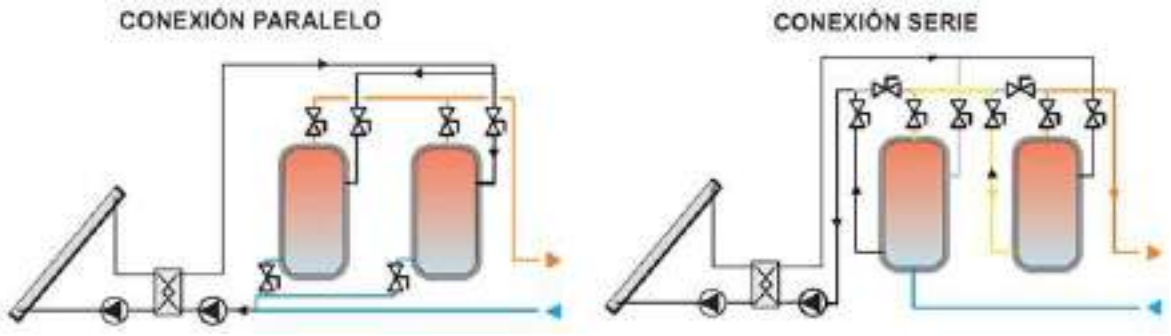


Figura 67: Conexión de dos acumuladores, calentados por intercambiador externo, en paralelo y en serie

Para el conexionado de más de dos acumuladores se debe utilizar, preferentemente, la conexión directa con cada acumulador, aunque se pueden utilizar también los ramales de los propios circuitos que los interconectan. La opción de conexión en serie de varios acumuladores con un intercambiador externo requiere un estudio detallado del diseño de los circuitos y de las condiciones de funcionamiento para garantizar la máxima estratificación y evitar que la parte más caliente del depósito se pueda enfriar.

En caso necesario, se pueden utilizar válvulas automáticas de dos o tres vías (izquierda), que permitan seleccionar, en función de la temperatura de salida del intercambiador a que acumulador se puede aportar energía y contribuir así a mejorar el funcionamiento. No obstante, la introducción de elementos activos en un circuito, que además estarán sometidos a altas temperaturas, serán elementos que puedan presentar problemas relacionados con el mantenimiento, por limpieza periódica, y con la fiabilidad de funcionamiento ya que con la apertura o cierre incompletos los caudales de aporte a cada acumulador pueden no ser los deseados. Alternativamente, se pueden utilizar bombas circuladoras independientes (derecha) para cada uno de los lazos.

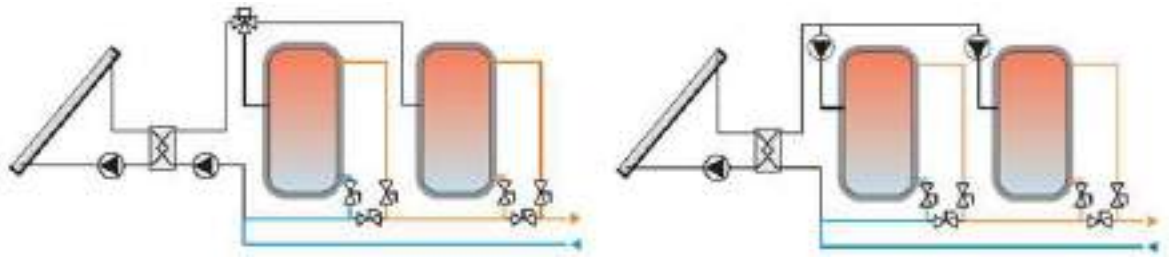


Figura 68: Mejoras en la conexión en serie de dos acumuladores calentados por intercambiador externo

En cualquier caso, es necesario analizar las diferentes posibilidades de distribución de caudales que se pueden producir ya que hay ramales del circuito que pueden circular en ambos sentidos en función de la actuación o no de la bomba del secundario BS y del caudal de consumo que puede variar entre cero y el valor máximo del consumo punta.

6.2.3 Sistemas de acumulación distribuida

En los sistemas con acumulación solar distribuida de edificios multivivienda se utilizarán interacumuladores individuales en cada vivienda. El interacumulador se debería colocar en disposición vertical y preferentemente se ubicará en espacios interiores y próximos al sistema de apoyo para reducir las pérdidas térmicas y mejorar la eficiencia del sistema completo.

El volumen de cada acumulador dependerá del consumo diario de diseño de cada vivienda y de la superficie de captadores. La suma del volumen solar de todos los acumuladores será el volumen total de la instalación solar. Se recomienda utilizar volúmenes no inferiores a los equivalentes consumos mínimos establecidos en la tabla adjunta.

El circuito de consumo conecta, preferentemente en serie, el sistema de acumulación con el sistema auxiliar y desde éstos, respectivamente, con la acometida de agua fría y con la distribución de agua caliente. Se realizará de la forma más sencilla y directa posible, evitando válvulas que no sean necesarias y largos recorridos de tubería.

El circuito de calentamiento del primario del interacumulador se conectará utilizando dos válvulas de corte que, preferentemente, deberían ser accesibles desde el exterior de la vivienda. Se recomienda que los circuitos de calentamiento se calculen con caudal constante de forma que sea el necesario para garantizar un eficiente intercambio térmico en los interacumuladores (normalmente entre 100 y 200 l/h por interacumulador). Mediante un dimensionado adecuado de circuitos y utilizando válvulas de equilibrado se debe garantizar la correcta distribución del caudal por todos ellos. En estos casos no es aplicable ningún factor de simultaneidad y, normalmente, el caudal total resultante supera los caudales unitarios habitualmente utilizados en el circuito primario hasta valores de 100 y 200 l/h.m^2 de superficie de captación, pero permite asegurar la máxima efectividad en la transferencia de calor.

Los circuitos de calentamiento podrán realizarse adoptando una de las siguientes configuraciones:

- **Sin control en el primario** del interacumulador (esquema lado izquierdo) de forma que la bomba se pone en funcionamiento mediante un control diferencial entre la temperatura de entrada y salida de captadores y de manera que el caudal circula siempre por todos los intercambiadores. En ese caso, la temperatura de entrada a captadores corresponde a un valor medio de todas las salidas de los intercambiadores y que, después de calentarse en el sistema de captación regresa más caliente a los intercambiadores calentando más a los acumuladores más fríos y menos a los más calientes. Las diferencias de calentamiento no son significativas por las escasas

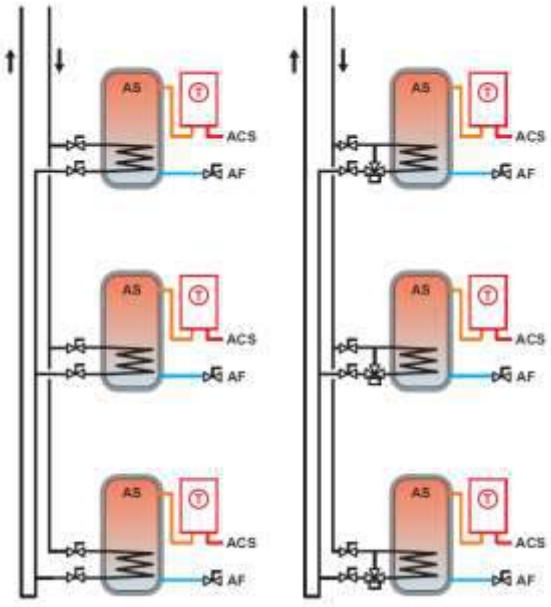


Figura 69: Dos diseños de circuitos de calentamiento de una instalación de acumulación distribuida

diferencias de temperatura en juego y porque solamente afecta a la parte del volumen solar situado en la parte inferior del acumulador. Por tanto, no se reduce la temperatura de la parte superior que es la de salida hacia el sistema auxiliar.

- **Con una válvula de tres vías** (esquema lado derecho) controlada por un control diferencial que compara la temperatura del circuito de calentamiento y la del acumulador de forma que, en función de la diferencia de temperaturas, se produce el calentamiento por la circulación a través del serpentín o se realiza la circulación por el *by-pass* evitando el posible enfriamiento de la parte inferior del interacumulador o su calentamiento excesivo si se prevé dicha protección individual. Es fundamental la fiabilidad de la válvula de tres vías para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, así como realizar su instalación en lugar accesible para el mantenedor.

6.2.4 Energía auxiliar incorporada en el acumulador solar

Los sistemas de energía auxiliar incorporados en el acumulador solar no se han utilizado tradicionalmente porque pueden suponer una disminución de las prestaciones energéticas si no se adoptan las precauciones necesarias para que su funcionamiento sea correcto. Por otro lado, se sabe que pueden suponer una mejora significativa del rendimiento global de la instalación si se cuida su diseño y se utiliza lo mejor posible. El criterio fundamental a tener en cuenta en el diseño es que no se caliente el volumen solar con el sistema auxiliar y que éste funcione lo menos posible ya que, cuando no funciona el sistema auxiliar, todo el volumen se puede calentar con energía solar y se mejora el rendimiento del sistema completo.

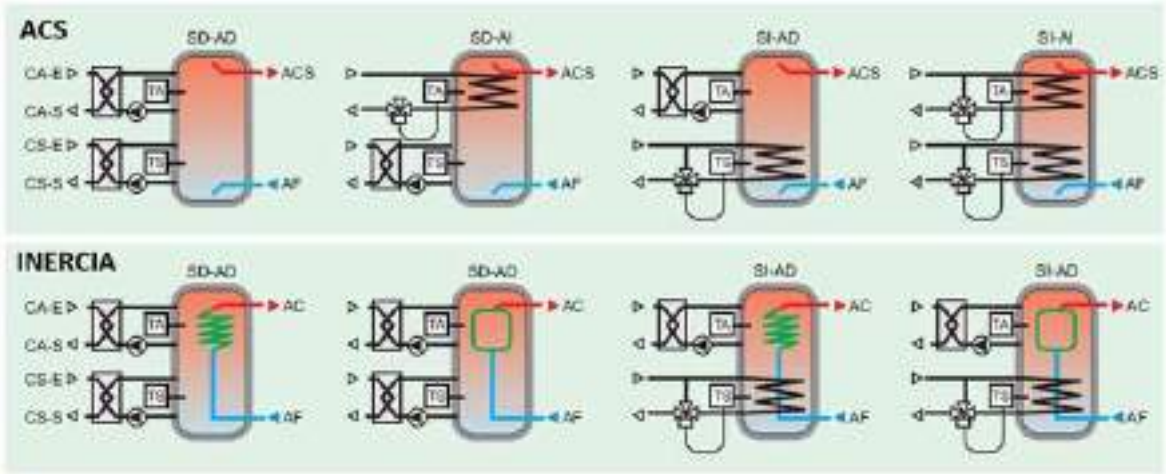


Figura 70: Diferentes formas (directa D e indirecta I) para incorporación del sistema de calentamiento solar (S) y del sistema de energía auxiliar (A) en acumuladores tanto de ACS como de inercia

A continuación, se establecen los requisitos exigibles para incorporar el sistema de energía auxiliar, tanto a acumuladores de inercia como de ACS, y asegurar el correcto funcionamiento de la instalación:

022

1. Configuración vertical con una esbeltez, definida por la relación entre la altura y el diámetro del recipiente de fluido del acumulador, no inferior a 1,5.
2. Que exista la posibilidad de diferenciar en el acumulador un volumen solar situado en la parte inferior y un volumen auxiliar en la parte superior cada uno dotado con un sistema de calentamiento que deberá actuar de forma independiente sobre cada volumen ya sea de forma indirecta (mediante intercambiador de calor incorporado) o directa (calentamiento del fluido desde un sistema de producción de calor externo). El plano de separación de ambos volúmenes se considera está por debajo del nivel inferior de las conexiones del sistema de aporte auxiliar a una distancia vertical de, al menos, el 5% de la altura total del acumulador.
3. El volumen del acumulador que se considera como solar y su sistema de calentamiento deberá cumplir con los criterios de diseño de instalaciones solares. En concreto se cumplirá que la relación V/A debe ser superior a 60 l/m^2, la superficie del intercambiador en relación a superficie de captadores superiores a 0,2, etc.
4. El volumen y el sistema de calentamiento auxiliar deberá cumplir con los criterios y normativas de aplicación a sistemas convencionales. El sistema de calentamiento auxiliar puede ser una resistencia eléctrica sumergida.
5. El volumen de acumulación auxiliar, su potencia de calentamiento y la temperatura de preparación, incluyendo su termostato de control, serán los adecuados para abastecer el consumo punta que se pueda demandar sin que haya ningún aporte energético desde el volumen solar.
6. El nivel de aislamiento térmico y las pérdidas térmicas admisibles para el volumen completo serán, como mínimo, las establecidas para el acumulador solar y que cumpla la normativa vigente.
7. En acumuladores de ACS, la entrada de agua fría de la red estará equipada con una placa deflectora o equivalente, a fin de evitar que un exceso de velocidad del fluido entrante rompa la estratificación en el acumulador.
8. En acumuladores de ACS, la salida de agua caliente al exterior se situará en el lateral o en la parte inferior tomando el agua caliente de la parte más elevada del interior.
9. En los acumuladores de inercia, la producción de agua caliente se podrá realizar mediante un intercambiador de consumo o mediante un acumulador de ACS del tipo “depósito interno”.
10. En todos los circuitos con conexiones directas al acumulador, los diámetros y la disposición de las conexiones garantizarán que los caudales de funcionamiento y su velocidad de entrada no afecten significativamente la estratificación del acumulador.
11. Cuando exista circuito de recirculación de ACS, el retorno al acumulador se realizará de forma que la conexión esté situada en la mitad superior del volumen auxiliar y se garantizará que su funcionamiento no afecta a la estratificación del acumulador.
12. Todas las bocas de conexión, válvulas, registros, etc. deben estar correctamente aisladas para minimizar las pérdidas térmicas.

Se recomienda que los acumuladores se hayan ensayado conforme a la norma UNE 12977-3 "Sistemas Solares Térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 3: Métodos de ensayo del rendimiento de los acumuladores de agua de calentamiento solar" que proporciona las principales características funcionales de los acumuladores y las condiciones necesarias para la evaluación completa de prestaciones cuando se incorpora a una instalación solar.

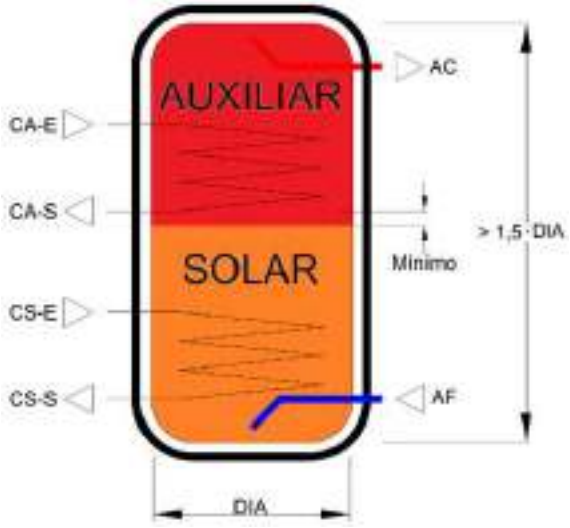


Figura 71: Características del acumulador solar con volumen auxiliar incorporado

Efectuar una correcta incorporación del sistema auxiliar al acumulador solar es esencial para garantizar que no afecta al correcto funcionamiento de la instalación solar. Se debe garantizar en todo momento que la temperatura en el volumen solar es lo más baja posible evitando cualquier posible calentamiento de éste por parte de la instalación auxiliar. La temperatura de preparación del agua caliente del sistema auxiliar debe ser lo más baja posible compatible con el nivel de confort y con la normativa aplicable. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la posibilidad de desconectar el sistema de producción auxiliar cuando no sea necesario.

6.3 Sistema de intercambio

La configuración seleccionada determina el sistema de intercambio que debe incorporar la instalación solar, éste podrá ser independiente o incorporado al acumulador y además centralizado o distribuido. Para cara cada una de las soluciones se requiere distinto tipo de definición e información tal como se indica a continuación. El dimensionado de la potencia del sistema de intercambio debe ser tal que no suponga una reducción significativa de las prestaciones energéticas de la instalación solar.

6.3.1 Sistema de intercambio externo centralizado

Se especificará el tipo, la marca y modelo del intercambiador seleccionado, la compatibilidad con los fluidos térmicos utilizados y la adecuación tanto a las condiciones extremas de temperaturas, presión y diferencia de presiones entre circuitos, como a las condiciones de diseño establecidas: potencia, caudales y temperaturas de entrada y salida en primario y secundario, efectividad y pérdida de carga.

6.3.1.1 Diseño

La instalación del intercambiador independiente, para instalaciones de gran tamaño, se debe complementar con:

- válvulas de corte en todas las bocas de los intercambiadores.
- elementos necesarios para su desmontaje y limpieza: válvulas de purga y de desagüe
- puentes manométricos en primario y secundario.
- termómetros en las cuatro conexiones

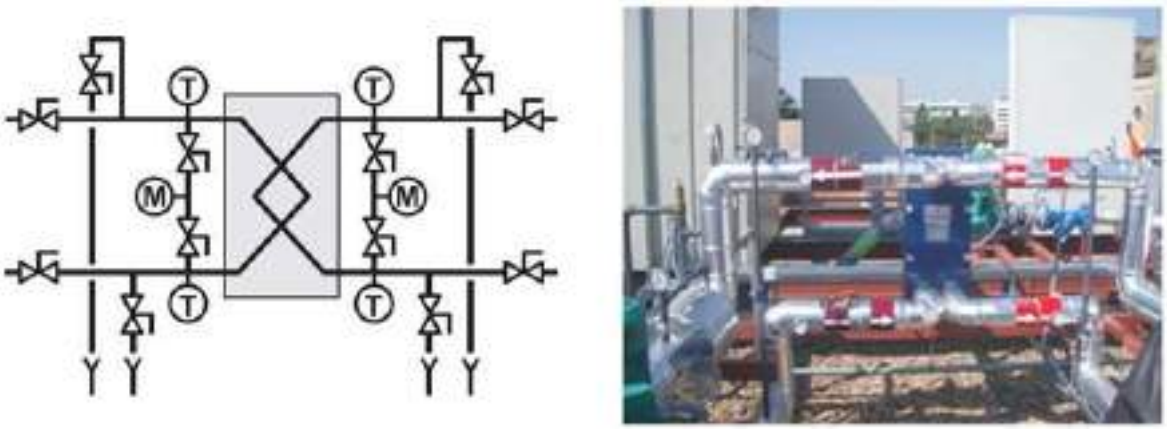


Figura 72: Esquema (izq.) y ejemplo (der.) del conexionado de un intercambiador solar independiente

Para evitar incrustaciones calcáreas se debe estudiar la dureza y el contenido en sales del agua de consumo y estudiar si es posible limitar las temperaturas en los intercambiadores.

6.3.1.2 Dimensionado de intercambiador centralizado

El dimensionado del intercambiador de calor externo quedará definido por, al menos, los siguientes parámetros de diseño: la potencia nominal, los caudales de diseño, los valores de las temperaturas de entrada y salida, la pérdida de carga de cada circuitos y la efectividad del intercambiador que, para las condiciones de diseño, debe ser superior a 0,7. Para el caso de circuitos con la misma capacidad calorífica se define como:

$$\varepsilon - \frac{Q_{real}}{Q_{max}} - \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$$

Siendo:

T_{fs} Temperatura a la salida del intercambiador del lado de fluido frío.

T_{fe} Temperatura a la entrada al intercambiador del lado del fluido frio.

T_{ce} Temperatura a la entrada al intercambiador del lado del fluido caliente.

Para cada una de las posiciones del intercambiador, se cumplirán los siguientes requisitos:

Intercambiador solar (IS): El valor mínimo de la potencia de diseño del intercambiador se define en función de la potencia nominal del sistema de captación según la expresión siguiente:

$$POT_{IS} \geq 0{,}75 \cdot POT_{NOM}$$

La POT_{NOM} corresponde al valor nominal de 0,7 kW por metro cuadrado de superficie de captación.

$$POT_{IS} \geq 0{,}75 * 0{,}7 = 0{,}525 \text{ kW/m}^2$$

Intercambiador de consumo (IC): Para el cálculo de la potencia se utilizará el caudal de consumo $Q_{ACS}(T_P)$ correspondiente a la temperatura de preparación T_P que corresponde al 70% del caudal máximo simultáneo del sistema de apoyo $Q_{MÁX}$ que se obtendrá de los parámetros de diseño de las instalaciones del edificio. La potencia de diseño del intercambiador de consumo será, como mínimo, la necesaria para elevar la temperatura del caudal de consumo desde 15ºC hasta T_P:

$$POT_{IC} \geq Q_{ACS}(T_P) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_P - 15) \qquad y \quad Q_{ACS}(T_P) = 0{,}7 \cdot Q_{MÁX}$$

Intercambiador de descarga (ID): La potencia del intercambiador de descarga POT_{ID} se calculará utilizando la siguiente expresión:

$$POT_{ID} \geq POT_{IS} + (POT_{IC} - POT_{IS}) * VA_{CON} / VA_{TOT}$$

Dónde: P_{IS} es la potencia del intercambiador solar

P_{IC} es la potencia del intercambiador de consumo

VA_{CON} es el volumen de acumulación solar de consumo

VA_{TOT} es el volumen de acumulación solar total (volúmenes de inercia y consumo)

Las condiciones de diseño para el dimensionado de los intercambiadores se establecen para caudales de diseño similares en ambos circuitos teniendo en cuenta que los mismos no deben diferir en más de un 10%. Asimismo, para una temperatura de entrada del fluido del circuito del lado caliente 5ºC superior a la temperatura de salida del fluido del circuito del lado frio que no será inferior a 45ºC o a la temperatura de preparación en el caso de IC. La pérdida de carga de diseño en los intercambiadores de calor externos no será superior a 2 m.c.a. (20 kPa),

EJEMPLO. Definir las condiciones de diseño del intercambiador solar de una instalación de 100 m^2 de superficie de captación. Se quiere trabajar con un caudal de 50 l/(h.m^2) y el fluido de trabajo en ambos circuitos es agua.

Se adopta el ratio de 579 W/m^2, que es equivalente a 500 kcal/(h.m^2), para la potencia del intercambiador. Además de funcionar mejor y de disponer de un margen adicional sobre los requisitos mínimos, facilita los cálculos correspondientes:

- Potencia: 57.900 W > 525 * 100 = 52.500 W
- Caudal en primario y secundario: 50 * 100 = 5.000 l/h
- Salto térmico: 57.900 * 0,864 / 5.000 = 10 K
- Temperaturas de entrada y salida en primario: 50°C y 40ºC
- Temperaturas de entrada y salida en secundario: 36°C y 46ºC
- Efectividad: (46-36)/(50-36)= 10/14 = 0,71 > 0,7
- Pérdida de carga debe ser inferior a 200 mbar.

6.3.2 Intercambiador incorporado en el acumulador solar

El dimensionado del intercambiador de calor incorporado al acumulador quedará definido por, al menos, los siguientes parámetros: la potencia nominal, el caudal de diseño y el salto de temperatura, así como por la superficie útil de intercambio.

022

Se considera como superficie útil de intercambio la parte de la superficie del intercambiador situada en la mitad inferior de la altura del acumulador solar y la relación entre el área útil de intercambio y el área de captadores no debe ser inferior a 0,2.

En cualquier caso, el rendimiento de la instalación solar será mejor cuanto mayor sea la superficie de intercambio ya que de esa forma se consigue que la temperatura de salida del intercambiador sea lo más baja posible. El dimensionado del intercambiador incorporado al acumulador debe garantizar que en condiciones normales de funcionamiento la temperatura de entrada a captadores no debe ser superior en más de 5-10ºC a la temperatura interior del acumulador.

6.3.3 Sistemas de intercambio distribuido

6.3.3.1 Diseño

Los intercambiadores distribuidos en edificios multivivienda son intercambiadores de consumo cuya selección y diseño va asociado a las características del sistema de consumo. Algunos fabricantes de calderas ofrecen este tipo de sistema de intercambio como accesorio, de manera que su diseño está optimizado e incluyen los elementos necesarios en función de las características de la caldera, como por ejemplo válvula de tres vías mezcladora a la entrada de la caldera para protegerla, etc. El circuito de consumo desde el intercambiador al sistema de apoyo y a la distribución de agua caliente se conectará en serie y de la forma más sencilla y directa posible. El circuito de descarga se conectará con el primario del intercambiador mediante sendas válvulas de corte que, preferentemente, deberían ser accesibles desde el exterior para facilitar posibles operaciones de mantenimiento tanto del circuito de descarga como del intercambiador.

El circuito de descarga podrá diseñarse de caudal constante o de caudal variable:

- Los **circuitos de descarga de caudal constante** podrán realizarse sin ningún tipo de control en los intercambiadores, aunque esta solución debería quedar restringida a instalaciones con un número reducido de intercambiadores (inferior a 8).
- Los **circuitos de descarga con caudal variable** se realizan con control en los circuitos del primario de los intercambiadores mediante una válvula de dos vías todo-nada o de acción proporcional que interrumpirá la circulación por el circuito primario del intercambiador en función del caudal del circuito de consumo. Se requiere una válvula de presión diferencial en el circuito de descarga que permita la circulación para cuando se anule completamente la circulación por los

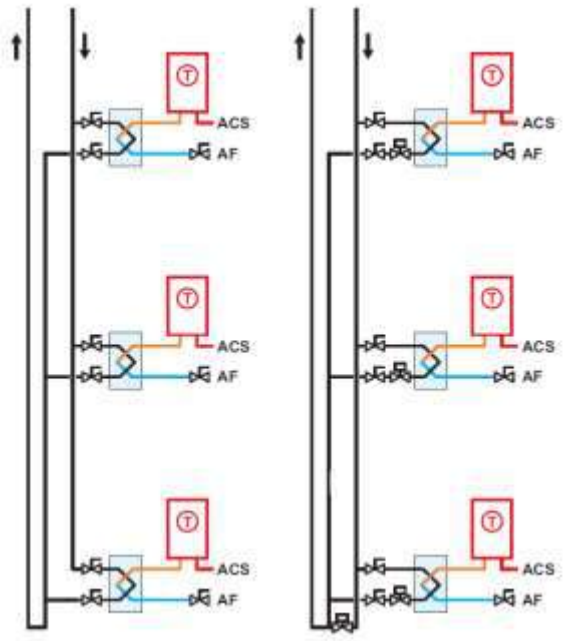


Figura 73: Dos diseños de circuitos de calentamiento de una instalación de intercambio distribuido

intercambiadores individuales de consumo en el caso de que no exista consumo en ninguno de ellos de forma simultánea.

La longitud de la conexión desde el tramo colectivo del circuito de descarga al intercambiador será lo más corta posible para garantizar la disponibilidad inmediata de agua caliente. Cuando la longitud del tramo individual sea superior a 2 metros, se recomienda instalar un *by-pass*, realizado con tubo capilar en la entrada del circuito primario del intercambiador, con caudal suficiente para compensar las pérdidas térmicas y asegurar una temperatura de entrada mínima o se dispondrá de una válvula de tres vías que permita que la recirculación se produzca inmediatamente antes de la entrada del intercambiador de consumo y que de paso a éste en caso de que exista consumo.

En instalaciones con dureza de agua elevada deben adoptarse precauciones especiales (usando descalcificadores o mediante limitación de temperaturas de intercambio) o se evitará el uso de estos intercambiadores. Esta situación es especialmente crítica cuando los intercambiadores son electrosoldados, como ocurre en la mayoría de las ocasiones, ya que estos no pueden ser desmontados para proceder a su limpieza.

6.3.3.2 Dimensionado

Para los intercambiadores de consumo de vivienda, se utilizarán los valores de caudal de consumo $Q_{ACS}(45)$ para temperatura de 45ºC extraídos de la tabla siguiente:

Consumo nominal por vivienda	[l/min]	[l/h]
1 dormitorio	10	600
2 dormitorios	11	660
3 dormitorios	12	720
4 dormitorios	13	780
5 dormitorios	14	840
6 dormitorios	15	900

Tabla 9: Caudales de consumo para diseño de intercambiadores distribuidos

El caudal del circuito primario del intercambiador será igual o superior al caudal nominal de consumo.

La potencia de diseño del intercambiador de consumo POT_{IC} será, como mínimo, la necesaria para elevar la temperatura del caudal de consumo desde 15ºC hasta 45ºC:

$$POT_{IC} \geq Q_{ACS}(45) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (45 - 15)$$

022

Los intercambiadores de consumo se dimensionarán de forma que con una temperatura de entrada del fluido del lado caliente de 50ºC la temperatura de salida del fluido del lado frio sea superior a 45ºC.

La pérdida de carga en primario del intercambiador de calor se tendrá en cuenta para el cálculo de la bomba circuladora del circuito de descarga y para el equilibrado del circuito de distribución. En el lado del secundario se analizará su influencia sobre las condiciones de uso verificando que no sea una limitación a la calidad del servicio ya que una pérdida de carga excesiva puede reducir el caudal de consumo.

Para el dimensionado del circuito de descarga se considerará que el caudal nominal del primario de los intercambiadores de consumo será igual o superior al del circuito secundario. El caudal nominal en cada tramo del circuito se obtiene sumando los caudales de los intercambiadores alimentados por dicho tramo; los valores obtenidos de esa forma se pueden reducir utilizando un coeficiente de simultaneidad cuando se diseña un circuito de distribución de caudal variable con válvulas de 2 vías a la salida de cada intercambiador. El factor de simultaneidad se puede obtener, en función del número de intercambiadores N que alimenta, utilizando la siguiente expresión:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N - 1}} + 0{,}17$$

Debe evaluarse el consumo eléctrico asociado a la bomba circuladora de este circuito y a esos efectos, preferentemente, deben diseñarse circuitos de caudal variable con los menores recorridos posibles.

6.4 Circuito hidráulico

El diseño de la instalación requiere la definición de fluidos y caudales en todos los circuitos, así como el dimensionado de tuberías y la especificación del aislamiento térmico. Para realizar el cálculo del circuito hidráulico es necesario el plano a escala de la instalación que especificará la ubicación de sistemas, así como la distribución de acumuladores, intercambiadores, bombas, válvulas, vasos de expansión, sistema de apoyo y el trazado de tuberías de todos los circuitos de la instalación. El plano a escala de la instalación tendrá el grado de definición necesario para efectuar los cálculos de dimensionado de los circuitos especificando el material y diámetros de tuberías, así como el caudal nominal que circula por ellas.

6.4.1 Diseño y dimensionado de circuitos hidráulicos

Se realizará el diseño y dimensionado de cada uno de los circuitos que pueden formar parte de una instalación de energía solar térmica: primario, carga y descarga, secundario y consumo (distribución y recirculación) aunque estos tres últimos se consideran fuera del alcance de esta guía.

En relación con los caudales:

- El caudal total y el de cada uno de los ramales del circuito primario se determina según lo establecido en el apartado 6.1.2.
- El caudal del circuito de carga, descarga y secundario se determina de acuerdo con lo establecido en las condiciones de diseño del intercambiador independiente del apartado 6.3.1

Si no hay otros requisitos, el diámetro de la tubería para un determinado caudal se seleccionará de manera que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- La velocidad de circulación del fluido será inferior a 2 m/s cuando la tubería discurra por locales habitados e inferior a 3 m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.
- La pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm. de columna de agua (4 mbar) por metro lineal de tubería.

Para el cálculo de la pérdida de carga de circuitos se tendrá en cuenta que los circuitos hidráulicos de las instalaciones de energía solar pueden estar compuestos por más de un lazo de circulación cuando hay componentes o subsistemas, como grupos de captadores o acumuladores, conectados en paralelo. Se calculará la pérdida de carga total de cada uno de los lazos que componen cada circuito y se comprobará que las diferencias de pérdidas de carga entre ellos no son apreciables utilizando, si fuera necesario, válvulas de equilibrado.

Para la selección de tuberías de cada circuito se especificará el caudal total, el material y el diámetro máximo de tuberías. Asimismo, se indicarán los materiales y espesores de aislamiento de acuerdo con la normativa vigente, así como la protección utilizada para el aislamiento al exterior y en el interior. Los materiales de las tuberías de diferentes circuitos se ajustarán a los requisitos del apartado 3.3.4.

6.4.2 Bombas de circulación

El diseño del sistema de bombeo requiere especificar caudales de diseño y pérdidas de carga de todos los circuitos, así como seleccionar el tipo y modelo en función de las características del circuito y del fluido que transporta conforme se estableció en el apartado 3.3.3. Las características hidráulicas y eléctricas de las bombas deben proporcionar condiciones de funcionamiento que se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificada por el fabricante.

La potencia eléctrica de las bombas no debería exceder los valores dados en la tabla siguiente:

Sistema pequeño < 7 kW (10 m^2)	50 W o 2% de la potencia térmica nominal de la instalación (el mayor de los dos)
Sistema grande ≥ 7 kW (10 m^2)	1 % de la potencia térmica nominal de la instalación

La limitación de la potencia eléctrica de las bombas indicadas anteriormente se refiere a la suma de las potencias de bombas asociadas al circuito primario y de carga para transferir el calor hasta el acumulador, pero no es de aplicación a las bombas asociadas a los restantes circuitos en los edificios multivivienda dado que la casuística en estos casos puede ser muy diversa.

022

En función del tamaño de la instalación y del tipo de mantenimiento previsto, el proyectista decidirá la necesidad de instalar dos bombas en paralelo, en ambos circuitos a cada lado del intercambiador, con una de ellas de reserva para casos de avería, así como las condiciones técnicas que se quieran establecer que normalmente deberían ser:

- Funcionamiento alternativo de las mismas, mejor de forma automática por marcha paro o por avería, que manual.
- Uso de válvulas antirretorno en la impulsión de las bombas.
- Empleo de válvulas de corte a la entrada y a la salida de cada bomba.
- Uso de filtros en la aspiración que impidan que las bombas se puedan atascar por exceso de impurezas.
- Puente manométrico que permita comprobar el correcto salto manométrico de las bombas sobre todo en instalaciones de medio y gran tamaño.

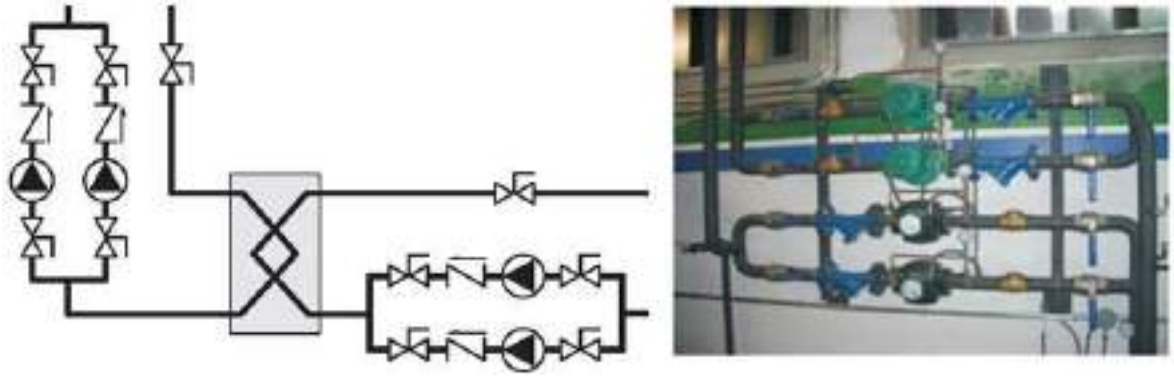


Figura 74: Esquema de montaje de bombas de primario y secundario en paralelo. Der.: Ejemplo de montaje de bombas de primario y secundario en paralelo

6.4.3 Valvulería

6.4.3.1 Válvulas de corte

Se utilizarán las válvulas de corte necesarias para poder aislar los componentes más relevantes y realizar las operaciones mantenimiento necesarias sin necesidad de realizar el vaciado completo, y sin que la instalación deje de funcionar. Para ello se deben dejar previstas las válvulas de corte y los circuitos de by-pass que sean necesarios para aislar los componentes conectados en serie que lo requieran.

Figura 75: Ejemplo de válvula de corte, instalada con mando accesible y símbolo habitualmente utilizado

Se instalarán válvulas de corte:

- A la entrada y salida de cada grupo del campo de captadores
- A la entrada y salida de cada una de las conexiones a los acumuladores, intercambiadores y bombas.
- A la entrada y salida del circuito de consumo y distribución de agua fría y caliente.
- En todas las conexiones de la válvula termostática, en caso de existir esta, incorporando un *by-pass* que permita realizar el tratamiento antilegionela en la instalación de consumo y recirculación cuando así se requiera.
- A la entrada y salida de la instalación solar para poder aislarla del sistema de apoyo incorporando un bypass que permita garantizar la disponibilidad de ACS en el edificio

6.4.3.2 Válvulas de seguridad

Se instalará, como mínimo, una válvula de seguridad en cada uno de los circuitos cerrados de la instalación. Adicionalmente, se instalará una válvula de seguridad en:

- Cada uno de los grupos del campo de captadores, cuya presión de tarado será siempre superior a la de la válvula de seguridad general para que sea ésta la que actúe en caso de sobrepresión.
- Cada uno de los acumuladores

Figura 76: Ejemplo de válvula de seguridad, esquema, instalada y símbolo habitualmente utilizado

La válvula de seguridad del circuito principal se instalará, preferentemente, en un ramal que no retenga suciedad del circuito, conectado a la parte más fría del mismo y próximo al sistema de expansión correspondiente. La posición de las válvulas de seguridad y la conducción del escape debe garantizar que, en caso de descarga, no se provoquen accidentes o daños.

6.4.3.3 Válvulas de retención

Se instalará válvulas de retención:

- En la acometida de agua fría.
- Para evitar flujo inverso o circulaciones naturales indeseadas.
- A la impulsión de cada una de las bombas montadas en paralelo para la conmutación automática.

- En el circuito de recirculación para evitar que funcione como circuito de distribución

Figura 77: Ejemplo de válvula de retención, instaladas en impulsión de bombas y símbolo habitualmente utilizado

Las válvulas de retención garantizarán un determinado nivel de hermeticidad para el máximo nivel de presión diferencial que se pueda establecer.

6.4.3.4 Válvulas de equilibrado

Se instalará válvulas de equilibrado para introducir una pérdida de carga adicional en determinados componentes o subsistemas con el fin de equilibrar lazos de circuitos conectados en paralelo. También se utilizarán con válvulas de 3 vías todo-nada en circuitos de caudal constante para mantener la misma pérdida de carga en los dos lazos del circuito.

Figura 78: Dos tipos de válvulas de equilibrado, instalada con mando accesible y símbolo habitualmente utilizado

En los circuitos primarios de las instalaciones de energía solar se suelen utilizar, como solución alternativa al retorno o ida invertida, para equilibrar los caudales que circulan por cada batería de

captadores solares y garantizar que por todas ellas circulen los caudales de diseño. Se pueden utilizar válvulas de equilibrado estático o dinámico.

6.4.3.5 Válvulas de vaciado

Se instalarán válvulas de drenaje que permitan el vaciado total y parcial de la instalación de manera que se puedan vaciar todos aquellos equipos o partes de la instalación que se haya previsto sectorizar mediante válvulas de corte. Las válvulas de vaciado estarán conducidas, de forma visible, hasta la red de desagües del edificio. En el caso de vaciado de circuitos que usen mezclas anticongelantes, el desagüe de estos fluidos debe de estar conducido a depósitos que permitan su recogida y posterior rellenado de la instalación.

Figura 79: Ejemplos de válvulas de vaciado instaladas y conducidas y símbolo habitualmente utilizado

6.4.3.6 Válvulas mezcladoras

Se utilizarán válvulas mezcladoras, motorizadas o termostáticas, para limitar y regular la temperatura de los circuitos de distribución de ACS que pueden ser instaladas a la salida del sistema auxiliar y/o del sistema solar. La regulación será a la menor temperatura posible compatible con el uso y con los requisitos sanitarios y siempre por debajo de 60ºC para evitar posibles quemaduras a los usuarios.

Figura 80: Ejemplo de válvula de mezcladora termostática, instalada y símbolo habitualmente utilizado

La temperatura seleccionada en la válvula mezcladora que da paso al circuito de distribución afecta, por un lado, a las pérdidas térmicas de este circuito y, por otro, disminuye el caudal de consumo que circula por la instalación solar.

6.4.4 Sistema de llenado

Los circuitos cerrados deben incorporar un sistema de llenado, manual o automático, que permita llenar el circuito y presurizarlo.

Cuando el fluido de trabajo sea agua, los sistemas de llenado directos de la red, además de reductor de presión, filtro, válvula de retención y contador de caudal, siempre deben disponer de una válvula de corte que normalmente estará cerrada para verificar que no existen fugas en el circuito.

Además, la válvula cerrada en combinación con un llenado automático de un circuito evitará posibles inundaciones graves, ya que en caso de rotura del circuito el sistema de llenado estaría continuamente suministrando agua al sistema.

Cuando los circuitos cerrados requieran anticongelante se debe disponer un sistema de llenado que permita, en primer lugar, preparar la mezcla para después introducirla en el circuito de forma manual o automática. Los sistemas de llenado de anticongelante podrán ser fijos, para instalaciones de gran tamaño, o móviles para las de pequeño tamaño.

No se debe utilizar el llenado directo con agua de red ya que un relleno con agua del circuito primario reduce la proporción de anticongelante en la mezcla que elimina la funcionalidad de la protección antiheladas.

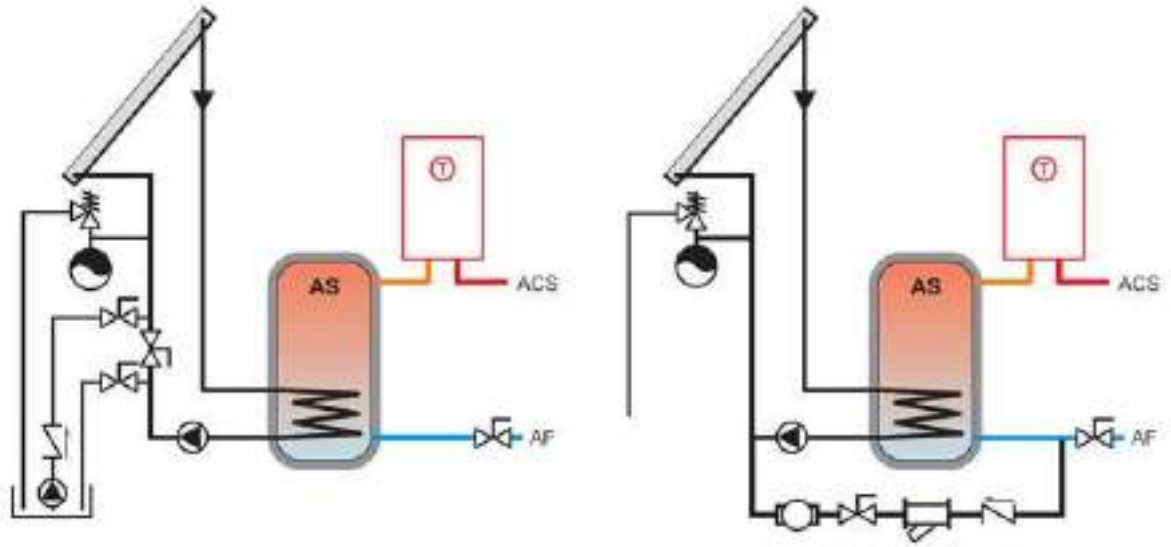


Figura 81: Izq.: Sistema de llenado de mezcla anticongelante (depósito de mezcla, bomba y válvulas de conexión). Der.: Sistema de llenado con agua de red (retención, filtro, válvula de corte y caudalímetro)

6.4.5 Purga de aire

El uso de purgadores automáticos en los circuitos primarios cerrados puede dar lugar a fugas del fluido de trabajo en caso de vaporización ya que estos elementos están pensados para dejar escapar las burbujas del aire de la instalación y no retendrían el vapor en su interior. Tampoco evitan la entrada de aire en el circuito en el caso de que se genere depresión interior. Por ello, los purgadores automáticos se deben utilizar acompañados de una válvula de corte que anula su funcionamiento y permite realizar su sustitución, pero incluso esta opción introduce el riesgo de que las válvulas se puedan quedar abiertas por lo que es recomendable no utilizarlos. Por tanto, se evitará el uso de purgadores automáticos en el circuito primario y en el caso de rehabilitación de instalaciones, se recomienda su sustitución por un sistema de purga manual.

Se evitarán asimismo los purgadores automáticos en los circuitos de consumo de agua caliente sanitaria porque pueden obstruirse fácilmente.

En cualquiera de los casos, se recomienda instalar siempre sistemas de purga manuales que, además de contribuir a que los circuitos cerrados sean herméticos, son más eficaces en este caso ya que en circuitos herméticos no es necesaria su actuación periódica salvo su verificación en las operaciones de mantenimiento anuales. Desde el punto de vista constructivo, los purgadores manuales son tramos de tubería que componen un pequeño depósito de cierto volumen que permite la eventual acumulación de aire por encima del punto donde está conectado al circuito; estos deben de ubicarse en puntos donde la velocidad del fluido sea baja o con trampas de retención de aire, de otro modo, un fluido que circule a mayor velocidad produciría el arrastre de partículas de aire. Se debe disponer de una válvula de corte que permita realizar la purga de aire que a su vez es recomendable conducir la evacuación hasta un punto de drenaje adecuado.

Figura 82: Ejemplos de purgadores manuales de aire en salida de aire con escapes conducidos

6.5 Sistemas de medida

Figura 83: Termómetro, manómetro, caudalímetros y los símbolos habitualmente utilizados

6.5.1 Generalidades

En función del tamaño y las características de la instalación, se deben prever los dispositivos necesarios para tomar medidas de presiones, temperaturas, caudales y energía que permitan controlar el correcto funcionamiento de la misma. Sin considerar las configuraciones más complejas que requieren un análisis específico, para la configuración con intercambiador externo y acumulación solar en consumo los tipos de sensores y su localización puede ser la siguiente:

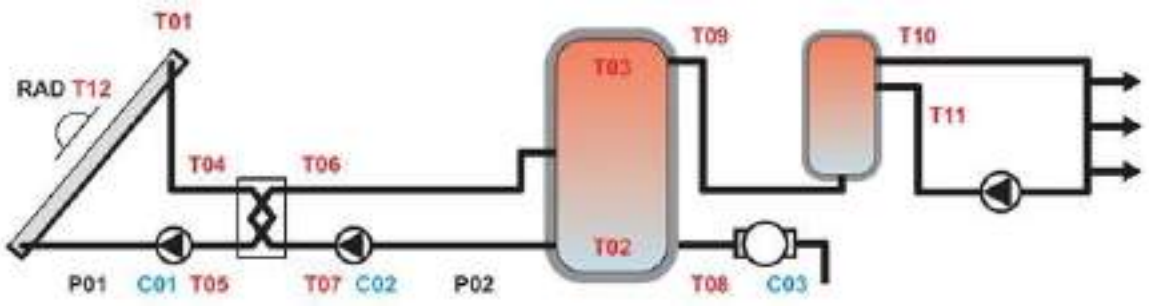


Figura 84: Distribución de sensores de medida en esquema de instalación con intercambiador externo

Sensores de presión:

P01 Presión del primario
P02 Presión del secundario

Sensores de temperatura:

T01: Temperatura de salida de captadores
T02: Temperatura zona inferior de la acumulación solar
T03: Temperatura zona superior de la acumulación solar
T04: Temperatura de entrada primario intercambiador
T05: Temperatura de salida primario intercambiado
T06: Temperatura de entrada secundario intercambiador
T07: Temperatura de salida secundario intercambiador
T08: Temperatura agua de red
T09: Temperatura de aporte solar
T10: Temperatura de salida a consumo
T11: Temperatura de retorno del sistema de recirculación
T12: Temperatura ambiente exterior

Otros sensores:

C01: Caudal de primario
C02: Caudal de secundario
C03: Caudal de consumo
RAD: Radiación solar global

Para la **medida de presión**, se instalarán manómetros con dispositivos de amortiguación de oscilaciones o sensores de presión en el primario, preferentemente en un lugar próximo al sistema de llenado o asociado al conjunto sistema de expansión y válvula de seguridad y también en el sistema de acumulación del secundario.

Para la **medida de temperaturas** se deberán disponer termómetros o sensores de temperatura en:

- la salida y entrada del campo de captadores.

- la parte inferior y superior de los acumuladores, para disponer de una medida de la estratificación de temperaturas y la carga real de energía del sistema. Cuando existan varios acumuladores, cada uno de ellos debería disponer de los mismos elementos de medida.
- las entradas y salidas de todos los circuitos de los intercambiadores.
- la entrada de agua fría del circuito de consumo, en la salida de agua caliente del sistema de acumulación solar, en la salida de agua caliente del sistema de apoyo y en el circuito de retorno.

Para la **medida de caudal** se instalarán:

- Un caudalímetro, rotámetro o válvulas de equilibrado con medida de caudal para los circuitos primario y secundario.
- Un contador de agua en la entrada de agua fría para la medida del caudal de consumo que puede formar parte del contador de energía térmica que junto con las dos sondas de temperatura situadas en la entrada de agua fría y en la salida de agua caliente del sistema de acumulación, permita contabilizar la energía térmica aportada al sistema.

La **medida de la radiación solar global** se podrá realizar con piranómetros o con células fotovoltaicas calibradas.

Para instalaciones de tamaño superior a 70 kW (100 m^2) se deben incorporar **medidas de presión diferencial** para lo que se instalarán puentes manométricos entre la aspiración e impulsión de bombas, que permiten verificar su correcto funcionamiento, y entre la entrada y salida de los circuitos del intercambiador, para comprobar su estado de ensuciamiento.

Figura 85: Puentes manométricos para medida de presión diferencial en bomba (izq.) e intercambiador (der.)

En algunas ocasiones se pueden utilizar otras medidas complementarias, especialmente útiles para un control más preciso del funcionamiento y para los planes de mantenimiento, como por ejemplo, las medidas de temperaturas en todos los grupos del campo de captadores, para lo que

se pueden disponer sensores de temperatura en las salidas de cada grupo o, al menos, prever vainas de inmersión en cada una de ellas para puntualmente realizar las medidas necesarias que permitan asegurar que el circuito está equilibrado. También en los lazos alternativos de circuitos con válvulas de tres vías para controlar que no existe circulación.

A continuación, se definen cinco configuraciones diferentes denominadas de la C1 a C5, en función de su tamaño y características en cuanto al principio de circulación, bombas utilizadas y tipo de sistema de intercambio.

	C1	C2	C3	C4	C5
Circulación	Forzada				Natural
Bombas	Dobles	Simples o dobles		Simples	-
Intercambiador	Externo (de placas)		Interno (incorporado)		-
Área captación (m^2)	A ≥ 100	100 > A ≥ 10		A < 10	

Tabla 10: Definición de 5 configuraciones de instalaciones en función de su tamaño

En la tabla siguiente se establece, para cada una de las configuraciones definidas en la tabla anterior, el equipamiento mínimo de puntos de medida (marcados como "•") que deben considerarse necesarios así como los recomendados (marcados como "+") cuya incorporación se considera opcional:

	C1	C2	C3	C4	C5
P01	•	•	•	•	+
P02	•	+	+		
T01	•	•	•	•	
T02	•	•	•	•	
T03	•	•	•	•	•
T04	•	•	+		
T05	•	•	+		

T06	•	+			
T07	•	+			
T08	•	•	•	+	+
T09	•	•	•	+	+
T10	•	•	•		
T11	•				
T12	•				
C01	+	+	+	+	
C02	+	+			
C03	•	•	•	+	
RAD	•	+	+		

Tabla 11: Equipamiento mínimo de equipos de medida para cada una de las configuraciones

La medida de la radiación solar global y de la temperatura ambiente, deben estar integradas con un sistema de monitorización que, al menos, permita determinar valores de rendimiento globales de la instalación solar.

En el caso de no instalarse los sensores recomendados se dejarán previstos los elementos necesarios para conectar instrumentos de medición e interferir lo menos posible en los circuitos correspondientes, esto quiere decir que la instalación debe disponer de:

- Válvulas de corte para poder realizar medidas de presión.
- Vainas de inmersión para sondas de temperatura.
- Tramos de tubería rectos y desmontables para instalación de caudalímetro o para medir caudales por ultrasonidos.

Adicionalmente, el sistema de medida debe disponer de información visual, normalmente, mediante pilotos de señalización, que indique la disponibilidad de alimentación eléctrica al sistema, el estado de funcionamiento de bombas y válvulas, así como las actuaciones del sistema de control y las funciones de protección que incorpore.

Este esquema de evaluación sólo integra la temperatura de salida del sistema auxiliar para tener una referencia de la demanda total, pero no incluye las medidas necesarias para evaluar las pérdidas térmicas de los circuitos de distribución y recirculación ni el rendimiento y condiciones

de operación del equipo auxiliar que, como ya se indicó, serían necesarios para evaluar el correcto funcionamiento global.

6.5.2 Sistemas de monitorización

La utilización de sistemas de monitorización en las instalaciones solares, además de permitir visualizar todas las variables medidas instantáneamente de forma conjunta sobre un esquema de principio, permite acumularlas para poder realizar análisis del comportamiento de la instalación, generar señales de alarma y control, así como proceder a su registro y evaluación para un adecuado seguimiento de las mismas. Además de todas las variables anteriormente establecidas, se recomienda medir y registrar el consumo de energía eléctrica y, como ya se indicó, todas las variables que caracterizan el funcionamiento del sistema de apoyo. Si el sistema tiene la posibilidad de ser visualizado a distancia, utilizando internet, telefonía, etc. se dispondrá de un sistema de telemonitorización.

En cada caso se deben definir las características de los sensores y las prestaciones técnicas que deben ofrecer los sistemas de adquisición, registro y transmisión de datos.

6.5.2.1 Medida de temperatura

Las temperaturas se medirán mediante termopares, termómetros de resistencia o termistores. La medida de la diferencia de temperatura del fluido de trabajo se realizará mediante termopilas, termómetros de resistencia (conectados en dos brazos de un circuito en puente) o termopares emparejados, de forma que la señal de salida sea única en todos los casos, de un modo similar a como se hace con los puentes manométricos.

Las sondas de temperatura deben ser, preferentemente, de inmersión y deben estar bañadas por el fluido en circulación cuya temperatura se pretende medir. En el caso de emplear sondas de contacto o introducidas en vainas, éstas deberían estar en contacto con el tubo o con la vaina mediante una pasta térmicamente conductora, fuertemente sujetas para evitar que se desplacen y térmicamente aisladas del exterior para reducir los errores de medida.

6.5.2.2 Medida de caudal

La medida de caudales de líquidos se realizará mediante caudalímetros de turbina, medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimientos gravimétricos, de forma que la exactitud sea igual o superior a ± 3% en todos los casos.

Los contadores de caudal de agua estarán constituidos por un cuerpo resistente al tipo de fluido que vaya a circular teniendo en cuenta las condiciones de temperatura y presión máximas a las que pueda operar y también a la acción del agua, en el caso de ser este el fluido a circular. La cámara de medida debe contener un elemento con movimiento proporcional al caudal de agua que fluye y un mecanismo de relojería para transmitir este movimiento a las esferas de lectura

por medio de un acoplamiento magnético. La esfera de lectura, herméticamente sellada, será de alta resolución y dispondrá de emisor de impulsos para los casos de lectura remota.

Para la identificación del contador de caudal se suministrarán los siguientes datos, que deben ser facilitados por el fabricante:

- Calibre del contador.
- Temperatura y presión máxima de trabajo.
- Caudales (en servicio continuo, máximo, mínimo y de arranque)
- Indicación mínima de la esfera.
- Capacidad máxima de totalización.
- Dimensiones.
- Diámetro y tipo de las conexiones.
- Pérdida de carga en función del caudal.
- Relación impulsos litro en el caso de contadores de lectura remota.

6.5.2.3 Medida de energía térmica.

Los contadores de energía térmica estarán constituidos por los siguientes elementos:

- Contador de agua con salida de impulsos, descrito anteriormente.
- Dos sondas de temperatura.
- Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado

La posición del contador y de las sondas define la energía térmica que se medirá. El microprocesador podrá estar alimentado por la red eléctrica o mediante pilas con una duración de servicio mínima de 3 años. El microprocesador multiplicará la diferencia de ambas temperaturas por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionará la cantidad de energía.

6.5.3 Protocolo de intercambio de datos

El intercambio por medios electrónicos de los datos que resultan de los sistemas de telemonitorización de instalaciones se puede realizar en diferentes formatos, pero, con el fin de homogeneizar la información, se pueden establecer recomendaciones sobre las características de los datos y el formato de los ficheros de forma que se utilice un formato único para leer, sin errores, cualquiera de los informes que se generen.

Es recomendable utilizar el metalenguaje XML para representar los datos por su carácter de formato estándar en Internet y su capacidad para definir las estructuras de los mismos, sin predeterminar su estructura física o su forma de presentación. Para ello se plantea la traducción a XML de todos los datos generados por el sistema de telemonitorización, según la definición gramatical XML que debería ser única para todas las instalaciones que pretendan transmitir o compartir sus datos. Dado que existe la experiencia previa de haber utilizado este procedimiento para su lectura por el sistema PRETEL del IDAE, se plantea generar las variables con los nombres indicados en dicho procedimiento.

En relación con la frecuencia de adquisición se debe tener en cuenta la resolución necesaria que normalmente, dada la inercia de los sistemas y salvo estudios puntuales, es suficiente con una frecuencia de adquisición de datos de una hora.

La especificación formal de la estructura del fichero XML que debe reunir cualquier fichero de datos de telemonitorización se puede llevar a cabo mediante una descripción XSD que tiene mayor versatilidad y capacidad descriptiva de tipos de datos que la descripción mediante DTD aunque esta sea inicialmente más sencilla. El archivo XSD también se puede utilizar para la validación de ficheros previamente a la transmisión en el servidor de la instalación, así como posteriormente a su recepción.

Se recomienda utilizar HTTPS como protocolo de comunicaciones en el que se debe efectuar el intercambio de datos, por sus características de estándar ampliamente soportado y de crear un canal cifrado que permite aumentar la seguridad en la transmisión de los datos frente a terceros.

6.6 Aislamiento térmico

Se especificarán los tipos, espesores y acabado de los aislamientos de todas las tuberías que contengan fluidos a temperatura superior a 40ºC que deberán aislarse, incluyendo accesorios y componentes de la instalación, para disminuir las pérdidas térmicas.

El cálculo de los niveles de aislamiento térmico de los circuitos de calentamiento (primario y secundario) se realizará de forma que las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones no superen el 4 % de la potencia nominal de la instalación.

Para el cálculo del espesor de aislamiento se podrá optar por el procedimiento simplificado, cumpliendo los requisitos del apartado 6.6.1, o por el procedimiento alternativo conforme al apartado 6.6.2 que requiere el cálculo de las pérdidas térmicas y el cumplimiento del punto anterior.

6.6.1 Procedimiento simplificado

Los espesores mínimos de aislamiento térmico, expresados en mm, en función del diámetro exterior D de la tubería sin aislar y para un material con conductividad térmica de referencia a 10°C de 0,040 W/m·K deben ser los siguientes:

- Para D ≤ 35 mm. el espesor mínimo será 30 mm al interior y 40 mm al exterior.
- Para D > 35 mm. el espesor mínimo será 35 mm al interior y 45 mm al exterior.

Los espesores mínimos de aislamiento de acumuladores, para un material con conductividad térmica de referencia a 10°C de 0,040 W/m·K, no serán inferiores a 50 mm.

Los espesores mínimos de aislamiento de los accesorios de la red, como válvulas, filtros, etc., serán los mismos que los de la tubería en que estén instalados.

022

Los espesores mínimos de aislamiento de las redes de tuberías que tengan un funcionamiento continuo, como redes de distribución y recirculación de agua caliente sanitaria, deben ser los indicados en los dos puntos anteriores aumentados en 5 mm.

El espesor mínimo de aislamiento de las tuberías de diámetro exterior menor o igual que 25 mm y de longitud menor que 10 m, contada a partir de la conexión a la red general de tuberías hasta la unidad terminal, y que estén empotradas en tabiques y suelos o instaladas en canaletas interiores, será de 10 mm., evitando, en cualquier caso, la formación de condensaciones.

Cuando se utilicen materiales de conductividad térmica distinta a λ_{ref} = 0,04 W/m·K a 10°C, se considera válida la determinación del espesor mínimo aplicando las siguientes ecuaciones:

Para superficies planas:

$$d = d_{ref} \frac{\lambda}{\lambda_{ref}}$$

Para superficies de sección circular:

$$d = \frac{D}{2}\left[EXP\left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \cdot ln \frac{D+2 \cdot d_{ref}}{D}\right) - 1\right]$$

Donde:

λ_{ref} conductividad térmica de referencia, igual a 0,04 W/m·K a 10°C

λ conductividad térmica del material empleado, en W/m·K

d_{ref} espesor mínimo de referencia, en mm.

d espesor mínimo del material empleado, en mm.

D diámetro interior del material aislante, coincide con diámetro exterior de la tubería, en mm.

ln logaritmo neperiano (base 2,7183…)

EXP significa el número neperiano elevado a la expresión entre paréntesis

6.6.2 Procedimiento alternativo

El procedimiento alternativo corresponde a un método de cálculo que permita justificar el cumplimiento de esta opción y que tenga en consideración los siguientes factores:

a) El diámetro exterior de la tubería.
b) La temperatura del fluido, máxima o mínima.
c) Las condiciones del ambiente donde está instalada la tubería, como temperatura seca, mínima o máxima respectivamente, la velocidad media del aire y, en el caso de fluidos fríos, la temperatura de rocío y la radiación solar.
d) La conductividad térmica del material aislante que se pretende emplear a la temperatura media de funcionamiento del fluido.
e) El coeficiente superficial exterior, convectivo y radiante, de transmisión de calor, considerando la emitancia del acabado y la velocidad media del aire.
f) La situación de las superficies, vertical u horizontal.
g) la resistencia térmica del material de la tubería.

El método de cálculo se podrá formalizar a través de un programa informático siguiendo los criterios indicados en la norma UNE-EN ISO 12241.

El estudio justificará documentalmente, por cada diámetro de la tubería, el espesor empleado del material aislante elegido, las pérdidas o ganancias de calor, las pérdidas o ganancias de las tuberías sin aislar, la temperatura superficial, y las pérdidas totales de la red.

6.7 Sistema eléctrico y de control

El sistema de control tiene la misión de maximizar el rendimiento de la instalación solar, así como de protegerla de posibles averías producidas por sobrecalentamiento, congelación, pérdidas de presión, etc. Para ello, el control debe de medir una serie de parámetros mediante sondas de temperatura, presión, caudal, etc. que le permitan actuar sobre los diferentes elementos de la instalación, tales como bombas, válvulas automáticas, etc.

Se especificará la estrategia de control utilizada, la marca modelo y tipo del equipo de control elegido, así como la posición de las sondas. Se adjuntará un esquema eléctrico del sistema completo. El sistema de control incluirá indicadores que permitan comprobar el correcto funcionamiento del sistema, tales como señalizaciones visibles de la alimentación eléctrica del sistema, del funcionamiento de bombas, temperaturas de captadores y depósitos y, en su caso, de averías producidas.

6.7.1 Función principal del sistema de control

En el circuito primario el control de funcionamiento recomendado de las bombas será de tipo diferencial, actuando en función del salto de temperatura entre la salida de una batería del campo de captación y el acumulador solar. De esta manera, se garantiza con carácter general que va a existir un aporte energético desde los captadores al acumulador.

Opcional o adicionalmente al expuesto anteriormente, se podrán utilizar sistemas de control por célula crepuscular o diferencial en función del salto de temperatura entre la salida y entrada del sistema de captación. El funcionamiento de este tipo de sistemas de control debe garantizar las mejores prestaciones de la instalación, ya que su uso por si solo no es óptimo. Por ejemplo, un sistema de control que active las bombas de primario en función de la disponibilidad de radiación solar puede estar enfriando el acumulador si no se verifica que la temperatura de captadores es superior a la del acumulador.

En el circuito secundario el funcionamiento normal de las bombas será simultáneo al del circuito primario; excepcionalmente y aplicable cuando los circuitos primarios son de una gran longitud, se podrá utilizar un control de tipo diferencial en función del salto de temperaturas entre la entrada al intercambiador por el lado del circuito primario y el acumulador solar.

El sensor de temperatura que detecta la temperatura de salida de los captadores se colocará en la parte interna y superior de estos en contacto con el absorbedor o utilizando una vaina de

inmersión justo a la salida de la batería de captadores y de forma que mida adecuadamente su temperatura. Se seleccionará la batería de forma que sea representativa del funcionamiento del sistema de captación y se preverá la posibilidad de cambiar la batería seleccionada para modificar la ubicación de la sonda de temperatura conectada al sistema de control para los casos de operaciones de mantenimiento que lo requieran.

El sensor de temperatura del acumulador se situará en la parte inferior en una no zona influenciada por la circulación del circuito de calentamiento, a una altura comprendida entre el 10% y el 30% de la altura total del acumulador. En el caso particular de usar un intercambiador de tipo serpentín, se recomienda que, siempre que sea posible, se localice a la mitad de la altura del intercambiador y es preferible tomarla en el interior de los acumuladores antes que en las tuberías de conexión de forma que el sensor detecte la temperatura del agua del acumulador que se pretende calentar desde.

Cuando el control de funcionamiento de las bombas sea diferencial, la precisión del sistema de control y la regulación de los puntos de consigna asegurará que las bombas estarán paradas con diferencias de temperaturas menores de 2ºC y en marcha con diferencias superiores a 7ºC. La diferencia de temperaturas entre el arranque y parada del control diferencial no será inferior a 2ºC. De esta manera se asegurará que los captadores tienen temperatura suficiente para que el aporte al acumulador sea efectivo, aunque se produzcan pérdidas energéticas en el circuito, además esta histéresis permitirá que las bombas no estén arrancando y parando continuamente.

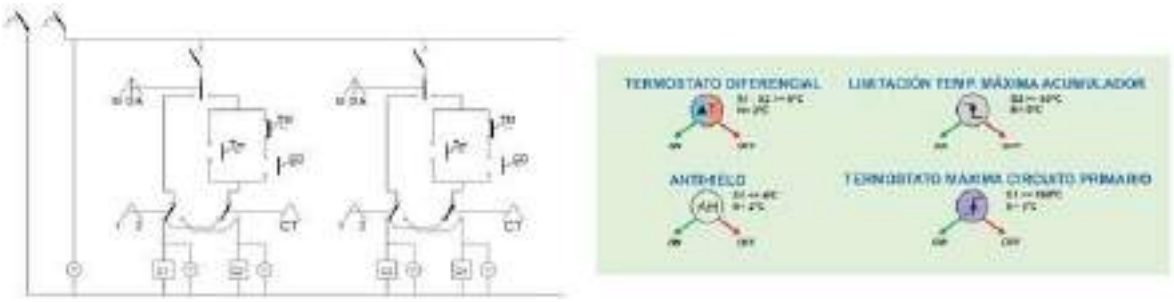


Figura 86: Izq.: Esquema eléctrico de alimentación a bombas en paralelo. Der.: Elementos de regulación de los valores de consigna del sistema de control y protección de una instalación solar

6.7.2 Funciones de protección

6.7.2.1 Función limitación temperatura máxima del acumulador

Los acumuladores tienen limitaciones en cuanto a la temperatura máxima a acumular cuyo valor viene normalmente determinado por el tipo de revestimiento utilizado. El sistema de control debe de garantizar que no se superan estas temperaturas para evitar que el acumulador resulte dañado.

Para limitar la temperatura máxima del acumulador se utilizará un sensor de temperatura, preferentemente situado en la parte alta del mismo, que es la más caliente, que actuará anulando

el aporte de energía incluso si la temperatura de captadores es superior a la de la parte baja del depósito. Cuando se utilice un sensor de temperatura que no esté situado en la parte superior del acumulador deberá regularse la actuación con un margen adicional para tener en cuenta que la estratificación puede producir temperaturas más altas de las registradas por el sensor.

La actuación de protección podrá realizarse:

- En sistemas con intercambiador interno, parando la bomba del circuito primario o actuando sobre una válvula de 3 vías que interrumpa la circulación por el intercambiador.
- En sistemas con intercambiador externo, parando la bomba del circuito secundario o interrumpiendo la circulación en el primario del intercambiador con una válvula de 3 vías.

En el caso de utilizar la opción de la válvula de 3 vías, la bomba del circuito primario podrá seguir funcionando cuando se quiera disponer de un sistema de disipación de calor para protección de la temperatura máxima del circuito primario.

6.7.2.2 Función de protección por temperatura máxima del circuito primario

La limitación de protección por temperatura máxima del circuito primario se realiza para evacuar el calor que se genere en los captadores y para ello, con la señal procedente del sensor de temperatura de captadores, se puede actuar sobre una válvula de tres vías (V2) de forma que se hará circular el fluido por el dispositivo disipador que deberá ponerse en funcionamiento simultáneamente. Es importante señalar que esta función será subordinada a la de protección del acumulador (V1) descrita en el apartado anterior y por tanto su actuación nunca podrá producir mayor calentamiento en el mismo.

El sistema de disipación puede estar conectado en el circuito primario en serie o en paralelo. La conexión en serie permite que tras producirse la disipación el fluido menos caliente pase por el intercambiador, de manera que, si aún no se ha superado la temperatura máxima del acumulador, es posible realizar una aportación energética. La conexión en paralelo evita que el fluido pase por el intercambiador tras producirse la disipación, protegiéndolo de posibles averías.

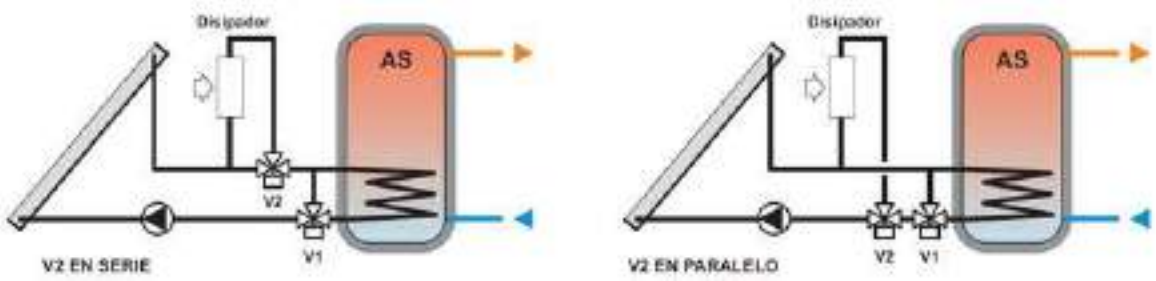


Figura 87: Esquemas de conexionado de un sistema de protección de la temperatura máxima del acumulador (V1) junto con un sistema disipador de calor del circuito primario (V2) conectados en serie o en paralelo

El uso del disipador reduce las elevadas temperaturas del circuito primario, pero, como ya se indicó, no es un sistema de seguridad intrínseca que pueda evitar la producción de vapor cuando falta la alimentación eléctrica. Asimismo, introduce un posible fallo que se puede producir por un

posicionamiento intermedio de la válvula de tres vías que afecta a los caudales en circulación que pueden reducir sensiblemente las prestaciones de la instalación.

Independientemente de que la instalación tenga disipador o no, el circuito primario debe estar disponible para su uso en el momento en el que la temperatura del acumulador solar bajase de su temperatura de protección. Para ello deberá comprobarse que la potencia de la bomba de circulación es suficiente para hacer circular el fluido, aunque los captadores estén llenos de vapor y que el diseño del circuito soporta las temperaturas que se puedan producir. En caso contrario, el circuito no volvería a estar disponible hasta el día siguiente cuando la temperatura del sistema disminuyese por debajo de la máxima de captadores.

6.7.2.3 Función de protección por temperatura mínima de captadores

Cuando la protección contra heladas se realice mediante circulación del circuito primario, se utilizará la señal de un sensor de temperaturas situado en los captadores que actuará sobre la bomba del circuito primario para mantener la circulación en el mismo.

En una instalación con intercambiador externo se recomienda conectar también la bomba del circuito secundario para garantizar que no existan problemas de congelamiento, sobre todo, cuando el circuito primario tenga poca inercia. De esta manera, se estará aprovechando el calor acumulado, o la mayor temperatura existente en el acumulador, para proteger la instalación, aunque se hará a expensas de enfriar el acumulador. Es por eso que este sistema de protección solamente se debe utilizar en zonas con riesgo medio de heladas que tendrán unos pocos días de funcionamiento y no se debe utilizar nunca en zonas con alto riesgo de heladas, ya que las pérdidas de calor por enfriamiento pueden ser muy significativas.

6.8 Esquemas de principio

Como parte del proceso de diseño de una instalación debe incluirse el desarrollo de un esquema de principio que recoja todos los componentes de la instalación y su interconexión. De esta forma y de manera gráfica se deberá entender completamente la función de cada uno de ellos y el funcionamiento de la instalación completa.

Aunque algunos criterios se han dado en relación con el conexionado del circuito de consumo en el capítulo 5, en este apartado se integran dichos criterios con los correspondientes a los componentes del circuito primario.

6.8.1 Instalaciones con intercambiador incorporado de pequeño tamaño

En este capítulo se describen los componentes que se deben y pueden incorporar en el circuito de consumo de pequeñas instalaciones. Para sistemas de circulación forzada con intercambiador incorporado, que inicialmente se consideran de pequeño tamaño (inferior a unos 10 m^2), los esquemas completos que se podrían realizar serían de dos tipos:

- El esquema básico que contiene los elementos imprescindibles para garantizar el funcionamiento y durabilidad de la instalación.
- El esquema avanzado con otros componentes adicionales que pueden facilitar los ajustes, el uso, la vigilancia o la mantención de la instalación.

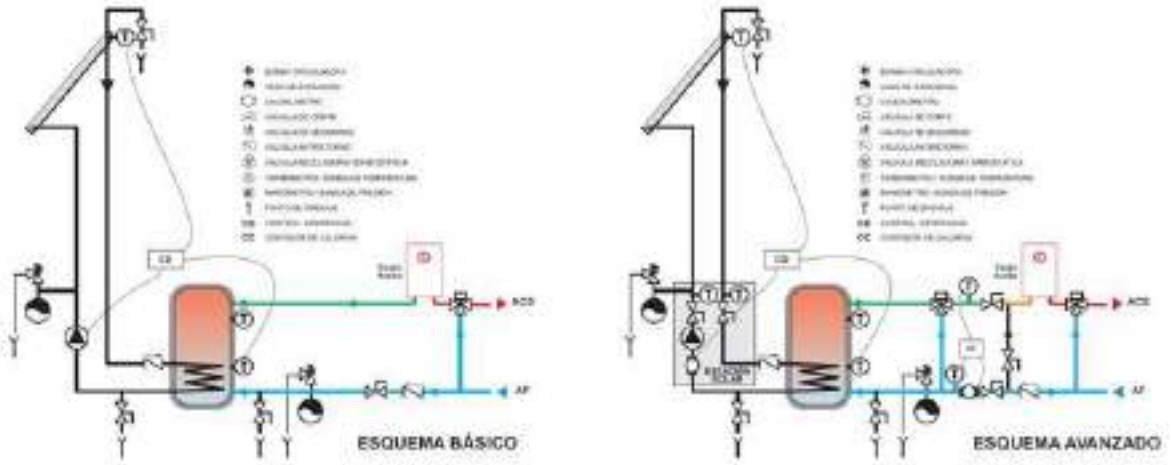


Figura 88: Esquemas y componentes de los esquemas básico (izquierda) y avanzado (derecha)

En los esquemas se pueden identificar, además del captador y el depósito, el circuito hidráulico del primario con las tuberías de impulsión y retorno y el circuito de consumo con las tuberías de agua fría y caliente que se deben completar, en función de la configuración seleccionada, con los componentes que se indican:

022

	Circuito Primario	Circuito de consumo
Esquema básico	1. Un sistema de protección con válvula de seguridad y vaso de expansión 2. Una bomba de circulación actuada por un control diferencial con 2 sondas 3. Una válvula de retención 4. Un sistema de llenado y vaciado 5. Un sistema de purga manual 6. Un manómetro y un termómetro o una sonda de temperatura para el depósito 7. Un limitador de la temperatura máxima del depósito realizad con termostato o tercera sonda	1. Una válvula de retención y válvula de corte en la entrada de agua fría 2. Un sistema de protección con válvula de seguridad y vaso de expansión 3. Un equipo de energía auxiliar (supuesto que éste soporta la temperatura solar con las válvulas necesarias) 4. Una válvula mezcladora termostática. 5. Un sistema de vaciado del depósito
Esquema avanzado	1. Un caudalímetro o rotámetro para regular el caudal 2. Dos válvulas de corte que independiza el circuito de captadores 3. Dos termómetros para controlar las temperaturas de entrada y salida de captadores A veces, todos estos componentes se integran en un conjunto pre-montado y térmicamente aislado, que se denomina Estación o Kit Solar, que facilita la instalación de todos los componentes.	1. Una válvula mezcladora (o podría ser válvula diversora) previa al sistema auxiliar si éste no soporta la temperatura de salida del SST. 2. Un bypass de conexión del SST que permite aislarlo hidráulicamente y mantener en funcionamiento la producción de ACS con el sistema auxiliar 3. Un contador de calorías que mide la energía térmica entregada por el SST.

Tabla 12: Componentes de los circuitos primario y de consumo para los dos tipos de esquema

6.8.2 Instalaciones de gran tamaño con intercambiador incorporado

Al aumentar el tamaño de la instalación, para configurar el esquema de principio se pueden requerir otros componentes que será necesario representar. Sobre la base de los mismos esquemas anteriores, las instalaciones de gran tamaño pueden incorporar componentes o subsistemas adicionales entre los que destacan:

- Puede haber varias baterías de captadores pueden y se puede utilizar diferentes formas de conexión que habrá que reflejar. Se deberán indicar las previsiones completas de la valvulería que se prevé para realizar las diversas funciones de corte, vaciado, seguridad, etc.
- El sistema de circulación podrá estar constituido por una bomba única o por bombas dobles con los diversos componentes asociados
- Pueden existir uno o varios interacumuladores y conectados en serie o paralelo
- Otros tipos de sistemas de llenado

Los esquemas siguientes representan algunos ejemplos de los subsistemas referidos:

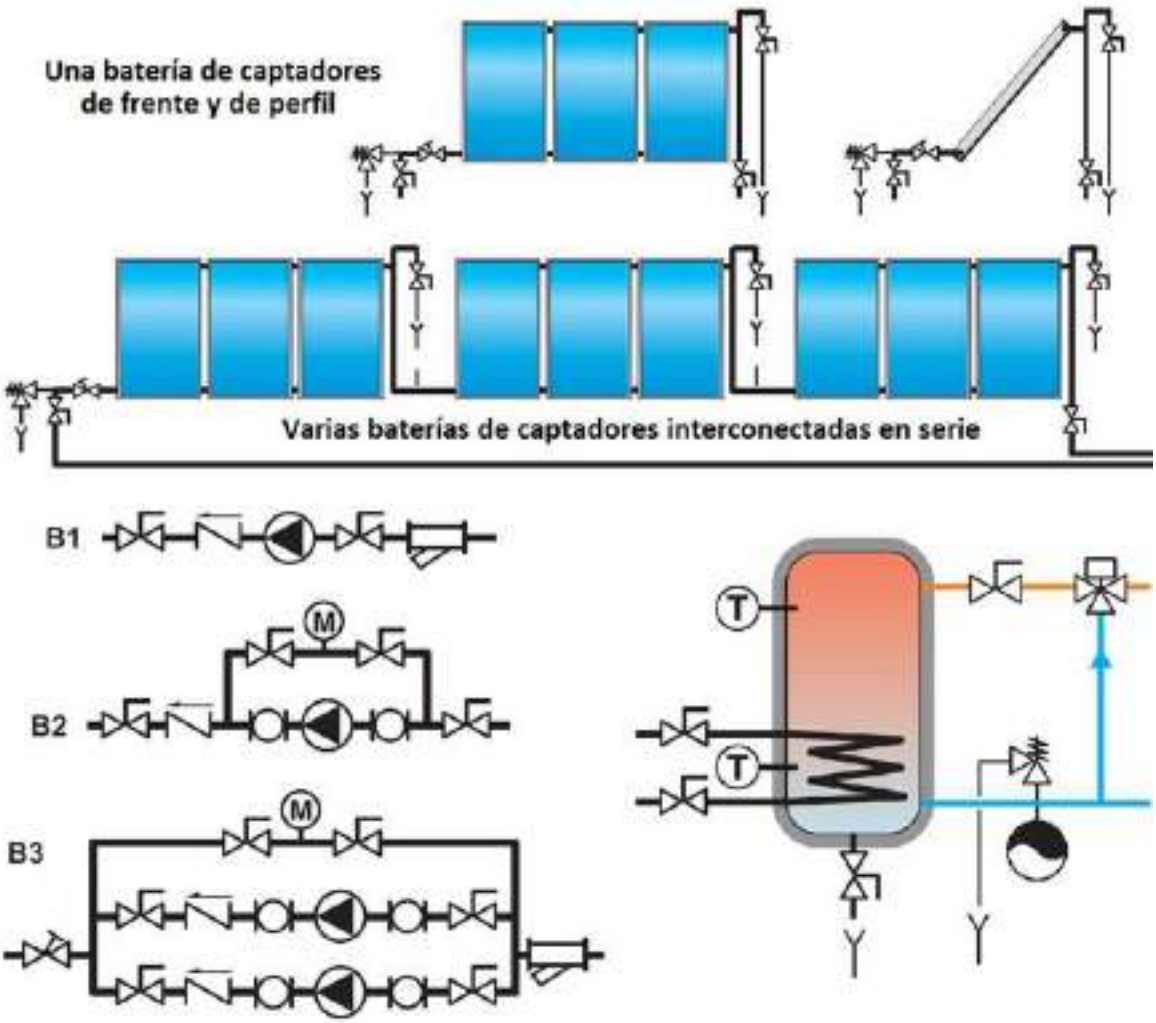


Figura 89: Ejemplos de esquemas de subsistemas: Batería de captadores solares (habría que seleccionar si se representa de perfil o de frente) y ejemplo de varias baterías interconectadas. Tres ejemplos de subsistema de bombeo con una o dos bombas y de un interacumulador con diversos componentes

El desarrollo del esquema completo de un SST se realizaría integrando en un único esquema, los subsistemas que sean necesarios y que deben incorporar todos los componentes y los accesorios que lo componen.

6.8.3 Instalaciones con intercambiador independiente

Además de los componentes y subsistemas anteriores habría que incluir los subsistemas necesarios para este tipo de instalaciones como son los intercambiadores independientes y los acumuladores:

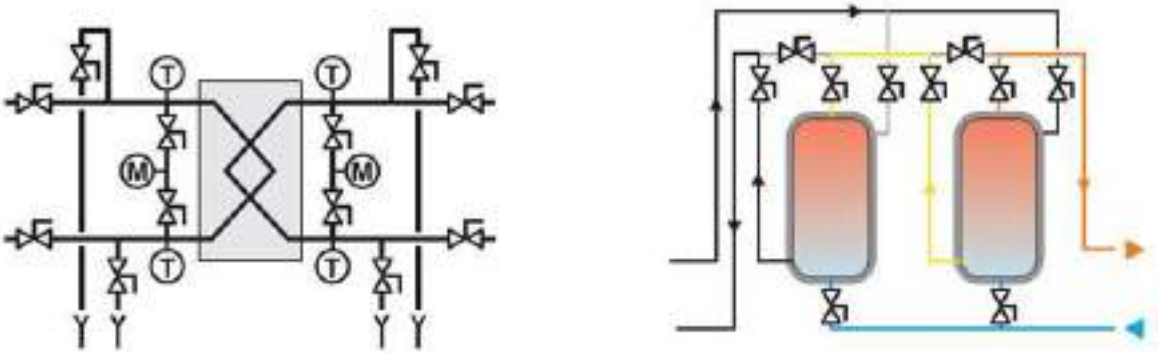


Figura 90: Ejemplos de esquemas de subsistemas con intercambiador independiente y un conjunto de dos acumuladores conectados en serie

El esquema completo de una instalación solar se realiza integrando todos los componentes y subsistemas previstos en un único esquema. Se debe tener en cuenta que las soluciones son múltiples y que a esos efectos será crucial la experiencia del proyectista para establecer los criterios de incorporación de los diversos componentes.

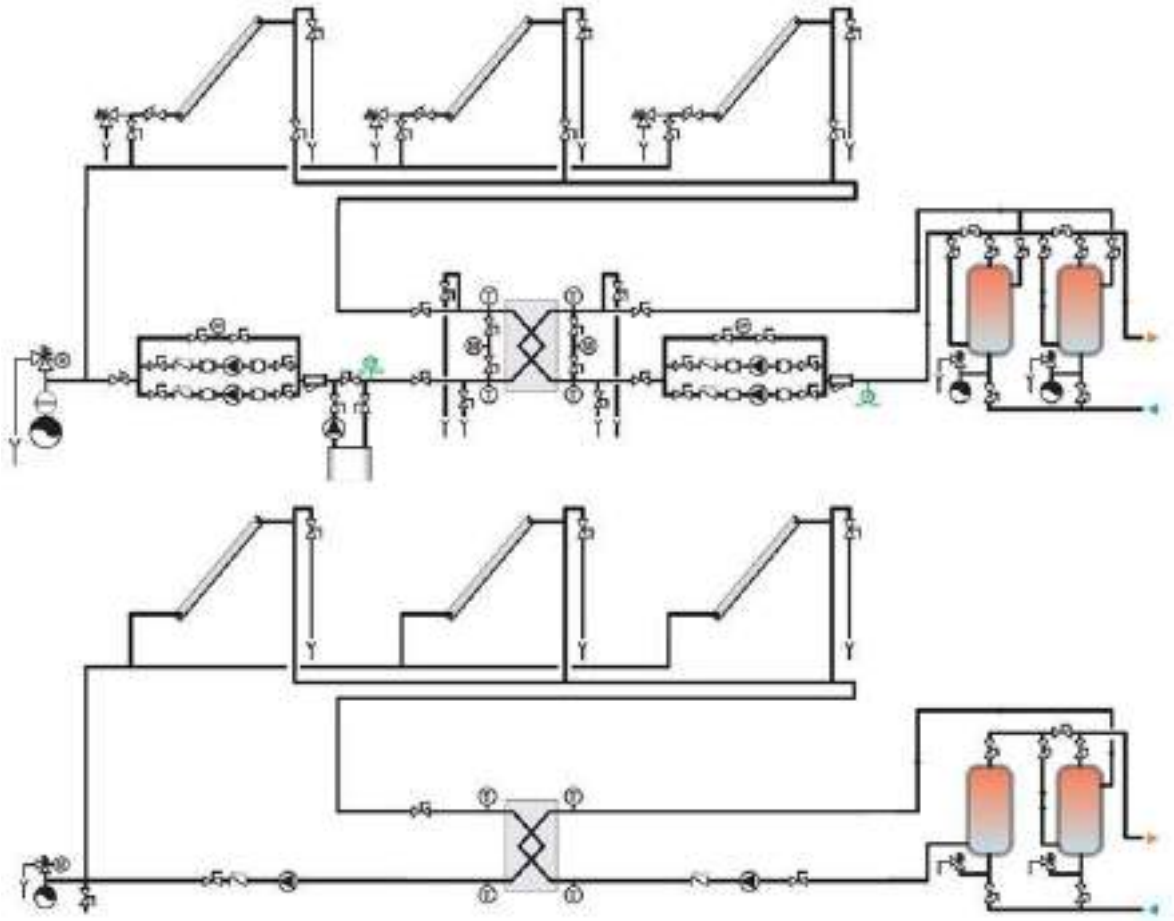


Figura 91: Ejemplos de esquemas de principio para un sistema solar térmico con dos soluciones extremas. En la parte superior, sistema completo con todos los componentes. En la parte inferior, sistema muy simplificado al reducir los componentes a los mínimos imprescindibles

022

7 Calculo de prestaciones energéticas

El cálculo de prestaciones energéticas tiene por objeto predecir el comportamiento térmico de una instalación solar ubicada en un determinado lugar y atendiendo una demanda de uso específica. El comportamiento térmico queda definido por la evolución de un conjunto de parámetros (temperaturas, caudales, energía, etc.) a lo largo del tiempo y la integración de los mismos en un determinado periodo de tiempo, proporciona las prestaciones energéticas de la instalación.

Todas las variables que afectan al cálculo de prestaciones de una instalación pueden agruparse en tres conjuntos de parámetros que configuran los datos de partida:

- Los **parámetros de uso** definen el consumo de energía térmica que depende, fundamentalmente, de los caudales de consumo de agua caliente, de las temperaturas de entrada de agua fría y de salida de agua caliente.
- Los **parámetros climáticos** determinan el recurso energético disponible; los de mayor relevancia son la radiación solar global y la temperatura ambiente; aunque también pueden influir otros factores, como la velocidad y dirección del viento. Sin embargo, en aplicaciones de ACS, normalmente, no se consideran.
- Los **parámetros de funcionamiento** caracterizan la instalación solar que depende de un gran número de factores, entre otros, del número de captadores solares, de las propiedades de éstos (curva de rendimiento, superficie útil de captación, factor de ganancia, coeficiente de pérdidas, entre otros); de las características del sistema de acumulación (volumen, aislamiento, situación de las conexiones); del intercambiador empleado (efectividad); de los caudales de circulación; del tipo de fluido; de las características del sistema de control, entre otros. Como se verá posteriormente, la definición de los parámetros de funcionamiento depende del método de cálculo a emplear.

7.1 Cálculo de la demanda y el consumo de energía térmica

7.1.1 Cálculo de la demanda de energía para agua caliente

La demanda de energía térmica del agua caliente sanitaria DE_{ACS} es la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura del caudal de agua de consumo $Q_{ACS}(T_U)$ desde la temperatura de entrada de agua fría T_{AF} hasta la temperatura de uso T_U. Las características del agua son la densidad ρ y el calor específico a presión constante cp.

Se calcula mediante la expresión:

$$DE_{ACS} = Q_{ACS}(T_U) \cdot \rho \cdot cp \cdot (T_U - T_{AF})$$

En los cálculos simplificados es muy habitual utilizar los valores medios diarios de los datos de partida que, al variar mensualmente, proporcionan la demanda de energía media diaria para cada uno de los meses del año y, a partir de esos valores, la demanda de energía anual.

7.1.2 Cálculo del consumo de energía térmica

El consumo de energía térmica CE_{ACS}, o demanda bruta de energía, es la cantidad de energía térmica que es necesario emplear para poder abastecer una determinada demanda. Se determina sumando a la demanda de energía las pérdidas térmicas asociadas a la demanda:

$$CE_{ACS} = DE_{ACS} + PT_{DEM} = DE_{ACS} + PT_{ALI} + PT_{DIS} + PT_{REC} + PT_{ACU}$$

Este consumo de energía CE_{ACS} depende de la configuración y sistemas elegidos, así como de las dimensiones y características de los circuitos que integran la instalación.

Las pérdidas térmicas asociadas a la demanda PT_{DEM} incluyen todas las pérdidas térmicas que se producen al abastecer la demanda tanto en los circuitos de alimentación, distribución y recirculación como en el sistema de acumulación para preparación final del de agua caliente, esto es:

PT_{ALI} Las de la red de alimentación son las pérdidas de agua y de energía de la red de distribución interior de la vivienda o del centro de consumo.

PT_{DIS} Las de la red de distribución corresponden a las pérdidas de energía de la red de distribución general que abastecen a varias viviendas o centros de consumo.

PT_{REC} Las del circuito de recirculación corresponden a las pérdidas por disponibilidad.

PT_{ACU} Las del sistema acumulador-preparador de agua caliente sanitaria del sistema de apoyo que fundamentalmente estarán producidas en su sistema de acumulación.

Por tanto, las pérdidas térmicas asociadas a la demanda serán:

$$PT_{DEM} = PT_{ALI} + PT_{DIS} + PT_{REC} + PT_{ACU}$$

La determinación de las pérdidas térmicas de una instalación de producción de ACS se podrá estimar con los criterios establecidos en el apartado 7.6.3 o se podrá determinar directamente con métodos de cálculo que las consideren en la evaluación del comportamiento de la instalación.

7.1.3 Balance energético para el cálculo de las instalaciones

Se realiza el balance de energía térmica en el sistema de apoyo de una instalación de preparación de agua caliente sanitaria en el que intervienen la demanda neta de energía DE_{ACS} y las pérdidas térmicas asociadas a la demanda PT_{DEM}. Este consumo de energía térmica CE_{ACS} debe ser resuelto mediante el aporte neto de la energía solar térmica ES_{NET} y el aporte neto de la energía de apoyo EA_{NET} por lo que se puede realizar el balance de energía, establecido para un periodo de tiempo determinado, mediante la siguiente expresión:

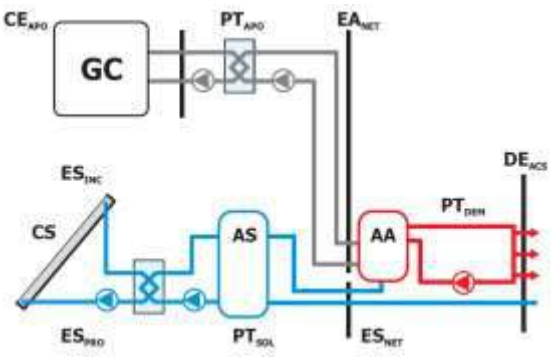


Figura 92: Esquema de medidas de energías térmicas para realizar el balance energético en el cálculo de instalaciones

$$DE_{ACS} + PT_{DEM} = CE_{ACS} = ES_{NET} + EA_{NET}$$

De la expresión anterior puede deducirse, en primer lugar, que un determinado consumo de energía térmica se puede resolver con múltiples combinaciones de aportes energéticos netos desde la instalación solar y la instalación de apoyo que se analizan a continuación.

Por un lado, se puede definir el proceso de transformación de la radiación solar incidente ESINC en energía térmica en el sistema de captación con la expresión:

$$ES_{NET} = ES_{PRO} - PT_{SOL} = ES_{INC} * \eta_O - PT_{SOL} = ES_{INC} * \eta_{IST}$$

El aporte solar neto ES_{NET} se determina deduciendo de la energía térmica producida en el sistema de captación ES_{PRO} las pérdidas térmicas PT_{SOL} asociadas a la instalación solar. La energía térmica producida ES_{PRO} es la que se aportaría teóricamente en el circuito primario si no existieran pérdidas térmicas. Las pérdidas térmicas asociadas a la instalación solar PT_{SOL} son las producidas en todos los circuitos y sistemas desde el sistema de captación hasta la entrada al preparador del sistema de apoyo.

Por otro lado, se puede definir el consumo bruto de energía térmica del sistema de apoyo (CE_{APO}) como la cantidad de energía térmica que es necesario aportar desde el generador del sistema auxiliar para cubrir el aporte neto de la energía de apoyo y se determina añadiendo al aporte neto de la energía de apoyo EA_{NET}, las pérdidas térmicas de la instalación de apoyo (PT_{APO}):

$$CE_{APO} = EA_{NET} + PT_{APO}$$

El consumo de energía final del sistema de apoyo, expresado en unidades de la energía auxiliar (sea combustible fósil, biomasa, electricidad por bomba de calor, etc.) empleada en función de su poder calorífico inferior PCI y del rendimiento del generador de apoyo (η_{APO}), se puede calcular mediante la expresión:

$$CEF_{APO} = CE_{APO} / [\ PCI\ *\ \eta_{APO}\ ]$$

A partir de los valores anteriores se pueden evaluar otros efectos económicos y medioambientales inducidos por el consumo de energía de apoyo o evitados por el uso de la instalación solar. Los más interesantes son:

- los ahorros económicos para el usuario
- la energía primaria de origen convencional ahorrada
- la contaminación evitada normalmente medida en toneladas de CO_2 equivalente.

Son parámetros representativos de las prestaciones energéticas de las instalaciones solares térmicas la contribución solar y el rendimiento medio que se definen a continuación:

- Se define la contribución o fracción solar (FS), que se expresa como porcentaje o en tanto por uno, como la proporción que representa el aporte solar neto sobre el consumo de energía o demanda bruta de energía. Por tanto, representa la parte del consumo de energía que no es suministrada por la energía térmica de apoyo (CE_{APO}) y se puede expresar mediante:

$$FS = ES_{NET} / CE_{ACS} = ES_{NET} / DE_{ACS} + PT_{DEM} = 1 - EA_{NET} / CE_{ACS}$$

- El rendimiento medio η_{IST} de la instalación solar térmica se obtiene como la razón entre la energía solar térmica aportada y la radiación global incidente sobre el sistema de captación de la instalación en un determinado periodo de tiempo:

$$\eta_{IST} = ES_{NET} / ES_{INC}$$

7.2 Parámetros de uso

Los parámetros de uso serán los necesarios para determinar la demanda de energía, esto es, el consumo de agua caliente a una determinada temperatura y la temperatura de agua fría:

- Para el consumo de agua caliente, así como para los valores de ocupación se adoptarán los valores y criterios establecidos en los siguientes apartados. El caudal de consumo de agua caliente siempre está referenciado a una temperatura de agua caliente que, en lo que sigue, se considera de 60ºC
- Para la temperatura de agua fría, se adoptarán los valores establecidos en la tabla B1 del capítulo 14 que incluye la altura de referencia (m) y la temperatura (ºC) diaria media mensual de agua fría para las capitales de provincia extraídos de la Norma UNE 94002:2005

7.2.1 Valores de consumo y ocupación de edificios de viviendas

El consumo total se determina en función de los consumos unitarios y el número total de personas que pueden utilizar diariamente las instalaciones de agua caliente del edificio que se obtendrá según las indicaciones del correspondiente “programa funcional” de donde se deduce el número de personas que el diseñador utiliza para proyectar el edificio.

El consumo total diario medio de agua caliente sanitaria en viviendas se obtiene multiplicando el consumo unitario por el número de personas totales que ocupan la vivienda. Para edificios de uso

residencial privado el consumo unitario será de 28 litros/día persona a 60ºC y la ocupación no será inferior a la mínima establecida en la siguiente tabla:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥ 6
Número de personas	1,5	3	4	5	6	6	7

En edificios de viviendas que dispongan de instalaciones solares térmicas centralizadas, el cálculo del consumo total diario de agua caliente sanitaria del edificio se multiplicará por el factor de centralización obtenido de la siguiente tabla en función del número de viviendas N conectadas a la instalación centralizada:

N	N ≤ 3	4 ≤ N ≤ 10	11≤ N ≤ 20	21 ≤ N ≤ 50	51 ≤ N ≤ 75	76 ≤ N ≤ 100	N ≥ 101
FC	1	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70

Para una misma edificación, por tanto, el consumo de diseño será distinto si la instalación solar es individual, que si es centralizada por bloques o si es centralizada para todo el conjunto. Dentro del apartado viviendas se incluyen también los apartamentos de uso privado pero no los apartamentos en régimen de hotel que se equiparan a establecimientos hoteleros. Sólo se considerarán apartamentos turísticos, y podrán tener ocupación distinta e inferior al 100%, los definidos y recogidos como tales en la reglamentación turística.

7.2.2 Valores de consumo, ocupación y estacionalidad de edificios no residenciales

Para el cálculo de la demanda de referencia de ACS para edificios de uso distinto al residencial privado se considerarán como mínimos los valores de la tabla 11 que recoge los consumos unitarios de ACS para usos distintos del residencial privado, a la temperatura de referencia de 60ºC, obtenidos a partir de los valores establecidos en la norma UNE 94002:2005. La demanda de referencia de ACS para casos no incluidos en la tabla se obtendrá a partir de necesidades de ACS contrastadas por la experiencia o recogidas por fuentes de reconocida solvencia.

El consumo total diario medio de agua caliente sanitaria se obtiene a partir del consumo unitario, número máximo de personas y porcentaje de utilización indicados en el proyecto del edificio, multiplicando el consumo unitario por el número de unidades de consumo. En la Tabla 11 se incorporan los valores complementarios relativos a la ocupación de edificios y su variación estacional que son necesarios para determinar los consumos totales de agua caliente sanitaria.

Los consumos unitarios referidos incluyen todos los usos que se prestan desde una misma instalación centralizada siempre que haya un consumo principal y otros secundarios (cuya suma sea inferior al 20% del principal). Por ejemplo, no es lo mismo un hotel que tiene una única instalación centralizada para el agua caliente de habitaciones, las duchas de un vestuario de piscina y la cocina de un restaurante que si los servicios de agua caliente son independientes. Cuando la suma de los consumos secundarios sea superior al 20 % del principal, se deberá considerar como consumo total la suma de los consumos de los servicios que se presten. El servicio de restaurante y cafetería debe entenderse aplicable al uso de cocina y servicios

auxiliares. En restaurantes se asocia el consumo al número de personas que comen y cenan diariamente (Número de plazas x2). En cafeterías se interpreta el consumo como el número de personas que desayunan, comen y cenan (Número de plazas x3).

Criterio de demanda	Consumo unitario litros/día	Número de personas (p)	Ocupación (estacionalidad)
Hospitales y clínicas	55	1p/plaza	E1
Ambulatorio y centro de salud	41	1p/plaza - 1 pl/m^2	E1
Hotel ***	69	1p/plaza	E3
Hotel ****	55	1p/plaza	E3
Hotel***	41	1p/plaza	E3
Hotel/Hostal **	34	1p/plaza	E3
Hostal/Pensión*	28	1p/plaza	E3
Camping	21	1p/plaza	E3
Residencia	41	1p/plaza	E2
Centro penitenciario	28	1p/plaza	E1
Albergue	24	1p/plaza	E1 – E2
Vestuarios/Duchas colectivas	21	3p/pl= 3p/turno/ducha	E1-E2-E3-E4
Escuela sin duchas	4	0,5p/plaza - 1 pl/m^2	E1-E2-E4
Escuela con duchas	21	0,2p/plaza - 1 pl/m^2	E1-E2-E4
Cuarteles	28	1p/plaza - 1 pl/m^2	E1-E2-E4
Fábricas y talleres	21	1p/plaza - 1 pl/m^2	E1-E2-E4
Oficinas	2	0,5p/plaza - 1 pl/m^2	E1-E2-E4
Gimnasios	21	1p/plaza - 1 pl/m^2	E1-E2-E3
Restaurantes	8	2p/plaza - 1 pl/m^2	E1-E2-E3
Cafeterías	1	3p/plaza - 1 pl/m^2	E1-E2-E3

Tabla 13: Consumo unitario y ocupación para la determinación de los consumos totales de ACS

022

Si el programa funcional no establece el número de personas máximo que se deben considerar, se adoptará el criterio de número de camas, plazas, puestos, etc. recogido en la tabla anterior. Cuando no esté definido el número de personas que deban considerarse para estimar el consumo, el proyectista lo establecerá en base a criterios de uso de la infraestructura proyectada y no a la infraestructura en sí. Por ejemplo, para un vestuario de una industria con 10 aparatos de duchas que lo utilizan 3 turnos de 40 trabajadores por turno, debe considerarse el consumo de agua caliente correspondiente a 120 duchas/día.

7.2.3 Criterios para definir el nivel de ocupación

Es muy habitual que se plantee en el diseño de una instalación cual va a ser la pauta de ocupación del edificio para determinar la potencia de una determinada instalación, incluidas las solares. Como norma general debe de tenerse en cuenta el 100% de la ocupación, ya que un edificio cuyo uso inicial no vaya a suponer un uso anual, sino estacional, puede tenerlo en un futuro cuando sea utilizado por otro usuario. Esta situación puede ocurrir, por ejemplo, con una vivienda unifamiliar construida inicialmente para un uso vacacional por un promotor pero que es comprada por un usuario que le puede dar un uso permanente.

No obstante, y de acuerdo con las referencias establecidas en la tabla anterior, se han definido 4 tipos de niveles de ocupación asociados a la estacionalidad del uso y definidos por los porcentajes de ocupación que se deben utilizar:

1. En el caso E1 (aplicable a viviendas, hospitales, etc.) se considerará consumo constante e igual al 100% a lo largo del año. No se considerarán excepciones.
2. En el caso E2 (colegio, fábricas) con hasta 3 meses no operativos no se tendrá en cuenta ninguna reducción del consumo para el dimensionado y se calcularán las instalaciones con ocupación del 100% todo el año.
3. En los casos marcados E3 (hoteles, campamentos, apartamentos turísticos y alojamientos rurales), para determinar los valores de consumo se debería considerar la variación a lo largo del año establecida en los datos de la ocupación estadística provincial de las tablas A1 a A4 del capítulo 14. Los datos estadísticos de ocupación aportan la máxima fiabilidad en el comportamiento futuro de los establecimientos.
4. En las instalaciones marcadas E4, se puede admitir en el cálculo la distribución semanal del consumo como por ejemplo las producidas por el cierre de colegios, edificios comerciales o industrias durante el fin de semana, etc. En este caso el cálculo se podrá realizar con un valor equivalente a 5/7 del valor semanal o medio diario con la recomendación de aumentar el volumen de acumulación para mejor aprovechamiento del calentamiento durante los fines de semana.

En algunos casos se debe considerar que tanto los valores medios como la estacionalidad del consumo pueden evolucionar, aumentando con el tiempo. La elaboración del proyecto lo tendrá en cuenta realizándose las previsiones de ampliación que el proyectista considere.

7.2.4 Edificios existentes

En el caso de edificios e instalaciones existentes en los que no se vaya a modificar las condiciones de uso, el proceso de cálculo podría ser el mismo anteriormente referido, pero los valores obtenidos se deberían contrastar con los datos reales de consumo que puedan ser conocidos:

- Si se ha medido y se conoce el consumo de agua caliente, debería utilizarse el valor medio anual para el cálculo siempre que no exista un cambio de uso de la instalación.
- Si se conoce el consumo de agua fría, se puede considerar el consumo de agua caliente como un porcentaje del total. Se puede estimar en el 30% para aplicación en viviendas que es un valor basado en la experiencia, aunque pueda ser muy variable.
- Si se conoce el gasto de energía para agua caliente, habría que contrastar el dato con el gasto que resulta de multiplicar la demanda de energía por el coste de la energía térmica producida mediante el sistema convencional existente que tenga en cuenta el rendimiento medio estacional de la instalación.
- En función del volumen de acumulación de la instalación convencional existente se puede estimar que el consumo de agua caliente estará comprendido entre 1 y 3 veces la capacidad de acumulación.

7.3 Parámetros climáticos

Los parámetros climáticos (irradiación solar global sobre una superficie con la orientación e inclinación de captadores y la temperatura ambiente exterior) a utilizar serán los necesarios para determinar la energía disponible y las pérdidas térmicas de la instalación.

Como parámetros climáticos a considerar en el proceso de cálculo, se deberán adoptar los valores del clima de referencia que define los valores representativos de temperatura y radiación solar de la localización de la instalación. Para ello, se podrán adoptar los valores recogidos en las tablas B2 y B3 del apartado 14.4.2 del capítulo 14 que se corresponden con los valores de la norma UNE94003.

Alternativamente, para la obtención de la radiación solar global media diaria anual podrán emplearse los datos que se recogen en el documento “Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT”, publicado en el año 2012 por la Agencia Estatal de Meteorología.

Para aquellas localidades distintas de las capitales de provincia, podrá emplearse el dato correspondiente a la capital de provincia, o bien otros datos oficiales de Radiación Solar Global media diaria anual aplicables a dicha localidad correspondientes al período 1983-2005.

También se podrán adoptar valores publicados por Administraciones Públicas ya sean de ámbito nacional o autonómico.

022

7.4 Métodos de cálculo utilizables

Desde el punto vista del cálculo de prestaciones de las instalaciones solares térmicas para agua caliente sanitaria cabe diferenciar dos objetivos sobre los que se analizan las condiciones a satisfacer:

1. **Cumplimiento de requisitos mínimos establecidos por la reglamentación**. El cálculo debe comprobar que la instalación proyectada cumple determinados requisitos y niveles de exigencia normativos verificando que se realiza en las mismas condiciones que cualquier otra tecnología térmica y que puede requerir la comparación con las diversas tecnologías de producción térmica (calderas convencionales, de biomasa, bomba de calor, etc.).
2. **Optimización y comparación de diferentes tipos de instalaciones solares térmicas**. El cálculo debería permitir la selección de la mejor solución para una determinada aplicación comparando las distintas configuraciones posibles, tipos de captadores y acumuladores, definiendo su superficie de captación y volumen de acumulación, así como el resto de componentes y condiciones de funcionamiento de la instalación.

En cualquiera de los casos y para que las soluciones sean comparables, es necesario que los datos de partida sean los mismos:

- Los parámetros de uso como caudales de consumo y temperaturas de referencia de agua fría.
- Los parámetros climáticos de radiación solar y temperatura ambiente.
- Los criterios para calcular las pérdidas térmicas de las instalaciones para evaluar las demandas y consumos energéticos.

7.4.1 Cumplimiento de requisitos establecidos por la reglamentación

El proyectista deberá conocer la normativa aplicable en cada caso particular ya que puede existir reglamentación tanto de ámbito nacional como autonómico y, en algunos casos, de rango local mediante ordenanzas municipales, que incluyan requisitos de uso de energías renovables que, además de criterios técnicos pueden establecer criterios de contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables de la demanda energética anual para ACS y para climatización de piscina que podrían ampliarse, en un futuro no lejano, a las restantes demandas térmicas de calefacción y refrigeración.

La reglamentación puede definir, o no, criterios y procedimientos concretos para evaluar y comparar las diversas tecnologías de producción de energía térmica, tanto fósiles como renovables, pero en el caso que no se defina, el proyectista debe considerar en su análisis:

- El uso de métodos de cálculo **suficientemente validados** por modelos de simulación y contrastados con medidas experimentales.
- La utilización de parámetros de diseño de los componentes de las instalaciones que sean **resultados de ensayo** realizados o validados por tercera parte.
- La **monitorización de los datos reales** del funcionamiento de las instalaciones que permita comprobar que se cumplen los resultados previstos.

Para cualquiera de las tecnologías se podrían utilizar métodos de cálculo de simulación de instalaciones suficientemente validados y con los mismos datos de partida, pero en la práctica se tenderá a utilizar métodos simplificados que normalmente son específicos para cada tecnología por lo que será necesario contrastar su validez para que sean equivalentes.

7.4.2 Cálculo de prestaciones de diferentes tipos de instalaciones solares

El cálculo de las prestaciones de una instalación solar puede tener, básicamente, tres objetivos:

- que el futuro usuario disponga de una previsión de la energía térmica aportada
- que el diseñador pueda optimizar parámetros de funcionamiento y diseño de instalaciones
- que el proyectista pueda comparar las distintas soluciones alternativas

Es importante que el usuario pueda disponer de los resultados del comportamiento y funcionamiento de la instalación en función de distintos escenarios de consumo. Para ello es interesante calcular las prestaciones de la instalación solar para consumos distintos a los de diseño en ± 25% y ± 50% y evaluar cómo afectaría al rendimiento una desviación respecto al consumo de diseño.

La comparación entre distintos parámetros o tipos de instalación debe hacerse con el mismo método de cálculo, ya que la utilización de distintos métodos puede producir resultados en la evaluación del comportamiento y la determinación de las prestaciones de la instalación que no son comparables, por tanto si no se utiliza el mismo método de cálculo será difícil que los resultados del mismo sean valores coherentes porque los algoritmos, funciones, etc. que se utilizan pueden ser distintos y no es posible que los resultados sean comparables.

Cuando se pretenda comparar diversas soluciones técnicas, el método de cálculo utilizado deberá ser previamente aceptado por las partes que intervienen como propiedad o usuario, como proyectistas o como instaladores y se pueden admitir como válidos los distintos métodos aceptados por el sector y cuyo uso esté contrastado por entidades públicas y privadas, que estén ampliamente difundidos y que tenga la posibilidad de seleccionar distintos componentes.

7.4.3 Análisis de los diferentes métodos de cálculo

Los métodos de cálculo cuya comparación se resume en la siguiente tabla y sus características se describen a continuación se clasifican en:

- De simulación dinámica
- De simulación estática
- De cálculo estático simplificado

Criterio	Simulación dinámica	Simulación estática	Cálculo estático
Tipos de configuración	Todas	Algunas elegidas	Definidas en cada caso
Datos de partida	Muchos y complejos	Bastantes datos	Pocos y básicos
Exactitud y precisión	Elevada	Suficiente	Aproximada
Periodo característico	Elegible	Horas	Días medios por mes
Resultados	Completos	Simplificados	Valores total y medios
Tiempo de ejecución	Bastante largo	Corto o medio	Despreciable
Coste	Precio elevado	Variable: coste medio	Gratuitos
Conocimientos usuario	Muy experimentado	Conocedor de sistemas	Básica
Formación usuario	Intensa y larga	Superficial y corta	Intuitiva e inmediata
Tipo de usuario	Centros tecnológicos	Ingeniería e instalador	Todos

Tabla 14: Comparación de los métodos de cálculo bajo diversos criterios

7.4.3.1 Métodos de simulación dinámica

Los métodos de cálculo más avanzados y detallados realizan la simulación dinámica del comportamiento de las instalaciones mediante la modelización física de los diferentes elementos que la componen.

Las posibilidades de estos métodos son prácticamente ilimitadas ya que permiten simular cualquier tipo de configuración y modificar una gran cantidad de variables de funcionamiento que a su vez permiten lograr representaciones muy exactas y parecidas a la realidad del comportamiento de los equipos que componen la instalación para optimizar los diseños y además aportan una gran cantidad de información acerca delos parámetros más sensibles de las instalaciones.

El método **TRNSYS** desarrollado por la Universidad de Wisconsin, es el más clásico y líder del mercado entre los sistemas de simulación, está basado en la integración de componentes caracterizados; muchos de ellos ya están normalizados y predefinidos lo que simplifica la utilización del programa.

No obstante, la potencia de cálculo, así como su flexibilidad y versatilidad requiere más tiempo, tanto en los periodos de formación y familiarización en su uso como de operación en la introducción de datos y evaluación de resultados. Normalmente son usuarios de este programa las grandes oficinas de estudios y proyecto, los centros de investigación y las universidades e instituciones docentes, así como los fabricantes de componentes. Los métodos de simulación son esenciales para conocer la solución óptima del sistema, el rendimiento solar previsto y el nivel de ahorro de energía con absoluta garantía. Son necesarios si se quiere optimizar cualquier variable o componente del sistema

Permiten el control de los cálculos de los sistemas existentes porque permiten la importación de datos, por ejemplo, la radiación solar y los de consumo. Estos softwares son indispensables durante el manejo diario de los contratos de energía solar.

7.4.3.2 Métodos de simulación estática

Los métodos de simulación estática permiten una evaluación de prestaciones cercana a la dinámica con resoluciones de tiempo de una hora o menos trabajando sobre configuraciones de sistemas predefinidos y características de componentes seleccionables de una biblioteca y utilizando bases de datos meteorológicos por la ubicación del sistema. La interfaz de usuario de cada programa está dispuesta para ser fácil de usar. Los usuarios experimentados no requieren un período de familiarización largo. Es significativo el ahorro en tiempo y costes en relación con los de simulación para el dimensionamiento y muchas empresas están incrementando su uso para la presentación de resultados a sus clientes

Dentro de estos programas se encuentra el **T*SOL** que se puede realizar para simulaciones sobre cualquier período de tiempo. Dispone de las configuraciones más utilizadas y su operación esta optimizada para estas. De interfaz agradable y simple para el usuario. Para piscinas, sistemas de gran escala y de calefacción es necesario comprar módulos adicionales. Las temperaturas pueden ser observadas durante la simulación y los resultados (temperaturas, energías y contribución solar) pueden ser con una resolución hasta de una hora y exportables a hoja de cálculo. Integra una función de viabilidad de uso y de cálculo de las emisiones contaminantes ahorradas. No son posibles nuevas configuraciones por lo que el usuario no puede crear nuevos modelos de SST, salvo los previstos en el programa, aunque es posible modificar componentes específicos.

El software suizo **Polysun** es comparable al T*SOL ya que se puede definir el consumo de agua caliente de la misma forma, aunque de una manera algo más restringida, pero pueden ser seleccionados varios perfiles diarios. Las vacaciones, como períodos en que no se necesita agua caliente, pueden en cambio ser libremente elegidos. Los datos meteorológicos de muchos lugares de Europa se integran en el programa con una resolución de horas. Existen diferentes variantes de tipos de configuraciones. La biblioteca incluye muchos tipos de captadores. El tiempo de simulación es relativamente corto. La salida de datos del sistema y los resultados (energías, contribución, viabilidad económica, etc.) tienen formato de presentación o de informe técnico. Los resultados solo pueden ser obtenidos por los valores mensuales. Los grupos para los que está diseñado este software son las empresas de instalación, ingeniería y oficinas de planificación y las instituciones de formación o educación.

Se ha desarrollado el método **ACSOL**, para su descarga gratuita en la web de la Agencia Andaluza de la Energía. Incluye varios esquemas de principio aplicables a edificios multivivienda con acumulación centralizada, distribuida, mixta o centralizada con intercambiador individual pero también permite el cálculo de instalaciones solares para piscinas cubiertas y para preparación de agua para servicios. Se acompaña de un completo manual en el que se aporta información muy detallada respecto a criterios a tener en cuenta para el dimensionado de componentes. Se puede utilizar para el diseño y dimensionado de componentes, para comparar diferentes tipologías y como software para enseñanza.

El software **GetSolar** también permite la simulación de sistemas solares térmicos y, además de los datos meteorológicos existentes para diversas localizaciones, pueden ser importados los datos de METEONORM. GetSolar contiene una amplia biblioteca con los datos de captadores solares, también un editor de sombreado y lleva a cabo una simulación rápida de los sistemas de captadores solares. Los resultados se pueden copiar en un almacenamiento intermedio y pueden ser procesados en otros programas. Entre otros, permite el diseño del vaso de expansión, el cálculo de la temperatura de estancamiento del captador y diversas inclinaciones de los absorbedores de los captadores de tubos de vacío.

El software **Retscreen**, desarrollado en Canadá, permite el análisis estandarizado de proyectos de energías renovables. Permite evaluar la viabilidad de las distintas tecnologías de energías renovables. RETScreen utiliza hojas de cálculo de MS Excel y realiza rápidamente los estudios de viabilidad.

7.4.3.3 Métodos simplificados de cálculo estático

Los métodos de cálculo estático son programas sencillos que utilizan valores medios mensuales. Sobre la base del tipo de captador, el tamaño de la superficie de captadores y el consumo de agua caliente, que determinan el rendimiento de todo el sistema. Proporciona resultados rápidos pero los comportamientos de un sistema en condiciones singulares o en intervalos pequeños de tiempo no pueden ser considerados.

Un ejemplo es el software **f-Chart**, que es un bien conocido sistema de cálculo generalizado que ofrece una sencilla interfaz para el dimensionamiento de una instalación solar. La precisión del método con respecto al resultado de una simulación anual es suficiente incluso en comparación con los softwares de simulación estática, para la determinación de la contribución solar y los ahorros medios mensuales que han sido contrastados con la práctica en bastantes ocasiones.

El método f-Chart, desarrollado en 1977 por Beckman, Klein y Duffie para dimensionado de sistemas solares térmicos de calefacción y ACS, es muy utilizado habitualmente en los proyectos que ejecutan en España. Está basado en correlaciones desarrolladas con el programa de simulación dinámica TRNSYS en la década de los setenta del siglo pasado. A partir de un modelo TRNSYS del sistema solar térmico, se realizan varias simulaciones y se extraen una serie de curvas que relacionan la fracción solar del sistema con determinados parámetros de diseño del mismo. La principal ventaja de este método es que es bastante sencillo, que los parámetros tienen sentido físico y que es posible incorporarlo en una hoja de cálculo.

Pese a ello, cuenta con algunas limitaciones, entre las que se destacan:

- Es válido únicamente para una configuración de sistema solar térmico
- Es necesario incorporar el coeficiente de pérdidas de segundo orden del captador
- No contempla que el captador o acumulador solar alcancen su temperatura máxima
- No incluye el circuito de distribución de la instalación

Además existen rangos de parámetros admisibles para el f-Chart, ya que si no se cumplen el método no puede considerase válido. Se presentan en la siguiente tabla:

Parámetro	Rango admisible
Eficiencia óptica	$0.6 < (\tau\alpha)_n < 0.9$
Área captación ajustada	$5 < F_R{*}A_c < 120\ m^2$
Coeficiente de pérdidas térmicas	$2.1 < U_L < 8.3\ W/m^2C$
Inclinación	$30° < \beta < 90°$
Razón de acumulación	$37.5 < V/A_c < 300\ L/m^2$
Producto del coeficiente de pérdidas térmicas y del área superficial del acumulador	$83 < (UA)_h < 667\ W/C$

Tabla 15: Rangos de validez del f-chart para distintos parámetros de las instalaciones

Estas limitaciones del f-Chart han llevado a ASIT, con el apoyo de IDAE, a proponer la creación de un método de cálculo específico para satisfacer las necesidades del mercado español. El método ha sido desarrollado por AIGUASOL bajo la supervisión de la comisión técnica de ASIT y el departamento solar de IDAE, y se basa en la herramienta de simulación dinámica TRANSOL incorporando los principios del método f-Chart. Corresponde a la metodología **Metasol** que se utiliza en el programa **CHEQ4** que originalmente se diseñó para verificar el cumplimiento de la reglamentación vigente pero que también puede utilizarse para obtener una primera aproximación y un dimensionado básico inicial de una instalación solar térmica.

A continuación se describen estos dos métodos de cálculo, cuyo uso es muy recomendable teniendo en consideración las diferencias y limitaciones fundamentales como son los tipos de configuración en los que son aplicables y la toma en consideración de las pérdidas térmicas.

022

7.5 Método de cálculo f-Chart

El método f-Chart permite determinar la contribución solar de una instalación a una determinada demanda de energía DE calculada en base a los parámetros funcionales que se relacionan y al procedimiento que se describe para determinar los valores mensuales de los parámetros adimensionales X_i e Y_i que permiten calcular el valor mensual de la contribución solar fi mediante la correlación indicada.

7.5.1 Parámetros funcionales

Los parámetros funcionales de la instalación necesarios para realizar los cálculos de prestaciones energéticas con el método de cálculo f-Chart son los siguientes:

- **Superficie de apertura del sistema de captación (Ac en m^2) definida por:**
  - Número de captadores solares
  - Superficie de apertura del captador solar (m^2)
- **Rendimiento del captador:**
  - Factor de eficiencia óptica del captador: FR(τα)= η0
  - Coeficiente global de pérdidas FRUL en W/(m^2·K). Cuando se dispone de los factores de pérdidas del captador, lineal a1 y cuadrático a2, se determina: FRUL = a1 + 40·a2
- **Volumen específico de acumulación V/A en litros/m^2**
- **Caudales e intercambio:**
  - Caudal másico en circuito primario m1 en kg/(s·m^2)
  - Caudal másico en circuito secundario m2 en kg/(s·m^2)
  - Calor específico en circuito primario Cp1 en J/(kg·K)
  - Calor específico en circuito secundario Cp2 en J/(kg·K)
  - Efectividad del intercambiador (ε)

7.5.2 Procedimiento

Para cada mes del año (valor de i desde 1 hasta 12) se determinan los parámetros adimensionales X_i e Y_i que son representativos, respectivamente, de las pérdidas y las ganancias de la instalación:

$$X_i = (Ac * FRUL * FIC * (100 – Ta_i) * \Delta t_i * CV * CT_i) / DE_i$$

$$Y_i = (Ac * FR(\tau\alpha) * FIC * MAI * HT_i * N_i) / DE_i$$

Se han definido los siguientes factores de corrección:

- Factor de corrección del intercambiador de calor (se supone m1·Cp1=m2·Cp2=mCp):

$$FIC = 1 / [1 + (FRUL/mCp) * (1/\varepsilon - 1)]$$

- Corrección por volumen de acumulación:

$$CV = ((V/A) / 75)^{-0.25}$$

- Corrección por temperatura de agua caliente, siendo Tp la temperatura de preparación, Tf_i la temperatura de agua fría y Ta_i la temperatura ambiente media mensual:

$$CT_i = (11,6 + 1,18 * Tp + 3,86 * Tf_i - 2,32 * Ta_i) / (100 - Ta_i)$$

- Modificador del ángulo de incidencia MAI para el que se adoptará el valor K(50) del ensayo del captador

El resto de parámetros que intervienen son:

Ta_i	Temperatura ambiente media mensual (ºC)
Δt_i	Número de segundos en el mes (s)
$DE_i = DE_{ACS}$	Demanda de energía mensual, (J)
HT_i	Irradiación solar incidente diaria media mensual (J/m^2)
N_i	Número de días en el mes

Con los valores de Xi e Yi se determina, para cada mes del año, el factor fi:

$$f_i = 1,029 * Y_i – 0065 * X_i – 0,245 * Y_i^2 + 0,0018 X_i^2 + 0,0215 Y_i^3$$

Hay que tener en cuenta los valores límites de X_i ($0 < X_i < 18$) e Y_i ($0 < Y_i < 3$) que establecen el rango de validez de la función f_i.

El factor f_i, que resulta de la expresión anterior, es el valor de la fracción solar en tanto por uno del mes considerado y siempre será $f_i \leq 1$. El aporte solar, para cada mes, se determinará mediante la expresión:

$$AS_i = f_i \cdot DE_i$$

Realizando la misma operación para todos los 12 meses, se obtendrá la fracción solar media anual a partir de la expresión:

$$f = \Sigma(f_i * De_i) / \Sigma DE_i = \Sigma AS_i / \Sigma DE_i$$

7.6 Cálculo de las pérdidas térmicas

7.6.1 Procedimientos de cálculo de pérdidas térmicas

En los edificios multivivienda y otras aplicaciones que lo requieran, se realizará la evaluación de las pérdidas térmicas de la instalación. Para realizar los cálculos simplificados, se asumirán las siguientes hipótesis de partida:

- Se podrán realizar estimaciones medias diarias mensuales que permitirá calcular la media anual o directamente estimar la media diaria anual.
- La temperatura interior del fluido será la temperatura nominal de funcionamiento del sistema o circuito correspondiente.
- Como temperatura ambiente se tomará la temperatura media ambiente mensual o anual. Alternativamente, para la estimación del valor medio anual se podrá considerar una temperatura ambiente de 10ºC en los tramos exteriores y de 20ºC en los tramos interiores de los circuitos.

- La conductividad térmica de referencia del aislamiento será 0,040 W/(m·K).
- Se considerará una velocidad del aire nula.

Se estimarán las horas de funcionamiento de cada uno de los circuitos. Por defecto, podrán considerarse los siguientes valores medios diarios anuales:

CIRCUITO	PRI	CAR	DES	SEC	CON	DIS	REC
HF (horas)	6	6	6	6	12	24	24

7.6.2 Pérdidas térmicas en tuberías

Todos los circuitos se distribuirán en dos ramales que comprenderán, cada uno, las tuberías que discurren por el exterior y por el interior. Para cada ramal, exterior e interior, de cada circuito se calculará el coeficiente global de pérdidas CGPCIR determinado en función de la longitud, el diámetro y el espesor de aislamiento de todas las tuberías que incorpora:

DN	Pérdidas térmicas (W/mK) según espesor de aislamiento k_i						Longitud L_i	$L_i * k_i$
mm	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	m	W/K
10								
15								
20								
25								
32								
40								
50								
65								
80								
100								

El coeficiente global de pérdidas térmicas CGP para cada uno de los ramales (exterior e interior) de los circuitos se determina por la suma de los valores de la última columna de la tabla anterior:

$$CGP = \Sigma (Li * ki) \text{ (en W/K)}$$

Las pérdidas térmicas de cada circuito quedan caracterizadas por:

- El coeficiente global de pérdidas CGP de los ramales que discurren por el exterior y el interior.
- Su temperatura nominal de referencia establecido en el apartado 4.1.1
- Las temperaturas exteriores e interiores de cálculo
- Las horas de funcionamiento de cada circuito determinadas por los valores medios

El cálculo se realiza determinando las pérdidas de cada ramal, la diferencia de temperaturas, y la potencia media de pérdidas del circuito (en W)

A partir de las horas de funcionamiento se calculan las pérdidas térmicas en cada uno de los ramales de los circuitos; a partir de estos valores se pueden obtener:

- las pérdidas térmicas de cada circuito sumando pérdidas de los 2 ramales al exterior y al interior
- las pérdidas térmicas asociadas a la instalación solar y asociadas a la demanda
- las pérdidas térmicas totales

A continuación, se indica un formato de hoja para el cálculo de las pérdidas térmicas

CIRCUITO	PRI		CAR		DES		SEC		CON		DIS		REC	
Ramal	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext	int	ext
CGP (W/K)														
T_{NOM} (ºC)														
T_{AMB} (ºC)														
T_{NOM} - T_{AMB} (K)														
POT (W)														
HF (horas)														
PT (KWh)														

La determinación de las pérdidas térmicas también se puede realizar en base a valores medios mensuales utilizando los datos de temperaturas medias ambientes exteriores.

7.6.3 Pérdidas térmicas en accesorios

Las pérdidas térmicas de accesorios aislados con los espesores de aislamiento equivalentes a las tuberías donde se incorporan pueden considerarse incluidos en los cálculos anteriores. Sin embargo, pueden ser importantes las pérdidas térmicas que pueden producir los accesorios o componentes no aislados de cualquiera de los circuitos. Se estimarán dichas pérdidas calculando la superficie de pérdidas o estimando dichas pérdidas como tramos de tubería equivalente no aislada.

7.6.4 Pérdidas térmicas en acumuladores

Las pérdidas térmicas de los acumuladores se extraerán de la información facilitada por el fabricante o se calculará con los criterios anteriormente referidos.

A todos los efectos las pérdidas térmicas en acumuladores se computarán en base a funcionamiento continuo (24 horas diarias) a la temperatura nominal del sistema o circuito correspondiente.

022

7.7 Método de cálculo metasol

El MetaSol es un método de cálculo de prestaciones globales de las instalaciones que, junto con el software CHEQ4, se desarrolló para verificar el cumplimiento de la contribución solar mínima que exigía HE4 del CTE para instalaciones de agua caliente sanitaria y calentamiento de piscinas cubiertas.

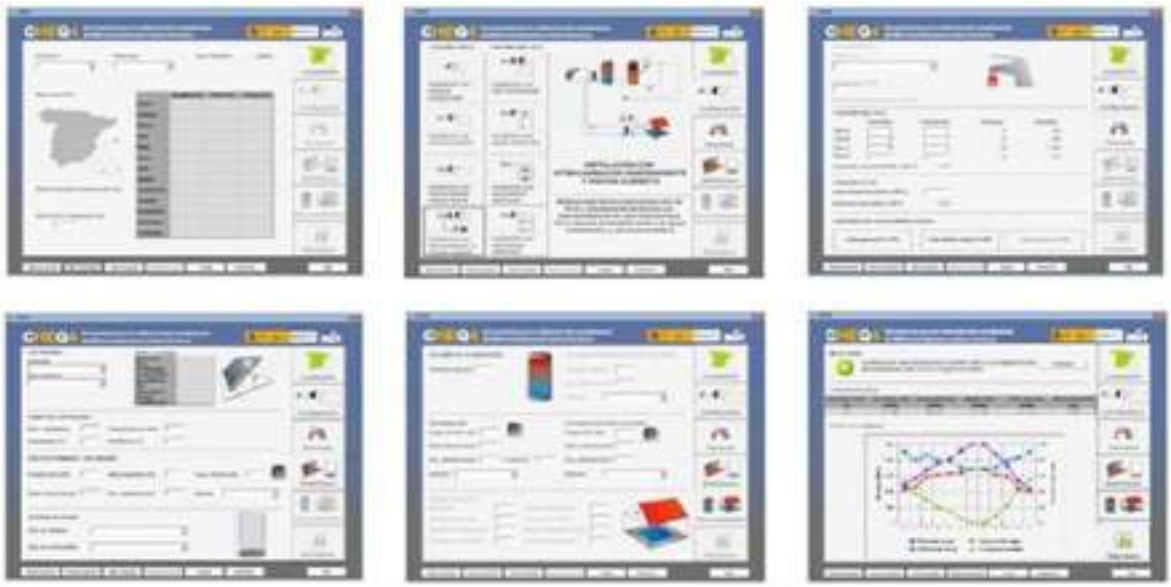


Figura 93: Pantallas del programa de verificación CHEQ4

El procedimiento es muy similar al seguido para desarrollar el f-Chart, pero la primera gran diferencia es que la simulación de casos se realiza con las condiciones climáticas (radiación y temperatura ambiente) y de demanda (consumo, temperaturas de agua fría y caliente) que establece la normativa española. Al igual que el f-Chart es un método de cálculo estático, pero considera otras variables de las instalaciones solares que afectan de forma significativa en el caso de edificios multivivienda; para su desarrollo se parte de modelos detallados y se realiza un gran número de simulaciones para buscar las mejores correlaciones entre las variables de la instalación.

La segunda gran diferencia es que en este caso se analizan ocho configuraciones que abarcan tanto instalaciones de consumo único como múltiple:

1. Instalación para consumo único con sistema prefabricado
2. Instalación para consumo único con interacumulador
3. Instalación para consumo único con intercambiador independiente
4. Instalación para consumo único con intercambiador independiente y piscina cubierta
5. Instalación para consumo múltiple con todo centralizado
6. Instalación para consumo múltiple con acumulación centralizada y apoyo distribuido
7. Instalación para consumo múltiple con acumulación distribuida
8. Instalación para consumo múltiple con intercambio distribuido

Los sistemas prefabricados utilizan los resultados de los ensayos conforme a la norma UNE-EN 12976-2 y ha sido necesario generar funciones específicas para cada sistema.

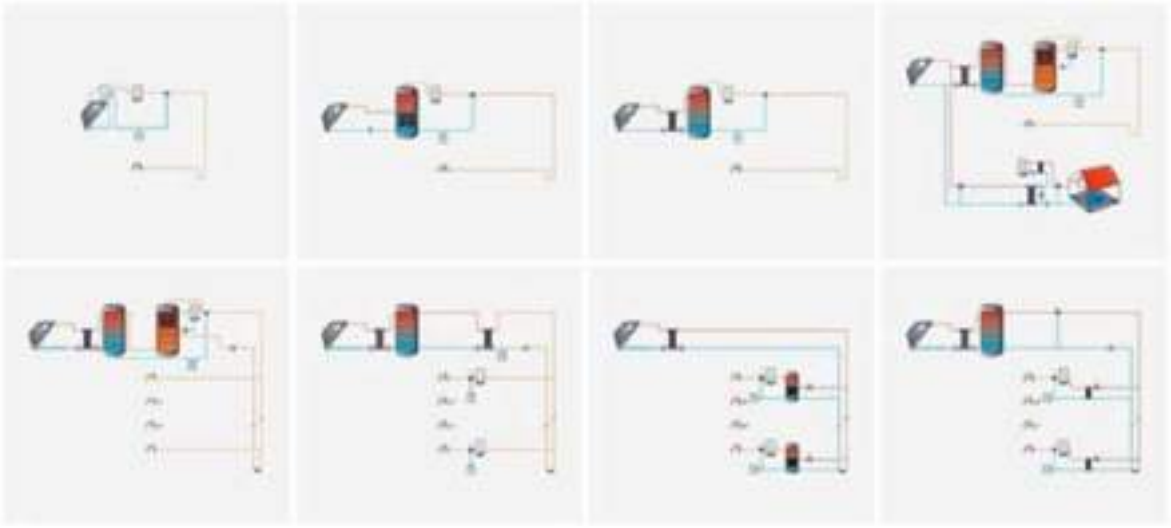


Figura 94: Esquemas de las 8 configuraciones incluidas en el programa CHEQ4

El método MetaSol combina la precisión y flexibilidad de la simulación dinámica de programas con la rapidez y simplicidad de métodos estáticos como f-Chart, manteniendo presente las características del mercado español y la normativa aplicable.

Para obtener un método de cálculo instantáneo se ha seguido una aproximación similar a la del método f-Chart: partiendo de modelos detallados, obtenidos del programa TRANSOL, se realizan gran cantidad de simulaciones para establecer las correlaciones de todos los resultados obtenidos en función de las variables clave del sistema.

Las condiciones de contorno (radiación, temperatura ambiente, temperatura del agua de red, demanda, etc.) se han fijado de acuerdo a la normativa española. Las configuraciones seleccionadas permiten calcular instalaciones solares para viviendas unifamiliares, bloques de pisos y sistemas para piscinas cubiertas y cubren la mayor parte de los tipos de sistemas que se instalan en España.

Para las diferentes configuraciones se han definido 12 variables de entrada que caracterizan las condiciones de operación y propiedades del sistema, y tres factores que caracterizan la localización (radiación, temperatura de agua de red y temperatura ambiente), si bien no todas ellas tienen sentido en todos los esquemas, por lo que cada función está caracterizada por entre 6 y 10 variables y 2 o 3 factores de climáticos. La forma de las funciones es bastante similar a las del método f-Chart y la metodología de cálculo igual de sencilla: dada una localización, un consumo, una configuración y las características de los componentes que forman el sistema, el proceso de cálculo consta de dos pasos:

1. Determinación de las variables de entrada (climáticas) y funcionales (propias del sistema)

022

2. Substitución de las variables de entrada en las funciones de resultados de la configuración escogida

Las funciones analíticas que caracterizan la aportación solar se han determinado intentando mantener en la medida de lo posible expresiones sencillas, consistentes (con una forma similar para todas las configuraciones) y desde luego, precisas ya que se han seleccionado modelos matemáticos muy ajustados. Por el contrario, al f-Chart en el que los parámetros y correlaciones tienen sentido físico, en Metasol los parámetros y modelos no tienen interpretación física que permita entender sus influencias en los resultados.

022

8 Montaje, puesta en marcha y recepción

8.1 Condiciones de montaje

En este capítulo se describen los requisitos mínimos a cumplir durante el montaje de la instalación solar térmica. La instalación se debe realizar sobre la base de un proyecto ejecutivo de detalle y todas las condiciones de montaje y ejecución deberían estar especificadas en el mismo. Los requisitos de montaje pueden estar expresamente indicados en el proyecto, o bien indirectamente estableciendo unas condiciones mínimas a cumplir, por ejemplo, haciendo referencias a un Pliego de Condiciones, a Normas u otros documentos. Todo lo que no esté reglado, referenciado ni especificado, estará sometido a las normas de la buena práctica y a los procedimientos de montaje, supervisión y control de calidad del propio instalador.

8.1.1 Replanteo de la instalación

Antes de iniciar el montaje de la instalación se debería formalizar un acta de replanteo, firmada por el usuario, el instalador y el proyectista, dejando constancia de la documentación que se utiliza para el montaje y del conocimiento de la misma por todas las partes.

El replanteo de la instalación se realiza para comprobar, verificar y dar conformidad al montaje del proyecto detallado una vez que se ha revisado en obra todo su contenido, en particular:

- Espacios disponibles para ubicación de captadores, acumuladores y resto de componentes.
- Previsiones de espacios para trazados de circuitos
- Sistemas de apoyo y sujeción establecidos
- Procedimientos de montaje previstos
- Medios auxiliares necesarios para la correcta ejecución de la instalación (grúas, etc.)
- Accesibilidad a todos los equipos y a la instalación completa tanto durante la ejecución del montaje para realizar, posteriormente, las operaciones de mantenimiento que sean necesarias.

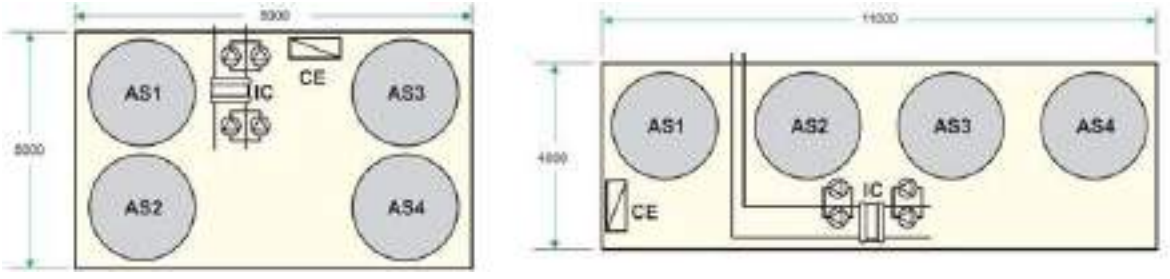


Figura 95: Esquemas de distribución de acumuladores y otros componentes en diferentes locales técnicos

Figura 96: Distribución de varios acumuladores en un local técnico

8.1.2 Requisitos generales

La instalación se debe construir en su totalidad utilizando materiales y procedimientos de ejecución que garanticen las exigencias del servicio, durabilidad, salubridad, seguridad y mantenimiento.

La recepción de los materiales y componentes se realizará comprobando el cumplimiento de las especificaciones de proyecto, sus características aparentes y se registrarán los datos de funcionamiento para que puedan ser comparados con los de proyecto.

Es responsabilidad del instalador proteger y vigilar los materiales durante el transporte y montaje. Estos requisitos serán especialmente observados en caso de que existan materiales delicados y frágiles.

En el montaje se tendrá en cuenta las especificaciones dadas por los fabricantes para cada uno de los componentes. Se podrán admitir variaciones respecto a las indicadas por el fabricante siempre que estén debidamente justificadas y admitidas por el mismo.

Con carácter general se deberán considerar que:

- Las conexiones de todos los aparatos y equipos **deberían estar protegidas** con el fin de evitar la entrada de cuerpos extraños y suciedades.
- La instalación de todos los componentes, equipos, válvulas, etc. se realizará de forma que sea **posible el posterior acceso** a los efectos de su mantenimiento, reparación o desmontaje.
- Una vez realizada la instalación, las **placas de características** de los equipos y componentes deben ser visibles.
- Es responsabilidad del instalador comprobar que la **calidad de los materiales** utilizados se ajuste a lo especificado en el proyecto.

- Todos los elementos metálicos que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por el fabricante, serán recubiertos con el **tratamiento antioxidante** que se defina.
- Ningún elemento de la instalación debe entorpecer el paso en los espacios donde se ubiquen.
- Se vigilará el cumplimiento de la normativa vigente en cuanto al trazado de tuberías y líneas eléctricas.

8.1.3 Montaje de subsistemas

Como normas de carácter general aplicable a cualquier subsistema, el montaje deberá realizarse:

- Conforme a las especificaciones de proyecto
- Según la normativa vigente.
- Siguiendo las instrucciones del fabricante.

8.1.3.1 Montaje de la estructura soporte

Figura 97: Soluciones de estructuras de captadores solares en cubiertas invertidas soportadas con bandejas de grava o con soportes metálicos galvanizados y nivelados con varillas roscadas sujetas a elementos estructurales

El sistema de sujeción de los captadores a la estructura, además de resistir todas las cargas previstas, permitirá, cuando fuera necesario, el movimiento del captador de forma que **no se transmitan esfuerzos de dilatación**.

En el caso de utilización de zunchos o dados de hormigón o bancadas de fábrica de ladrillo como elementos de apoyo y soporte sobre la superficie de cubierta, se evitará el estancamiento de agua haciendo las correspondientes **previsiones para paso y evacuación del agua**.

En edificaciones existentes se evitará **la rotura de la impermeabilización** y se protegerá su deterioro durante el montaje. Cuando sea necesaria la intervención se extremarán las precauciones para asegurar y verificar la estanqueidad final.

8.1.3.2 Montaje de captadores solares

Se tendrá en cuenta las recomendaciones del fabricante en relación con los periodos prolongados expuestos al sol y la forma de mantener las conexiones para que no entre suciedad en los circuitos.

La conexión entre captadores podrá realizarse con accesorios metálicos, manguitos o tuberías flexibles **suministradas, o admitidas expresamente, por el fabricante** que soporten las temperaturas máximas que pueden producirse.

Las tuberías flexibles se conectarán a los captadores solares utilizando los accesorios para mangueras flexibles que **soporten las condiciones extremas de presión y temperatura** del circuito. El montaje de las tuberías flexibles en lugar de una conexión fija evitará que la tubería quede retorcida por dilataciones y que se produzcan radios de curvatura superiores a los especificados por el fabricante.

Se habrá previsto el acceso a los captadores de forma que su desmontaje sea posible con el mínimo de actuaciones sobre los demás.

8.1.3.3 Montaje de tuberías y accesorios

Las tuberías serán instaladas de forma ordenada utilizando, fundamentalmente, tres ejes perpendiculares entre sí y paralelos a elementos estructurales de la edificación evitando hacer trazados diagonales. Se tendrán en cuenta las pendientes que deban utilizarse para el correcto vaciado de la instalación y para evitar la formación de bolsas de aire. Para ello, los tramos horizontales de tubería se montarán con pendiente descendente para facilitar el vaciado y ascendente en el sentido de evacuación del aire. Se evitarán sifones invertidos para evitar la formación de acumulaciones de aire y los sifones normales para evitar acumulación de impurezas.

Figura 98: Montaje de acumuladores solares en el exterior y los circuitos hidráulicos que los conectan

022

Las tuberías se instalarán lo más próximo posible a paramentos donde se puedan ubicar los elementos de soporte que deben impedir la transmisión de vibraciones al edificio, por ejemplo, usando juntas de goma entre apoyos y paredes. Se dejará además el espacio suficiente para manipular el aislamiento y los accesorios y se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Será necesario verificar el cumplimiento de toda la reglamentación vigente que le sea de aplicación.
- Las tuberías discurrirán siempre por debajo de canalizaciones eléctricas que crucen o corran paralelamente y no se instalarán nunca encima de equipos eléctricos como cuadros o motores.
- No se debe realizar la instalación de tuberías en hueco y salas de equipos de ascensores, centros de transformación y chimeneas en uso.
- Las conexiones de las tuberías a los componentes se realizarán de forma que no se transmitan esfuerzos mecánicos y las conexiones de componentes al circuito deberían ser fácilmente desmontables por bridas o racores con el fin de facilitar su sustitución o reparación.
- Se facilitarán las dilataciones de tuberías utilizando los cambios de dirección o dilatadores axiales.
- Para evitar la corrosión del exterior de las tuberías de acero se procederá a su protección mediante limpieza de la superficie, imprimación anticorrosiva y pintura de acabado.
- Se deben utilizar manguitos anti-electrolíticos para evitar el inicio de corrosión en la unión entre distintos materiales, como cobre y galvanizado, sobre todo en circuitos de ACS.

Figura 99: Varios ejemplos de soportes de tuberías y soluciones de acabado en chapa de aluminio

Especial precaución se debe prestar al uso de los diferentes tipos de juntas en los racores y accesorios hidráulicos de conexión para lo que será fundamental considerar el tipo de fluido, la posible formación de vapor y las condiciones máximas de presión y temperatura. Asimismo, hay que tener en cuenta la degradación de juntas de plástico que se deterioran con el tiempo.

En el caso de circuitos hidráulicos de materiales plásticos, cuando son sometidos a altas temperaturas pueden deformarse enormemente de forma permanente e irreversible afectando no solo a los apoyos sobre los que se sustentan sino también a la estética de la instalación y provocando discontinuidades en el aislamiento.

8.1.3.4 Aislamiento de tuberías

Figura 100: Ejemplos de montajes de bombas en paralelo (una de reserva)

El aislamiento **no dejará zonas visibles de tuberías o accesorios**, quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el buen funcionamiento y operación de los componentes. Todos los accesorios del circuito hidráulico, como válvulas, filtros, etc., deberán quedar aislados con los mismos espesores de aislamiento que los de la tubería en que estén instalados. Se adoptarán las precauciones necesarias para evitar los puentes térmicos en todos los elementos que soportan la tubería. En cualquier caso, el aislamiento y su protección permitirán las actuaciones de operación y mantenimiento como abrir o cerrar válvulas. Cuando el aislamiento pueda retener agua en su interior se debe de dejar prevista la salida al exterior para evitar que todo el aislamiento se pueda empapar y para controlar la existencia de fugas.

No se aislarán los vasos de expansión **ni el ramal de conexión entre el vaso de expansión y la línea principal** del circuito.

Se aislarán todos los intercambiadores independientes salvo que existan especificaciones en contra por problemas de incrustaciones calcáreas o cuando el fabricante lo haya incorporado a un subsistema de la instalación.

El material aislante situado a la intemperie deberá protegerse adecuadamente frente a los agentes atmosféricos, como la radiación solar, agua, nieve, etc., de forma que se evite su deterioro. Podrán utilizarse cubiertas o revestimientos protegidos con pinturas asfálticas, poliésteres reforzados con fibra de vidrio, chapa de aluminio o de acero inoxidable. Al exterior no podrán usarse forros de telas plásticas como protección del material aislante.

La protección exterior del aislamiento debe de impedir que el agua entre en contacto con él, ya que de lo contrario sus propiedades aislantes se verían seriamente afectadas, así como la durabilidad del material.

Figura 101: Acabado de aislamiento en chapa de aluminio (izq.) y preparación de tuberías con aislamiento de lana de vidrio para montaje al exterior protegido con venda y emulsión asfáltica como barrera de agua y vapor (der.)

8.1.3.5 Vaciados y desagües

Todos los equipos y circuitos de tuberías **deberían poder vaciarse total y parcialmente**. Se preverá el vaciado parcial en todas las zonas del circuito que puedan independizarse. El vaciado total se hará desde el punto más bajo con un diámetro adecuado al tiempo de vaciado previsto y al tamaño de la red de desagüe.

Las conexiones entre los puntos de vaciado y desagües se realizarán de forma que el paso del agua quede perfectamente visible. Los botellines de purga serán siempre accesibles y siempre que sea posible, deberían conducirse a un lugar visible. Se adoptarán las precauciones necesarias para que, con su actuación, el fluido no alcance a la persona que lo acciona.

Figura 102: Ejemplos de purgadores de aire manuales y con escapes conducidos

Las tuberías de vaciado de la batería de captadores se instalarán de forma que se evite la congelación del fluido de trabajo. La tubería de conexión entre los captadores y la válvula de seguridad tendrá la menor longitud posible y no albergará conexiones intermedias.

Se usarán válvulas de seguridad o llaves que no se obstruyan con la suciedad.

8.1.4 Verificación de la instalación

Durante la ejecución de obra, todos los tramos de tubería, uniones o elementos que vayan a quedar ocultos, deberían ser visibles para su control y deberían quedar expresamente aprobado su montaje antes de quedar ocultos incluso realizadas las pruebas que se determinen.

Ningún elemento activo de la instalación, así como las uniones que no sean permanentes deberán ser registrables, para ello durante la fase de ejecución deberá preverse los accesos necesarios a dichos elementos de manera que permitan el espacio suficiente para proceder a su reparación y/o sustitución.

Adicionalmente, se verificarán los soportes de tubería utilizados, los diámetros, trazados y pendientes de tuberías, la continuidad de los aislamientos, etc.

Una vez completado el montaje, se realizará una inspección a la instalación, que deberá estar correctamente documentada, y que podrá desglosarse en dos tipos de actuaciones que debería incluir la verificación de que se cumplen todas las prescripciones del proyecto detallado y la evaluación de la correcta calidad de la ejecución conforme a las especificaciones de proyecto.

8.2 Pruebas de circuitos

Previamente a la recepción de la instalación deberían estar realizadas, además del montaje completo, las pruebas y ajustes especificados, así como la puesta en marcha. El instalador se responsabilizará de la ejecución de las pruebas funcionales, del buen funcionamiento de la instalación y del estado de la misma hasta su entrega a la propiedad. El instalador, salvo orden expresa, entregará la instalación llena y en funcionamiento.

En un documento de control de ejecución se deberán recoger las pruebas parciales, finales y funcionales realizadas que, además de cumplir la reglamentación vigente, incluya la fecha en las que tuvieron lugar, los resultados obtenidos y el grado de cumplimiento de las prestaciones previstas.

8.2.1 Pruebas de estanqueidad de redes hidráulicas

Todas las redes de circulación de fluidos portadores deberían ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su estanqueidad, antes de quedar ocultas por obras de albañilería, material de relleno o por el material aislante. Son aceptables las pruebas realizadas de acuerdo a UNE

100151, en función del tipo de fluido transportado. Se realizarán cumpliendo la reglamentación vigente e incluyendo:

1. Generalidades.
2. Preparación y limpieza de redes de tuberías.
3. Prueba preliminar de estanqueidad.
4. Prueba de resistencia mecánica. La presión de prueba del circuito primario será de una vez y media la presión máxima de trabajo con un mínimo de 3 bar. Para circuitos de agua caliente sanitaria, la presión de prueba será equivalente a dos veces la presión de trabajo con un mínimo de 6 bar.
5. Reparación de fugas.

8.2.2 Pruebas de libre dilatación y de estancamiento

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con generadores de calor se llevarán hasta la temperatura de tarado de los elementos de seguridad, habiendo anulado previamente la actuación de los aparatos de regulación automática.

Las pruebas de libre dilatación y estancamiento de la instalación solar se realizarán en un día soleado y sin demanda En el caso de los circuitos primarios, se llevarán a la temperatura de estancamiento, con el circuito lleno y la bomba de circulación parada, cuando el nivel de irradiancia sobre la apertura del captador sea de 1.000 (±100) W/m^2 durante al menos una hora. Se comprobará que las temperaturas y las presiones alcanzadas son las previstas en los distintos puntos del circuito.

Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobará visualmente que no han actuado las válvulas de seguridad ni han tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión ha funcionado correctamente.

8.3 Llenado, purga y presurización

Una vez realizadas las pruebas de estanqueidad y dilatación, los circuitos están listos para llenarlos de fluido, purgarlos de aire y dejarlos a la presión de trabajo, y con ello, preparados para empezar a funcionar.

8.3.1 Procedimiento de llenado

El orden normal del proceso de llenado para una instalación típica es, en primer lugar, llenar con agua de red el acumulador, circuitos secundarios y de consumo y, por último, con agua o mezcla anticongelante, el circuito primario.

Hay que tener en cuenta que en el caso de interacumuladores la diferencia de presión existente entre el agua contenida en el acumulador lleno y el intercambiador interior vacío puede producir deformaciones en este último. Es necesario tener en cuenta en estos casos las recomendaciones del fabricante al respecto.

Para llenar el acumulador solar, los circuitos secundarios y de consumo, se debe verificar que todas las válvulas estén en la posición adecuada, así como cerradas las válvulas de bypass que den paso al circuito de distribución o consumo que puedan existir y todos los sensores, o vainas para ellos, inmersos en el acumulador deberán estar instalados antes del llenado. Si el acumulador dispone de válvula de purga, dejarla abierta; en caso contrario abrir algún punto de consumo para facilitar la salida del aire y la entrada del agua. Se realiza el llenado del acumulador abriendo la válvula que lo alimenta con agua de la red, dejando que la presión lo llene hasta que salga agua por la válvula de venteo superior o el punto de consumo abierto. Ir abriendo sucesivamente todos los puntos de consumo para eliminar todo el aire de las tuberías. Es necesario que la acometida de red disponga de algún sistema de regulación de presión en el caso de que esta pueda ser superior a la presión máxima que pueda soportar alguno de los elementos de la instalación que impida que estos puedan resultar dañados.

Se recomienda llenar el circuito primario por la mañana temprano, o cuando no haya sol, para evitar choques térmicos, impedir que el fluido se caliente demasiado lo que puede dificultar la purga, y para poder dejar el circuito a la presión mínima de llenado en frio. En algunos casos puede resultar muy complicado realizar el llenado en condiciones de mucha radiación y temperatura ambiente, ya que el fluido que entra en las baterías de captadores se vaporiza de forma inmediata impidiendo su correcta circulación.

En función del tipo de sistema de llenado disponible hay que considerar:

- Si el sistema de llenado es con bomba de presión, preparar el fluido en el depósito y realizar el llenado del circuito primario utilizando la conexión prevista y dando salida al aire. Antes de hacer la operación debe calcularse el volumen del circuito para tener preparado el volumen completo de fluido que va a ser necesario.
- Si el sistema de llenado es con agua de red, abrir la válvula de alimentación y abrir los purgadores de aire manuales para facilitar que salga el aire y entre el agua, cerrándolos cuando se vea que sale agua sin aire. Si los purgadores son automáticos conviene desmontarlos para hacer más rápido esta operación y cerrar la válvula de corte correspondiente para completar el proceso.

8.3.2 Purga completa de los circuitos

El proceso de llenado siempre lleva consigo la evacuación de todo el aire de la instalación y será necesario asegurarse al final del proceso que la instalación está completamente llena de fluido y completamente vacía de aire.

En función de las formas y trazados de los circuitos puede ser necesario hacer circular el fluido (abriendo los grifos en el circuito de distribución y actuando las bombas de circulación en los circuitos primario y secundario) para que el desplazamiento del mismo arrastre el aire que pueda

quedar en los mismos. Después de un cierto tiempo funcionando (unos pocos minutos) se deben parar el movimiento de los fluidos y completar el proceso de llenado y purga. Antes de realizar la purga comprobar que el circuito está, y se mantiene, presurizado ya que, en caso contrario, puede volver a entrar aire en el mismo.

Al realizar la purga se debe observar si se extrae una mezcla de fluido y aire o sólo fluido. Si se extrae sólo fluido dejar presurizado el circuito y listo para funcionar. Si sigue saliendo aire volver a hacer circular el fluido (durante tiempos cada vez más prolongados) y repetir la operación completa. Es recomendable hacer visitas periódicas los días posteriores al llenado de una instalación para purgarla manualmente ya que a veces puede tardar días que el aire, distribuido por toda la instalación y el existente en forma de micro-burbujas, llegue a la parte alta de los circuitos.

8.3.3 Presurización de los circuitos

Una vez llenos de fluidos, y purgados de aire, todos los circuitos deben presurizarse hasta la presión mínima de trabajo. Antes de realizar esta operación verificar el correcto posicionamiento de todas las válvulas de los sistemas de purga para asegurar que los circuitos van a quedar estancos.

Para el circuito de consumo la presión de llenado será la de la alimentación de agua fría ya sea procedente directamente de la red de abastecimiento o del grupo de presión del edificio. Deberá comprobarse que se alcanza la presión prevista en cada punto de consumo, prestando especial atención en los puntos más alejados de la instalación y los que se encuentren a mayor altura.

En edificios en uso, una vez realizado el llenado del sistema de apoyo y de la red de distribución interior y con el fin de hacer las pruebas de funcionamiento, se debe aislar la instalación solar de nuevo cerrando la válvula de la alimentación de agua fría y de salida de agua caliente dejando abierta la válvula intermedia del bypass que alimenta directamente al sistema de apoyo.

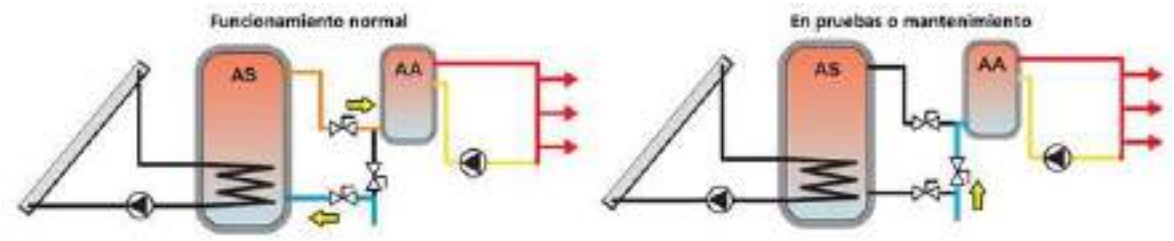


Figura 103: Actuación de las válvulas del bypass de alimentación en funcionamiento normal y en mantenimiento

Para el circuito primario se procederá de forma que, antes de realizar el llenado, se habrá comprobado la presión del lado aire del depósito de expansión. Después de lleno y purgado el circuito se presurizará, por los medios disponibles, hasta que se alcance la presión mínima establecida. Es conveniente realizar esta operación con todos los circuitos fríos de forma que se asegure la presión mínima de llenado. Si no se hiciera esta operación con los circuitos fríos, se procurará ajustarla en otro momento. La presencia de aire puede provocar variaciones en las

lecturas de presión debido a que el aire es un fluido compresible, por lo que si se observan dichas variaciones puede ser un indicativo de la existencia de aire en la instalación. De igual manera, variaciones en la temperatura ambiente exterior o de los locales donde se sitúen los equipos pueden producir variaciones en dichas lecturas.

El fluido del circuito primario, sobre todo si puede quedar expuesto a heladas debe cumplir con las especificaciones del proyecto en cuanto a concentración de anticongelante, se debe además verificar que su pH se encuentra en los márgenes indicados por el fabricante de los captadores y, por último, verificar también que la presión de cada circuito cerrado se encuentra dentro de lo especificado.

8.4 Puesta en marcha

Una vez llenos y presurizados todos los circuitos y antes de realizar la puesta en marcha se debe verificar el posicionamiento y funcionamiento de todas las válvulas: de seguridad, de corte, de vaciado, de llenado, etc. Asimismo, se comprobará que los dispositivos de medida se encuentran instalados.

Las pruebas finales permitirán garantizar que la instalación reúne las condiciones de calidad, fiabilidad y seguridad exigidas en proyecto. La instalación solar debería ser ajustada a los valores de proyecto dentro de los márgenes admisibles de tolerancia.

8.4.1 Encendido manual

Realizadas las verificaciones anteriores, se procede al encendido de las bombas utilizando la opción encendido manual del controlador o del cuadro eléctrico. Se comprobará que:

- Las bombas se encuentran rotando en la dirección correcta. Para esto se puede revisar visualmente la rotación del eje del motor o mediante los medidores de presión a cada lado de la bomba.
- Se ha iniciado la circulación del fluido en los circuitos correspondientes mediante lecturas de los caudalímetros si existen y, si es un día soleado, comprobando que los circuitos primario y secundario calientan.
- Las modificaciones de presión, tanto las debidas al funcionamiento de bombas como al aumento de la temperatura de los circuitos debido al calentamiento del fluido son adecuadas.
- Funcionan los medidores de flujo, así como cualquier medidor de energía que disponga el sistema.
- Correcto funcionamiento de la alternancia de bombas de acuerdo con la estrategia tenida en cuenta para su accionamiento, marcha/paro, avería, temporizador, etc.

Puede ser necesario revisar que el aire ha sido completamente purgado del sistema ya que con el encendido de las bombas el fluido puede arrastrar aire hasta los sistemas de purga. Interesa parar

las bombas para purgar y actuar sobre los purgadores de la instalación como se indicó anteriormente.

Se recomienda hacer un registro, indicando día y hora, de todos los datos disponibles de caudal, presión, temperaturas y consumo eléctrico de las bombas de manera que se pueda tener referencia de los parámetros nominales y así poder ser conscientes de futuras desviaciones y proceder a la detección de averías. Para ello es conveniente tener un cuadrante con todos los valores de los elementos de medida disponibles:

- Indicadores del tiempo meteorológico en el momento.
- Termómetro en captadores
- Termómetro en el depósito
- Termómetros en las bocas del intercambiador
- Manómetro en el sistema de expansión
- Puente manométrico en las bombas
- Puente manométrico en primario y secundario del intercambiador
- Estado de funcionamiento de las bombas (centralita)
- Estado de funcionamiento de las bombas (cuadro eléctrico)
- Registros de caudalímetros y/o contadores de energía
- Consumos eléctricos, voltajes y amperajes de cada equipo eléctrico.

8.4.2 Ajustes de la distribución de fluidos

Se comprobará o ajustará:

- El fluido anticongelante contenido en los circuitos expuestos a heladas cumple con los requisitos especificados en el proyecto.
- El caudal de diseño de cada bomba, de la que se debería conocer la curva característica, como paso previo al ajuste de los caudales en circuitos de la forma que se hay previsto en cada caso: regulación de bomba, mediante válvulas de equilibrado, etc.
- El caudal nominal y la presión cada circuito hidráulico, así como los caudales de cada lazo.
- El caudal de diseño de los dispositivos de equilibrado de los distintos lazos. Se debería comprobar el correcto equilibrado hidráulico de todos los lazos mediante el procedimiento previsto.
- El valor del punto de control del mecanismo de las válvulas de control de presión diferencial al rango de variación de la caída de presión del circuito controlado.
- El caudal en el ramal de salida de la válvula termostática.
- Los caudales de diseño que atraviesan cada intercambiador de calor y verificar la potencia, temperatura y caudales de diseño.
- Comprobación de la correcta actuación de las válvulas antirretorno de los diferentes circuitos, bombas, válvula termostática, entrada a acumuladores, acometida de agua fría, etc.

8.4.3 Calibración del control automático

Se ajustarán todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados y se comprobará el funcionamiento de todos los componentes del sistema de control. Se establecerán los criterios de seguimiento basados en la propia estructura del sistema, en base a los niveles del proceso siguientes: nivel de unidades de campo, nivel de proceso, nivel de comunicaciones, nivel de gestión y telegestión.

Cuando la instalación disponga de un sistema de control, mando y gestión o telegestión basado en la tecnología de la información, su mantenimiento y la actualización de las versiones de los programas deberían ser realizados por personal cualificado o por el mismo suministrador de los programas.

Para el ajuste de los parámetros del controlador se deberán considerar:

- El diferencial de temperatura para el encendido y apagado de las bombas.
- Las temperaturas máximas en captadores y acumulador.
- La temperatura mínima para el sistema de protección contra heladas si es por recirculación.

Las pruebas de los sistemas de protección de la instalación pueden ser realizadas de manera natural cuando las condiciones del día son apropiadas. En caso contrario, se dejará constancia de que se han realizado las pruebas siguiendo alguno de los procedimientos:

1. modificando la temperatura de consigna del controlador correspondiente o
2. sacando el sensor de su posición normal y modificando su temperatura artificialmente.

8.4.3.1 Temperatura máxima del acumulador

Se puede alcanzar la temperatura máxima del acumulador cuando se realicen las pruebas de evolución diaria de temperaturas sin consumo, si las condiciones son apropiadas, o realizando la misma prueba al día siguiente cuando el acumulador inicia el funcionamiento diario desde una temperatura más elevada. Cuando esto no sea posible se verificará la correcta actuación de esta protección bajando la temperatura de consigna del termostato limitador del acumulador y comprobando que se realiza la actuación prevista cuando la temperatura de consigna baja hasta la temperatura del acumulador o alterando la temperatura de la sonda de manera artificial calentándola.

8.4.3.2 Temperatura máxima del circuito primario

Se puede alcanzar la temperatura máxima del circuito primario después de realizar la prueba de temperatura máxima del acumulador, si las condiciones son apropiadas, y el circuito primario se sigue calentando hasta alcanzar dicha temperatura. Si no fuera posible, se comprobará que el sistema actúa bajando la temperatura de consigna del sistema de protección hasta la temperatura real del circuito primario o alterando la temperatura de la sonda de manera artificial calentándola. Comprobar que no existan otros protocolos o temperaturas o enclavamientos que impidan la actuación.

8.4.3.3 Sistema de protección contra heladas

Se podrá comprobar que el sistema actúa subiendo la temperatura de consigna hasta la temperatura disponible en circuito primario o sumergiendo el sensor de temperatura en un recipiente con agua-hielo.

8.4.4 Verificaciones finales.

Antes de iniciar las pruebas de funcionamiento y dejar el sistema funcionando en su modo automático de operación se debe verificar lo siguiente:

- La corriente utilizada por las bombas se encuentra dentro de los márgenes establecidos por el fabricante. Para eso utilizar un amperímetro para medir el consumo eléctrico de cada bomba.
- No hay signos de cavitación u otros funcionamientos inapropiados de las bombas.
- Los interruptores de flujo y sensores de temperatura se encuentran funcionando correctamente.
- Después de verificar que el controlador funciona apropiadamente en los modos manual (encendido o apagado) y automático, dejar el sistema de control en modo automático.
- Es conveniente hacer un registro de los datos de operación inicial del sistema después de que éste se encuentre funcionando en modo automático de la misma forma que se indicó anteriormente para el modo manual.
- Revisión y limpieza de filtros
- Comprobación de los elementos de protección eléctrica conforme al REBT.

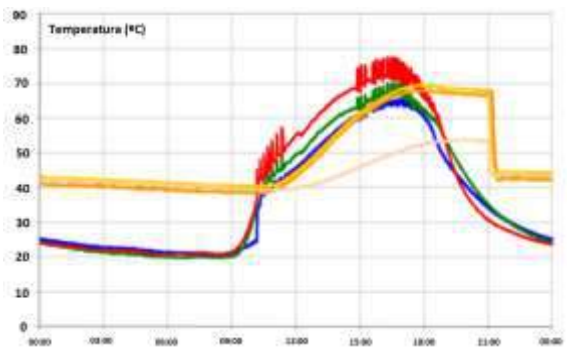
8.5 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas funcionales permitirán comprobar que las condiciones y los parámetros de funcionamiento cumplen las especificaciones de proyecto.

8.5.1 Encendido y apagado diario

La prueba de encendido y apagado diario del sistema en condiciones normales se debe realizar durante un día completo, este día debe ser soleado y durante la prueba se debe:

- Verificar que el sistema de control se encuentra encendido y en modo automático.
- Esperar, durante la mañana, hasta que la bomba comience a funcionar debido a la diferencia de temperatura entre el fluido de los captadores y el agua del acumulador.
- Anotar las temperaturas a las que las bombas comienzan a funcionar. Comparar estas temperaturas con el diferencial de temperatura establecido en el controlador.
- Comprobar que, si el día es completamente soleado, las bombas de circulación están funcionando continuamente. Solamente deberían pararse si la temperatura del



acumulador es elevada o actúa alguna de las protecciones de seguridad previstas.

- Esperar, durante la tarde, hasta que la bomba se detenga debido a la diferencia de temperatura entre el agua en los captadores y el acumulador.
- Anotar las temperaturas a las que las bombas dejan de funcionar. Comparar esta temperatura con el diferencial de temperatura establecido en el controlador.
- Comprobar las diferencias de temperatura entre salida de captadores y entrada del intercambiador, entre la salida del acumulador y la entrada del acumulador auxiliar central o los puntos de consumo verificando que las pérdidas térmicas son las previstas.

8.5.2 Evolución diaria de temperaturas

Esta prueba se debe realizar, inicialmente, con el consumo cerrado de forma que no se pueda extraer agua caliente del acumulador solar y así comprobar que la temperatura del acumulador va subiendo a lo largo del día. En función de las condiciones meteorológicas del día se podrán hacer, o no, las comprobaciones de protección indicadas al final de este capítulo.

Comprobar la evolución de las temperaturas de entrada y salida de captadores, y de intercambiador, verificando que éstas aumentan a lo largo del día y disminuyen al finalizar el día.

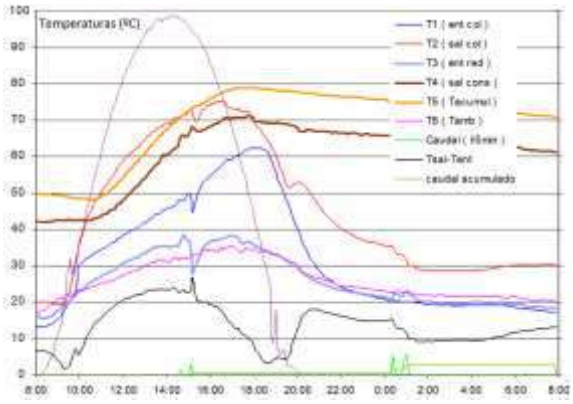


Figura 105: Evolución diaria de diversas temperaturas de un equipo solar por termosifón

En otro día distinto, se podrán realizar pruebas de funcionamiento con consumo y se harán las mismas comprobaciones anteriores analizando, en la medida de lo posible, cuál es la aportación energética al sistema. Hay que tener en cuenta en este caso que aunque las temperaturas del acumulador no subirán tanto como en el caso de no haber consumo, la energía solar aportada puede ser superior ya que la temperatura de trabajo del sistema de captación será menor.

8.5.3 Entrega de agua caliente

Figura 104: Monitorización de sistema con múltiples encendidos y apagados diarios de la bomba

La prueba de entrega de agua caliente se realizará verificando, en primer lugar, el correcto posicionamiento de las válvulas de alimentación y consumo de tal modo que el agua fría entre en el acumulador solar y no en el sistema de apoyo. Cuando se abre cualquier grifo de agua caliente, el agua de la instalación solar debe fluir desde la acumulación solar al apoyo y de éste al punto de consumo.

Para verificar la entrega de agua caliente se deben medir las temperaturas del circuito de consumo (entrada de agua fría, salida de agua caliente del acumulador solar y salida del sistema

de apoyo) comprobando que las temperaturas sean las relacionadas con cada sistema, así como los caudales que circulan por las distintas conexiones de la válvula termostática. Se comprobará la correcta actuación de la válvula de antirretorno ubicada en la entrada de agua fría de la válvula.

En el caso de disponer de un sistema de medida de la energía suministrada, se podrá comprobar adicionalmente el volumen de energía solar proporcionada.

8.5.4 Comprobaciones finales

Las comprobaciones finales que se puedan realizar están muy relacionadas con los equipos de medida que se dispongan en la instalación. Algunas medidas y comprobaciones que se podrían realizar son:

- Rendimiento energético de los captadores solares. Para ello sería necesario que la instalación disponga de medida de la radicación solar mediante piranómetro o célula calibrada.
- Equilibrado del campo de captadores midiendo las temperaturas y los saltos térmicos de todos los circuitos y ramales.
- Efectividad y rendimiento del intercambiador de calor.
- Rendimiento y aportación energética de la instalación solar.
- Consumo eléctrico de la instalación

En resumen:

Trabajos previos:

1. **Llenado**
2. **Purga**
3. **Presurización**

Operaciones de puesta en marcha:

1. **Encendido manual**
2. **Ajuste de la distribución de fluidos**
3. **Calibración del sistema de control**
4. **Verificaciones finales**

Pruebas de funcionamiento son:

1. **Encendido y apagado diario**
2. **Evolución diaria de temperaturas**
3. **Entrega de agua caliente**
4. **Comprobaciones finales**

8.6 Recepción

La ejecución de la instalación termina con la entrega de la instalación al promotor o usuario para iniciar el periodo de uso, así como el de mantenimiento. La entrega se realiza en el proceso de recepción que intercala un periodo de tiempo transitorio (desde la provisional a la definitiva) donde, aunque la propiedad sea del promotor, se realizan comprobaciones del funcionamiento normal de la instalación.

8.6.1 Recepción provisional.

El objeto de la recepción es comprobar que la instalación está de acuerdo con los servicios contratados y que se ajusta, por separado cada uno de sus elementos y globalmente, a lo especificado en el proyecto.

El instalador se responsabilizará de la ejecución de las pruebas parciales, finales y funcionales, del buen funcionamiento de la instalación y del estado de la misma en el momento de su entrega a la propiedad.

El instalador, salvo orden expresa, entregará la instalación llena y en funcionamiento. Es condición previa para realizar los ensayos de recepción definitiva el que la instalación se encuentre totalmente terminada de acuerdo con el proyecto y con las modificaciones que por escrito hayan sido acordadas.

También es necesario que hayan sido previamente corregidas todas las anomalías denunciadas a lo largo de la ejecución de la obra y que la instalación haya sido equilibrada, puesta a punto, limpiada e, incluso, convenientemente rotulada.

Debería comprobarse la existencia de la acometida definitiva de energía eléctrica a la edificación o de acometida provisional con características equivalentes a la definitiva.

Una vez realizadas las pruebas funcionales con resultados satisfactorios, se procederá al acto de Recepción Provisional de la instalación por parte de la propiedad, con lo que se da por finalizado el montaje de la instalación.

El acto de recepción provisional quedará formalizado por un acta donde figuren todos los intervinientes y en la que se formalice la entrega conforme de la documentación referida.

La documentación disponible y entregada debería ser, al menos, la siguiente:

- Una memoria descriptiva de la instalación, en la que se incluyen las bases de proyecto y los criterios adoptados para su desarrollo.
- Una copia reproducible de los planos definitivos, comprendiendo, como mínimo, los esquemas de principio de todas las instalaciones, los planos de sala de equipos y los planos de plantas donde se debería indicar el recorrido de las conducciones y la situación de las unidades terminales.
- Una relación de todos los materiales y equipos empleados, indicando fabricante, marca, modelo y características de funcionamiento.

- Las hojas recopilativas de los resultados de las pruebas parciales y finales.
- Un manual de instrucciones de funcionamiento de los equipos principales de la instalación.

8.6.2 Recepción definitiva

Desde al acta de recepción provisional, la propiedad o terceros podrán reclamar la subsanación de cuantas anomalías o defectos se detecten en el funcionamiento de la instalación. Cualquier incidencia en el funcionamiento debe ser notificada formalmente.

Si durante el periodo deben realizarse pruebas adicionales para la verificación del correcto funcionamiento de la instalación, se añadirán los resultados a las hojas recopilativas entregadas. Transcurrido el plazo estipulado desde el acta de recepción, la Recepción Provisional se transformará en Recepción Definitiva. A partir de la recepción definitiva entrará en vigor la garantía.

022

9 Operación, uso y mantenimiento

9.1 Manual de instrucciones

El Manual de Instrucciones o manual de uso y mantenimiento recogerá todas aquellas descripciones, instrucciones y recomendaciones necesarias para asegurar el correcto uso y funcionamiento de la instalación y que, a lo largo de su vida útil, se realice con la máxima eficiencia energética, garantizando la seguridad, la durabilidad y la protección del medio ambiente, así como las exigencias establecidas en el proyecto.

El Manual de Instrucciones, que será entregado al titular y forma parte del suministro de la instalación, incluirá:

- Proyecto ejecutado de la instalación incluyendo Memoria de Diseño actualizada con las modificaciones o adaptaciones realizadas durante el montaje de la instalación.
- Informe de la inspección final realizada por el técnico, certificando que la instalación se encuentra completamente finalizada, que se han realizado las pruebas y que está en condiciones de funcionamiento
- Características de funcionamiento y manuales de los componentes principales.
- Recomendaciones de uso e instrucciones de seguridad.
- Plan de vigilancia
- Programa de mantenimiento.
- Certificados y condiciones de garantía de todos los componentes y de la instalación.

9.2 Características de funcionamiento

El Manual de Instrucciones debe incluir un esquema de principio que permita la explicación del modo de funcionamiento de la instalación:

- Proceso de calentamiento del agua del acumulador: circulación del fluido.
- Proceso de extracción o consumo de agua caliente.
- Funcionamiento del sistema de energía auxiliar.
- Valores nominales. Estarán establecidos los valores nominales de las distintas variables que pueden intervenir y/o visualizarse durante la operación normal de la instalación: temperaturas de agua, presiones de circuitos, etc.
- Límites operacionales. Se definirán los límites operacionales de estas variables que definen los rangos de funcionamiento normal de las mismas.

- Límites funcionales. Se definirán los valores límites, de parámetros funcionales, del conjunto y de los componentes principales: presión máxima de trabajo, temperatura máxima admisible, etc.

Se concretarán las características constructivas o funcionales que establecen dichos valores límites: resistencia de materiales, de recubrimientos, etc. así como las medidas adoptadas en el diseño para no sobrepasar los límites funcionales.

Se aportará la información necesaria para conocer las prestaciones de la instalación. Se entiende como tal la cantidad de energía solar que aporta a un consumo determinado y con unas condiciones climáticas definidas. Al menos, se incluirán las prestaciones previstas para varios tipos de cargas de consumo. Se indicará el procedimiento seguido para obtener los resultados.

9.3 Recomendaciones de uso e instrucciones de seguridad

9.3.1 Recomendaciones de uso

Formando parte del Manual de Instrucciones o de forma independiente, el instalador entregará al titular de la instalación un manual de uso. El manual de uso debería contener como mínimo:

Recomendaciones **sobre el consumo de agua caliente sanitaria** que debería incluir:

- Criterios para la correcta utilización de un sistema solar térmico que lleva implícito el uso racional de agua, incluyendo recomendaciones para ahorrar tanto agua como energía auxiliar evitando el despilfarro.
- Instrucciones respecto a procedimientos que ahorran energía como, por ejemplo, bajar temperaturas de consigna en preparación, disponer buen aislamiento de tuberías, etc.
- Diferencias entre el consumo de agua caliente de diseño y el consumo real y los efectos correspondientes: si es mayor lleva consigo un aumento del consumo de energía auxiliar.
- Motivos por los que se dispone un sistema de apoyo indicando que la fracción solar no es del 100% por causas climáticas (de menos radiación) o por mayor consumo sobre el previsto inicialmente.

Recomendaciones **para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación**, incluyendo:

- Descripción de aquellos aspectos funcionales que permitan al usuario obtener el máximo provecho de la instalación solar, aportando criterios de mejor utilización y resultados que pueden obtenerse.
- Procedimientos para controlar el funcionamiento del sistema solar y del sistema de apoyo y las instrucciones sobre uso de la conexión entre ambos (serie/paralelo/bypass)
- Los contenidos y la necesidad de un plan de vigilancia y de mantenimiento preventivo.
- Precauciones a adoptar en días y épocas en las que no se consuma agua caliente.
- Prevención y solución de temperaturas elevadas.
- Describir las posibles causas, y las soluciones, cuando se detecten bajas temperaturas de agua caliente sanitaria.

022

9.3.2 Instrucciones de manejo y maniobra

Las instrucciones de manejo y maniobra, serán adecuadas a las características técnicas de la instalación concreta y deberían servir para efectuar la puesta en marcha y parada de la instalación, de forma total o parcial, y para conseguir cualquier programa de funcionamiento y servicio previsto.

9.3.3 Instrucciones de seguridad

Las instrucciones de seguridad serán adecuadas a las características técnicas de la instalación concreta y su objetivo será reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios u operarios sufran daños inmediatos durante el uso de la instalación.

9.4 Plan de vigilancia

El plan de vigilancia debe definirse en la fase de proyecto de la instalación para establecer los sistemas de medidas y los procedimientos necesarios para controlar que los valores operacionales y las prestaciones de la instalación sean correctos. El plan de vigilancia se define en base a las características de la instalación, del sistema de medidas disponible y del tipo de usuario; los procedimientos que se establezcan deben considerar si van a ser realizados por un operador del servicio de mantenimiento o si pueden ser llevados a cabo por el propio usuario como ocurre, en muchos casos, en las pequeñas instalaciones.

Se pueden distinguir tres niveles de para el plan de vigilancia:

- **Observación simple** de los principales parámetros de funcionamiento.
- **Sistema electromecánico** que avisa cuando alguna variable rebasa unos límites establecidos.
- **Sistema de monitorización** continua del funcionamiento.

Por otro lado, la vigilancia podrá ser:

- **Manual**, cuando sea una actividad simple cuya periodicidad podrá ser variable en función de la fiabilidad de funcionamiento, o
- **Automática** cuando es continua y el sistema avisa instantáneamente de cualquier fallo.

Los indicadores que pueden utilizarse para controlar el correcto funcionamiento de la instalación solar, que se describen a continuación, son los siguientes:

1. Presión del circuito primario
2. Sistema de control
3. Circulación de fluidos
4. Transferencia de calor y temperaturas de funcionamiento
5. Medidas de la energía y del rendimiento

9.4.1 Presión del circuito primario

La presión de trabajo de un circuito primario depende, fundamentalmente, de la temperatura del circuito y diariamente puede evolucionar entre un valor mínimo cuando el circuito está más frío lo que sucede a primeras horas de la mañana y un valor máximo cuando el circuito está más caliente lo que normalmente ocurre por las tardes.

La presión del circuito también puede estar afectada por la bomba de circulación ya que, cuando funciona, genera una depresión aguas arriba de la bomba y una sobrepresión a la salida que puede ser relevante cuando la presión de funcionamiento de la bomba es significativa en relación a la presión de trabajo del circuito.

Cuando el circuito está frío y la bomba parada, es decir, a primera hora de la mañana, la observación de la presión manométrica permite controlar que ésta no se haya modificado ya que, si la presión en frío se reduce, puede significar que ha habido una fuga de fluido que hay que confirmar dando un aviso de fallo. Si la presión en frio aumenta puede deberse a un fallo del sistema de llenado.

El control de la presión del circuito en frío es la forma de garantizar que las oscilaciones están dentro de los márgenes admitidos para evitar que ninguna parte del circuito esté en depresión lo que evitará la entrada de aire.

La vigilancia de la presión se puede realizar:

- Mediante el control visual de la presión mínima para lo que se debe haber instalado un manómetro con escala graduada situado en lugar visible y fácilmente accesible que permita las observaciones necesarias.
- Por un control automático utilizando un sensor de presión, o un presostato, que regulado a una presión algo superior a la presión mínima pueda detectar que la presión es inferior a la mínima de llenado; el contacto producido se puede utilizar, además de para generar un aviso de fallo, para impedir que la bomba de circulación pueda trabajar en vacío y poner en marcha el sistema de llenado si es del tipo automático.

9.4.2 Sistema de control

Los indicadores para vigilar la instalación solar desde el sistema de control deben informar de su funcionamiento tanto durante el calentamiento diario del acumulador mientras éste lo admita como cuando se alcanzan condiciones extremas en las que deben intervenir los sistemas de protección.

Cuando el acumulador solar no ha alcanzado su temperatura máxima y está en condiciones de almacenar más energía las condiciones de funcionamiento podrían ser:

- En días soleados y en modo de funcionamiento automático, el sistema de control deberá conectar las bombas por la mañana y desconectarlas por la tarde para aprovechar el periodo diario de irradiación; un indicador del buen funcionamiento podría ser el control de los tiempos de funcionamiento de las bombas de circulación mediante un contador de horas de

funcionamiento que permita controlar los valores diarios o los valores medios diarios al cabo de periodos más largos (semanal, mensual, etc.).

- Si la radiación solar no es muy elevada o el acumulador solar no está muy frío, puede haber varios ciclos de marcha-paro durante el día, pero, sobre todo, fuera de las horas centrales del día. En cualquiera de los casos disminuyen las horas diarias de funcionamiento.

El control también incorpora los indicadores de los sistemas de protección en situaciones extremas:

- La protección frente a elevadas temperaturas se produce cuando se alcanza la temperatura máxima del acumulador (normalmente sobre los 80-85°C) y se interrumpe la transferencia de calor, normalmente parando las bombas de circulación, para que no aumente más la temperatura. En ocasiones se mantiene en funcionamiento la bomba del primario y se incorpora una válvula de tres vías que evite la circulación a través del intercambiador. En ocasiones se utiliza un termostato para limitar la temperatura máxima del acumulador.
- Si el sistema de protección antiheladas es por recirculación del primario, el indicador será la temperatura del captador que es muy baja (por ejemplo, 3ºC) deberá poner en funcionamiento las bombas de circulación.

La señal proporcionada por la protección frente a elevadas temperaturas puede utilizarse para controlar los tiempos en los que se ha superado el valor establecido y, aunque realmente este hecho no debe considerarse como un fallo, puede ser interesante su control para analizar el bajo rendimiento de la instalación por bajo consumo o por baja temperatura de consigna. También puede utilizarse este contacto para activar un contador de horas que contabilice el tiempo que el acumulador está por encima de la temperatura máxima.

De forma similar a la temperatura máxima se podrá aplicar a la vigilancia del sistema de protección antiheladas avisando y/o registrando que se han sobrepasado los valores de consigna.

9.4.3 Circulación de fluidos

La comprobación de la circulación de fluido en el circuito primario permite analizar y vigilar la correcta evacuación de calor desde los captadores al intercambiador o interacumulador. Aunque es el sistema de control el que activa y desactiva la bomba, la observación directa de la circulación en los sistemas forzados permite vigilar, además de que el control actúa de forma correcta, que la bomba funciona y que el fluido circula.

Los indicadores serían los necesarios para vigilar que existe circulación durante todo el día. Los más fiables y utilizados son:

- La medida directa del caudal que facilitan determinados dispositivos como rotámetros, válvulas de equilibrado o caudalímetros.
- El salto de temperaturas entre entrada y salida de captadores o intercambiador. Un salto térmico excesivo puede ser el reflejo de que el caudal de circulación es bajo.
- La diferencia de presiones a cada lado de las bombas.

Estos indicadores tienen distintos niveles de fiabilidad, pero es conveniente conocerlos en detalle para conseguir su mejor aprovechamiento y su adecuada utilización en sistemas automáticos de supervisión.

Existen otros indicadores que, aunque sean menos fiables que los anteriores, podrían ser utilizados como, por ejemplo, los interruptores de flujo, el ruido de la bomba y del fluido, la vibración de la bomba, etc.

Los indicadores para el circuito secundario serían similares a los anteriores.

En el circuito de consumo es conveniente tener la seguridad de que el caudal de consumo que atraviesa el acumulador solar pasa al sistema auxiliar y al consumo; la razón es vigilar posibles cambios de configuración involuntarios en aquellas instalaciones que se complican con muchas posibilidades de conexión. Por ejemplo, puede ocurrir que una instalación solar conectada al auxiliar mediante un bypass se quede abierto provocando un fallo en la circulación de agua caliente desde el acumulador hacía el sistema auxiliar; también se puede detectar si el acumulador alcanza la temperatura máxima mientras se tiene la certeza de que la edificación se encuentra ocupado y la instalación tiene consumo.

9.4.4 Transferencia de calor y temperaturas de funcionamiento

Un buen indicador del correcto funcionamiento de una instalación solar es que la temperatura de agua del acumulador esté lo suficientemente caliente en días soleados, aunque este dato, al estar muy influenciado por el consumo de agua caliente sanitaria, no es garantía suficiente para asegurar un correcto funcionamiento.

Es mejor indicador del buen funcionamiento de la instalación la diferencia entre la temperatura de salida de captadores y la del acumulador solar que normalmente debe estar comprendida entre 2 y 10 K. En determinadas instalaciones, forzadas de bajo flujo o de circulación por termosifón, puede llegar hasta 20 K. Por encima de este valor la energía de los captadores ya no se está aprovechando adecuadamente y se puede considerar que existe un fallo. Un control diferencial que detecte la diferencia entre la temperatura de captadores y la del acumulador puede dar una señal de aviso de fallo si la diferencia es superior a 15-20ºC o a la diferencia de temperaturas máxima que se establezca.

Es necesario controlar posibles flujos inversos y pérdidas térmicas por circulación natural nocturna impulsada desde el sistema de acumulación ya que podría aumentar significativamente el enfriamiento de los acumuladores. A estos efectos, los indicadores más importantes son las temperaturas en los circuitos conectados al acumulador: tanto las diferencias mantenidas en los circuitos de intercambiador como las temperaturas en la salida de agua caliente. Para ello es necesario que el sistema tenga en cuenta no solo las temperaturas, sino también la hora a la que se miden. Por ejemplo, una temperatura elevada en captadores medida por la noche es un síntoma claro de una circulación nocturna indeseada desde el acumulador al sistema de captación.

Asimismo, también se deben controlar los flujos no deseados que pueden ocurrir en los lazos cerrados de sistemas con válvula de tres vías cuando ésta no cierra completamente. La mejor

forma de controlarlo es con un sensor de temperatura que avise de la existencia de temperaturas no coherentes.

9.4.5 Medidas de la energía y del rendimiento

Aunque en algunos casos sólo sea necesario medir la energía térmica aportada por la instalación solar, es evidente que los factores fundamentales que le afectan también son indicadores a vigilar, entre ellos el caudal de consumo de agua caliente y la temperatura de preparación de ACS.

Cuando sea necesario controlar la contribución solar se deben disponer, además y como mínimo, las mediciones de energía térmica necesarias para determinar la demanda bruta de energía que incluya las producidas por las pérdidas térmicas asociadas a la demanda de los circuitos de distribución y recirculación

Para determinar el rendimiento siempre será necesario disponer, además de las energías térmicas en circuitos, las medidas meteorológicas correspondientes a radiación solar global sobre el plano de captadores y la temperatura ambiente.

9.5 Detección de problemas de funcionamiento

De acuerdo con el plan de vigilancia, si en condiciones normales de operación se detectan valores de funcionamiento fuera del rango establecido debe considerarse que existe un problema en la instalación y debe procederse a su subsanación.

Se debe tener en cuenta que lo que se detecta normalmente son los efectos de los problemas por lo que es imprescindible definir las causas para establecer las soluciones a adoptar. Por ejemplo, un circuito primario vacío o sin presión es el efecto de una rotura o una fuga u otra causa; si se intenta solucionar llenando el circuito y presurizándolo, seguramente volverá a ocurrir el mismo problema, previamente habría que haber buscado la causa que la originó.

Cada instalación debe disponer del Manual de Uso y Mantenimiento que incorpore, completamente detallado, el plan de detección de fallos y un procedimiento para detectar las causas y la forma de solucionarlas.

En este capítulo, se plantea el análisis de las causas con la misma estructura que se han analizado la vigilancia de los problemas que se podrían presentar: la presurización de circuitos, el sistema de control, la circulación de fluido, transferencia de calor y temperaturas de funcionamiento.

9.5.1 Verificaciones previas

Antes de analizar las causas de los problemas es necesario realizar unas verificaciones previas que aseguren los datos de partida del problema y en primer lugar tener certeza de que los **datos proporcionados por el sistema de medida son correctos**. En caso contrario, los criterios y los procedimientos establecidos serían totalmente infundados y se podrían cometer errores de

diagnóstico y, por tanto, de actuación posterior. Es necesario, por ejemplo, contrastar las medidas de temperaturas entre los distintos termómetros, digitales y bimetálicos, que puedan disponerse.

Asimismo, se debe verificar que no existen fallos en los sistemas externos a la instalación solar que pudieran inducir los problemas de funcionamiento de la instalación solar.

Fundamentalmente se trataría de comprobar que son **correctas las condiciones de la alimentación eléctrica y de abastecimiento de agua fría**.

Sería imprescindible, asimismo, verificar que se mantiene la configuración de la instalación y el **correcto posicionamiento de toda la valvulería**.

Los problemas que puedan existir por mal dimensionamiento y diseño de sistemas o componentes se pueden manifestar por cualquiera de los fallos relacionados por lo que, en caso de que sean recurrentes, deben verificarse las condiciones de dimensionamiento y diseño de la instalación solar y se deberían volver a repetir pruebas de funcionamiento previas a la recepción.

9.5.2 Presurización de circuitos

Si se detecta una disminución continuada de la presión en frío, es señal de que se ha perdido fluido del circuito y puede haber ocurrido por causa de alguno de los siguientes fallos:

- **Alguna válvula ha sido abierta, de manera descontrolada**, y se ha vaciado el circuito. Se deberá revisar el posicionamiento de todas las válvulas del circuito y los efectos de una posible actuación.
- **Alguna válvula de seguridad ha actuado** y expulsado fluido al exterior. Aunque la actuación de una válvula de seguridad esté prevista como última medida de protección de un circuito cerrado, su actuación se produce por un incorrecto funcionamiento de algún componente o sistema de la instalación solar, como podría ser:
  - La propia válvula de seguridad que puede estar defectuosa, puede empezar a gotear a presiones inferiores a la de tarado o haberse quedado abierta por alguna obstrucción en el asiento de cierre.
  - El sistema de expansión que puede haber perdido presión en el lado aire o puede haberse roto la membrana elástica. Se debe suponer que, si existiera un problema de dimensionado incorrecto, debería haberse detectado en la fase de recepción y puesta en marcha.
  - El sistema de llenado puede haber fallado tanto si aumenta la presión mínima del circuito por encima de la prevista como si se reduce por pérdida de fluido a través del mismo (mal funcionamiento de la válvula de retención o similar).
- **El circuito tiene alguna fuga** y ha dejado de ser estanco. Para verificar la estanqueidad del circuito se deben localizar las posibles fugas, repararlas, y repetir el proceso completo de prueba de estanqueidad, llenado, purga y presurización. Si no se encuentra el lugar exacto de

la fuga, se debe establecer un procedimiento metódico actuando por sectores de la instalación cerrando las válvulas de corte disponibles y analizando cada uno de ellos. Si la fuga es pequeña y está oculta por el aislamiento, puede ser necesario presurizar el circuito para forzar la salida de mayor cantidad de fluido y buscar tramos de aislamiento húmedo o con agua.

Si se detecta que la presión en frío ha aumentado puede deberse a un fallo del sistema de llenado que presuriza el circuito o a la existencia de una fuga del circuito de consumo a través del intercambiador.

9.5.3 Sistema de control

El cuadro de valores de consigna ajustado en el proceso de puesta en marcha, permitirá detectar si las funciones del sistema de control se realizan adecuadamente. Para evaluar el funcionamiento del sistema eléctrico y de control se deben conocer los valores de consigna y las operaciones establecidas.

En la siguiente tabla, se indican los más habituales:

Parámetro a controlar	Valor mínimo (ºC)	Valor máximo (ºC)
Control diferencial de temperaturas	2 ó 3	5 a 7
Temperatura máxima de acumulador solar (*)	75	80
Temperatura máxima del circuito primario	90	100
Temperatura del sistema de protección contra heladas	3	5

(*) Depende de la temperatura máxima que soporta la protección interior

Las posiciones activada o desactivada se deben comparar con el estado del piloto de la centralita y con la orden de marcha o paro que se haya dado a las bombas u otras actuaciones. Si en algún caso la comparación resultara incorrecta, los fallos pueden estar producidas por:

- El **estado y situación de los sensores de temperatura** del captador y del acumulador, que deberán revisarse individualmente que estén colocados en su posición, su estado sea correcto y los datos puedan ser contrastados con los valores de otra medida. A veces ocurre que la sonda de temperatura está fuera de su vaina porque no estaba sujeta correctamente.
- La **conexión de los sensores**, deberán revisarse los cables y las conexiones de éstos tanto en tramos intermedios como en los extremos finales en las bornas de la centralita de control
- La **centralita de control**, sea la fuente de alimentación, circuito impreso u otros.

9.5.4 Circulación de fluido

Antes de analizar otras causas, debe volver a verificarse:

- El correcto posicionamiento de todas las válvulas.
- Que el circuito está lleno, purgado y presurizado.
- Que existe alimentación eléctrica que llega a las bombas.
- Que el sistema de control funciona correctamente.

En las **instalaciones con intercambiador externo**, si se dispone de las medidas de las temperaturas del intercambiador se puede deducir:

- Si son similares a la del acumulador, no hay circulación en el primario, pero sí en el secundario
- Si son muy parecidas a las de captadores, hay circulación en el primario, pero no en el secundario
- Si son cercanas a las del ambiente, no hay circulación ni en el circuito primario ni en el secundario

Puede no haber circulación en un circuito debido a que la bomba esté mal conectada:

- Hidráulicamente, cuando están cambiadas las posiciones de entrada y salida con el sentido del flujo contrario al previsto en el circuito.
- Eléctricamente, en bombas trifásicas, cuando estén mal conectadas las fases correspondientes.
- Después de comprobar que la bomba está hidráulica y eléctricamente bien conectada, si la bomba sigue sin funcionar, debe revisarse si el motor y el rodete de la bomba no se mueven.

En las bombas en línea, al desmontar el tornillo de inspección de la bomba, si se comprueba que el motor no gira y que la bomba se calienta más de lo normal, puede ocurrir que:

- El rodete esté bloqueado. A veces se puede desbloquear girándolo manualmente, pero, otras veces, hay que desmontarlo y para deshacer la posible obstrucción.
- La bobina está derivada. Se debe sustituir la bomba por otra nueva.

9.5.5 Temperaturas de funcionamiento

Si la temperatura de captadores es muy superior a la del acumulador, es señal de que no hay transferencia de calor desde los captadores al acumulador y lo normal es que esté producido por un fallo en la circulación de fluido.

Si existe un elevado salto de temperaturas en los circuitos o se comprueba que no hay transferencia de calor entre sistemas, puede ser debido a que:

- Exista poco caudal, verificar que la bomba es la adecuada, que no se haya seleccionado una velocidad de funcionamiento distinta y que no pueda haber una obstrucción en tuberías. Si

una vez comprobado el caudal, se mantienen saltos de temperatura elevados debe verificarse la circulación equilibrada por todos los circuitos en paralelo.

- El intercambiador de calor está sucio y habrá que limpiarlo siguiendo las instrucciones del fabricante. Si este problema ocurre desde la puesta en marcha de la instalación, puede ser que el intercambiador esté mal dimensionado.

Por último, si hay signos evidentes de que se reducen las prestaciones energéticas conviene hacer un chequeo de las pérdidas térmicas en:

- Los captadores solares, verificando el correcto equilibrado de las baterías, que todos están a temperaturas similares y un poco más alta que la del acumulador.
- Las tuberías y accesorios, comprobando que no se ha desprendido el aislamiento en ningún tramo.
- Los acumuladores, revisando que no haya elementos propios del acumulador o de las tuberías de conexión que estén sin aislar.
- Se comprobará que no haya ninguna parte de la instalación con su superficie caliente directamente en contacto con el ambiente; esto sería señal de que falta o se ha desprendido aislamiento.

9.6 Mantenimiento de la instalación

El mantenimiento de la instalación solar térmica se diferencia de la de cualquier otra instalación térmica en aquellos aspectos específicos relacionados con los captadores solares, es decir, en su circuito primario de interconexión y por el sistema de control de la instalación.

Los programas de mantenimiento preventivo actualmente utilizados establecen las diferencias con el plan de vigilancia y detallan las distintas actividades y operaciones con la periodicidad recomendada pero su descripción y contenidos debería evolucionar por lo que, aportando algunas innovaciones, se incluye en el apartado 9.6.2 una nueva propuesta con observaciones sobre las operaciones a realizar así como una actualización de las actividades de inspección visual y de control de funcionamiento.

Sobre la periodicidad del mantenimiento preventivo, cumpliendo con el que se haya establecido reglamentariamente, se debe ajustar por el proyectista para cada caso particular en base a la calidad de los materiales y componentes que incorpora.

Por ejemplo, se pueden proyectar circuitos hidráulicos que requieren repintar el aislamiento cada 6 meses o acabados con chapa de aluminio que no requieren ningún mantenimiento especial, no es lo mismo acumuladores con ánodos de sacrificio que protegidos por sistemas de corriente impresa, la selección de la calidad de las mezclas anticongelantes, el diseño de los sistemas de purga, la sectorización del campo de captadores, etc.

A veces hay algunas operaciones de los programas de mantenimiento que deben evolucionar en base a experiencias prácticas como es el caso de la limpieza de captadores que se analiza a continuación.

022

9.6.1 Limpieza de captadores

Uno de los factores que diferencia a la energía solar térmica de la fotovoltaica es la escasa y diferente influencia de la suciedad en el rendimiento de los captadores frente a la mayor importancia que tiene en los módulos fotovoltaicos. Hay técnicos que trabajan en las dos actividades y dan el mismo tratamiento a ambas tecnologías; ocurre algo similar con el problema de las sombras o con los sistemas de seguimiento en lo que ambas tecnologías son distintas. Esto ha producido que, en algunos casos, se haya incluido la limpieza de los captadores en las actividades de mantenimiento de las instalaciones e incluso, en otros casos, se haya incorporado esta actividad a los planes de vigilancia que en teoría debe llevar a cabo el usuario.

La experiencia demuestra que los efectos de la suciedad en captadores son, en general, despreciables. Desde un punto de vista práctico, además de la escasa pérdida de rendimiento y la generación de carga de trabajo de mantenimiento, la limpieza de captadores puede generar los siguientes problemas:

- Posible entrada de agua en el captador al rociar los captadores con agua a presión.
- Rayado del vidrio, y mucho más perjudicial para materiales plásticos, si se usa material inapropiado para limpieza lo que puede afectar al rendimiento más que la propia suciedad.
- Choque térmico externo con eventual movimiento de juntas o rotura del vidrio.

Por tanto, si la suciedad no perjudica y su eliminación introduce riesgos la mejor actuación sería que, como regla general, se elimine la limpieza artificial de la cubierta de captadores y se deje la lluvia se encargue de ese trabajo.

No obstante, habrá casos puntuales, asociados normalmente a contaminación ambiental y chimeneas, así como a localizaciones con fenómenos meteorológicos de polvo o de escasa pluviosidad, donde habrá que tomar precauciones especiales vigilando este comportamiento.

9.6.2 Programa de mantenimiento preventivo

El programa de mantenimiento ha de incluir las operaciones de mantenimiento necesarias para que el sistema funcione correctamente durante su vida útil. El mantenimiento preventivo implicará operaciones de inspección visual (IV), control de funcionamiento (CF), verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deberían permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

Se incorpora un plan de mantenimiento preventivo con actividades recomendadas que puede servir de base para componer una lista de chequeo adaptada a cada caso particular:

Equipo	Descripción
Captadores	Conforme manual de instrucciones del fabricante
Acumuladores	Presencia de lodos en el fondo
Protección Catódica	Comprobación desgaste de ánodos de sacrificio o CF efectivo
Intercambiador de Calor	CF efectivo y prestaciones: saltos de temperatura
Circuitos hidráulicos	IV fugas o manchas de humedad
Aislamiento en el interior	IV de uniones y presencia de humedad
Bomba	CF, estanqueidad y verificar caudal total en circulación
Purgador manual	Vaciar aire de los botellines de purga
Sistema de llenado	CF efectivo
Vaso de expansión	Comprobación de la presión del lado aire (gas N_2)
Válvulas de corte	CF efectivo: abrir y cerrar para evitar agarrotamiento
Válvulas de seguridad	CF efectivo: abrir manualmente para evitar agarrotamiento
Válvula termostática	CF efectivo y ajuste: comparar temperaturas consigna y real
Válvula de tres vías	CF efectivo verificando la correcta derivación de caudales
Fluido de Trabajo	Comprobar densidad y pH
Elementos de medida	Contrastar las medida con otros dispositivos
Contadores caudal/energía	Registrar la medida y evaluar los datos
Sistema de Control	CF efectivo (man./autom.) (arranque y parada de bombas)
Termostato	CF efectivo
Sondas y sensores	Contrastar temperaturas de sensores con otras medidas
Sistema auxiliar	CF efectivo conexionado y control de temperatura consigna

Tabla 16: Operaciones de mantenimiento preventivo

022

En cada caso, es importante analizar lo que implica cada una de las operaciones indicadas por lo que se aportan comentarios aclaratorios a las modificaciones introducidas en relación con listados similares anteriores:

- El mantenedor debe incorporar en las actividades de mantenimiento de captadores aquellas operaciones que incluya el fabricante en el manual de instrucciones correspondiente de manera que no tiene sentido detallar a priori, y con carácter general, actividades que no se sabe si se tiene que llevar a cabo. Como el **mantenedor no es un normalmente un especialista en componentes internos del captador (cristales, juntas, absorbedor y carcasa) los eventuales deterioros deberían ser contrastados con el fabricante** antes de definir el tipo de intervención posterior.
- La aparición de fugas en las conexiones de circuitos cerrados no se puede controlar en operaciones preventivas que se realicen una vez al año, cualquier **fuga tiene que surgir de una operación de vigilancia de las presiones de trabajo** o de una prueba específica de estanqueidad. En los circuitos cerrados pueden existir rastros de suciedad interior al circuito y en los de agua potable puede haber rastros de depósitos de cal.
- Evitar la complejidad de incluir un análisis exhaustivo de la estructura que requeriría mucho tiempo, pero, si fuera necesario, habría que definir un **procedimiento de inspección aleatoria sobre una parte de las estructuras** instaladas.
- La presencia de **lodos, los depósitos de cal, el agarrotamiento de válvulas, etc. son operaciones muy ligadas a las características del agua** y convendría que la frecuencia y actuación de estas operaciones estuviera ligada a las características de las localizaciones. Para eso sería necesario compartir mayor información a nivel local y no se puede generalizar a todas las instalaciones; la práctica actual es que hay instalaciones que requieren limpieza (lodos, depósitos calcáreos, etc.) en menos de un año y otras que en más de 20 ó 30 años no se ha realizado ninguna operación de ese tipo.
- La **calidad de los materiales y componentes expuesto a condiciones exteriores**, y principalmente las protecciones del aislamiento de acumulador y de las tuberías son aspectos no del todo resueltos a costos aceptables. Desde el punto de vista del mantenimiento se debería incluir la **inspección de la degradación de materiales, presencia de humedad e indicios de corrosión.**
- El vaso de expansión es un elemento que debe aportar completa fiabilidad a la instalación por lo que, además de su correcto cálculo, diseño y montaje, su posterior mantenimiento son elementos imprescindibles para conseguir la máxima fiabilidad de la instalación.

El mantenimiento correctivo incluye las operaciones necesarias para resolver los problemas y averías que surgen e impiden el correcto funcionamiento de la instalación, generalmente son detectados durante el plan de vigilancia o el mantenimiento preventivo. Normalmente son operaciones relacionadas con la reparación o sustitución de componentes.

En resumen:

Niveles del plan de vigilancia:

1. **Observación de parámetros de funcionamiento.**
2. **Sistema electromecánico con avisos**
3. **Sistema de monitorización continua**

Indicadores del plan de vigilancia:

1. **Presión del circuito primario**
2. **Sistema de control**
3. **Circulación de fluidos**
4. **Transferencia de calor y temperaturas de funcionamiento**
5. **Medidas de la energía y del rendimiento**

Detección de problemas:

5. **Verificaciones previas**
6. **Presurización de circuitos**
7. **Sistema de control**
8. **Circulación de fluído**
9. **Temperaturas de funcionamiento**

Plan de mantenimiento preventivo:

- **Adaptado a cada caso particular en base al proyecto**

10 Calentamiento solar de piscinas

10.1 Generalidades

En este capítulo se establecen los requisitos de cálculo y diseño que deberían cumplir las instalaciones solares térmicas para calentamiento del agua del vaso de piscinas cubiertas y climatizadas. Normalmente, este tipo de instalaciones son mixtas ya que también están destinadas a la producción de agua caliente sanitaria para duchas y vestuarios asociados.

La instalación solar térmica se emplea, por un lado, en compensar las pérdidas térmicas del agua del vaso por convección, radiación, conducción y evaporación y, por otro lado, en elevar la temperatura del agua de reposición desde la temperatura de llenado hasta la temperatura de uso establecida.

Se consideran piscinas cubiertas y climatizadas aquellas que tienen el vaso de la piscina en el interior de un recinto cerrado que dispone de un sistema de climatización para el acondicionamiento de la humedad y la temperatura del aire interior. Se consideran al final de este capítulo el calentamiento del vaso de piscinas situadas al exterior o en el interior de recintos no climatizados y debe recordarse que la reglamentación vigente establece que para el calentamiento del agua de piscinas al aire libre sólo podrán utilizarse fuentes de energía renovable o residual.

La temperatura del agua depende del régimen de explotación de la piscina (competición, enseñanza, gimnasia o recreo) y del tipo de bañista (infantil, tercera edad, embarazadas, etc.). Debe considerase, adicionalmente, que las distintas administraciones que intervienen establecen criterios diferentes en los límites de operación. Por último, debe resaltarse que en el caso de que una misma piscina tenga varios usos, es imposible tener una única temperatura para todos ellos por lo que es necesario adoptar soluciones de compromiso. Como valores medios, se puede considerar que la temperatura del agua habitualmente debe estar comprendida entre 24° y 30 °C según el uso principal de la piscina, aunque ésta puede ser superior en el caso de piscinas para usos terapéuticos.

Con carácter previo y relacionado con el calentamiento del agua de las piscinas cubiertas hay que destacar que existe una demanda de energía significativa para climatización del ambiente del espacio donde se ubica el vaso ya que, además de mantener unas condiciones mínimas de temperatura, se debe controlar y actuar sobre las condiciones de humedad del ambiente. Cumpliendo la reglamentación vigente, pueden considerarse las siguientes condiciones:

- La temperatura seca del aire de los locales que alberguen piscinas climatizadas se mantendrá entre 1 °C y 2 °C por encima de la del agua del vaso, con un máximo de 30 °C.

- La humedad relativa del local se mantendrá siempre por debajo del 65 %, para proteger los cerramientos de la formación de condensaciones, pero no más baja porque aumentaría la evaporación del agua del vaso.

Este sistema de climatización, que normalmente implica el uso de una deshumectadora, permite recuperar parte del calor de condensación utilizado en el calentamiento del aire del local después de haberlo enfriado para proceder a la deshumectación, en el precalentamiento del ACS. En este sentido, se recomienda conectar en serie desde la acometida de agua fría primero a la instalación solar y después el sistema de recuperación de manera que su aprovechamiento no perjudique el funcionamiento de la instalación solar.

Desde el punto de vista energético es importante resaltar la necesidad de que la lámina de agua de las piscinas climatizadas siempre esté protegida con una manta térmica que evite las pérdidas de calor por evaporación durante el tiempo en que esté fuera de servicio ya que estas pérdidas suponen el 80% del total de las pérdidas térmicas. La manta térmica establece una barrera que impide que el agua se evapore y pase como vapor al aire ambiente.

10.2 Cálculo de instalaciones solares para piscinas cubiertas

Aplicando los mismos criterios establecidos para el cálculo de las prestaciones energéticas de las instalaciones de agua caliente sanitaria, se pueden considerar los mismos dos objetivos a la hora de utilizar los resultados del cálculo, esto es, justificar el cumplimiento de requisitos establecidos por la reglamentación incluso comparando diversas tecnologías y la optimización de distintas soluciones técnicas de instalaciones solares térmicas. En ambos casos, los datos de partida a emplear deberían ser los mismos para disponer de una única demanda de energía como referencia y los métodos de cálculo iguales o equivalentes para homogeneizar el cálculo de prestaciones de la instalación y conseguir que las soluciones sean comparables.

10.2.1 Métodos de cálculo utilizables

En el caso de programas de simulación estática o dinámica, los métodos de cálculo definen el esquema de principio que se puede seleccionar y sus condiciones de funcionamiento. Aunque se proyecte una única instalación solar térmica para abastecer ambas demandas, de ACS y de calentamiento del vaso, el método de cálculo debería evaluar los aportes solares a cada una de las aplicaciones por separado en función de la configuración y las estrategias de control adoptadas.

En el caso de los métodos de cálculo simplificados como el f-Chart y Metasol, la gran diferencia entre ellos es que el f-Chart solamente es aplicable para instalaciones de producción de ACS de una configuración y tamaño determinado y el Metasol, por el contrario, dispone de una metodología aplicable a muchas más configuraciones y tamaños que ha sido específicamente desarrollada para aplicaciones mixtas de ACS y calentamiento de piscinas por lo que puede ser directamente utilizado en el cálculo de estas instalaciones. En el propio programa Metasol quedan establecidos los rangos de validez de los parámetros que definen las condiciones de utilización,

como las temperaturas de ambiente y de vaso, la humedad ambiente, el caudal de renovación de agua, el nivel de ocupación y las horas de funcionamiento.

En el caso del método de cálculo f-Chart, y teniendo en cuenta sus limitaciones, es posible utilizarlo como método aproximado para el caso de piscinas ya que proporciona resultados del lado de la seguridad, aunque sea necesario verificar su validez. Para ello, se transforma la demanda de energía necesaria para el calentamiento del vaso de la piscina DE_{VP} en una demanda de energía equivalente calculada como un consumo de agua caliente a la temperatura de referencia que el consumo de ACS. En ese caso, se podrá utilizar el método f-Chart aplicándolo a un consumo diario de agua caliente equivalente $Q_{ACS}(T_U)$ a la misma temperatura T_U de uso del ACS y calculado con la expresión:

$$Q_{ACS}(T_U) = DE_{VP} / (T_U - T_{AF})$$

El resultado obtenido con la aplicación de este método para la producción de agua caliente sanitaria y el calentamiento de piscina proporciona la cantidad total de energía aportada por la instalación de energía solar, sin hacer distinción sobre la forma en la que se reparte entre las dos aplicaciones. Es necesario tener en cuenta que dado que este algoritmo no se ha determinado para ese uso específico, los resultados no serán tan exactos como cuando se calculen mediante otros métodos diseñados para tal efecto.

Los datos de partida que se proponen a continuación pretenden homogeneizar y simplificar los procesos de cálculo, aunque el proyectista pueda utilizar los parámetros de uso, climáticos y funcionales que considere oportunos para analizar las condiciones reales de funcionamiento de la piscina y estudiar la sensibilidad de los resultados con las diferentes variables que intervienen.

10.2.2 Parámetros de uso.

En base a los criterios anteriores, se adoptan las siguientes condiciones normalizadas de cálculo:

- Las condiciones higrotérmicas interiores son únicas.
- Se establece un único criterio de ocupación y uso
- La renovación de agua se realiza diariamente por razones higiénico-sanitarias.

Las **condiciones higrotérmicas interiores** para el cálculo normalizado son las siguientes:

- Temperatura del agua del vaso: 24ºC.
- Temperatura seca del aire del local: 26ºC.
- Humedad relativa: 65%

Las **condiciones de ocupación y uso** más habituales son 0,20 bañistas por metro cuadrado de superficie del vaso de piscina durante 12 horas al día y ningún bañista ni uso durante las 12 horas restantes. Se supone que, durante el periodo sin utilización, el vaso de la piscina dispone de una manta térmica. Se prevé el uso y funcionamiento durante todos los días del año con el mismo régimen que será el siguiente:

- arranque de las instalaciones convencionales a las 08.00 para puesta a régimen de la piscina.
- desconexión de instalaciones a las 20.00 horas, durante la noche no se mantiene el calentamiento del vaso y se deja que baje su temperatura, pero usando la manta térmica.

022

El agua de renovación es necesaria para compensar las pérdidas de agua que están producidas por la evaporación de agua, por arrastre y salpicaduras, por limpieza de fondos y filtros así como por la renovación higiénico-sanitaria del agua. A los efectos de cálculo y salvo otra normativa que expresamente sea más restrictiva, se considerará una **renovación diaria del agua de la piscina equivalente al 1% del volumen del vaso** y se realizará durante todos los días del año.

10.2.3 Demanda de energía.

Aunque para calcular la demanda de energía existen diversos procedimientos que pueden encontrarse en la bibliografía referenciada se incorpora aquí un procedimiento simplificado que junto con la utilización de datos de partida normalizados permite una rápida evaluación y suficiente aproximación.

La demanda de energía necesaria para el mantenimiento de la temperatura del agua del vaso de una piscina se puede considerar constituida por las pérdidas térmicas con el entorno (PT_{VP}) y por la demanda de energía para el calentamiento del agua de reposición (DE_{REP}). Las pérdidas térmicas en piscinas cubiertas están producidas por la evaporación del agua, por radiación hacia las paredes del recinto y por conducción a través de paredes y fondo del vaso:

- Las pérdidas por evaporación representan entre el 70 % y el 80 % de las pérdidas totales.
- Las pérdidas por radiación representan entre el 15 % y el 20 % de las pérdidas totales.
- Las pérdidas por conducción son despreciables.

Para el cálculo de la potencia de las pérdidas energéticas en piscinas cubiertas se puede utilizar la siguiente fórmula empírica:

$$P\ (\text{en kW}) = (130 - 3 \cdot T_{AP} + 0{,}2 \cdot T^2_{AP}) \cdot (S_{VP}/1000)$$

Dónde T_{AP} es la temperatura del agua de la piscina (°C) y S_{VP} es la superficie libre del vaso de la piscina (m^2). El cálculo de las pérdidas térmicas diarias del vaso (PT_{VP} en kWh) para las condiciones establecidas de T_{AP} = 24ºC y considerando que durante las 12 horas que se utiliza la manta térmica las pérdidas térmicas se reducen al 20% de las totales, se pueden determinar por la fórmula:

$$PT_{VP}\ (\text{kWh}) = 2{,}40 \cdot S_{VP}\ (m^2)$$

La demanda de energía térmica correspondiente al agua de reposición (DE_{REP}) producida por las necesidades de renovación es la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura desde la temperatura de entrada de agua fría (T_{af}) hasta la temperatura de uso (24ºC) de la masa de agua renovada que normalmente es el 1% del volumen del vaso V_{VP}, aunque en algunos casos se considera hasta el 5% según lo establezca la normativa de cada administración autonómica; las características del agua están representadas por su densidad ρ y por el calor específico c_p a presión constante y se calcula mediante la expresión:

$$DE_{REP} = 0{,}01\ .\ V_{VP}\ .\ \rho\ .\ c_p\ .(24 - T_{af})$$

La demanda total diaria de energía térmica de la piscina sería la suma de ambas:

$$DE_{VP} = PT_{VP} + DE_{REP} = 2{,}40 \cdot S_{VP}\ + 0{,}01\ .\ V_{VP}\ .\ \rho\ .\ c_p\ .(24 - T_{af})$$

La demanda térmica de una instalación de calentamiento del agua de piscina se puede considerar como una instalación mixta que, por un lado, calienta el agua en el vaso de piscina para compensar sus pérdidas térmicas y, por otro, es un sistema para producción de agua caliente que atiende la demanda energética del agua de reposición. Si adicionalmente existe un consumo de agua caliente para duchas, vestuarios, etc. deberá calcularse la demanda de energía conforme se estableció en el capítulo 7 que debe agregarse a la anterior. El dimensionado y diseño de la instalación solar térmica siempre se realizará para atender ambas demandas y no es recomendable proyectar dos instalaciones independientes destinadas una al calentamiento del vaso y otra a la producción de ACS.

10.3 Configuración de las instalaciones

Aunque la configuración deba ser analizada para cada caso particular, a continuación, se dan algunos criterios generales que pueden ser considerados.

10.3.1 Instalaciones convencionales de calentamiento.

La instalación convencional para realizar el calentamiento del vaso y climatizar el ambiente interior estará diseñada y calculada para proporcionar la potencia necesaria que permita satisfacer toda la demanda térmica calculada independientemente a la aportación de energía térmica de la instalación solar de forma que sea el sistema de energía auxiliar que garantice el continuo mantenimiento de las condiciones de confort. El generador de calor habitualmente será una caldera, de combustible o biomasa, bomba de calor o deshumectadora que también se utilizará para la producción de agua caliente sanitaria.

El intercambio de calor al agua de la piscina se puede realizar en una derivación de la circulación del circuito de tratamiento y depuración (A) o mediante un circuito específico de calentamiento (B):

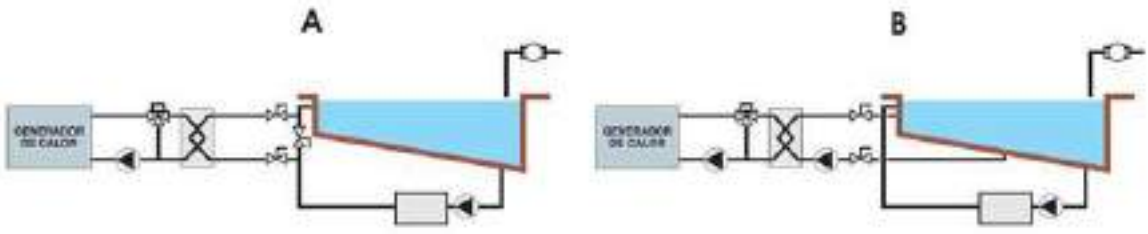


Figura 106: Sistemas de calentamiento convencional del agua del vaso de piscina utilizando una parte del caudal del circuito de depuración (A) o un circuito independiente (B)

Cada solución tiene sus ventajas e inconvenientes. Cabe destacar que la solución A es normalmente más utilizada en piscinas de pequeño tamaño y de uso privado mientras que la solución B es más utilizada en piscinas de gran tamaño y de uso público. En el primer caso, y dado

que el caudal del circuito de depuración es mucho mayor que el necesario para el circuito de calentamiento, se acostumbra a realizar un *by-pass* que permita utilizar en el intercambiador el caudal que se considere necesario; es básico señalar la necesidad de que la bomba de depuración esté en funcionamiento mientras sea necesario el calentamiento.

En cualquiera de los casos, normalmente el aporte de calor al intercambiador estará controlado por una válvula de tres vías en el circuito primario cuya actuación puede estar controlada por la temperatura de entrada al secundario del intercambiador.

El caudal del circuito de calentamiento de piscina deberá ser lo suficientemente elevado como para que la temperatura de salida del mismo no produzca efectos no deseados en los materiales ni sensaciones no confortables en los usuarios a su entrada al vaso de la piscina y la posición de las bocas de impulsión en el vaso procurará la mezcla del agua y evitará que se produzca estratificación.

10.3.2 Integración de la instalación solar

La conexión de la instalación solar para el calentamiento del vaso de la piscina se realiza integrando el intercambiador de calor solar (IS) en el mismo circuito de calentamiento del agua de piscina lo que se podrá hacer mediante el conexionado en serie, y previo al intercambiador auxiliar del generador convencional (IC), o mediante el montaje en paralelo de ambos intercambiadores.

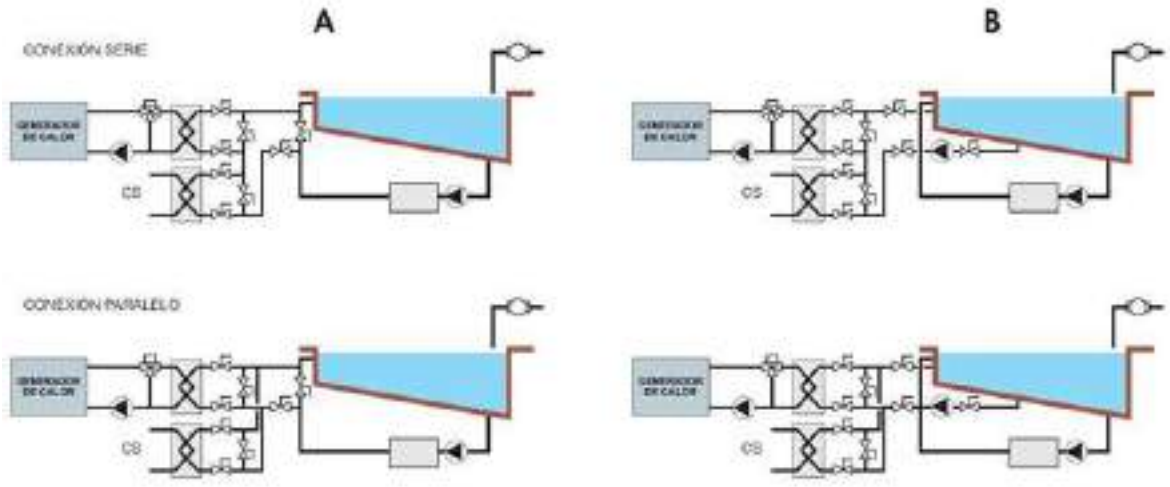


Figura 107: Opciones de conexionado de los intercambiadores de calentamiento, solar y convencional, en serie o en paralelo, para los dos casos de utilizar circuito de depuración (A) o circuito independiente (B)

En la conexión en serie se realiza el calentamiento del agua de la piscina haciéndola pasar por los circuitos secundarios, en primer lugar, del intercambiador solar (IS) y después del intercambiador de caldera (IC). El salto de temperatura en el intercambiador convencional complementa al del intercambiador solar.

En el caso de la conexión en paralelo, el caudal a calentar se divide en dos circuitos uno para el calentamiento solar y otro para el convencional. Los saltos de temperatura son independientes y admiten establecer prioridades y regulaciones diferentes para cada intercambiador.

10.3.3 Integración de la instalación solar con recuperadores de calor

En las instalaciones de tratamiento de aire con recuperación de calor se utiliza el evaporador de la bomba de calor para la función de deshumectación del aire ambiente de la piscina mientras que se puede aprovechar el calor del condensador de la bomba de calor para el calentamiento del aire ambiente o del agua del vaso de la piscina, o bien para precalentar el agua caliente sanitaria.

La recuperación de calor se puede realizar directamente con equipos expresamente diseñados para estas funciones o mediante climatizadora y bombas de calor agua-agua. En este último caso el proceso utiliza como batería fría una batería de agua del climatizador, alimentada de una planta enfriadora de agua con condensación por agua.

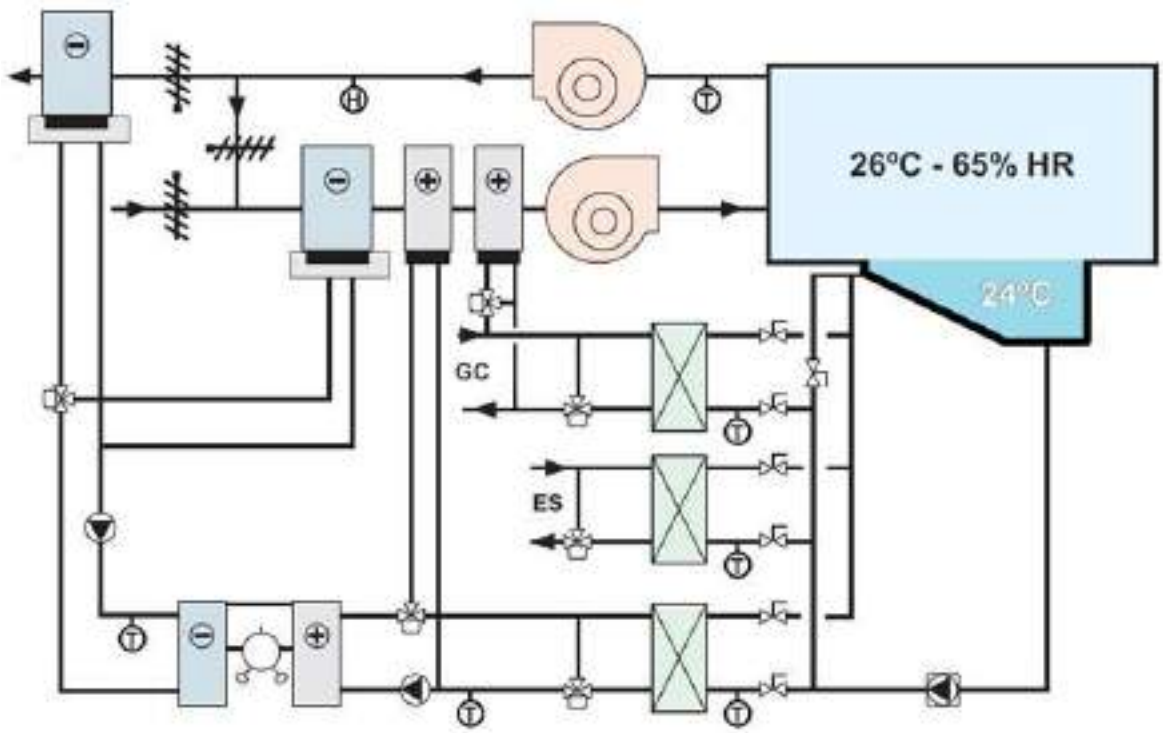


Figura 108: Esquema de instalación de calentamiento del vaso con recuperador de calor, energía solar y generador de calor

El esquema adjunto es un ejemplo de instalación con climatizador y equipo bomba de calor agua-agua en el que existe recuperación de calor del aire de extracción y deshumectación del aire de entrada mediante baterías de agua fría conectadas al circuito de agua del evaporador del equipo bomba de calor. En este caso, la potencia térmica del condensador se utiliza para el calentamiento del ambiente mediante una batería de calor y para calentamiento del agua del vaso mediante un intercambiador.

Si el dimensionado de estos equipos se realiza para la potencia disponible en el evaporador, la potencia de recuperación no es suficiente para abastecer todas las demandas térmicas y es habitual que se requiera mayor potencia de calentamiento. En ese caso se debe disponer de otra batería y otro intercambiador, que serán alimentados por un generador de calor (GC), para completar la potencia total necesaria. Adicionalmente y para reducir el consumo de energía del generador de calor, se utiliza un intercambiador de calor alimentado por la energía solar térmica (ES). Aunque no se incluya en el esquema anterior, las instalaciones pueden estar también destinadas, además de al calentamiento de la piscina, a la producción de agua caliente sanitaria.

El acoplamiento de la instalación solar en el circuito de calentamiento se puede realizar usando las conexiones en serie o paralelo antes indicadas aunque se recomienda el acoplamiento en paralelo que no condiciona, de entrada, el funcionamiento de ninguno de los aportes.

10.3.4 Observaciones sobre la acumulación y la potencia de pérdidas.

Aunque en muchas ocasiones se hace referencia a la gran capacidad de la piscina como acumulador térmico, lo cierto es que dicha capacidad está limitada, en la práctica, por los estrechos márgenes de las temperaturas de consigna (normalmente de 0,5 a 1ºC) y, aunque el volumen de agua de la piscina sea grande, la cantidad de energía que se puede acumular con ese margen de temperaturas no lo es. Esa pequeña variación admisible de la temperatura está relacionada con la necesidad de mantener unas condiciones de confort uniformes para que los usuarios dispongan siempre de la misma temperatura en la piscina. No se debe permitir que la piscina esté a mayor temperatura los días de mayor capacidad de aporte, por elevada radiación y temperatura ambiente, y a menos temperatura los días con menos aporte energético.

Por otro lado, y dado que la temperatura, humedad del ambiente y la temperatura del agua del vaso de la piscina son uniformes, es importante destacar que las pérdidas térmicas del agua de la piscina se mantienen sensiblemente constantes ya que únicamente estarán afectadas por la operación y uso de la misma.

En el gráfico adjunto se muestra un ejemplo de la evolución de la temperatura un vaso de piscina que se mantiene siempre entre 25 y 25,5ºC. La temperatura se podrá mantener entre esos valores gracias a un sistema con generador de calor convencional o se podrá ajustar a la temperatura mínima si se dispone de una instalación modulante que pueda aportar continuamente el calor que compense las pérdidas.

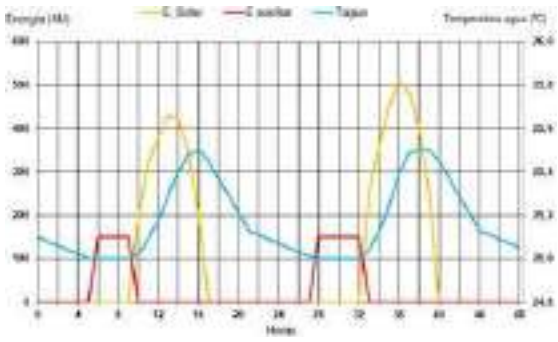


Figura 109: Evolución temporal de temperaturas del agua del vaso, de la energía solar y la auxiliar

En el caso de la instalación solar, si aporta mayor potencia solar térmica que la de pérdidas, la piscina se empezará a calentar por encima del mínimo y para aprovechar el calentamiento solar al máximo se dejará que evolucione hasta el máximo admisible (en este caso, 25,5ºC como se observa en el gráfico). Si se alcanza el máximo la

instalación deberá dejar de calentar y estaría disponible para otras demandas o entraría en fase de estancamiento. Si el aporte solar térmico es de escasa potencia de calentamiento e inferior a la potencia de pérdidas será necesario complementarlo continuamente con la potencia auxiliar del generador de calor.

Es imprescindible analizar la variación a lo largo de las horas del día y la evolución durante el año, tanto de la potencia de pérdidas como la de captación ya que, cuando la potencia nominal de captación sea superior a la de pérdidas, se alcanzará la temperatura máxima del vaso y, si no hay otras demandas, sería necesario utilizar un sistema de acumulación adicional a la propia piscina para aprovechar la energía solar.

Aunque para realizar un cálculo preciso se debe estudiar cada caso en particular y en detalle, se aportan algunas observaciones y datos que pueden servir de referencia para concretar las consideraciones anteriores:

- Aunque la potencia de pérdidas térmicas no sea constante, es muy estable y a muchos efectos se puede estimar su orden de magnitud en 300 W/m^2 de superficie del vaso.
- La potencia de captación es variable y en las horas centrales del día puede llegar a ser del orden de 600 W/m^2 si se supone una irradiancia de 1.000 W/m^2 y un rendimiento del 60%.
- De forma aproximada se puede deducir que si la superficie de captación es inferior al 50% de la superficie del vaso de la piscina la instalación solar tendrá pocas posibilidades de calentar el agua de la piscina por encima del régimen de pérdidas. Por el contrario, si la superficie de captación es superior al 50% de la superficie del vaso, la situación es la contraria y la instalación solar calentará el agua del vaso hasta que se elimine el calentamiento cuando llegue al límite superior de la temperatura de consigna. En el primer caso no sería necesario un acumulador adicional a la propia piscina, pero en el segundo caso habría que estudiar con detalle la conveniencia de disponer de acumulación complementaria para integrarla con las restantes demandas o con las necesidades de reposición de agua del vaso.
- Adicionalmente, aunque relacionado con todo lo anterior, se deben estudiar los niveles alcanzables de contribución solar que, en primera aproximación, podrían ser bastante bajos en el primer caso y elevados en el segundo.

10.4 Diseño y dimensionado de sistemas y componentes

10.4.1 Circuito primario y acumulación

En lo referente al sistema de captación, y de diseño del circuito primario, no hay diferencias entre instalaciones para calentamiento de piscinas y de agua caliente sanitaria. El sistema de captación deberá estar diseñado para aportar toda su potencia y energía a cualquiera de las dos demandas: agua caliente sanitaria y piscina. Para ello, la circulación del fluido en el circuito primario, cuidando el equilibrado entre los dos circuitos de demanda, se puede resolver:

- Con dos bombas, cada una de ellas conectada al primario del intercambiador de la respectiva demanda abastecida cuidando que se mantengan las condiciones de funcionamiento óptimas en el campo de captadores.
- Con una bomba conectada al campo de captadores y una válvula de tres vías, que debe ser de acción todo-nada, que seleccione la demanda objetivo en función de la estrategia de control.

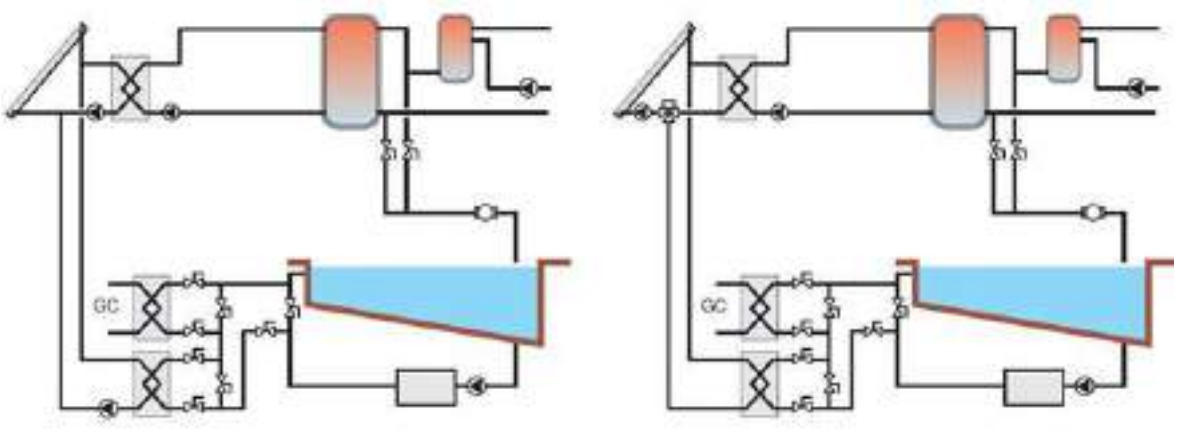


Figura 110: Integración de la producción de ACS y el calentamiento del vaso de la piscina con un único sistema de captación con bombas de primario asociadas a las demandas o una única bomba de primario y válvula de tres vías

10.4.2 Capacidad de acumulación

La capacidad total de acumulación de la instalación solar será la suma de los volúmenes necesarios para la producción de ACS y para el agua de reposición de la piscina, aunque, conforme se indicó anteriormente en función del dimensionado del sistema de captación, será importante estudiar detalladamente las condiciones de funcionamiento y planificar los procedimientos para renovación del agua de reposición.

En el caso de instalaciones mixtas, de ACS y piscina, no sería aplicable la limitación de la relación V/A establecida del apartado 6.2.1 y las soluciones del sistema de acumulación se podrán realizar en acumuladores de consumo o de inercia.

10.4.3 Dimensionado del sistema de intercambio

Los intercambiadores solares para calentamiento del vaso se dimensionarán de forma que se pueda transmitir al secundario de piscina toda la potencia térmica del campo de captadores.

Para el dimensionado se tendrán en cuenta los siguientes requisitos:

- La potencia de diseño será la definida para el campo de captadores, y no inferior a 525 W/m^2
- El caudal nominal del circuito primario viene definido por el sistema de captación. En el diseño, se considerará una temperatura de entrada de primario del intercambiador de 50ºC.

- El caudal nominal del circuito secundario será siempre mayor que el del primario lo que siempre mejorará el proceso de intercambio de calor; habitualmente se utilizan valores del orden del doble de caudal que el del primario. Se considerará una temperatura de entrada de 24ºC.

En el diseño de la instalación se tendrá en cuenta que la temperatura de salida del fluido del circuito secundario no podrá ser superior a 40ºC.

Si el esquema de funcionamiento de la instalación es con derivación del circuito de depuración, la mezcla del caudal de depuración con el de calentamiento deberá proporcionar una temperatura de impulsión que no supere en más de 5ºC la temperatura de consigna del vaso para no generar grandes diferencias de temperatura en el interior del vaso.

10.4.4 Particularidades de los materiales

Los intercambiadores pueden ser de placas o tubulares y se adoptarán especiales precauciones con la calidad de los aceros inoxidables de los intercambiadores. En el caso de calentamiento de piscinas de agua salobres o tratadas con sales los intercambiadores de calor serán de titanio.

El circuito secundario de calentamiento de piscina se realizará siempre con los materiales plásticos habitualmente utilizados en piscinas climatizadas. Como ya se indicó, las tuberías del circuito secundario solar deben soportar las temperaturas y presiones extremas del circuito.

Es necesario indicar que para que el intercambiador de calor no alcance elevadas temperaturas la circulación en el secundario nunca debe estar parada en los momentos que pueda haber elevadas temperaturas en el primario. En cualquier caso, interesa adoptar precauciones para que las tuberías cercanas al intercambiador puedan soportar mayores temperaturas que el resto del circuito, por ejemplo utilizando tuberías metálicas en los tramos próximos a sus conexiones.

10.4.5 Sistema de control

Dado que las temperaturas de funcionamiento de los secundarios de los dos intercambiadores (de ACS y piscina) pueden ser distintas, las condiciones de funcionamiento del primario pueden sufrir variaciones bruscas, por lo que los cambios entre unas condiciones de trabajo y otras deberían estar organizadas según una correcta estrategia de control.

Las estrategias de control habitualmente más utilizadas son de las siguientes:

- Prioridad agua caliente sanitaria: sólo se desviará energía solar hacia la piscina cuando se garantice un aporte mínimo para agua caliente sanitaria.
- Prioridad máximo aprovechamiento energético: se utilizará la energía solar siempre en la aplicación con temperatura de trabajo menor para maximizar el rendimiento de la instalación, tal y como se vio en el apartado 6.7.1. A estos efectos, se debe señalar que la temperatura de referencia del ACS es la temperatura fría que puede variar desde 10-15 ºC hasta 40-50ºC por lo cual unas veces estará más fría que la de la piscina y otras más caliente.

022

10.5 Climatización de piscinas descubiertas

Cuando una piscina descubierta, o sea, situada al aire libre, dispone de un sistema para calentar el agua del vaso, puede utilizarse durante más tiempo a lo largo del año si la elevación de la temperatura del agua la acerca a la de confort y va acompañada, naturalmente, por unas condiciones ambientales mínimamente favorables. El diseño del sistema de calentamiento del agua mediante energía solar puede realizarse con diferentes criterios entre los que se destacan:

- Ampliación de la temporada de baño de verano aumentando la temperatura del agua del vaso a finales de primavera y principios de otoño para alcanzar una temperatura del agua que haga el baño más agradable. Normalmente se utiliza en piscinas privadas en las que no exista ninguna condición de mantener un nivel de temperatura.
- Mantenimiento del agua de la piscina a una determinada temperatura durante todo el año o por temporadas. Normalmente esta solución es utilizada en establecimientos turísticos abiertos al público que lo ofrecen como servicio complementario y pueden ofrecer el compromiso de mantener un determinado nivel de temperatura.

En cualquier caso, en el diseño del calentamiento de piscinas descubiertas see debe resaltar:

- La importancia de **aprovechar la ganancia solar directa** para lo que es necesario estudiar la situación del vaso y diseñar las superficies expuestas para que su color y elevada absorbancia permita captar la radiación incidente.
- El **uso de una manta térmica** durante los periodos nocturnos y de no utilización para evitar la evaporación y reducir todas las pérdidas térmicas que son mucho más significativas que en recintos cerrados y climatizados
- La reglamentación aplicable establece que se puede utilizar **exclusivamente fuentes de energías renovables**, o de calor residual.

Existen varias formas de calentar las piscinas con renovables: energía solar térmica, caldera de biomasa, bomba de calor (aerotérmicas o geotérmicas) que cumplan los requisitos establecidos como fuentes renovables.

La instalación solar térmica para la climatización de piscinas descubiertas puede ser diseñada:

- Con **captadores solares de material plástico**, en general de polietileno o polipropileno de color negro, sin carcasa, ni cubierta ni aislamiento posterior. Normalmente se hace circular por el interior de los captadores directamente el agua de la piscina que puede ser movida por la misma bomba del circuito de depuración de la piscina y no existe necesidad de intercambiador.
- Con **captadores solares planos**, en una instalación utilizada para ACS y calefacción, que aprovechan la temporada sin calefacción para proporcionar una temperatura del agua de piscina más elevada o, en otras ocasiones, exclusivamente destinados para el calentamiento de piscina que, si incluye el compromiso de mantener un determinado nivel de temperatura

estará complementada la instalación solar con otra fuente de energía renovable como biomasa o bomba de calor.

En relación con el cálculo de la demanda de energía térmica, en piscinas al aire libre hay que tener en cuenta que las pérdidas de calor son superiores a las de las piscinas cubiertas porque las variables del entorno, que corresponden a las condiciones meteorológicas exteriores, intervienen en todas ellas afectando fundamentalmente a:

- La evaporación del agua que está muy influenciada por la intensidad del viento y por la temperatura y humedad ambiente (o la temperatura de rocío como equivalente).
- La radiación hacia la esfera celeste durante las horas nocturnas.
- La convección hacia el ambiente que depende de la temperatura del aire.
- La conducción a través de las paredes generalmente en contacto con el terreno, así como el arrastre y salpicaduras naturalmente

Dada la gran variabilidad de los parámetros que entran en juego, los cálculos pueden resultar muy laboriosos aunque existe ecuaciones de carácter empírico, como la indicada a continuación, cuyos resultados han sido validados en numerosas instalaciones con resultados satisfactorios y que proporciona las pérdidas térmicas P (en W/m^2) por unidad de superficie de la lámina de agua en función de la velocidad del aire V (en m/s) y de la diferencia entre la temperatura del agua de la piscina T_{AP} y la del ambiente T_{AMB} por:

$$P = (28 + 20\ V) * (T_{AP} - T_{AMB}) / 1.000$$

Existe por tanto una dependencia directa con la temperatura del agua y las condiciones climáticas del lugar de instalación por lo que para realizar el dimensionado y evaluar las prestaciones de estas instalaciones los usuarios necesitan un asesoramiento experto en cada caso concreto. A esos efectos se debe indicar que en el caso de instalación para ampliar la temporada de baño que no disponga de sistema auxiliar, la temperatura media del agua de la piscina es un valor objetivo, pero no está garantizada ya que puede diferir significativamente según sea la velocidad y temperatura del aire.

022

11 Sistemas de calefacción solar

11.1 Análisis de las demandas térmicas en edificios

En un edificio, además de las demandas térmicas correspondientes al agua caliente sanitaria y al calentamiento del agua de piscina, en los casos en que exista, puede haber demandas térmicas para climatización, tanto calefacción como refrigeración, del ambiente interior. Estas demandas energéticas pueden ser cubiertas por distintos tipos de instalaciones abastecidas a su vez por diversas fuentes de energía entre las que se encuentra la energía solar térmica.

En este capítulo se analizan, en primer lugar, las condiciones generales de las diferentes demandas térmicas como introducción, en segundo lugar, se profundizará en las instalaciones de calefacción solar y, por último, que serán específicamente analizadas en el siguiente capítulo, las de refrigeración solar.

El análisis y la descripción se centra en las instalaciones solares térmicas de calentamiento de líquido que son las que habitualmente más se utilizan, aunque puede haber otro tipo de soluciones, como, por ejemplo, captadores solares de aire, captadores solares híbridos etc. cuyo uso no está muy extendido en España y quedan fuera del alcance de esta guía.

En el análisis de las condiciones generales de las demandas de energía se analizan, en los siguientes subapartados, dos factores muy significativos relacionados con las temperaturas de trabajo de las demandas de energía y la importancia relativa de las diversas demandas destinadas a calefacción, refrigeración y ACS, así como su evolución temporal.

11.1.1 Temperaturas de trabajo de las diferentes demandas térmicas de los edificios.

Las temperaturas de uso correspondientes a las distintas demandas de energía en los edificios se podrían resumir, con valores aproximados, en las siguientes:

- agua caliente sanitaria entre 40 y 60ºC,
- agua de piscinas climatizadas entre 24 y 30ºC,
- aire ambiente de calefacción unos 20ºC, y
- aire ambiente de refrigeración, unos 24ºC.

Para alcanzar y mantener esas temperaturas, las instalaciones térmicas utilizan generadores de calor o frío para producir el calentamiento o enfriamiento y diversos tipos de unidades terminales como sistemas de transferencia de calor que pueden utilizar fluidos a otras temperaturas intermedias.

Si se analizan las instalaciones que transfieren calor mediante circuitos cerrados que utilizan agua como fluido de trabajo, las unidades terminales son sistemas de intercambio de calor agua-agua o agua-aire, siendo los más habituales los siguientes:

- Para ACS y calentamiento de piscinas se utilizan intercambiadores de calor con temperaturas en primario entre 40 y 90ºC.
- Para calefacción: suelo o techo radiante, fancoils o climatizadoras y radiadores que pueden ser abastecidos por circuitos de agua con temperaturas entre 40 y 90ºC.
- Para refrigeración: suelo o techo refrescante y fancoils o climatizadoras alimentados por circuitos de agua con temperaturas entre 5 y 15ºC.

Para cualquiera de las demandas, se debe realizar una adecuada selección de la temperatura del fluido para buscar el equilibrio entre los dos efectos que se producen al aumentar la diferencia de temperaturas de trabajo y estos son, por un lado, que disminuyen las dimensiones y los costes de las unidades terminales, pero, por otro, aumentan las pérdidas térmicas de la instalación. Algunos ejemplos:

- Los intercambiadores de calor de ACS y piscina son más grandes y costosos cuanto más bajas sean las temperaturas de primario ya que requerirán caudales mayores para transferir la misma cantidad de energía.
- Los sistemas de suelo/techo radiante requieren reducir la separación de tubos a medida que se disminuye la temperatura de alimentación lo que encarece y complica su instalación.
- Los tamaños y costes de fancoils y climatizadoras para calefacción son mayores si trabajan con fluidos a 60ºC que si los fluidos están a 80ºC ya que se requiere mayor superficie de intercambio para transferir la misma cantidad de energía.
- Los tamaños y costes de fancoils y climatizadoras para refrigeración son mayores si trabajan con fluidos a 10ºC que si los fluidos están a 7ºC

La forma en la que estas temperaturas afectan a los generadores de calor o frío depende de la tecnología empleada ya sean calderas, equipos frigoríficos bombas de calor, energía solar, etc. pero normalmente disminuyen el rendimiento global.

En cualquier caso, y desde el punto de vista de la incorporación de una instalación solar y del rendimiento global, cuanto menores sean las diferencias de las temperaturas de trabajo las instalaciones solares serán más eficientes y menores los costes de explotación compensando los superiores costes de inversión.

En el caso de los sistemas de calefacción, el uso de emisores de alta temperatura como radiadores que trabajan a 80 o 90 ºC permite disminuir las dimensiones y los costes de las unidades terminales, pero aumentan significativamente las pérdidas térmicas de la instalación. El uso de emisores de calefacción de baja temperatura, tales como suelos radiantes o fancoils permite que la instalación de energía solar trabaje a su máximo rendimiento, así como que la energía captada y almacenada en invierno pueda utilizarse directamente en los sistemas de distribución.

11.1.2 Demandas de energía térmica en los edificios y su evolución temporal

La demanda de energía para climatización de un edificio y su evolución en el tiempo está directamente relacionada con las condiciones climáticas locales y, tanto para calefacción como para refrigeración, será fundamental la calidad térmica del edificio y sus instalaciones. Este nivel de calidad se produce, a veces, por el resultado de aplicar las mayores exigencias de la normativa

de construcción que se establecen por la necesidad de alcanzar determinados objetivos de eficiencia energética y de descarbonización del sector residencial y, otras veces, por voluntad y decisión del usuario para minimizar sus consumos energéticos y por la mentalidad de reducir los impactos sobre el medioambiente.

Por cualquiera de las razones, se está introduciendo una reducción significativa en las demandas de climatización de los edificios con un significativo aumento de la calidad térmica de los cerramientos, mayores niveles de aislamiento en la envolvente, limitaciones de puentes térmicos, etc. con lo que se está produciendo una significativa reducción de la demanda y el consumo de energía.

Para que el aprovechamiento de la energía solar sea óptimo y la instalación dimensionada sea económicamente viable, es recomendable adoptar medidas de eficiencia energética (mejora de la envolvente, incorporación de emisores de baja temperatura, etc.) que supongan una disminución cuantitativa de la demanda de calefacción del edificio.

La tendencia creciente a reducir la demanda de climatización, bien por aplicación de la normativa o debido a la reforma voluntaria del edificio como se ha visto anteriormente, hace que el peso de la demanda de ACS sobre la demanda de calor total sea cada vez mayor.

Como valores medios de referencia de lo que supone el consumo de energía para climatización frente al de ACS en el sector residencial se puede indicar que en edificios antiguos con bajos niveles de aislamiento éste puede suponer un consumo 10 veces superior sin embargo, en edificios más recientes con aislamiento térmico adecuado a normativa, el consumo de energía puede ser del orden de 5 veces superior y, en el caso de edificios de bajo consumo energético o bioclimáticos, el consumo puede ser entre 2 y 3 veces incluso menos.

En los nuevos proyectos de edificios de energía casi cero, aunque depende del clima, el consumo de energía es del mismo orden de magnitud.

Hay que resaltar que los valores relativos de las diferentes demandas son fundamentales para evaluar las prestaciones de las instalaciones solares asociadas ya que cada una de ellas incorpora diferencias significativas en la evolución diaria y anual que afectan al dimensionado y al diseño de la instalación solar. Por ejemplo, para el sector residencial:

Figura 111: Ejemplo típico de la variación anual de las demandas de ACS, calefacción y refrigeración

- La demanda de ACS es relativamente constante a lo largo del año, pero diariamente tiene perfiles característicos relacionados con las costumbres del usuario; normalmente puntas de consumo por la mañana y por la noche.
- La demanda de calefacción se produce en los meses de invierno, que en España puede durar entre 2 y 7 meses y con intensidades proporcionales a las mínimas temperaturas de la zona

climática. Diariamente las puntas de demanda suceden por la tarde-noche y a primeras horas de la mañana.

- La demanda de refrigeración se produce en los meses de verano y puede durar hasta 4-5 meses y con intensidades también proporcionales a las máximas temperaturas de la zona climática. Diariamente las demandas puntas suceden a primera hora de la tarde.
- La importancia relativa de la refrigeración o de la calefacción, que sobre todo depende de la zona climática, también introduce diferencias a considerar en el diseño de la instalación solar.

11.2 Uso de energía solar térmica para diferentes aplicaciones

Aunque hay que estudiar en detalle cada caso particular, se aportan algunos criterios y números índices relacionados con el dimensionado y prestaciones de las instalaciones solares térmicas.

Suponiendo un consumo normal en una vivienda tipo en España, se representa en el gráfico adjunto la demanda de energía para ACS y el aporte de una instalación solar térmica que alcanza una contribución solar del 70%. Aunque la demanda y el aporte solar son relativamente constantes a lo largo del año, es muy evidente la diferencia estacional caracterizada por un aporte solar casi total en verano y la necesidad de complementar con un sistema auxiliar en invierno.

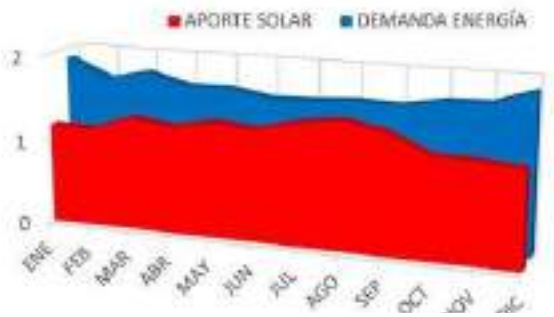


Figura 112: Variación anual de la demanda de energía para ACS y el aporte solar

Para analizar la integración de la demanda de calefacción, en el gráfico adjunto se ha introducido un cambio de escala para añadir la demanda de calefacción durante los meses de invierno y se deben tener en cuenta dos aspectos fundamentales:

- Que sobre la demanda de agua caliente que es relativamente constante a lo largo del año, la de calefacción es significativamente estacional.
- Aunque la demanda de energía total para calefacción no sea muy superior a la de ACS, las diferencias mensuales son significativas dado que el periodo de calefacción no dura todo el año como las de ACS.

Figura 113: Variación anual de la demanda de energía y el aporte solar de baja contribución para ACS y calefacción

Se supone que la energía solar aportada al ACS que supone un 70% de contribución solar anual corresponde, por ejemplo, a una instalación solar de unos 4 m^2. Para la instalación de ACS y

calefacción habría que realizar una instalación solar de tamaño unas 2 ó 3 veces más grande (de unos 8 a 12 m^2) lo que permitiría una contribución solar total, para ACS y calefacción, del 20 al 25%. Puede observarse que el resultado de incrementar el tamaño de la instalación solar cubre completamente la demanda de ACS en el periodo sin calefacción, pero los aportes solares no aumentan en la proporción correspondiente en invierno. Se trataría de una instalación para calefacción de baja contribución solar y el sistema auxiliar convencional solamente funcionaría en la temporada de calefacción.

Si se quisiera conseguir una alta contribución solar, existe la posibilidad de reducir el desfase temporal que existe entre la demanda de energía y los aportes solares. Para ello, se pueden plantear como posibles soluciones las dos siguientes:

- El uso de un sistema de acumulación estacional que pueda almacenar durante el verano la energía que se demande en invierno, de forma parcial o total, lo que requiere el adecuado dimensionado de los sistemas de captación y de acumulación (gráfico de la izquierda).
- Incorporar la demanda de refrigeración en verano de forma que, aunque aumente la demanda total, permite el uso de la instalación solar durante casi todo el año (gráfico derecha).

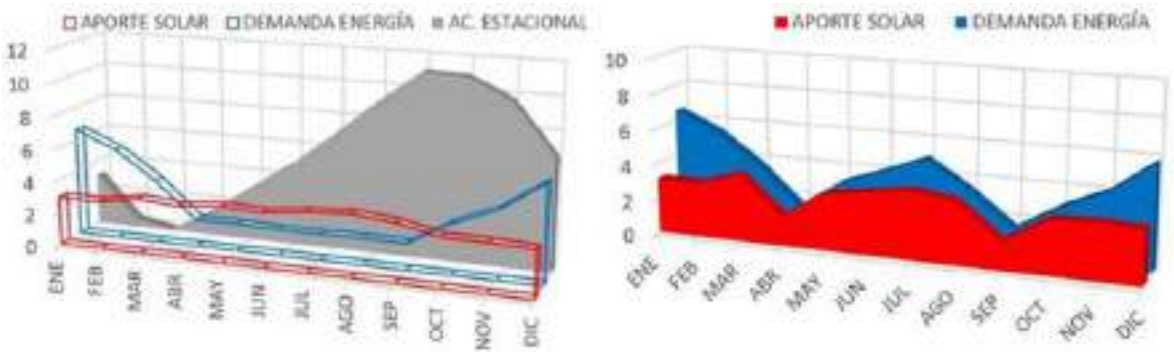


Figura 114: (Izq.) Variación anual de la demanda de energía para ACS y calefacción de una instalación de alta contribución solar con acumulación estacional. (Der.) Variación anual de la demanda de energía para ACS, calefacción y refrigeración y aporte solar de una instalación de alta contribución solar

En ambos casos, es necesario aumentar el tamaño del sistema de captación solar que se puede estimar hasta un tamaño del rango de 20 a 30 m^2.

En resumen, para el diseño de instalaciones solares térmicas de aplicación a las distintas demandas térmicas de los edificios, superando las instalaciones solares para solucionar la demanda de ACS, se pueden plantear como soluciones tecnológicamente muy fiable y económicamente muy rentables las siguientes:

1. Es necesario implantar **medidas de ahorro y eficiencia energética** antes de realizar instalaciones solares para calefacción
2. Se pueden diseñar instalaciones solares térmicas **de baja contribución solar** que garanticen la no utilización del sistema auxiliar durante el periodo sin calefacción.
3. Realizar instalaciones solares térmicas **de alta contribución solar** requiere soluciones específicas como son la acumulación estacional o la climatización solar aplicada a la calefacción y la refrigeración.

11.3 Dimensionado y cálculo de prestaciones

11.3.1 Diseño de los sistemas de ACS y calefacción

Según se ha indicado y sin considerar las instalaciones de refrigeración, el diseño de los sistemas solares para ACS y calefacción puede tener dos objetivos bien diferentes que requieren soluciones técnicas distintas:

- **Sistemas de baja contribución solar**, normalmente entre el 20 y el 40% de la demanda que utiliza acumulación solar para almacenar la energía equivalente a la demanda de unos pocos días (normalmente uno o dos días). Se consiguen estas soluciones en edificios con aislamiento térmico normal ampliando, en relación con la instalación necesaria para ACS, la superficie de captación y el volumen de acumulación para reducir el consumo energía de calefacción, pero, sobre todo, para asegurar el suministro de ACS en la temporada sin calefacción. Si se diseña adecuadamente incluso se pueden compensar las pérdidas térmicas de los circuitos de recirculación de ACS.
- **Sistemas de alta contribución solar**, normalmente entre el 40 y el 80% de la demanda, que acumulan calor durante el verano mediante acumuladores estacionales con la idea de aprovecharlo en la temporada de calefacción. Si se diseña un edificio de bajo consumo energético se podrá realizar una instalación con la superficie de captación situada en el propio edificio y si la acumulación estacional se instala en el interior del edificio se podría aprovechar sus pérdidas térmicas para el propio edificio.

En lo que sigue se hace referencia más detallada al cálculo y diseño de los sistemas mixtos de calefacción y ACS de baja contribución solar.

11.3.2 Demanda de energía

El cálculo de la demanda de energía para calefacción también se puede realizar con métodos de cálculo de simulación, como TRNSYS o EnergyPlus, o por métodos simplificados.

La demanda de energía de calefacción para **métodos de simulación** requiere la completa definición del edificio y aunque depende del método de cálculo de que se trate, se relacionan algunos de los datos de partida que normalmente se requieren y se remite a la documentación de referencia de los métodos para su análisis más detallado:

- Datos de entrada que definen la envolvente del edificio entre las que destacan:
  - Características de los cerramientos en función de orientaciones: superficie total opaca y transmitancia de los cerramientos,
  - Caracterización de los puentes térmicos y efectos en la transmitancia
  - Superficie total de huecos y transmitancia del hueco incluyendo vidrio y marco,
  - Factor solar del vidrio
  - Sombreado adicional
  - Caracterización de la inercia térmica de la vivienda
- Datos de ocupación, características de uso, temperatura interior y ganancias internas (calor generado por las personas, equipos e iluminación)

- Caracterización de la ventilación requerida
- Características de radiación, temperatura y humedad de la zona climática

El **método simplificado** más utilizado es el de los grados-día que permite estimar la demanda por transmisión en base a las diferencias de temperatura de referencia, normalmente se utiliza 18 ºC, y la temperatura media exterior diaria en un determinado periodo, normalmente se utiliza periodos mensuales. El cálculo de la demanda de energía por transmisión se realiza en base a un coeficiente global de transmitancia de calor del edificio. A la demanda por transmisión debe sumarse la demanda de energía para ventilación.

Se debe destacar la importancia del **comportamiento del usuario** en el cálculo de las demandas y consumos de energía tanto en el control de temperaturas en las diferentes habitaciones como en la gestión del resto de factores del edificio y sus instalaciones: cargas internas (iluminación, frigoríficos y otros aparatos eléctricos), uso pasivo de la energía solar, gestión de ventilación, movimiento de aire interior, sistemas de protección solar, etc.

11.3.3 Cálculo de la instalación solar

Asociado a la precisión requerida, a los recursos disponibles y al cálculo de la demanda de energía, el dimensionado de las instalaciones solares y el cálculo de prestaciones energéticas se pueden realizar utilizando métodos de cálculo de simulación y simplificados:

- Como métodos de simulación, es posible utilizar el TRNSYS o el programa ACSOL ya mencionados en la descripción de métodos de cálculo para instalaciones de ACS (capítulo 7)
- Como método simplificado, el mismo método f-Chart sigue siendo válido en las condiciones establecidas en el capítulo 7 y, en este caso, sumando las demandas mensuales de ACS y de calefacción.

11.4 Configuraciones de las instalaciones de acs y calefacción

En las aplicaciones de ACS y calefacción, las primeras observaciones relacionadas con el diseño son, en primer lugar, que el campo de captadores debe poder utilizarse indistintamente para ambas aplicaciones y que la instalación solar debe trabajar calentando el retorno del sistema de calefacción.

Cuando se empezaron a realizar las primeras instalaciones solares para ACS y calefacción, el diseño se realizaba con instalaciones que agrupaban las dos demandas, de forma que cada aplicación tenía su propio sistema de acumulación y su calentamiento era producido

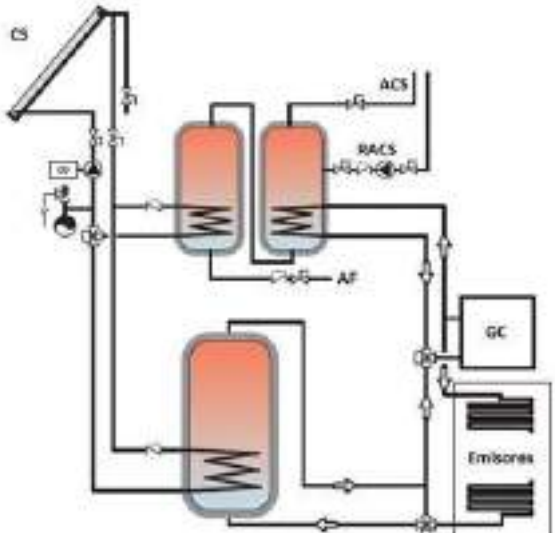


Figura 115: Instalación de ACS y calefacción con acumulación independiente (esquema en desuso)

por un único sistema de captación que, según el sistema de control, actuaban sobre cada uno de los acumuladores tal y como se refleja en el esquema adjunto. El mayor inconveniente de dicha configuración es que el acumulador de calefacción no era bien aprovechado para complementar al de ACS porque, entre otras razones, si éste se descargaba normalmente no se podía aprovechar el calor almacenado en el de calefacción a no ser que se utilice otro circuito.

Esa solución prácticamente ya no se utiliza y la tecnología ha evolucionado en dos vertientes:

- **El acumulador solar es único y suministra a ambas demandas**. Es un acumulador de inercia que abastece directamente al circuito de calefacción y que produce ACS mediante un acumulador o intercambiador calentado directamente por el mismo.
- **El sistema auxiliar puede estar integrado en el propio acumulador solar** calentando directamente a ambas demandas o solamente la parte destinada a ACS.

En cualquiera de los casos, el conexionado de podrá realizar con un mismo circuito utilizando una válvula de tres vías intercalada en el retorno que desvíe el flujo al acumulador solar siempre que de éste se pueda extraer mayor temperatura. Si se quisieran mantener circuitos independientes se podría utilizar un intercambiador cuyo secundario estaría intercalado en el circuito de retorno de calefacción y alimentado en primario con el fluido a la temperatura del acumulador solar.

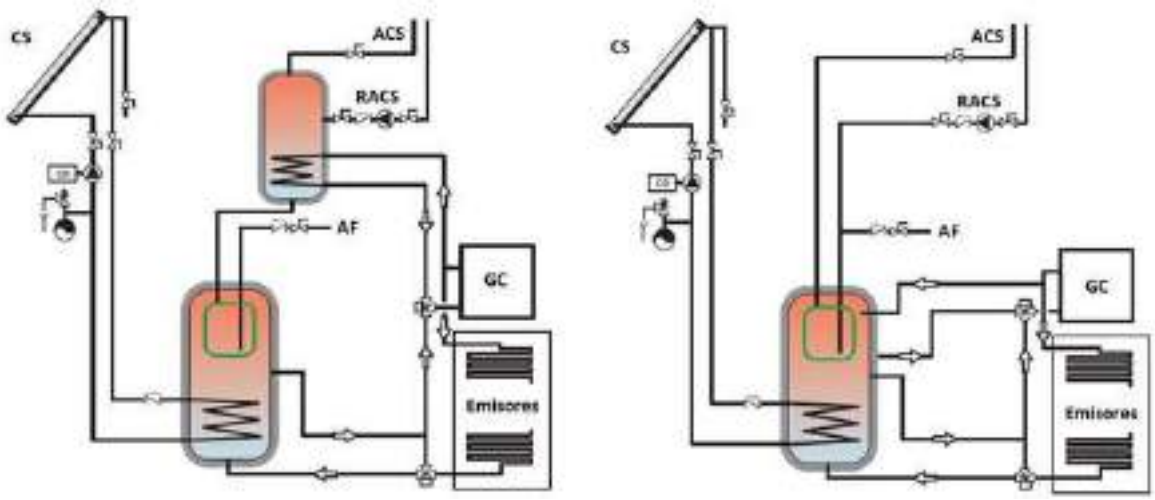


Figura 116: Esquemas de instalación con acumulador solar único ("combi") para ACS y calefacción y sistema auxiliar de ACS en acumulador (izq.) o integrado en el propio acumulador (der.)

Aunque estas instalaciones abastezcan varias demandas, el circuito primario es único y se ejecuta con un diseño similar al de una instalación de sólo ACS ya que el principio de funcionamiento es el mismo, calentar el agua del acumulador solar de inercia.

Estas soluciones están muy desarrolladas para instalaciones de pequeño tamaño de aplicación sobre todo en viviendas unifamiliares, ya que los fabricantes han desarrollado sistemas prefabricados con diseños muy fiables y que, al simplificar las instalaciones, las hacen más económicas y más eficientes en su funcionamiento; el aumento en su rentabilidad económica está

muy relacionado con que toda la energía contenida en el acumulador está disponible para el ACS en la temporada sin calefacción por lo que el funcionamiento del sistema auxiliar se puede anular completamente evitando los consumos de generadores en modo espera de e incluso los consumos por recirculación.

Aunque no existan todavía soluciones prefabricadas para instalaciones de gran tamaño, los diseños son económicos, eficientes y rentables si se realizan adoptando soluciones equivalentes a las anteriormente descritas en el diseño, dimensionado y conexionado a la instalación solar. Sirve de ejemplo el diseño que se indica en el esquema adjunto con un único acumulador solar.

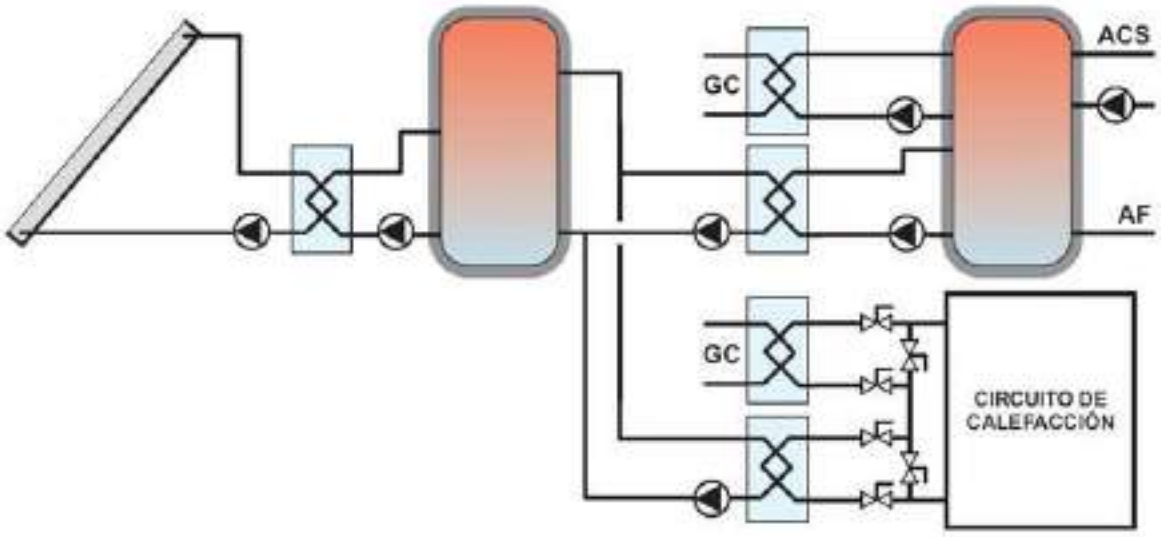


Figura 117: Esquema de instalación solar de medio o gran tamaño para ACS y calefacción con acumulador de inercia único para ambas demandas y descarga mediante sendos intercambiadores

11.5 Diseño y dimensionado de sistemas y componentes

11.5.1 Particularidades en el diseño de las instalaciones de calefacción solar

Como ya se indicó anteriormente es fundamental conectar correctamente la instalación solar con el sistema de calefacción para alcanzar el máximo rendimiento de la instalación solar. Es necesario que **la temperatura de retorno de la calefacción sea lo más reducida posible** para lo que se requiere, además de utilizar unidades terminales de baja temperatura como suelo radiante, fancoils o radiadores sobredimensionados, que el control de la instalación regule el funcionamiento de la instalación a carga parcial reduciendo, siempre que sea posible las temperaturas de trabajo.

En el caso de instalaciones para ACS y calefacción, se debe optimizar la inclinación de captadores pensando que, además de integrarlos arquitectónicamente, hay que mejorar las prestaciones de invierno para lo que es necesario buscar soluciones con **mayor inclinación de captadores** que las instalaciones destinadas exclusivamente a ACS. De esta forma se aumenta la captación en invierno y se reduce algo la radiación incidente en los captadores en verano.

Se podrá mantener el criterio de que, en el periodo sin calefacción, **se utilice lo menos posible el sistema de energía auxiliar** y toda la energía solar disponible se aplique a la demanda de ACS incluyendo, cuando sea posible, la compensación con energía solar de las pérdidas térmicas del circuito de recirculación.

11.5.2 Equipos y componentes específicos

El componente específico más relevante de las instalaciones mixtas para ACS y calefacción es el acumulador "combi". Este tipo de acumulador permite optimizar la utilización del espacio disponible evitando tener que ubicar dos acumuladores con su correspondiente conexionado, solución que además minimiza las pérdidas energéticas. La producción de ACS se puede realizar con cualquiera de las siguientes soluciones:

- Depósito interno a la acumulación de inercia que es calentado por este al baño maría,
- Intercambiador interior sumergido en la parte alta
- Intercambiador externo con bomba de circulación en el primario

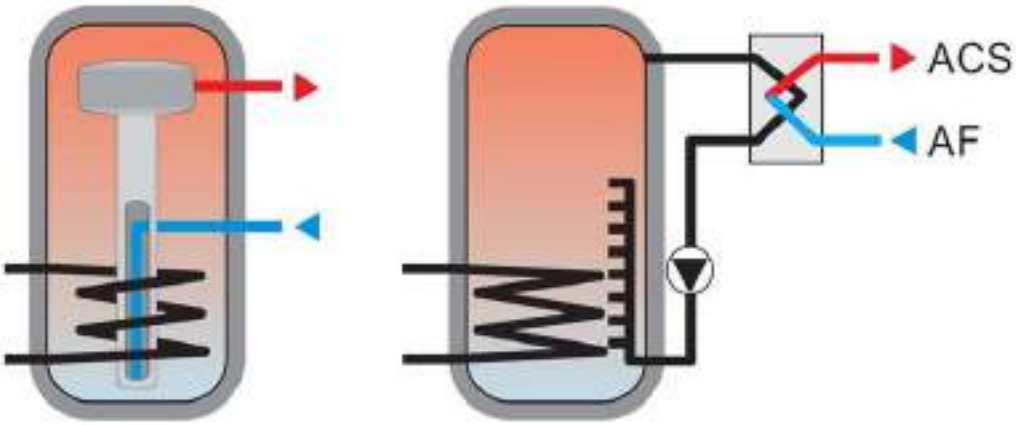


Figura 118: Ejemplos de acumuladores para ACS y calefacción con elementos estratificadores

En relación con el dimensionado de los volúmenes de acumulación y las características de los sistemas de intercambio se deben seguir las mismas recomendaciones indicadas en el capítulo 6 para las instalaciones de ACS.

Se puede mejorar la eficiencia de almacenamiento estudiando la adecuada estratificación y evitando la mezcla con la correcta posición de conexiones y definición de los caudales de circuitos. Para ello, se estructura el acumulador por niveles de temperatura y en función del sistema de calefacción se seleccionan las conexiones para calefacción que interesen.

En algunas soluciones el generador de calor trabaja también contra el acumulador por lo que este se convierte en la central de distribución de energía a las diferentes aplicaciones.

022

11.5.3 Estrategias y sistema de control

El funcionamiento de la bomba de la instalación solar se activa mediante un control diferencial comparando temperaturas de captador y acumulador de la misma forma que se hace en una instalación de ACS. El conexionado con la instalación convencional se realiza mediante el control de la válvula de tres vías del circuito de calefacción que también se realiza mediante control diferencial entre la temperatura de retorno de calefacción y la temperatura disponible en el acumulador solar.

La estrategia más habitual de funcionamiento en este tipo de instalaciones consiste en dar prioridad al uso del ACS, no dando paso al circuito de calefacción hasta que no se haya alcanzado la temperatura de consigna establecida para el agua.

022

12 Sistemas de refrigeración solar

12.1 Generalidades

Los sistemas de producción de frío para refrigeración de los edificios son realizados, en su mayoría, por equipos eléctricos de compresión mecánica. El fuerte aumento de su uso genera un desplazamiento de la demanda de electricidad a las horas centrales del día, o a primeras horas de la tarde, de los días de verano. Esta coincidencia en el tiempo de las demandas de refrigeración y la disponibilidad del recurso solar son los principales atractivos para buscar soluciones que utilicen la energía solar para el abastecimiento energético de las instalaciones de refrigeración.

En este capítulo se analizan los sistemas de refrigeración activados con sistemas de generación solar térmica, aunque también son posibles, pero no considerados en esta guía, las soluciones con sistemas fotovoltaicos que generan directamente electricidad.

De la misma forma que se ha indicado para los sistemas de calefacción, la reducción de la demanda térmica y del consumo energético asociado a las nuevas normativas en edificios está modificando el sector de equipos convencionales de climatización, ajustando las potencias a implantar, desarrollando soluciones más flexibles, energéticamente más eficientes y abriendo nuevas posibilidades a otro tipo de instalaciones centralizadas y que utilicen las energías renovables.

Después de las aplicaciones de producción de agua caliente y de calentamiento del agua de piscinas, la climatización solar para atender tanto las necesidades de calefacción como de refrigeración, se consolida como la aplicación más viable para las instalaciones solares térmicas en las regiones del sur de Europa.

Las ventajas principales de la climatización solar son que proporciona continuidad al uso de las instalaciones solares térmicas durante todo el año y que las demandas de refrigeración son coincidentes con las disponibilidades de energía térmica procedentes de la energía solar.

12.2 Tecnologías de refrigeración solar

Los sistemas de refrigeración solar que utilizan la energía térmica como fuerza motriz para la producción de frío pueden ser sistemas cerrados, que utilizan equipos de absorción o de adsorción, o sistemas abiertos que utilizan equipos desecantes.

En este apartado se hace una breve referencia a los tres tipos citados, pero en el resto del capítulo se tratan exclusivamente los sistemas de absorción que son los más utilizados y de los que mayor experiencia se dispone como puede observarse en el gráfico adjunto.

Figura 119: Distribución del número de instalaciones de cada tecnología

12.2.1 Sistemas de absorción

Los equipos de absorción producen agua fría a partir del calor proporcionado por la energía solar en su generador que puede ser aportado por un fluido caliente (90ºC). En el circuito interior existe una mezcla absorbente-refrigerante que se separa cuando este último se evapora, a bajas presiones y temperaturas, absorbiendo la energía para la vaporización que produce el efecto de refrigeración (7ºC). El calor intercambiado se evacúa, como ocurre en los sistemas convencionales, mediante un sistema de disipación (Condensador) a una temperatura intermedia (30ºC)

Dependiendo del nivel de temperatura fría que se quiere alcanzar y de la temperatura del generador disponible, se utilizan diferentes pares absorbente-refrigerante: bromuro de litio agua, agua amoniaco, etc.

Las máquinas de absorción precisan temperaturas de entrada en el generador que sean estables para que la operación sea efectiva.

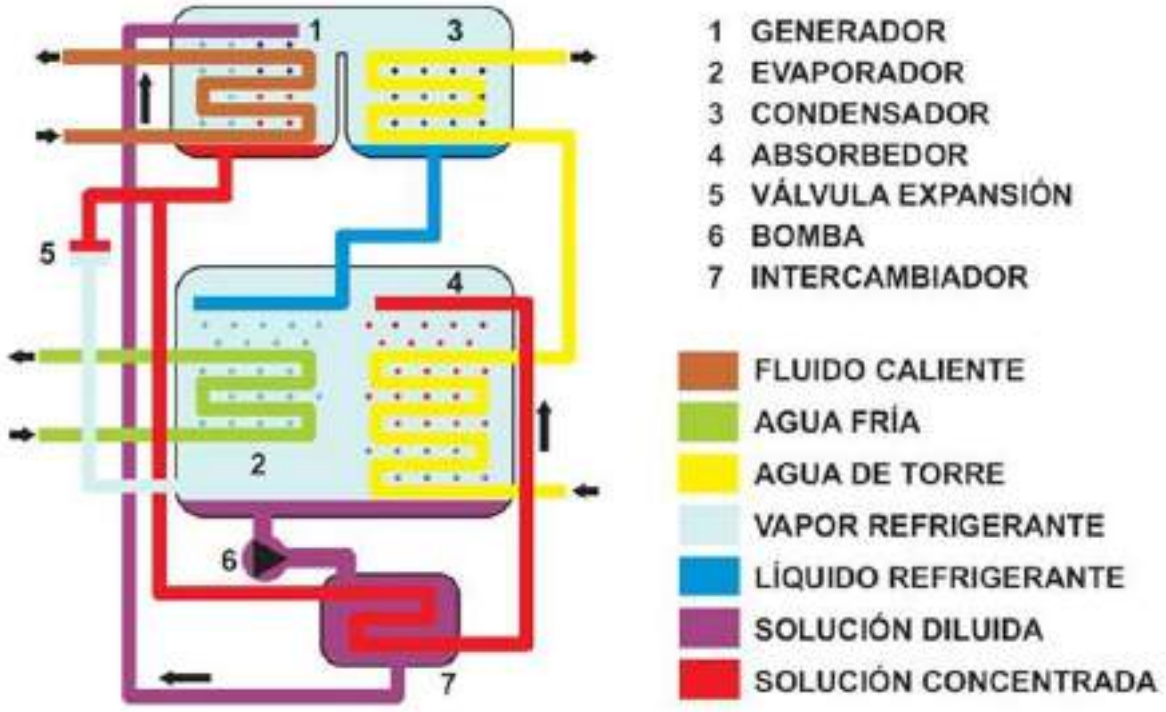


Figura 120: Esquema de un sistema de absorción

022

12.2.2 Sistemas de adsorción

En el equipo de adsorción, un cuerpo sólido absorbente y altamente poroso como, por ejemplo, gel de sílice, atrae el vapor de agua, que actúa como refrigerante, condensándose y quedando retenido en él en forma líquida; al evaporarse el agua absorbe calor del fluido a enfriar que circula por el circuito de distribución. Para cerrar el ciclo, la superficie del absorbente se regenera utilizando el calor proporcionado por la instalación solar que aumenta la temperatura lo que lleva consigo un aumento de la presión y el refrigerante se separa del absorbedor pasando a forma líquida.

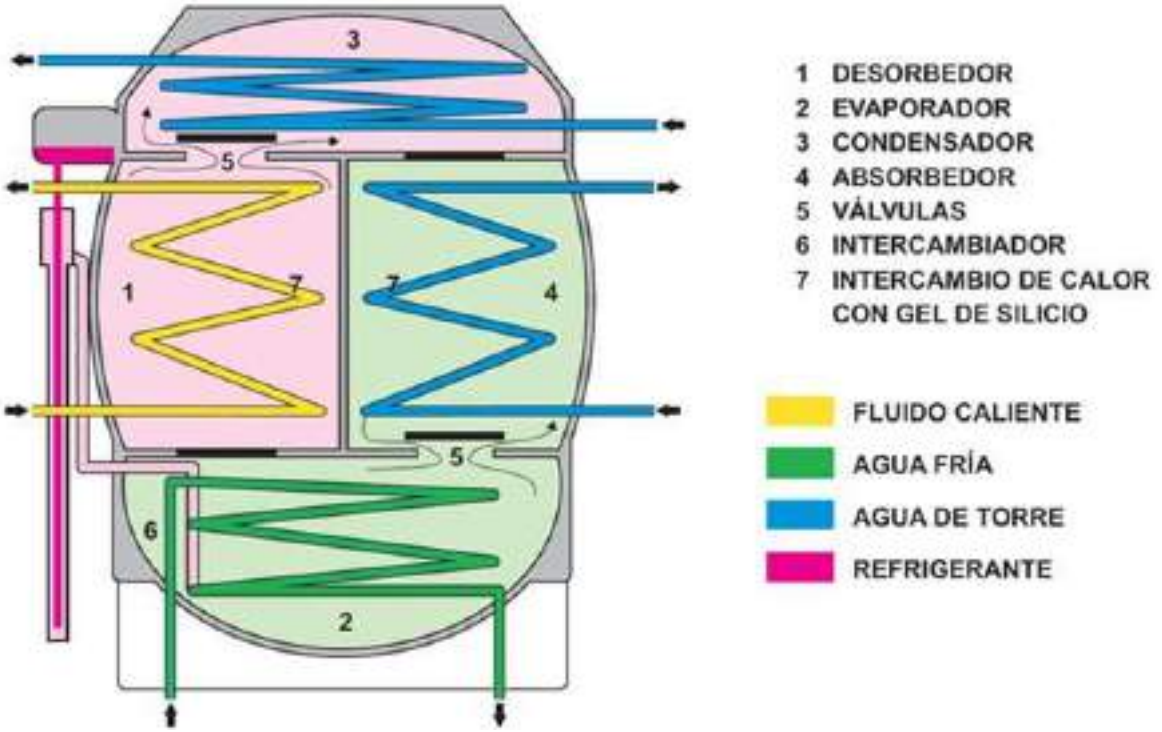


Figura 121: Esquema de un sistema de adsorción

En comparación con los equipos de absorción los mayores inconvenientes son su volumen y peso, pero por el contrario, tienen las ventajas de una producción energética no tan dependiente de las temperaturas del agua caliente y fría, no tiene el problema de la cristalización y no requiere ningún sistema de bombeo interno como los equipos de absorción.

12.2.3 Sistemas desecantes

Son sistemas que acondicionan directamente el aire y están basados en la mezcla del enfriamiento evaporativo y la deshumidificación del aire mediante una rueda desecante que utiliza sustancias desecantes como gel de sílice o cloruro de litio. La incorporación de energía solar se efectúa en el calentador que tiene la función de regenerar la rueda desecante.

En su funcionamiento bajo el esquema y diagrama que se adjunta se pueden diferenciar dos circuitos de circulación de aire en contracorriente:

- El aire ambiente exterior que se pretende climatizar es primeramente secado en una rueda desecante, después es enfriado con una rueda de recuperación de calor sensible que aprovecha la menor temperatura del aire de expulsión del interior del edificio, posteriormente pasa por un enfriador evaporativo donde el aire se enfría y humidifica a las condiciones de entrada al local a acondicionar.
- El aire que se extrae del local se humidifica para bajar su temperatura y conseguir un adecuado intercambio en el recuperador, donde se calienta, posteriormente se vuelve a calentar hasta las condiciones necesarias para regenerar la rueda desecante y eliminando la humedad que se absorbió en la corriente de entrada.

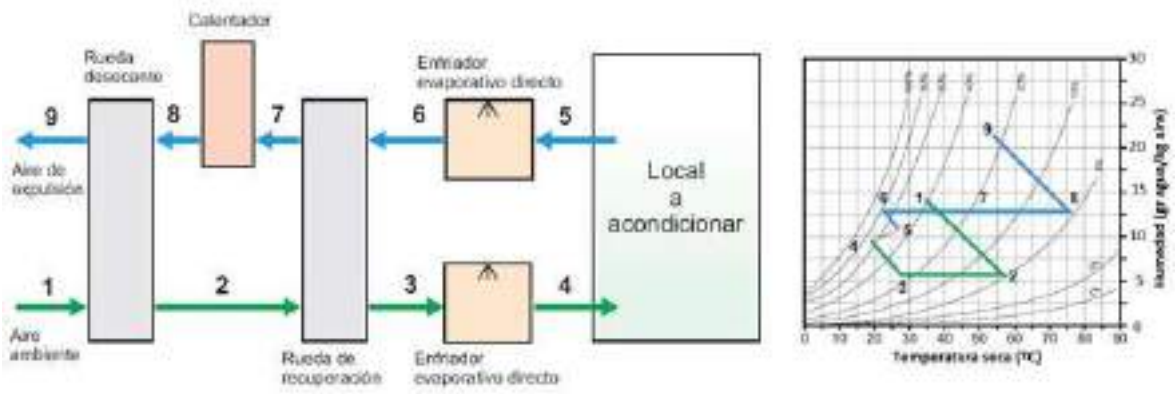


Figura 122: Esquema y diagrama de funcionamiento de un sistema desecante

El proceso utiliza los materiales desecantes que se incorporan en la rueda. Estos materiales deben ser químicamente inertes y térmicamente estables, deben tener una gran superficie de adsorción y ser fácilmente regenerables. Los más utilizados son gel de sílice, zeolita, carbón activado y alúmina activa.

Son sistemas utilizables en climatización donde las temperaturas del aire tratado no sean inferiores a 15ºC. Tienen la ventaja de hacer un tratamiento de la carga sensible y latente de forma independiente. Funcionan a partir de temperaturas de regeneración de entre 50 y 60ºC. Es necesario un control preciso de las condiciones de funcionamiento.

12.2.4 Comparación entre las diferentes tecnologías

Se resumen en la siguiente tabla algunas características comparativas de los tres sistemas:

	Absorción	Adsorción	Desecantes
Ciclo/fluido	Cerrado/agua	Cerrado/agua	Abierto/aire
Componentes	Agua/BrLi o NH3/Agua	Agua/Silica-gel	Silica-gel o Zeolita
Eficiencias (COP)	0,5 a 1,5	0,6 a 1,3	0,5 a 1
Temperatura generador (ºC)	60 – 90 – 160	80 – 110	45 – 80
Potencias (kW)	10 – 1.000	5 – 5.000	20 - 300

Tabla 17: Comparación de sistemas utilizados para refrigeración solar

12.3 Configuración de sistemas de refrigeración por absorción

Aunque puede haber variantes, normalmente la instalación solar de refrigeración por absorción está constituida por un campo de captadores solares y un sistema de acumulación que alimenta al generador del equipo de absorción, una torre de refrigeración que actúa como sistema de disipación de calor al ambiente y un circuito de distribución de agua fría que conecta el evaporador del equipo con la instalación de climatización del edificio.

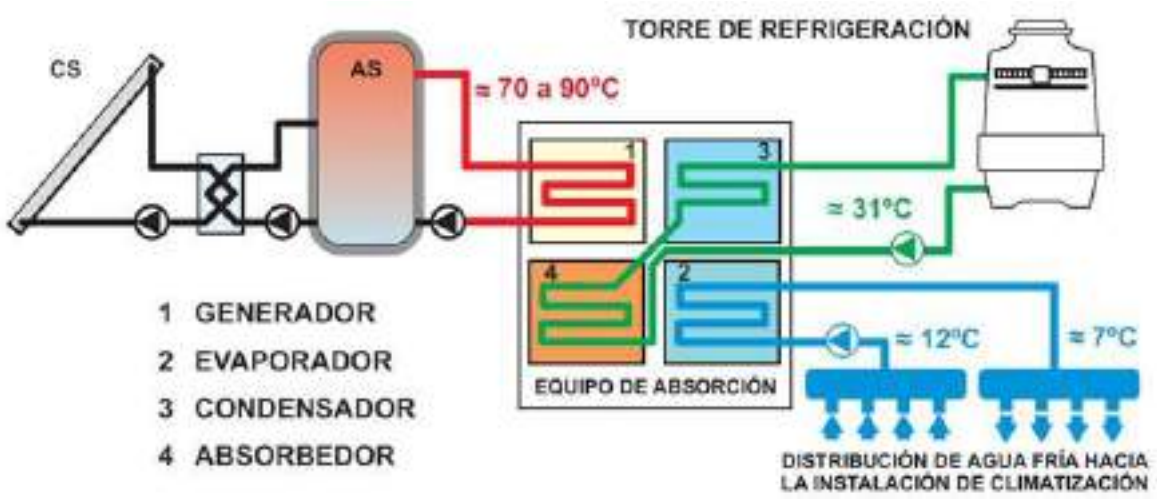


Figura 123: Esquema de una instalación solar térmica para refrigeración por absorción

Estas instalaciones, cuando son de pequeño tamaño, suelen ser comercializadas por empresas que actúan como proveedoras de sistemas de frio y calor solar que realizan un diseño previo y engloban todos los sistemas en un paquete y únicamente tienen que ser adaptada al edificio de que se trate. De esta forma se va buscando la reducción de costes de las instalaciones y el aumento de la fiabilidad en el funcionamiento.

Las instalaciones también pueden ser específicamente diseñadas para una aplicación y edificio determinado para lo cual se requiere un proyecto completo realizado por un técnico especialista que debe definir y dimensionar todos los componentes de la misma siendo muy importante contar con asesoramiento experto aportado por proyectistas con experiencia previa con el apoyo técnico de los fabricantes de equipos.

En relación con la incorporación de la refrigeración solar a las instalaciones del edificio, existen dos formas de abastecimiento de la demanda de frio, mediante máquinas de absorción que suministren el total de la demanda o bien a través de la utilización de equipos de absorción y eléctrico de compresión mecánica que se complementan. Las diferentes configuraciones posibles se analizan a continuación.

12.3.1 Sistema de calefacción y refrigeración por absorción solar con apoyo de caldera

La producción de frio se realiza exclusivamente mediante equipos de absorción y para su accionamiento, además de la instalación solar, se dispone de un generador de calor como sistema de energía auxiliar que puede utilizar cualquier fuente de energía y que debe proporcionar la potencia y temperatura necesarias para activar el proceso de absorción.

La conexión de los dos sistemas de generación de calor interesa hacerla a través del sistema de acumulación, ya sea con uno o varios depósitos, de forma que, además de la inercia para disminuir los arranques y paradas del sistema auxiliar, se consigue la necesaria estabilidad en la temperatura de entrada del generador del equipo de absorción.

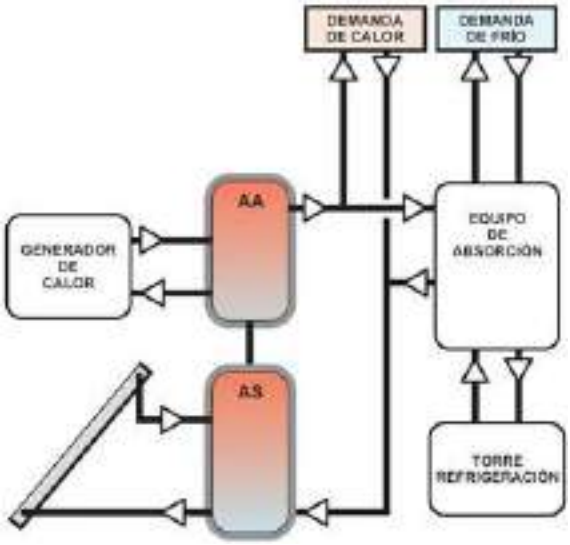


Figura 124: Sistema de calefacción y refrigeración por absorción solar con apoyo de caldera

Si la instalación también se utiliza para atender la demanda de calor, hay que tener en cuenta que la temperatura del acumulador debe ser la necesaria para alimentar el generador de la máquina de absorción (del orden de 90ºC) pero, cuando no exista demanda de frío, la temperatura del acumulador debe de ser capaz de alcanzar las temperaturas requeridas por la demanda de calor, que podrán ser bastante más bajas en función de las unidades terminales que se utilicen (del orden de 45ºC para suelo radiante, fancoils, climatizadoras, etc.).

En este caso, como la producción de frio siempre se realiza a través del equipo de absorción, sería conveniente duplicar los equipos para aumentar la fiabilidad y como el rendimiento global está muy determinado por el rendimiento del equipo en las distintas condiciones de funcionamiento habría que cuidar la operación en las condiciones óptimas.

Adicionalmente, para conseguir un buen resultado global de ahorro de energía primaria y reducción de emisiones se debe tener en cuenta el rendimiento medio del generador de calor, es

necesario mantener los máximos rendimientos en cualquier condición de carga, evitar los arranques y paradas y ajustar las temperaturas de operación.

Como esta circunstancia condiciona el modo de funcionamiento, aunque deba ser analizado en cada caso, es recomendable que los aportes de energía solar y del sistema de apoyo estén claramente diferenciados y controlados de forma que se pueda evaluar el correcto funcionamiento y los aportes de ambos sistemas.

12.3.2 Sistema de calefacción y refrigeración mediante absorción solar y bomba de calor

En este sistema mixto es el equipo eléctrico de compresión mecánica el que garantiza el abastecimiento de la demanda de frio y el equipo de absorción actúa como un sistema de ahorro energético reduciendo las horas de funcionamiento del equipo eléctrico.

El diseño de la instalación de refrigeración solar podrá realizarse en función de la superficie disponible para captadores solares, con objetivos de rentabilidad económica de la inversión en frio solar, pero no sería necesario alcanzar un determinado nivel de potencia ni el compromiso de garantizar el abastecimiento de frío.

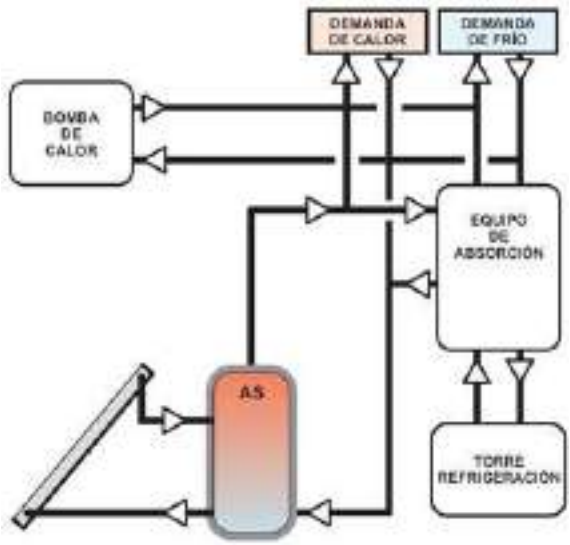


Figura 125: Sistema de calefacción y refrigeración mediante absorción solar y bomba de calor

El equipo de compresión mecánica muchas veces es del tipo bomba de calor lo que permite suministrar también la demanda de calor por lo que habrá que integrar la instalación solar con ésta. Esta configuración será la que normalmente se podrá utilizar en el caso de edificios e instalaciones existentes con plantas enfriadoras o bombas de calor a las que se acopla una instalación de frio solar.

En este caso, el sistema de acumulación es exclusivamente calentado por el sistema de captadores por lo que es necesario optimizar las soluciones para garantizar la estabilidad de las temperaturas de funcionamiento.

No obstante, lo anterior, si los equipos eléctricos son del tipo bomba de calor, el acoplamiento a los circuitos de demanda se podrá hacer directamente o a través de un acumulador lo que aporta mayor inercia a la instalación.

12.3.3 Sistema integral de calefacción y refrigeración por absorción solar con apoyo de caldera y de bomba de calor

En este caso, se dispone de una solución que integra las dos anteriores y se dispone de la refrigeración por absorción solar con apoyo de generador de calor y un sistema frigorífico eléctrico de compresión mecánica.

Las mejores prestaciones energéticas se consiguen si el generador de calor es renovable (caldera de biomasa) o de aprovechamiento de calor residual y el sistema eléctrico es bomba de calor. Este sistema reúne todas las ventajas de las dos anteriores:

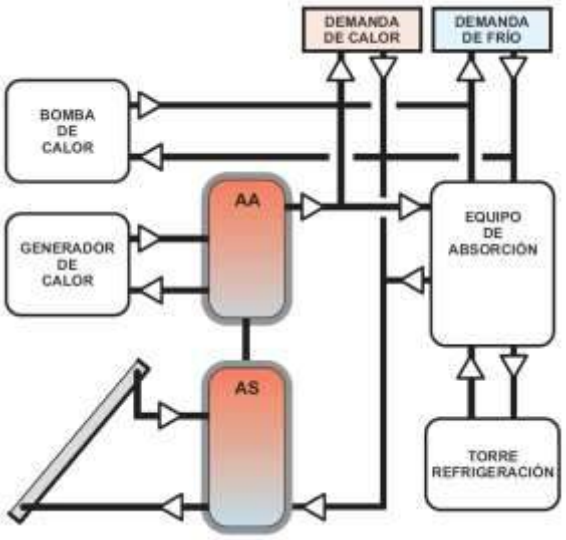


Figura 126: Sistema integral de calefacción y refrigeración por absorción solar con apoyo de caldera y de bomba de calor

- Para la producción de frío se puede modular la aportación solar y del generador de calor a través del equipo de absorción y la aportación del equipo eléctrico bomba de calor.
- Para la producción de calor, asimismo, se puede modular la participación directa de los aportes energéticos solar, del generador de calor y eléctrico.

12.4 Componentes de las instalaciones de refrigeración solar

12.4.1 Equipos de absorción.

12.4.1.1 Tipos de tecnologías de refrigeración por absorción

Los diferentes tipos de equipos de absorción pueden clasificarse atendiendo a los siguientes criterios:

- **Tamaño definido por su potencia.**
  En el mercado existen sistemas con una potencia de refrigeración que oscila desde los 5 kW hasta los 6.000 kW; se suelen considerar equipos de pequeña potencia los de potencia inferior 10 kW, de mediana potencia entre 10 y 100kW y de gran potencia las superiores a 100kW.

- **Forma de alimentación de calor al generador**

022

Se denomina indirecta si existe un intercambiador de calor desde un fluido o directa si el calor procede de la combustión de la fuente que pasa directamente a los fluidos de trabajo del generador.

- **Fluidos de alimentación a los circuitos.**
  En el generador de los sistemas indirectos puede ser aceite térmico, vapor, agua sobrecalentada o agua caliente y los rangos de temperatura pueden variar desde los 80 ºC hasta los 200ºC. Normalmente en el evaporador y condensador se trabaja con circuitos cerrados de agua.

- **Fuente de energía.**
  La producción, externa al equipo de absorción, de un fluido caliente para un sistema indirecto puede hacerse con cualquier combustible en calderas (gas natural, GLP, gasoil, etc.) o mediante fuentes renovables (solar térmica, biomasa, etc.) o mediante sistemas de recuperación (cogeneración, calores residuales, etc.).

- **Fluidos internos de trabajo de las máquinas de absorción.**
  De las posibles combinaciones absorbente/refrigerante, los más utilizados son Bromuro de Litio-Agua para alcanzar las temperaturas necesarias para acondicionamiento de aire y Agua-Amoniaco para producción de las temperaturas necesarias para congelación. El Bromuro de Litio no es tóxico pero si lo es el Amoniaco por lo que se deben adoptar mayores medidas de seguridad; además los equipos de Agua-Amoniaco tienen menos rendimiento y necesitan mayores temperaturas en el generador.

- **Modo de producción**
  Los equipos pueden destinarse a la producción de frío o a obtener calor funcionando como bomba de calor.

- **Número de efectos.**
  Se refiere al número de intercambiadores que se utilizan para generar vapor refrigerante y los equipos pueden ser de simple, doble o triple efecto. Los más utilizados son los de simple efecto, que tienen un COP medio de 0,6 a 0,7 y necesitan una temperatura en el generador del orden de los 80 a 100ºC. Los equipos de doble efecto, con COP del orden de 1,1 requieren temperaturas en el generador de 140 a 160ºC y los de triple efecto con COP de hasta 1,5 pero requieren temperaturas del orden de los 200ºC. Los equipos utilizables en instalaciones solares térmicas de baja temperatura (hasta 100ºC) son los de simple efecto.

- **Modo de condensación.**
  Los equipos pueden ser de condensación por aire o por agua en función del fluido utilizado para evacuar el calor de absorción y del condensador. Las soluciones por agua pueden enfriarse con circuito de agua disponible de un acuífero, de un rio o del mar cuando sea

posible pero lo más habitual es que se utilicen torres de refrigeración que son más eficientes. El problema del uso de las torres de refrigeración son el consumo de agua y el gasto de mantenimiento por la necesidad de incluir los de prevención de la legionelosis.

12.4.1.2 Características funcionales

Es necesario conocer la dependencia de la potencia de salida y el rendimiento del equipo de absorción con las temperaturas y a esos efectos se puede destacar:

- La gran importancia de la temperatura de entrada de agua caliente al generador. Normalmente el equipo tiene un valor mínimo de operación de 75ºC; el régimen nominal se establece para un valor del orden de los 90º C aunque puede funcionar a mayores temperaturas aumentando la potencia útil suministrada.
- También es muy significativa la dependencia con la temperatura de salida del agua refrigerada del evaporador. Normalmente el valor nominal es de 7ºC que es el más utilizado en los sistemas de refrigeración convencionales. Teniendo en cuenta los condicionantes de diseño de las unidades terminales, se puede ajustar la temperatura de diseño a valores del orden de los 9 ó 10ºC.
- Por último, también tiene gran influencia la temperatura del agua refrigerada del condensador que nominalmente se considera a una temperatura de unos 30ºC; se puede trabajar a temperaturas superiores, de hasta 35ºC, pero con una reducción significativa de la capacidad de enfriamiento.

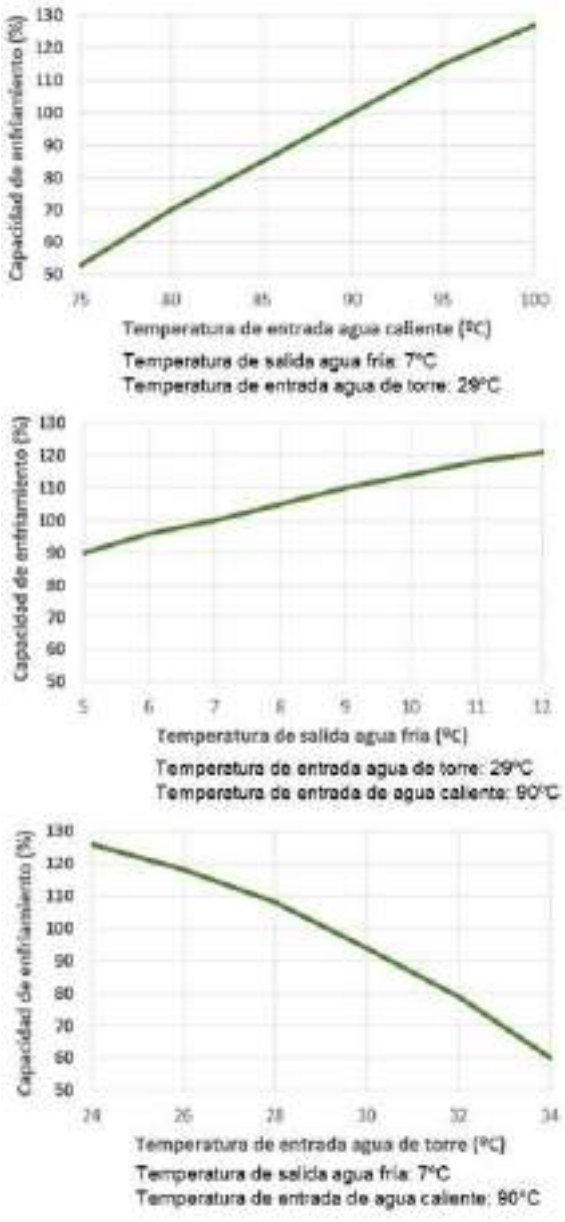


Figura 127: Variación de la capacidad dee enfriamiento (potencia de salida) con diferentes temperaturas de funcionamiento

12.4.1.3 Límites de operación

Los equipos de absorción requieren una temperatura mínima del fluido que entra al generador para su funcionamiento y su régimen de producción irá ligado a la cantidad de energía que se le

aporte, dejando de producir frío si el nivel térmico del fluido calefactor desciende del mínimo requerido. Los equipos de absorción tienen una respuesta lenta para las puestas en marcha y para ajustarse a la demanda por lo que son muy adecuadas para suministrar la demanda base de las instalaciones y para funcionar en modo continuo. Por todo ello, resulta conveniente utilizar sistemas de acumulación que generen mayor inercia en la instalación y garanticen la estabilidad de temperaturas.

Las principales limitaciones de operación de los equipos de absorción que deben considerarse para su utilización en las instalaciones son las siguientes:

- Posibles problemas de cristalización de las mezclas
- Problemas de vacío y corrosión de circuito interior
- Requieren una atención técnica especializada.

12.4.2 Captación y acumulación solar

En relación con el tipo de captador que se requiere para estas instalaciones, lo más importante a tener en cuenta es que el funcionamiento del sistema completo se verá condicionado por la temperatura de operación del generador y será necesario buscar el punto óptimo de trabajo del conjunto teniendo en cuenta que la eficiencia energética del equipo de absorción aumenta con la temperatura del generador y que el rendimiento del captador disminuye al aumentar la temperatura.

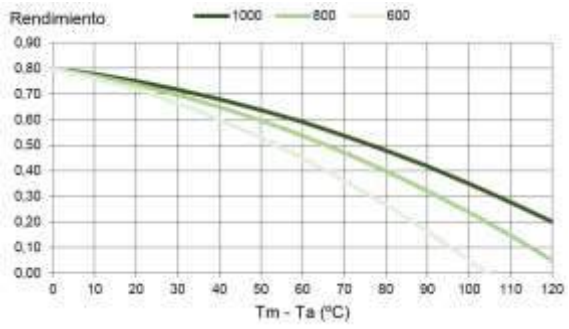


Figura 128: Función de rendimiento instantáneo del captador solar en función de la diferencia de temperaturas para distintos niveles de irradiancia

A esos efectos, para cada aplicación se deben estudiar las distribuciones mensuales y diarias de las demandas de frio ya que son datos imprescindibles para establecer la relación con las condiciones climáticas en las que va a trabajar la instalación. Por ejemplo, puede evaluarse el rendimiento de un captador en función de la radiación incidente para una determinada diferencia de temperatura de trabajo sobre la temperatura ambiente y comprobar la gran diferencia que existe entre las condiciones de verano y de invierno, así como entre las condiciones a diferentes horas del día.

En relación con el diseño de la instalación solar, se debe evitar la conexión directa del circuito primario de captadores para alimentar directamente al generador del equipo y hacerlo siempre a través de la acumulación para ganar inercia en el funcionamiento y dar estabilidad a la temperatura de entrada al generador. Es recomendable utilizar sistemas de acumulación, que siempre serán de inercia en circuito cerrado, tanto para los circuitos de frio como de calor, de forma que se amortigüen las posibles fluctuaciones entre las producciones y las demandas térmicas. Por las mismas razones de aumentar la inercia del circuito y la estabilidad de

temperatura, se recomienda aumentar el volumen de agua del circuito de evacuación de calor de torre.

12.4.3 Disipación de calor: torre de refrigeración

Los equipos de absorción pueden utilizar condensadores de aire como sistemas de disipación de calor, con el condicionante de que estos no son operativos cuando es necesario disipar calor por debajo de 30ºC, o de agua, como las torres de refrigeración que son más utilizadas por su mayor eficiencia.

También se podrían utilizar pozos de aguas subterráneas, marinas o fluviales, así como sistemas para precalentamiento de agua sanitaria o calentamiento del agua de una piscina que pueden realizar la disipación de calor a temperaturas de hasta 35ºC disponibles en la salida del condensador.

Las torres de refrigeración presentan, como desventaja, que tienen más mantenimiento y deben adoptarse precauciones para la prevención de la legionelosis. Por otro lado, es necesario evitar que la temperatura de condensación baje la temperatura de 24ºC para evitar la cristalización de la solución. Para ello se utiliza una válvula de 3 vías de acción proporcional que garantice caudal constante en el equipo y variable en la torre una temperatura para adecuar la temperatura de entrada al condensador.

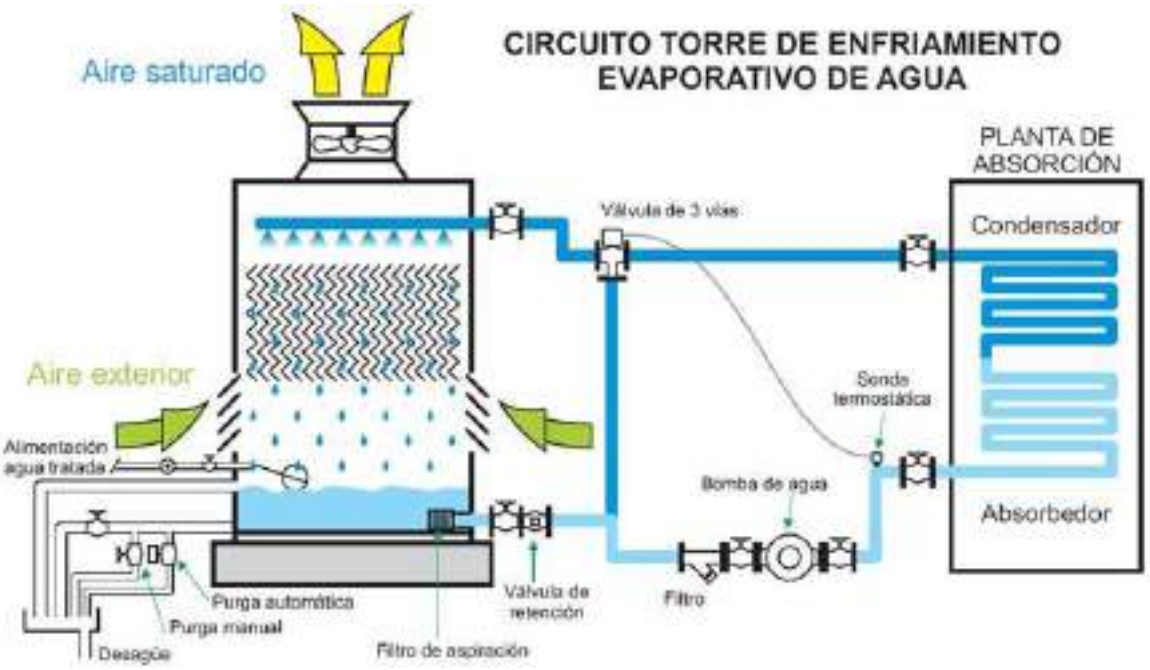


Figura 129: Esquema de conexionado de una torre de refrigeración a un equipo de absorción

Para el diseño e instalación de la torre de refrigeración debe tenerse en cuenta que:

- Se debe realizar el cálculo para la máxima potencia a disipar (la de refrigeración más la aportada al generador) con un margen adicional y en base a la temperatura húmeda del lugar de ubicación.
- En circuitos abiertos se debe disponer la torre a un nivel superior y la bomba por debajo de la bandeja para garantizar una mínima presión en aspiración y seleccionar la bomba de forma que se garantice el caudal requerido por el fabricante.
- Utilizar tuberías de acero galvanizado, de polipropileno o de PVC y una válvula de retención para evitar que se puedan vaciar las tuberías en la bandeja con la bomba parada.
- Prever la purga y renovación automática del agua para evitar concentración de sales y disponer de un sistema de tratamiento del agua de alimentación.
- Cuidar el diseño de todo el sistema dado que puede incrementar significativamente el consumo de energía eléctrica.
- Aunque son más costosas, es recomendable el uso de torres de refrigeración en circuito cerrado que evitan el ensuciamiento de los circuitos interiores.
- Estudiar la posibilidad de ampliar la capacidad e inercia del circuito de condensación aumentando el agua acumulada en la bandeja o intercalando un acumulador en la salida de forma que se mantenga estable la temperatura de salida de la torre.

12.4.4 Unidades terminales

Es necesario tener en cuenta la temperatura de operación de las unidades terminales de los sistemas de climatización. Los intercambiadores agua-aire que habitualmente se utilizan, ya sean tipo fancoils o climatizadoras, normalmente requieren agua fría a 7-12ºC para suministrar frío y agua caliente a 45-50ºC para el régimen de calefacción.

Para maximizar el rendimiento del equipo de absorción, es importante que éste se conecte en el tramo del circuito de retorno a la temperatura más alta posible y se debe estudiar la posibilidad de modular la temperatura de impulsión de agua fría, sobre todo en régimen de carga parcial cuando no sea necesaria. Por ejemplo, si la temperatura de impulsión es de 7ºC en una instalación a carga parcial el retorno se producirá, por ejemplo, a 10ºC lo que afectará negativamente al funcionamiento del equipo. Sería más eficiente el sistema si se puede modular la temperatura de agua fría a valores más elevados, como por ejemplo a 9-15ºC. Para adoptar estas soluciones, no obstante, se deben analizar los sistemas que requieren control de humedad ya que al aumentar la temperatura de agua fría disminuye la capacidad de condensación de la batería de aire por lo que pueden derivarse problemas de control de la humedad interior.

Ese tipo de problemas no existe en el caso de los sistemas de climatización que utilizan techo o suelo refrescante ya que utilizan temperaturas de agua fría a 15-18ºC y son sistemas que no incluyen el tratamiento de la humedad ambiente.

12.5 Cálculo de instalaciones de refrigeración por absorción

El dimensionado de las instalaciones de refrigeración solar presenta la complejidad adicional derivada del propio cálculo de la demanda de frío ya que, a diferencia de los cálculos para calefacción en régimen permanente, las variables relacionadas con radiación solar o su protección, cargas internas y de ventilación, inercia del edificio y sus instalaciones, etc. que intervienen son más complejas de modelar para los sistemas de refrigeración.

Aunque existen métodos de cálculo de simulación y métodos simplificados, para esta aplicación es muy recomendable utilizar los cálculos por simulación teniendo en cuenta todos los datos de partida que son necesarios para el método a emplear. El uso de métodos simplificados debe quedar restringido como primera estimación y se deben utilizar sus resultados como valores orientativos.

Además del cálculo de la demanda de energía, son factores importantes a considerar en el cálculo:

- La configuración empleada, así como la cantidad de energía frigorífica que se pretende disponer diferenciada en la potencia que puede suministrar el equipo de absorción y sus tiempos de funcionamiento. Por ejemplo, es muy diferente un equipo de absorción que deba trabajar al máximo rendimiento cuando las condiciones climáticas lo permitan e independiente de la demanda de otro equipo que deba trabajar junto con un sistema de apoyo para abastecer en continuo una determinada demanda.
- El rendimiento de captadores en función de las condiciones climáticas ya que se debe estudiar la irradiancia y la temperatura ambiente que se requiere para disponer de la temperatura de diseño que se haya previsto 80-90ºC.

12.5.1 Valores de referencia del dimensionado

Para dimensionar el tamaño del campo de captadores es necesario establecer la potencia de diseño que se requiere y que normalmente se realiza considerando un COP de 0,7, lo que se traduce en que la potencia de calor es 1,4 veces superior a la potencia de refrigeración. La estimación de la superficie útil de captación será función de las condiciones mínimas de irradiancia y temperatura ambiente. Como referencia basada en datos experimentales, se puede utilizar el criterio de estimar el dimensionado de la instalación solar disponiendo una superficie de captación del orden de 3-4 m² (2,1 – 2,8 kW) por cada kW de potencia de refrigeración del equipo.

La capacidad de acumulación solar no debe ser nunca inferior a 80 litros por metro cuadrado de captación y se recomienda sea distribuidas al 50% entre los circuitos de calor (generador) y frío (evaporador). Se puede eliminar la acumulación de frío cuando se realiza el acoplamiento de la instalación de frío solar a instalaciones de grandes potencias con largos recorridos en los circuitos de distribución.

Normalmente serán más viables técnica y económicamente los sistemas frigoríficos con bajo grado de cobertura y muchas horas de funcionamiento garantizadas ya que grandes coberturas requieren un sobredimensionado del campo de captadores que normalmente no se justifica.

La potencia del sistema de condensación debe estar comprendida entre 1,5 y 2 veces la potencia de generación de frío, aunque es básico definir con precisión las condiciones de temperatura de diseño.

12.5.2 Métodos de cálculo simplificados

Los métodos de cálculo simplificados solamente deben utilizarse como primera aproximación para el cálculo de prestaciones.

Cuando la demanda de frío es lo suficientemente grande como para no afectar al funcionamiento del equipo de absorción para suponer que éste puede trabajar a plena carga y sin interrupciones se puede utilizar la estimación simple de calcular la cantidad de energía frigorífica que puede suministrar la instalación definiendo un rendimiento medio de la instalación de captadores, un COP medio del equipo de absorción aplicándolos a valores medios anuales de radiación solar y temperatura ambiente. Por ejemplo, una instalación de captadores con un 40% de rendimiento a 90ºC, conectados a un equipo de absorción con un COP medio de 0,5 en una localización con una radiación anual de 2.000 kWh/m^2 puede llegar a proporcionar unos 400 kWh/m^2 de energía frigorífica anual.

Existe una extensión del f-Chart que se ha desarrollado para evaluar el funcionamiento a largo plazo de una instalación de climatización en ciclo cerrado cuando la demanda es caracterizada por una temperatura mínima de funcionamiento. Éste método considera que no se producen evacuación de calor al exterior por exceso de producción lo que permite garantizar el funcionamiento continuo del equipo de absorción de forma similar a como se indicó en el párrafo anterior.

También es posible utilizar una correlación entre el calor solar suministrado por la instalación y la demanda de frio del edificio obtenida de dos series temporales en base horaria que permite estimar el aporte de calor en base al rendimiento de captadores y las cargas térmicas de frío para cada hora del año mediante una simulación del edificio y de donde se puede estimar la parte de la demanda cubierta con energía solar a través del equipo de absorción.

12.5.3 Métodos de cálculo de simulación

Como ya se ha indicado, se considera imprescindible el uso de programas que permitan la simulación detallada de la instalación proyectada con lo que se incrementa la precisión y fiabilidad de los resultados a la vez que se hace necesario disponer de información detallada de los datos de entrada. Son varios los métodos disponibles en el mercado y, como ya se indicó para ACS y calefacción, el más conocido es el

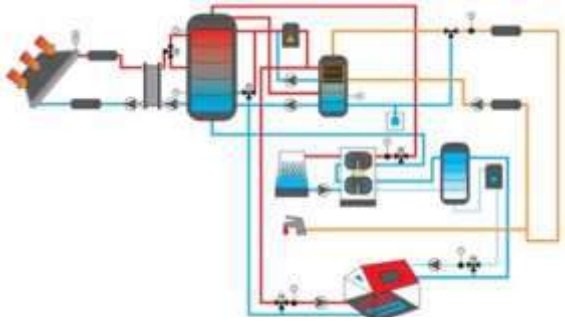


Figura 130: Esquema de instalación de ACS, calefacción y refrigeración

TRNSYS que es un programa abierto en el cual el usuario define la configuración, los modelos de equipos a emplear. Hay versiones aplicadas que son más amigables, suficientemente precisas, pero cerradas en la selección de configuraciones.

13 Sistemas solares para climatización urbana

13.1 Generalidades

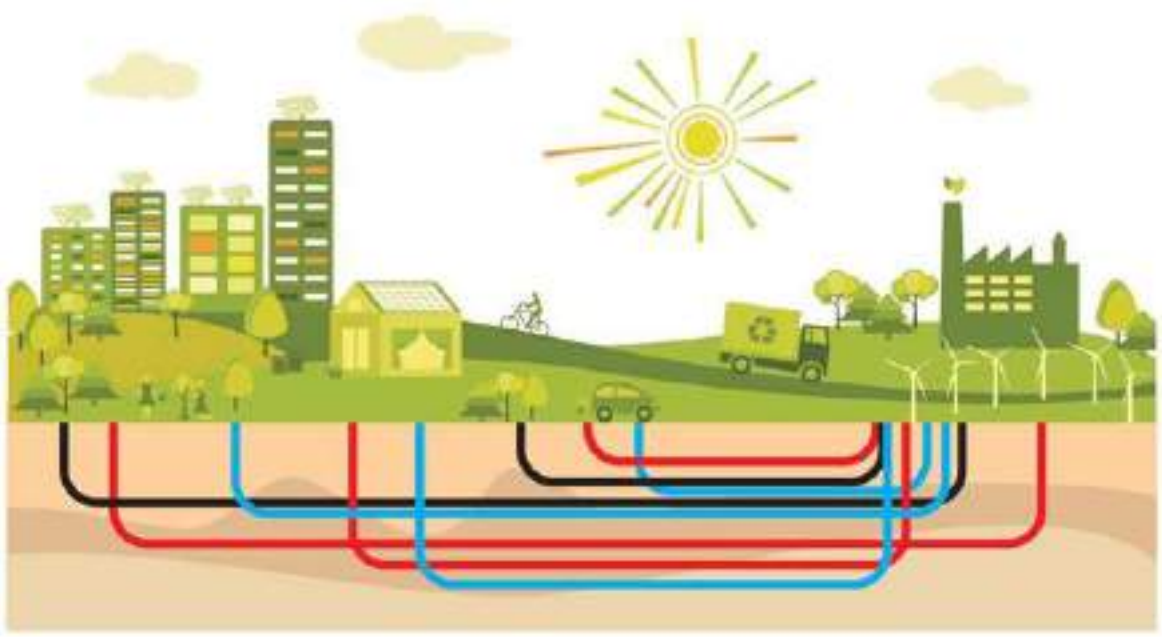


Figura 131: Sistemas de climatización urbana

La climatización urbana es un sistema centralizado de producción y distribución de energía térmica que abastece las diferentes demandas de los edificios (ACS, calefacción y refrigeración) atendiendo simultáneamente a un conjunto de ellos. Cada sistema puede disponer de uno o varios centros de producción de calor y frio interconectados entre sí y con los edificios a los que abastecen por redes de tuberías aisladas que discurren habitualmente enterradas por las calles. A todos los usuarios se les suministra energía térmica mediante un fluido, normalmente agua caliente o fría en circuito cerrado, aunque antiguamente también se utilizaba el vapor y el agua sobrecalentada.

Los sistemas de climatización urbana tienen la gran ventaja de que usan sistemas centralizados de producción de calor y frio que disponen de elevados rendimientos y que, al abastecer a un gran número de usuarios presentan una demanda más uniforme que permite que los generadores funcionen de forma continua. Asimismo, la concentración de los mismos permite optimizar las labores de operación y mantenimiento. Por el contrario, son desventajas o costes adicionales, las pérdidas térmicas de las redes de distribución y la necesidad medir y distribuir el gasto de energía de cada usuario.

En cualquier caso, desde el punto de vista energético y medioambiental, el resultado global es que los sistemas de climatización urbana constituyen una alternativa muy eficiente para la reducción del consumo de energía primaria y la reducción de emisiones y, sobre todo, cuando se diseñan con sistemas de producción térmica de alto rendimiento que utilizan fuentes renovables, cogeneración o calores residuales. Cabe destacar el uso de la cogeneración que permite el aprovechamiento simultáneo de la electricidad y el calor con rendimientos globales del 80-90% como así lo demuestra el hecho que se utiliza como fuente de calor en la mitad de las instalaciones existentes.

Por las mismas razones que se indicaron para la centralización de edificios, las instalaciones de climatización urbana bien diseñadas y ejecutadas son las más económicas en cuanto a su inversión y a su explotación. De la misma forma es factible, como se verá más adelante, la incorporación de sistemas solares térmicos a estas instalaciones independientemente del tamaño.

Aunque las instalaciones de climatización urbana, sobre todo con redes que solo proporcionan calor, están bastante extendidas en Europa, no lo están en España por lo que el primer problema para la integración de las instalaciones solares térmicas es que, independientemente de la fuente de energía, existen pocas instalaciones de climatización urbana. Cabe resaltar que los principales problemas para la expansión de la climatización urbana están relacionados con la falta de planificación energética y urbanística a largo plazo. Adicionalmente, es preciso disponer de las correspondientes autorizaciones, ejecutar grandes instalaciones de generación en el exterior y de adecuar las interiores de los edificios abastecidos, y sobre todo, para realizar la inversión es necesario disponer de amplia capacidad de financiación y es muy importante el apoyo de las administraciones para que se desarrollen estos sistemas.

13.2 Clasificación de los sistemas de climatización urbana

Los sistemas de climatización urbana se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios como son las fuentes de energía utilizadas, la tipología de edificios y usuarios, el trazado de las redes de tuberías y el diseño de los circuitos que se describen a continuación.

13.2.1 Fuentes de energía

Las fuentes de energía convencionales que más se utilizan son las siguientes:

- Entre los combustibles fósiles, el único que se utiliza es el gas natural cuando está disponible como gas canalizado. Ni los GLP ni el gasoil se utilizan porque, además de mayores emisiones contaminantes, es costoso resolver su transporte y acumulación.
- Se utiliza la electricidad en las instalaciones de producción de frío por compresión mecánica.

Como fuentes energéticas renovables se pueden destacar:

- **La biomasa** ya sea de origen forestal o procedente de residuos de la industria de la madera como biogás aprovechado de vertederos o de estaciones de tratamiento de agua o residuos.
- **La energía solar térmica**

- **La energía geotérmica**

Otras fuentes energéticas son los calores residuales de instalaciones de valorización térmica de residuos, centrales térmicas de generación eléctrica o de procesos industriales.

13.2.2 Los tipos de edificios y usuarios

Aunque el suministro de frio o calor se puede realizar a cualquier tipo de edificio, ya sean públicos o privados, sean residenciales de viviendas o comercial-terciario, o incluso industrial, la experiencia práctica es que se van seleccionando las aplicaciones de forma que las instalaciones de climatización urbana sean más viables. Así por ejemplo, el caso de viviendas individuales está menos generalizado ya que su ejecución es más costosa por la dispersión de los usuarios y se complican los sistemas de medida y facturación; por el mismo motivo, se promueven mucho más las instalaciones en las áreas urbanas donde exista mayor concentración de usuarios.

Los edificios del sector terciario son bien apreciados por su tamaño y consumo. También se puede señalar las ventajas de mezclar edificios residenciales con otros de servicios como oficinas que son complementarios ya que demandas que no coinciden en el tiempo favorecen el factor de uso.

En el caso del sector industrial, hay que diferenciar los suministros similares a los urbanos como, por ejemplo, la climatización de oficinas, de las aplicaciones específicamente industriales donde las condiciones de trabajo son muy diferentes y su integración puede resultar más compleja.

13.2.3 Tipos de sistemas de distribución

Desde la central de producción de energía térmica se puede configurar el trazado de la red de distribución de energía térmica en forma en árbol o ramificada y en forma de anillo o malla:

- **Árbol o ramificada**. Desde la central de producción existe una única vía de suministro para conectar a cada usuario. Los trazados de la red son sencillos pero es compleja su ampliación y tiene mala respuesta en caso de averías. En algunos casos, se realiza un cierre en anillo desde el punto final de la red para asegurar una vía de suministro alternativa.
- **Anillo o malla**. El usuario se conecta a la central generadora mediante varias vías alternativas. Pueden existir varias centrales conectadas a la misma red lo que aumenta significativamente la fiabilidad aunque el trazado es más complejo y el coste más elevado. Se justifican para garantizar el suministro de manera muy estricta o en el caso de redes grandes.

022

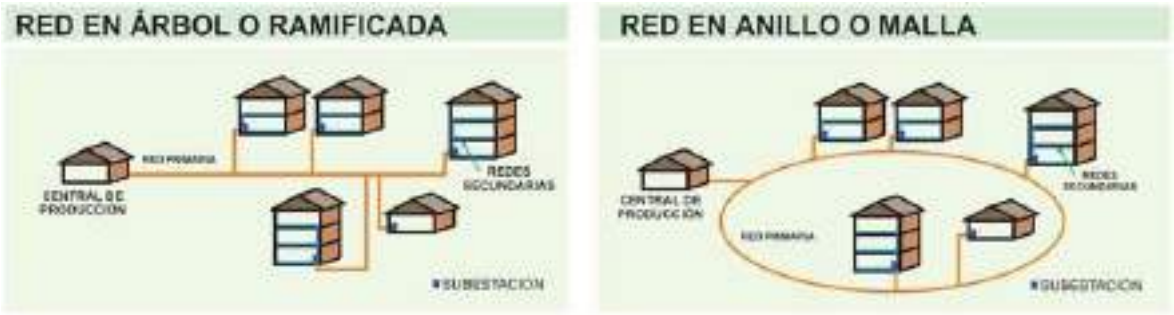


Figura 132: Dos formas de configurar el sistema de distribución de energía térmica

13.2.4 El diseño de los circuitos

Los primeros sistemas de climatización urbana para abastecer demandas de ACS y calefacción se construyeron en localizaciones nórdicas y frías y se trataba de redes de distribución de sólo calor. Posteriormente se desarrollaron redes de distribución de agua fría para satisfacer las demandas de refrigeración y finalmente, al generalizarse los estándares de confort durante todo el año y ampliarse las zonas climáticas de aplicación a zonas más cálidas, se desarrollaron las redes de frio y calor.

En zonas climáticas frías se siguen utilizando sistemas de sólo calor que utilizan circuitos de dos tubos donde una tubería transporta el fluido hasta el usuario y retorna por la segunda tubería hasta la central de producción. En zonas más cálidas, la tendencia actual es el desarrollo de sistemas que suministren frio y calor para lo cual se utilizan sistemas a cuatro tubos: dos para el circuito de calor y dos para el circuito de frío. Adicionalmente, existen algunos casos especiales que se deben conocer, aunque no estén muy extendidos:

- **Sistemas de frio y calor a tres tubos**. En estos sistemas una tubería impulsa agua fría, otra, agua caliente y la tercera es el retorno común a las dos anteriores. Aunque se disminuye la inversión en tuberías, son sistemas muy poco utilizados por su baja eficiencia energética al mezclar fluidos a diferentes temperaturas.
- **Sistemas de solo calor a cuatro tubos** que transportan de forma separada agua utilizada para calefacción y agua para producir agua caliente sanitaria configurando una red de calefacción que trabaja a temperatura elevada en invierno y se desconecta en verano cuando no hay demanda de calefacción y otra red para ACS que funciona todo el año a más baja temperatura (unos 65-70 °C).

13.3 Características de los sistemas de climatización urbana

13.3.1 Central de producción

Las centrales de producción de energía térmica se diseñan para abastecer todas las necesidades de calefacción, de refrigeración y de agua caliente sanitaria y puede tratarse de una única central o de varias que pueden estar conectadas a través de las redes de distribución.

Para generar calor pueden usarse desde calderas hasta sistemas de cogeneración, ya sean motores o turbinas. Para que la producción de calor sea sostenible normalmente se combinan tecnologías con las diversas fuentes energéticas disponibles y, a esos efectos, se puede señalar que la solución ideal sería aprovechar la energía térmica residual de centrales de producción eléctrica que ya funcionen, industrias o realizar centrales nuevas de cogeneración, mejor con combustible residual o renovables, y en las que se pueda aprovechar la energía térmica.

Para generar frío, la solución más habitual es utilizar plantas enfriadoras de agua alimentadas por energía eléctrica. Existe la posibilidad de utilizar sistemas por absorción y adsorción alimentados por fuentes de calor que sean producidas por fuentes residuales, como incineradoras o calor de las propias cogeneraciones o por fuentes renovables.

13.3.2 Red de distribución

Además de la localización de la planta de producción de energía y de la cantidad y dispersión de los usuarios es fundamental el correcto diseño de la red de distribución para garantizar la viabilidad económica de los proyectos de climatización urbana. En ese diseño es fundamental minimizar las pérdidas térmicas de energía y, para ello, lo más habitual es utilizar tuberías de acero o de material plástico pre aisladas y con recubrimientos de material plástico que garantizan tanto la correcta ejecución como la protección del aislamiento.

En una red de tuberías se pueden distinguir, por orden de importancia, la red troncal, los ramales principales y secundarios y las tuberías de conexión para las acometidas de servicio a los usuarios. Tanto la red troncal como las tuberías principales de los ramales normalmente siguen el trazado de las calles o carreteras; en algunos casos van simplemente enterradas y en otros, se disponen de galerías de servicio visitables que pueden compartir infraestructura con las restantes redes que se necesitan en las ciudades (electricidad, agua, gas, telefonía, etc.).

Las redes de distribución incluyen todas las tuberías, componentes y accesorios adicionales que son necesarios para su funcionamiento y destacan, entre ellos, detentores, válvula de regulación, aireadores y drenajes, compensadores de dilatación, etc.

Un accesorio fundamental de las redes enterradas es el detector de fugas de agua tanto de las tuberías hacia el exterior, como desde el terreno hacía las tuberías por fisuras o problemas en la protección. Una fuga desde el terreno hacia las tuberías provoca un defecto de aislamiento ya que, en caso de que este se moje o absorba humedad, disminuye su capacidad aislante. Normalmente el sistema de detección consiste en conductores eléctricos que se disponen en el aislamiento de la tubería y que, en caso de humedad, detectan una diferencia de potencial.

Un sistema de bombeo para impulsar y regular el caudal que circula por las tuberías completa los circuitos de las redes de distribución. La elección de bombas depende de muchos factores, entre los que destacan el tipo de caudales, el coste de la instalación, la eficiencia y la rapidez necesaria para maniobras de operación.

El aporte de energía térmica debe adaptarse en cada momento a una demanda que es variable algo que se puede conseguir variando la temperatura de impulsión y manteniendo el caudal constante o variando el caudal de fluido y manteniendo la temperatura constante. Es más

recomendable esta segunda opción ya que los cambios se producen con menos inercia y se generan menos problemas de tensiones en tuberías por dilatación.

13.3.3 Acometidas y subestaciones de usuarios

Las acometidas a las instalaciones interiores de los usuarios son las tuberías de conexión entre la red y el edificio que normalmente entran por debajo del nivel de la calle y conectan las que se denominan como subestaciones de los usuarios. Las subestaciones adecuan la presión y la temperatura de la red de distribución a las condiciones necesarias para el consumo del edificio, y garantizan los saltos de temperatura necesarios para una buena eficiencia del sistema.

Las subestaciones constan en un equipo de regulación y control, un equipo de medida de energía térmica y, en función del tipo de subestación, también puede disponer de equipos de intercambio o de acumulación.

De los tipos posibles de subestaciones, las de conexión directa en las que no hay una separación entre el circuito de la red y el del usuario no son recomendables y cada vez se utilizan menos. Por el contrario, las más utilizadas son las subestaciones de conexión indirecta en las que se separa la red de la instalación interior mediante un intercambiador de calor.

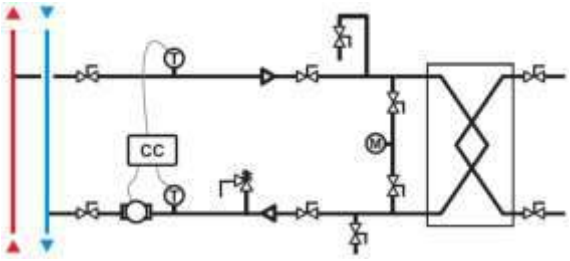


Figura 133: Esquema de subestación de conexión indirecta

Normalmente el sistema de agua caliente sanitaria del usuario siempre es un circuito independiente de la red, puesto que debe cumplir unas condiciones higiénicas especiales. La subestación de ACS puede consistir, en función del servicio, en intercambiadores de calor entre el sistema interior y el de la red, o en interacumuladores, sistema que se utiliza preferiblemente para grandes consumos con elevadas puntas de consumo como, por ejemplo, ocurre en hoteles.

13.4 Integración de la energía solar térmica

Para una correcta integración de la energía solar térmica en sistemas de climatización urbana son factores fundamentales a considerar: la temperatura de trabajo del fluido, la superficie disponible en áreas urbanas para la instalación de captadores, con posibilidades de integración centralizada o distribuida, y la necesidad de sistemas de acumulación estacional si se quiere alcanzar un aporte solar significativo.

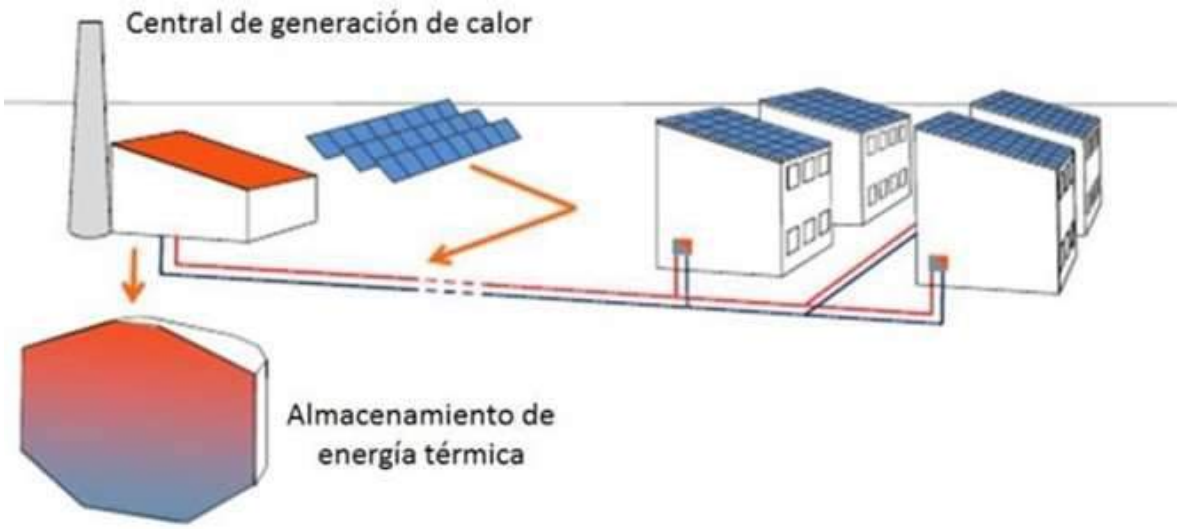


Figura 134: Integración de instalaciones solares térmicas en sistemas de climatización urbana

13.4.1 Temperatura de trabajo del fluido

Las nuevas instalaciones de climatización urbana están sustituyendo el vapor antiguamente utilizado como fluido de trabajo por agua caliente que son redes más económicas, con menos esfuerzos por dilataciones y con menos pérdidas térmicas. Además, las de agua caliente cada vez utilizan temperaturas de distribución más bajas que actualmente están en el rango de 70-90ºC con temperaturas de retorno de 50-70ºC.

Esta reducción de temperatura desarrolla sistemas energéticamente más eficientes con menores pérdidas que deben compensar la desventaja del aumento del caudal, el mayor tamaño de tuberías, de intercambiadores y de unidades terminales. A pesar del aumento del coste de inversión, la tendencia es seguir reduciendo la temperatura de redes que permite el uso de bombas de calor, energía solar térmica o calores residuales de baja temperatura. La posibilidad de utilizar materiales plásticos en las redes de distribución también es una importante razón económica. Esta reducción del nivel térmico debe tener en cuenta la necesidad de garantizar el cumplimiento del reglamento anti legionela en los sistemas de producción de ACS de cada edificio.

De la misma forma que se indicó para las instalaciones de calefacción, la integración de las instalaciones solares térmicas en la climatización urbana se debe realizar de forma que éstas se conecten con el circuito de retorno donde las temperaturas son más bajas.

13.4.2 Integración centralizada o distribuida

La integración de las instalaciones solares en las redes de distribución no tiene porque necesariamente hacerse mediante grandes instalaciones que directamente se conectan y alimentan a la central de producción centralizada, sino que pueden realizarse de manera distribuida.

022

Sobre todo, en localizaciones urbanas, donde no existen muchos terrenos que hagan económicamente viable su uso para implantación de captadores solares es necesario buscar otras soluciones ya que normalmente sucede que es más sencillo disponer de muchas pequeñas instalaciones solares distribuidas en las cubiertas de los edificios que grandes campos de captación solar centralizados. Aunque se pierden las posibilidades de reducción de costes por aplicación de economía de escala al ser el tamaño de las instalaciones mayor, esto se compensa por las menores distancias a las redes y a los puntos de consumo.

En principio, si las temperaturas de trabajo lo permiten, cualquier instalación solar térmica puede integrarse en un sistema de climatización urbana y deben analizarse y seleccionarse en cada caso la mejor forma de conexión.

La integración puede realizarse mediante conexión directa, con o sin colector de equilibrado hidráulico, aunque normalmente se utiliza la conexión indirecta con un intercambiador y en otras ocasiones con acumulación.

La conexión puede realizarse aumentando la temperatura en la tubería de impulsión o la de retorno, en serie o en paralelo, o mediante un sistema que conmute la conexión en función de las temperaturas o la época del año.

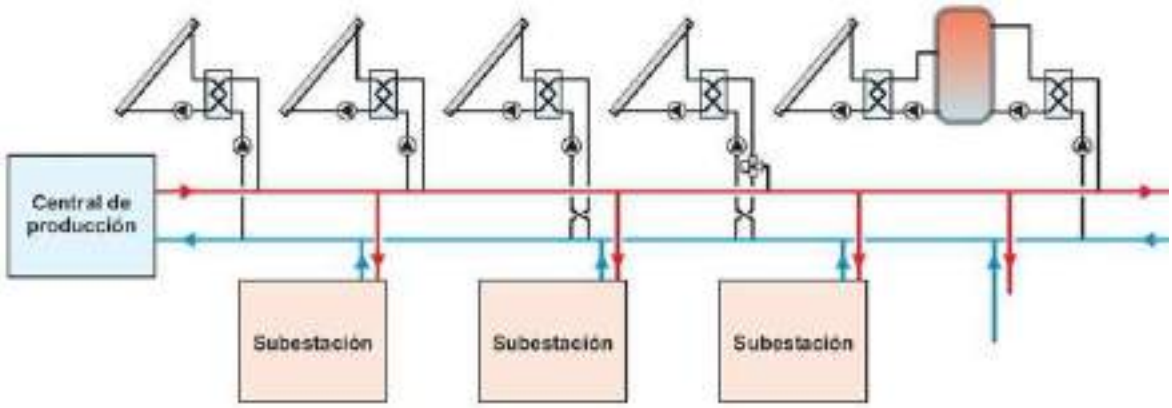


Figura 135: Diferentes formas de conectar instalaciones solares térmicas a redes urbanas de calor

En función de las disponibilidades de terreno, superficies en edificios o el posible aprovechamiento de infraestructuras surgen las diversas formas de implantación del campo de captadores como puede observarse en la figura adjunta.

Figura 136: Diversas soluciones de implantación del campo de captadores solares

13.4.3 Acumulación estacional

Salvo para pequeñas contribuciones solares que se pueden realizar por aporte directo sin acumulación, la acumulación solar siempre es necesaria para integrar una instalación a la que se quiera aportar una cantidad significativa de energía. El objeto de la acumulación es evitar el desfase entre la demanda y la producción solar, que puede ser desde un desfase de horas (el calor que se produce al mediodía para utilizarlo en calefacción cuando se oculta el sol o durante la noche) hasta desfase de meses (el calor que se produce en verano se utiliza durante el invierno) y, en este caso, se estará hablando de la acumulación estacional.

Los primeros son normalmente acumuladores de inercia o combinados que ya se han tratado en las instalaciones de ACS y calefacción. Los acumuladores estacionales, por el contrario, pueden ser de varios tipos cuya descripción queda fuera del alcance de esta guía. En la tabla siguiente se resumen las características de las 4 tecnologías de acumulación estacional que actualmente se desarrollan. Puede observarse que cuando se utilizan materiales que tienen menores capacidades caloríficas que el agua, para almacenar la misma cantidad de calor a la misma temperatura se deben utilizar volúmenes mayores.

Tecnología de almacenamiento	**Depósito**	**Pozo**		**Sondeo**	**Acuífero**
Esquema					
Medio de almacenamiento	Agua	Agua	Grava + Agua	Tierra / Roca	Arena / Agua
Cap. calorífica (kWh/m3)	60-80	60-80	30-50	15-30	30-40
Requisitos geológico	Condiciones estables del terreno Preferiblemente sin aguas subterráneas Profundidad de 5 – 15 m	Condiciones estables del terreno Preferiblemente sin aguas subterráneas Profundidad de 5 – 15 m		Terreno perforable Agua subterránea favorable con gran capacidad térmica Alta conductividad térmica y baja conductividad hidráulica Bajo caudal natural d agua subterránea	Capa acuífera con alta conductividad Bajo caudal de aguas subterráneas Bajo o nulo caudal de aguas subterráneas Adecuada composición química del agua

			Profundidad entre 30 y 100 m.	

Tabla 18: Tecnologías de almacenamiento estacional

14 Información complementaria

14.1 Documentos de referencia

14.1.1 Legislación

Considerar toda la normativa vigente aplicable y, en particular, la relacionada con:

- Código Técnico de la Edificación (CTE), Sección HE 4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- Criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis
- Procedimientos para la certificación de eficiencia energética de los edificios.

Asimismo, la normativa autonómica y municipal que sea de aplicación considerando sus modificaciones y actualizaciones.

14.1.2 Normas UNE

- UNE-EN ISO 9488 Energía solar. Vocabulario
- UNE-EN 12975-1 Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN ISO 9806 Energía solar. Captadores solares térmicos. Métodos de ensayo.
- UNE-EN 12976-1 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12976-2 Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.
- UNE-ISO 9459-2 Calentamiento solar. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria. Parte 2: Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares.
- UNE-EN 12977-1 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 1: Requisitos generales para los calentadores de agua solares y las instalaciones solares combinadas.
- UNE-EN 12977-2 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 2: Métodos de ensayo para los calentadores de agua solares y las instalaciones solares combinadas.
- UNE-EN 12977-3 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 3: Métodos de ensayo del rendimiento de los acumuladores de agua de calentamiento solar.
- UNE-EN 12977-4 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 4: Métodos de ensayo del rendimiento para las instalaciones solares combinadas.
- UNE-EN 12977-5 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 5: Métodos de ensayo del rendimiento para los sistemas de regulación.

- UNE 94002 Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica
- UNE 94003 Datos climáticos para el dimensionado de instalaciones solares térmicas.
- UNE 94041-1 Sistemas domésticos de apoyo de consumo calorífico nominal inferior o igual a 70 kW y volumen de acumulación inferior o igual a 300 l, utilizados en instalaciones solares térmicas. Parte 1: Sistemas de apoyo que utilizan combustibles líquidos y gaseosos.
- UNE-EN ISO 22975-3 Energía solar. Componentes y materiales del captador. Captadores solares. Parte 3: Durabilidad del absorbedor solar.

- UNE 100155 Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión.
- UNE 100050 Climatización. Prevención de la corrosión en circuitos de agua.
- UNE 100171 Climatización. Aislamiento térmico. Materiales y colocación.
- UNE 100152 Climatización. Soportes de tuberías.
- UNE 100151 Climatización. Pruebas de estanquidad de redes y tuberías.
- UNE 100156 Climatización. Dilatadores. Criterios de diseño

14.1.3 Bibliografía

1. GUÍA ASIT DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. Versión 2010.05 Documento reconocido del RITE. ASIT
2. INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS DE INSTALACIONES DE BAJA TEMPERATURA. Revisión 2009. IDAE
3. MANUAL DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA - AGENCIA ANDALUZA DE LA ENERGÍA
4. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS. Diseño e Instalación. Peuser y otros. SOLARPRAXIS
5. DTIE 8.03 INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA – ATECYR
6. DTIE 8.04 ENERGÍA SOLAR. CASOS PRÁCTICOS – ATECYR
7. FUNDAMENTOS DE ENERGÍA SOLAR PARA ACS Y CLIMATIZACIÓN. BUENAS PRÁCTICAS. ATECYR
8. GUÍA TÉCNICA DE INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS PARA AGUA CALIENTE SANITARIA. ASPRIMA-AOCTI
9. MANUALES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. ENTE PÚBLICO REGIONAL DE LA ENERGÍA DE CASTILLA Y LEÓN (EREN)
10. MANUALES Y DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE EMPRESAS

14.2 Definiciones

14.2.1 Radiación solar

1. Radiación solar: es la energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas de onda corta (0,2 a 3 µm).
2. Radiación solar directa: es la radiación solar que, sin haber sufrido modificación en su trayectoria, incide sobre una superficie. Es decir, procede directamente del disco solar.
3. Radiación solar difusa celeste: es la radiación que, originada en la dispersión de la radiación solar por las moléculas de aire, aerosoles, ozono y otros componentes atmosféricos, incide sobre una superficie procedente de toda la bóveda celeste.
4. Radiación solar reflejada: es la radiación procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos que incide sobre una superficie.
5. Radiación solar difusa: es la suma de la radiación difusa celeste y la radiación solar reflejada de onda corta. Hay una radiación difusa de onda larga, procedente de todos los objetos y de la propia bóveda celeste.
6. Radiación solar global: es la suma de la radiación directa y difusa.
7. Irradiancia solar: es la magnitud física que valora la radiación solar en potencia por unidad de área. Se expresa en W/m^2 y se suele representar por la letra G.
8. Irradiación solar: es la magnitud física que valora la radiación solar en energía por unidad de área. Se expresa en J/m^2 y se suele representar por la letra H. La irradiación es la integral de la irradiancia en el tiempo: $H = \int G.dt$.

14.2.2 Instalación

1. Instalación solar: instalación que transforma la radiación solar en energía térmica y que está constituida por los sistemas de captación, acumulación, etc.
2. Sistema de captación solar térmica: sistema de una instalación solar que transforma la radiación solar incidente en energía térmica.
3. Sistema de acumulación: sistema de una instalación solar que almacena la energía interna producida en la instalación
4. Sistema de intercambio: sistema de una instalación solar que realiza la transferencia de calor entre fluidos que circulan por circuitos diferentes.
5. Sistema de transporte o de circulación: sistema de una instalación solar formado por tuberías y elementos de impulsión y aislamiento térmico adecuados, diseñados para transportar la energía producida.
6. Sistema de apoyo o auxiliar: elemento de apoyo a la instalación solar para complementar el aporte solar en periodos de escasa radiación solar o de demanda de energía superior a la prevista.
7. Sistema de control: sistema de una instalación solar que asegura el correcto funcionamiento del conjunto.

8. Circuito primario: circuito formado por los captadores y las tuberías que los unen, en el que el fluido de trabajo recoge la energía térmica producida en los captadores y la transfiere al acumulador solar, bien directamente o a través de un intercambiador de calor.
9. Circuito secundario: circuito en el que se recoge la energía captada en el circuito primario a través de un intercambiador de calor y se transfiere a un acumulador.
10. Circuito terciario: circuito en el que se recoge la energía almacenada en el acumulador de inercia y se transfiere al circuito de consumo a través de un intercambiador de calor.
11. Circuito de consumo: circuito que parte de la red de distribución de los sistemas de abastecimiento y llega a los puntos de consumo. Este circuito transporta agua potable de consumo.
12. Instalación abierta: instalación en la que el circuito primario está comunicado de forma permanente con la atmósfera.
13. Instalación cerrada: instalación en la que el circuito primario no tiene comunicación directa con la atmósfera.
14. Instalación de sistema directo: instalación en la que el fluido de trabajo es el propio agua de consumo.
15. Instalación de sistema indirecto: instalación en la que el fluido de trabajo no tiene posibilidad de ser distribuido al consumo con el que sólo intercambia energía térmica.
16. Instalación por termosifón: instalación en la que el fluido de trabajo circula por convección natural o libre.
17. Instalación con circulación forzada: instalación equipada con dispositivos (bombas) que provocan la circulación del fluido de trabajo.
18. Equipo solar doméstico o sistema prefabricado: sistema de aprovechamiento de la energía solar para producción de agua caliente sanitaria, fabricado mediante un proceso estandarizado que presupone resultados uniformes en prestaciones. Se vende como una unidad y suele estar en el mercado bajo un nombre comercial único.
19. Equipo compacto: equipo solar doméstico cuyos elementos se encuentran montados en una sola unidad, aunque físicamente pueden estar diferenciados.
20. Equipo no compacto o equipo partido: equipo solar doméstico cuyos elementos principales (de captación y de acumulación) se pueden encontrar separados y a una distancia adaptada a la disponibilidad de colocación de los captadores, del acumulador y del sistema de consumo.
21. Equipo integrado: equipo solar doméstico cuyos elementos principales (captación y acumulación) constituyen un único componente y no es posible diferenciarlos físicamente.
22. Configuración básica: características de una instalación solar incluyendo su esquema hidráulico (conexiones hidráulicas entre el grupo de captadores, el acumulador (es) y otros componentes) y el sistema de control. Se consideran que tienen la misma configuración los sistemas que difieran en cualquier otro parámetro, en el tipo o dimensiones de los componentes usados o en los ajustes de controladores.
23. Esquema de principio: representación gráfica de una configuración básica.
24. Seguridad intrínseca: sistema de protección de las instalaciones incorporados en el diseño y que no requieren ningún soporte externo a la misma (electricidad, agua, etc.).

14.2.3 Captador

1. Captador solar térmico: dispositivo diseñado para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica así producida a un fluido portador que circula por su interior.
2. Absorbedor: componente de un captador solar cuya función es absorber la energía radiante y transferirla en forma de calor a un fluido.
3. Cubierta: elemento de material transparente (en onda corta) a la radiación solar y opaco (parcialmente) a la radiación de onda larga que cubre al absorbedor para reducir las pérdidas, producir el efecto invernadero y protegerlo del ambiente.
4. Carcasa: componente del captador que conforma su superficie exterior, fija la cubierta, contiene y protege a los restantes componentes del captador y soporta los anclajes.
5. Junta de cubierta: elemento de material elástico cuya función es asegurar la estanqueidad de la unión cubierta-carcasa.
6. Aislamiento térmico: material de baja conductividad térmica que se emplea en el captador solar para reducir las pérdidas térmicas por la parte posterior y los laterales.
7. Área total del captador: área máxima proyectada por el captador completo, excluyendo cualquier medio de soporte y acoplamiento de los tubos.
8. Área de apertura: área proyectada máxima a través de la cual penetra en el captador la radiación solar sin concentrar.
9. Área del absorbedor: área máxima de la proyección del absorbedor.
10. Temperatura de estancamiento: temperatura que alcanza el absorbedor de un captador solar cuando está vacío, la irradiancia incidente sobre el captador es 1000 W/m^2 y la temperatura ambiente 30ºC.
11. Factor de ganancia o rendimiento óptico del captador: rendimiento del captador cuando la diferencia de temperaturas entre el captador y el ambiente es cero.
12. Batería de captadores: Conjunto de captadores solares, instalados sobre una misma estructura y conectados entre sí.

14.2.4 Otros componentes

1. Acumulador solar: depósito en el que se almacena el agua calentada a través del sistema de captación de la instalación solar. Pueden ser de inercia o de consumo.
2. Acumulador solar de inercia: situado en un circuito cerrado y no tiene posibilidad de distribuir el fluido almacenado al circuito de consumo.
3. Acumulador solar de consumo: forma parte del circuito de consumo.
4. Intercambiador de calor: dispositivo en el que se produce la transferencia de energía térmica entre dos fluidos que se encuentran en circuitos separados y a temperaturas diferentes. Pueden ser incorporados o independientes; de carga o de descarga
5. Intercambiador de calor incorporado: ubicado en el acumulador solar. Los más comunes son de tipo serpentín, doble envolvente, etc. También son denominados interacumuladores.
6. Intercambiador externo o independiente: no ubicado en el acumulador solar. Normalmente son de placas.

7. Intercambiador de carga o solar: intercambiador que realiza la transferencia de calor desde el fluido que circula por el circuito primario.
8. Intercambiador de descarga o de consumo: intercambiador que realiza la transferencia de calor desde el acumulador de inercia hasta el agua de consumo.
9. Vaso de expansión: dispositivo que permite absorber las variaciones de volumen y presión en un circuito cerrado producidas por las variaciones de temperatura del fluido circulante. Puede ser abierto o cerrado, dependiendo de que el fluido esté o no en comunicación directa con la atmósfera.
10. Tuberías: elementos de conexión entre captadores, acumuladores, sistema de apoyo y resto de componentes de una instalación solar térmica.
11. Válvulas: En una instalación solar se emplean diversos tipos de válvulas que desempeñan distintas funciones. Pueden ser de corte, de retención, de seguridad, de asiento.
12. Válvula de corte: dispositivo que permite interrumpir el paso de fluido en un circuito. Permite aislar componentes a efectos de sustitución, reparación o mantenimiento.
13. Válvula antirretorno o de retención: dispositivo que permite interrumpir el paso de fluido en un sentido.
14. Válvula de seguridad: dispositivo que permite limitar la presión máxima del circuito.
15. Válvula de asiento: dispositivo que permite equilibrar el circuito hidráulico.
16. Bomba: dispositivo electromecánico que produce la circulación forzada de un fluido a través de un circuito.
17. Sistema de purga de aire: conjunto de elementos que permiten la salida del aire acumulado en el circuito.
18. Control diferencial de temperaturas: dispositivo electrónico que arranca o para las bombas en función de una diferencia de temperaturas prefijada. Normalmente esta diferencia de temperaturas corresponde a la existente entre los captadores y el acumulador solar.
19. Sistema de protección antiheladas: sistema (o dispositivo) que sirve para evitar la congelación del fluido de trabajo.
20. Fluido de trabajo: es el fluido encargado de recoger y transmitir la energía captada por el absorbedor. También se le llama fluido portador.

14.2.5 Agua caliente sanitaria

1. Agua fría: agua potable de consumo público utilizada en las instalaciones de los edificios, que no ha sido sometida a ningún proceso de calentamiento, y que es suministrada a través de la red de distribución del sistema de abastecimiento. La red de distribución puede ser pública o privada.
2. Agua caliente sanitaria: agua fría que ha sido sometida a un proceso de calentamiento y que se destina a usos sanitarios.
3. Carga de consumo: cantidad de agua caliente gastada en un determinado periodo de tiempo. Siempre está asociada a una temperatura de referencia.

4. Temperatura del agua fría (TAF): temperatura del agua de la red de distribución de los sistemas de abastecimiento de agua fría.
5. Temperatura de preparación (TP): temperatura de diseño en el sistema de apoyo de agua caliente sanitaria.
6. Temperatura de distribución (Td): temperatura de diseño en el sistema de distribución de agua caliente sanitaria a la que se acondiciona el agua caliente sanitaria del sistema de preparación para su reparto o distribución a los distintos puntos de consumo.
7. Temperatura de uso (TU): temperatura del agua caliente sanitaria en los puntos de consumo.

14.2.6 Términos energéticos

1. Rendimiento de la instalación: Se define el rendimiento (REN) de una instalación solar como el cociente entre la energía térmica neta aportada por la instalación solar y la energía solar incidente sobre el plano de los captadores solares de la instalación referidas a un determinado periodo de tiempo.
2. Fracción solar: Se define la fracción solar (FS) como el cociente entre la energía neta aportada por la instalación solar al consumo y la demanda de energía térmica para producción de agua caliente requerida por el consumo.

022

14.3 Memoria de diseño

14.3.1 Contenidos

Esta guía incluye un documento resumen denominado Memoria de Diseño (MD) que recoge toda la información que debe haberse empleado o definido a lo largo de un proyecto y pretende dar uniformidad y resumir la documentación de la instalación. Se pretende facilitar:

- Al propio proyectista la revisión de los contenidos del mismo.
- A un tercero (supervisor de proyecto, instalador, etc.) visualizar y entender de forma rápida los parámetros fundamentales de la instalación.
- A técnicos de la administración, de control de calidad, etc. la información necesaria para realizar la evaluación del proyecto o una inspección de la instalación ejecutada.

La cumplimentación de la MD exigirá haber definido, calculado, decidido y establecido todo lo referente a la instalación solar. En la propia MD se establecen los anexos que se deben incluir y completan la definición del proyecto de la instalación:

- Documentos anexos para justificar las sombras, las soluciones estructurales y los cálculos hidráulicos y térmicos.
- Informes de ensayo de sistemas prefabricados, captadores y acumuladores.
- Fichas técnicas y manuales de instalación de los diversos componentes
- Planos y esquemas

Se ha definido un formato para la MD de la instalación solar que se incluye a continuación y los conceptos y datos que deberá incluir se han especificado a lo largo de los capítulos 2 a 9 de esta guía.

14.3.2 Formato de la memoria de diseño

1 DATOS GENERALES

Fecha

Número de expediente

USUARIO	LOCALIZACIÓN
Nombre	
Domicilio	
Localidad	
Tel	
Fax	
Representante	

DATOS DEL EDIFICIO Y DE LA INSTALACIÓN

Edificio nuevo/existente/rehabilitación

Instalación de ACS nueva/existente/rehabilitación

Sistema de apoyo

2 DATOS DE PARTIDA: PARÁMETROS DE USO Y CLIMÁTICOS

Aplicación (Viviendas uni o multifamiliar, hoteles, etc.)

Número de viviendas y Factor de centralización

Número total de personas

Ocupación mensual

Consumo unitario a temp referencia

Temperatura de referencia

Temperatura de uso

Temperatura de distribución

Temperatura de preparación

Consumo diario total (valores mensuales)

Estacionalidad

Datos de radiación solar (valores mensuales)

Datos de temperatura ambiente (valores mensuales)

Orientación

Inclinación

Pérdidas por sombras

3 PARÁMETROS FUNCIONALES

Captador: marca, modelo, coef. de rendimiento, caudal ensayo y superficie de apertura

Número de captadores y superficie total

Acumulador: tipo, marca, modelo y volumen

Relación volumen/área (litros/m2), volumen consumo (litros/litros)

Intercambiador: tipo, potencia y efectividad

Circuito primario: caudal total y fluido (calor específico y densidad)

Circuito carga: caudal total y fluido (calor específico y densidad)

Circuito descarga: caudal total y fluido (calor específico y densidad)

Circuito secundario: caudal total y fluido (calor específico y densidad)

Circuito de consumo: caudal total y fluido (calor específico y densidad)

022

4 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE PRESTACIONES ENERGÉTICAS

Método de cálculo utilizado

Demanda anual de energía térmica

Pérdidas térmicas

Consumo anual de energía térmica

Aporte solar anual

Fracción solar

Aporte solar unitario

Rendimiento medio anual

	OCU	TAF	RAD	TAD	OCU	CMED	DE	PT	CE	AS	FS
	%	ºC	MJ/m2.d	ºC	%	l/d	MJ/d	MJ/d	MJ/d	MJ/d	%
ENE											
FEB											
MAR											
ABR											
MAY											
JUN											
JUL											
AGO											
SEP											
OCT											
NOV											
DIC											
MED											

5 CONFIGURACIÓN BÁSICA

Tipo de instalación: Sistema prefabricado /Sistema a medida

Tipo de Circulación

Intercambiador

Contacto con la atmósfera del primario

Fluido y drenaje del circuito

Sistema de apoyo

6 CONDICIONES DE TRABAJO

Temp. estancamiento

Temp. máx. acumulación

Temp. máx. apoyo

Circuito PRI CAR DES SEC CON DIS REC

TMAX

TMIN

TNOM

PMAX

PMIN

PEST

PNOM

ALTURA VSEG

PRESIÓN DE TARADO VS

Acción combinada temperatura/presión

Medidas que evitan flujo inverso en circuito

Medidas que evitan flujo inverso en conexiones acumulador

Medidas que evitan flujo inverso en entrada agua fría

Medidas para evitar quemaduras usuario < 60ºC

Medidas para evitar quemaduras por evacuación fluidos

Medidas para evitar quemaduras por superficies > 80ºC

Protección seguridad intrínseca circuito primario contra sobrecalentamiento

Otros sistemas de protección relativas a presiones

7 FLUIDO DE TRABAJO

Temperatura mínima histórica

Riesgo de heladas

Sistema de protección contra heladas (describir)

Tipo de fluido en circuito primario

Características del agua

Características del anticongelante

Sistema de preparación mezcla del fluido del primario

Sistema de llenado del circuito primario

Control de proporción de mezcla

Proporción de mezcla (%)

8 SISTEMA DE CAPTACION

Número de captadores (uds.)

Superficie de apertura total (m2)

Potencia total nominal (kW)

Caudal total circuito primario (l/h)

Conexionado en paralelo (1) o serie (2,3,…)

Caudal específico en el captador (l/h.m2)

Caudal específico en la instalación (l/h.m2)

Número de captadores por batería

Número de baterías por grupo

Número de grupos de baterías de captadores

Todas las baterías y grupos de captadores son iguales

Solución adoptada para equilibrado

Control equilibrado a largo plazo

Previsión válvulas por grupo: corte y seguridad

Orientación (¿es la misma para todos?)

Inclinación (¿es la misma y cumple límites del fabricante?)

Informe de sombras

Cálculo de las pérdidas por sombras (%)

Justificación estructural

Sistema sujeción captadores descrito en manual fabricante

Protección exterior estructura

9 SISTEMA DE ACUMULACION

Tipo: inercia o consumo, centralizado o distribuido, interacumulador, apoyo incorporado

Número de acumuladores (uds.)

Volumen total (litros)

Conexionado de varios acumuladores

Para conexión en paralelo, se adopta solución de equilibrado

Ubicación (interior, exterior)

Tipo y material de aislamiento acumulador

Conductividad térmica del aislamiento al exterior (W/m.K)

Espesor aislamiento acumulador (mm.)

Protección y acabado exterior del aislamiento

Tipo de intercambiador para ACS

10 SISTEMA DE INTERCAMBIO

Tipo (incorporado o independiente, carga o descarga, consumo)

(IA) Área útil del intercambiador interno (m2)

(IA) Área específica (m2/m2) intercambiador interno

Tipo de intercambiador externo CARGA DESCARGA CONSUMO

Seleccionado marca, modelo y tamaño

Potencia de diseño intercambiador (kW)

Potencia unitaria (W/m2)

Calor especifico fluido primario (J/kg·K)
Densidad fluido primario (kg/l)
Capacidad calorífica del primario (W/K)
Caudal del circuito primario (l/h)
Salto de temperaturas de diseño (K)
Temperatura de entrada (ºC)
Temperatura de salida (ºC)
Capacidad calorífica específica (W/m2.K)
Pérdida de carga primario (kPa)
Calor especifico fluido secundario (J/kg·K)
Densidad fluido secundario (kg/l)
Capacidad calorífica del secundario (W/K)
Caudal del circuito secundario (l/h)
Salto de temperaturas de diseño (K)
Temperatura de salida (ºC)
Temperatura de entrada (ºC)
Pérdida de carga secundario (kPa)
Efectividad del intercambiador
Material en contacto con el ACS
Tipo de aislamiento
Espesor de aislamiento

11 CIRCUITOS HIDRAULICOS

Circuito	PRIMARIO	CARGA	DESCARGA
Material de las tuberías			
Diámetro máximo de la tubería (pulgadas o mm.)			
Velocidad y pérdida de carga en tuberías			
Circuitos en paralelo			
Criterio de equilibrado			
Caudal total diseño y de la bomba (l/h)			
Pérdida de carga total y presión de la bomba (mca)			
Marca, modelo y tamaño de bomba seleccionada			
Número de bombas en el circuito (uds.)			
Potencia eléctrica de la bomba (W)			
Comprobación % de potencia eléctrica (pri + sec) sobre total			
Tipo y material de aislamiento de tuberías al exterior			
Conductividad térmica del aislamiento al exterior (W/m.K)			
Espesor aislamiento al exterior para tub. mayor diá. (mm.)			

Protección y acabado del aislamiento exterior

Tipo y material de aislamiento de tuberías al interior

Conductividad térmica del aislamiento al interior (W/m.K)

Espesor aislamiento al interior para tub. mayor diá. (mm.)

Protección y acabado del aislamiento al interior

12 CIRCUITOS DE CONSUMO CONSUMO DISTRIBUCIÓN RECIRCULACIÓN

Temperatura máxima de salida del Sistema Solar Térmico (ºC)

Temp. máxima del Sistema Solar Térmico (SST) regulada por:

Temp máxima establecida por:

Temp máx. soportada por Sistema Energía Auxiliar SEA (ºC)

Temp máx. soportada por circuito hasta SEA (ºC)

Tipo de conexión entre SST y SEA

Si serie: protección de la conexión del SEA

Si paralelo: justificar tipo de conexión

Si paralelo: forma conmutar SST-SEA

Posibilidad de desconexión del SEA

Diseño de la conexión de agua fría y caliente

Aislamiento en la conexión de agua caliente

Efectos pérdidas de carga diferenciales en consumo

Presiones de la red de alimentación (bar)

Para limitar presión circuito consumo

Válvulas en acometida fría a SST

Válvulas de vaciado y purga

Previsión escapes conducidos visibles y seguros

Compatibilidad materiales para circuito ACS

13 SISTEMA DE EXPANSIÓN PRIMARIO CERRADO CONSUMO

Presión máx. trabajo del sistema expansión (bar)

Presión mín. trabajo del sistema expansión (bar)

Criterio de protección por seguridad intrínseca

Volumen de reserva (litros)

Volumen total del circuito (litros)

Coeficiente de expansión térmica

Volumen de dilatación (litros)

Volumen de vapor (litros)

Volumen útil del sistema de expansión (litros)

Coeficiente de presiones

Volumen total calculado (litros)

Número de vasos seleccionado (uds.)

Volumen unitario nominal del vaso seleccionado (litros)

Volumen total del sistema de expansión (litros)

Marca y modelo

Presión nominal del vaso de expansión (bar)

Presión de precarga del gas sistema de expansión (bar)

14 SISTEMA DE MEDIDA

Medidas de presión

Medidas de temperatura

Medidas de caudal

Medidas de energía

Medidas de radiación

Configuración considerada

Sensores obligatorios

Sensores recomendados

Equipamiento mínimo

Sistema de monitoreo

15 SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR O DE APOYO

Aplicación del aporte de energía auxiliar

Forma de aporte de energía auxiliar

SEA con acumulación

SEA instantáneo

Energía de apoyo

Marca y modelo del sistema de auxiliar

Referencia y disponibilidad de informe de ensayo

Referencia y disponibilidad manual de instalación

Número y potencia de generadores calor

Número y potencia de intercambio auxiliar (kW)

Número y volumen de acumulación auxiliar (litros)

Condiciones funcionamiento del SEA si es existente

Rango regulación temperatura salida (ºC)

Temperatura de preparación (de seteo) (ºC)

16 SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

Marca y modelo del sistema de control

Referencia y disponibilidad del informe de ensayo

022

Referencia y disponibilidad manual de instalación
Posición de sondas en esquema
Estrategia de control
Tipo control bomba primario
Tipo control bomba secundario
Valores de seteo del diferencial temp
Señalización visible
Funcionamiento automático y manual
Limitación temp máxima en acumulador (ºC) y actuación
Limitación temp máxima en primario (ºC) y actuación
Limitación temp mínima en primario (ºC) y actuación
Otro control y actuación

17 ESPECIFICACIONES DE COMPONENTES

Sistema prefabricado
Captador Solar
Acumulador solar
Intercambiador de calor
Bomba primario
Bomba secundario
Fluido de trabajo
Aislamiento tuberías. Protección ext.
Vaso de expansión
Válvula de corte
Válvula de equilibrado
Válvula de retención
Válvula de seguridad
Sensores equipo de control
Sensores sistema de medida
Tubería material plástico
Válvula seguridad TP
Válvula mezcladora
Sistema de energía auxiliar

14.4 Tablas y datos

14.4.1 Datos de consumo, ocupación y estacionalidad

(Definiciones y datos del INE)

ESTABLECIMIENTOS HOTELEROS: Son establecimientos hoteleros aquellos establecimientos que prestan servicios de alojamiento colectivo mediante precio con o sin otros servicios complementarios (hotel, hotel-apartamento o apartahotel, motel, hostal, pensión, etc.).

APARTAMENTOS TURÍSTICOS: Se considera apartamento turístico (unidad) el inmueble, cuyo uso se cede en alquiler, de modo habitual para hospedaje ocasional, incluyéndose apartamentos propiamente dichos, chalets, villas, bungalós.

Se estudian los establecimientos de apartamentos turísticos y empresas explotadoras de apartamentos turísticos, en aquellas comunidades autónomas que sus normativas así lo contemplan (Cataluña y Comunidad Valenciana), inscritos como tales en las correspondientes Consejerías de Turismo de cada Comunidad Autónoma.

No están incluidas segundas viviendas o apartamentos no acogidos a un régimen de explotación de apartamento turístico.

ALOJAMIENTOS RURALES: Se consideran, en general, alojamientos rurales, aquellos establecimientos o viviendas destinadas al alojamiento turístico mediante precio, con o sin otros servicios complementarios y que estén inscritos en el correspondiente Registro de Alojamientos Turísticos de cada CCAA.

El cálculo del consumo se puede establecer en base a un uso continuo o en base a un consumo los fines de semana.

CAMPAMENTOS: Se entiende por Acampamentos de Turismo, también denominados "Campings", aquellos espacios de terreno debidamente delimitados, dotados y acondicionados, destinados a facilitar a las personas, de modo habitual y mediante el pago de un precio estipulado, un lugar para hacer vida al aire libre durante tiempo limitado con fines vacacionales o turísticos y utilizando como residencia, albergues móviles, caravanas, tiendas de campaña u otros elementos similares fácilmente transportables.

Las unidades de análisis son todos los establecimientos de acampamentos inscritos como tales en el correspondiente registro de las Consejerías de Turismo de cada Comunidad Autónoma. Los acampamentos de turismo se clasifican de acuerdo con sus instalaciones y servicios, en las cuatro categorías siguientes: lujo, primera, segunda y tercera.

Tabla A1. Porcentaje de ocupación de establecimientos hoteleros por provincias

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
Álava	42	51	48	49	55	60	60	60	60	58	52	44	53
Albacete	32	43	47	49	57	55	55	50	63	60	52	38	51
Alicante	56	64	68	64	66	71	72	82	80	69	58	51	67
Almería	49	63	57	53	49	61	76	81	69	55	48	42	60
Asturias	21	27	29	36	34	43	53	73	46	42	31	27	40
Ávila	27	36	38	42	41	41	52	60	53	49	35	31	42
Badajoz	28	38	43	50	47	48	44	49	50	48	39	37	43
Baleares	48	60	66	61	57	73	82	91	79	56	59	47	71
Barcelona	48	61	73	69	69	70	72	76	75	71	69	53	68
Burgos	26	34	37	49	52	51	52	66	58	56	38	32	46
Cáceres	24	31	37	51	40	41	38	49	48	49	38	34	40
Cádiz	29	46	49	51	56	64	74	83	71	58	38	36	57
Cantabria	23	31	37	40	41	52	61	80	58	52	32	31	48
Castellón	45	46	47	50	50	59	67	80	70	58	47	42	58
Ciudad Real	35	39	39	42	43	44	49	42	45	50	41	35	42
Córdoba	33	44	54	68	65	48	40	43	58	60	48	43	50
Coruña	28	39	40	49	56	60	61	71	61	57	39	33	50
Cuenca	25	32	36	50	38	44	50	63	56	51	40	39	44
Girona	41	52	53	53	52	54	67	85	63	56	42	36	60
Granada	45	56	55	60	57	50	51	59	62	60	43	46	54
Guadalajara	37	44	50	49	54	57	51	55	57	55	47	42	50
Guipúzcoa	37	44	47	53	57	66	72	85	72	63	52	43	58
Huelva	36	44	45	51	47	60	74	84	69	52	53	42	58
Huesca	47	49	42	34	34	40	48	67	44	36	24	30	43
Jaén	27	35	38	46	40	40	36	44	42	44	33	29	38
León	24	34	40	50	50	51	51	64	57	54	40	35	46
Lérida	51	53	43	37	32	36	41	62	41	35	33	43	43
Lugo	19	27	28	41	42	43	52	67	48	43	30	28	40
Madrid	54	66	63	59	69	64	54	48	71	77	67	54	62
Málaga	47	57	61	62	64	71	73	80	75	64	49	44	63
Murcia	46	53	56	58	54	54	56	60	60	52	47	36	53
Navarra	31	41	43	49	51	50	55	65	59	60	48	34	50
Orense	28	29	34	33	37	44	37	51	46	42	31	32	37
Palencia	26	30	30	43	50	46	46	52	48	43	31	28	40
Palmas (Las)	72	74	76	64	63	64	70	84	78	74	79	70	72
Pontevedra	27	34	38	44	45	54	59	74	60	56	38	30	50
Rioja (La)	44	48	53	58	61	56	56	60	61	65	52	38	55
Salamanca	28	33	45	53	51	52	48	67	63	60	46	38	49
SC Tenerife	75	79	72	66	58	61	69	84	76	73	75	67	72
Segovia	27	33	38	41	47	43	51	58	61	54	34	37	44
Sevilla	40	59	60	71	70	54	43	44	62	66	53	51	56
Soria	23	35	26	36	38	34	44	60	43	39	30	32	37
Tarragona	30	34	38	52	54	66	74	85	74	55	34	32	62
Teruel	29	32	36	47	39	36	40	61	44	44	28	33	39
Toledo	34	45	44	55	52	57	47	61	63	60	45	37	50
Valencia	44	53	61	56	54	54	61	62	63	59	49	40	55
Valladolid	43	49	54	55	64	55	52	48	65	64	54	39	53
Vizcaya	42	54	58	58	66	64	57	69	70	68	61	44	59
Zamora	25	27	33	44	41	41	43	56	54	52	41	35	41
Zaragoza	39	54	49	61	57	60	56	50	61	68	56	49	55
MEDIA	**37**	**45**	**47**	**51**	**51**	**53**	**56**	**65**	**60**	**56**	**45**	**39**	**51**

Tabla A2. Porcentaje de ocupación de campamentos

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED
Alicante	69	68	66	56	48	48	52	66	46	61	61	60	58
Almería	27	32	23	23	10	11	22	36	13	15	15	20	21
Barcelona	53	51	53	52	49	54	72	76	52	52	57	48	58
Burgos	10	23	26	19	21	18	22	32	21	24	24	16	22
Cádiz	14	15	15	20	13	17	44	61	19	13	12	19	25
Castellón	40	49	43	36	31	31	46	63	34	38	35	35	40
Córdoba	11	11	15	21	21	26	18	35	22	14	13	14	19
A Coruña	.	.	7	7	8	16	30	35	13	8	9	9	19
Girona	29	31	30	22	22	28	51	58	26	23	27	31	35
Granada	15	14	11	23	10	11	32	50	16	12	8	14	19
Guipúzcoa	16	18	12	15	22	28	55	74	31	16	13	15	29
Huelva	1	1	1	13	10	16	30	45	17	10	9	11	14
Huesca	20	20	20	19	16	19	38	55	21	24	17	24	26
Jaén		13	12	19	8	10	20	34	11	11	10		16
Lleida	46	53	47	38	35	32	35	47	31	45	55	56	41
Málaga	36	37	31	29	22	23	39	56	25	23	21	25	31
Pontevedra	0	0	0	10	16	14	34	39	12	.	0	0	25
Sevilla	11	6	11	19	15	15	19	30	15	12	9	11	15
Tarragona	19	35	32	29	28	32	46	54	30	43	43	38	37
Valencia	46	53	54	51	44	49	58	71	48	55	48	50	53
MED	**26**	**28**	**26**	**26**	**22**	**25**	**38**	**51**	**25**	**26**	**24**	**26**	**30**

Tabla A3. Porcentaje de ocupación para apartamentos turísticos

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MED
Alicante	21	23	23	28	22	33	46	59	36	30	18	16	31
Almería	15	20	18	27	26	32	52	67	46	19	12	16	32
Barcelona	56	59	64	65	68	69	50	57	67	61	52	22	58
Cádiz	5	13	9	21	16	21	63	72	51	25	11	13	32
Castellón	8	9	14	17	15	30	49	62	31	15	12	12	31
A Coruña	15	19	24	30	26	24	49	62	26	16	12	20	27
Girona	16	22	14	15	19	22	44	62	24	17	3	19	33
Granada	23	26	28	26	21	21	36	57	28	28	21	25	28
Huelva	2	5	3	11	3	28	43	64	36	24	13	16	31
Huesca	40	37	28	19	5	14	32	63	18	15	6	30	27
Jaén	13	14	15	28	17	15	28	56	26	32	14	24	24
Lleida	37	34	20	12	1	8	33	42	7	8	5	22	21
Lugo	8	8	10	10	6	19	38	71	12	19	12	15	23
Málaga	31	35	37	39	42	50	58	67	49	41	30	27	43
Las Palmas	57	55	56	50	36	42	52	64	49	50	51	49	51
Tenerife	54	55	55	48	34	37	49	62	46	48	51	49	49
Sevilla	22	32	43	59	48	45	32	35	48	53	40	47	42
Tarragona	6	3	7	18	21	36	50	62	37	19	16	4	35
Valencia	13	12	17	16	14	27	57	70	38	25	14	18	34
MED	**23**	**25**	**26**	**28**	**23**	**30**	**45**	**61**	**36**	**29**	**21**	**23**	**34**

Tabla A4. Porcentaje de ocupación de alojamientos rurales

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
Álava	21	24	42	46	29	38	38	55	38	38	37	37	37
Albacete	21	34	33	44	19	16	24	41	12	30	27	28	27
Alicante	15	16	28	33	16	18	28	28	13	24	15	20	21
Asturias	11	15	17	37	15	24	43	83	27	32	9	19	29
Ávila	34	59	61	53	45	49	46	60	40	48	53	37	49
Baleares	11	27	29	39	44	54	49	68	64	42	26	23	44
Barcelona	47	39	45	50	41	51	44	57	51	53	48	40	47
Burgos	15	31	37	42	34	28	32	50	20	39	30	22	32
Cádiz	32	39	24	38	18	17	36	52	36	26	28	26	31
Cantabria	14	22	33	35	26	34	43	75	41	34	21	21	35
Castellón	32	20	29	36	15	22	31	39	22	29	22	21	27
Ciudad Real	21	24	32	44	27	28	30	28	29	31	27	36	30
Córdoba	20	36	22	38	14	16	23	42	30	25	24	43	28
A Coruña	16	18	27	42	32	37	52	75	44	39	16	23	35
Cuenca	14	22	29	44	27	20	21	29	18	36	19	30	26
Girona	31	33	31	43	35	39	53	72	54	45	39	32	43
Granada	24	35	32	31	18	17	29	48	23	26	16	27	27
Guadalajara	28	39	39	46	35	27	34	38	36	45	36	35	37
Guipúzcoa	24	33	47	48	36	46	58	85	53	43	21	31	44
Huelva	29	55	61	41	39	36	33	66	42	36	37	40	42
Huesca	27	37	34	45	21	36	42	70	31	34	19	24	35
Jaén	21	22	28	39	27	22	28	46	34	32	34	28	30
León	12	16	30	36	21	21	29	53	18	33	17	21	26
Lleida	27	36	29	32	21	28	24	62	29	30	15	24	30
Lugo	9	16	20	37	26	25	32	54	31	26	20	15	26
Madrid	46	51	57	49	39	38	41	38	37	49	38	44	44
Málaga	20	35	29	43	30	31	46	64	36	32	34	36	37
Murcia	20	24	22	31	11	19	30	44	28	25	22	30	25
Navarra	25	39	53	53	36	37	38	78	40	55	44	41	45
Orense	20	25	34	34	26	25	30	52	24	33	24	18	29
Palencia	16	27	40	50	29	26	31	64	20	34	27	26	33
Las Palmas	25	28	26	20	15	9	12	37	19	29	20	29	22
Pontevedra	6	14	17	31	16	20	33	67	25	21	10	15	24
Rioja (La)	20	30	37	46	36	42	34	52	37	40	35	29	37
Salamanca	14	32	31	46	20	18	22	46	21	27	12	24	26
Sta. C. Tenerife	25	32	29	31	19	17	18	30	26	27	28	27	26
Segovia	34	57	56	47	45	42	45	51	44	56	49	37	47
Soria	21	33	40	54	47	52	48	67	47	55	41	28	45
Tarragona	13	25	24	40	31	35	34	58	26	32	22	22	31
Teruel	27	19	27	30	11	12	22	52	18	21	17	20	23
Toledo	15	29	39	42	34	30	32	39	41	43	21	24	33
Valencia	18	15	14	35	17	34	37	42	16	20	15	21	24
Valladolid	15	19	29	38	29	21	31	29	25	31	24	30	27
Vizcaya	25	34	50	49	38	58	61	78	50	49	40	37	48
Zamora	23	24	33	38	29	27	32	58	31	41	29	24	32
Zaragoza	7	15	28	37	15	18	22	31	25	19	22	22	22
MED	**22**	**30**	**34**	**41**	**27**	**29**	**35**	**53**	**32**	**35**	**27**	**28**	**33**

14.4.2 Tablas de datos climáticos

Tabla B1: Altura de referencia (m) y Temperatura (ºC) diaria media mensual de agua fría para las capitales de provincia extraídos de la Norma UNE 94002:2005

	Altura de referencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	5	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante	3	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	1128	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	18	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao	19	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	860	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	439	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	4	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón	30	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	0	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	635	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	123	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	1001	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	75	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	685	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	679	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	56	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	488	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	574	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas Gran Canaria	8	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	838	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	155	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	384	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	454	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	655	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	8	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	2	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	42	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	139	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	232	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	740	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	34	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona	449	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	290	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	800	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	40	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	4	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	15	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	1001	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	12	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	1063	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	51	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	915	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	529	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	13	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	691	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	525	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	649	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	200	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

022

Tabla B2: Irradiación global diaria media mensual sobre superficie horizontal (MJ/m2) para todas las provincias extraídos de la Norma UNE 94003:2007

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Álava	5,209	7,976	11,086	14,308	18,369	20,985	21,420	19,249	14,513	10,082	5,971	4,262
Albacete	7,765	10,973	14,944	18,752	22,508	24,999	26,526	23,589	18,197	12,995	8,729	6,993
Almería	9,718	12,619	15,943	19,964	24,132	26,138	26,471	23,675	19,062	14,273	10,521	8,841
Asturias	5,638	7,855	10,989	13,933	15,842	16,999	17,036	15,151	12,493	8,998	6,344	4,958
Ávila	7,215	9,913	13,826	17,428	21,608	24,185	26,529	24,007	17,747	12,073	7,854	6,177
Badajoz	8,004	11,044	15,359	19,298	23,801	25,546	27,506	24,749	18,783	13,485	9,340	7,136
Baleares	8,267	11,264	14,610	18,585	22,376	25,037	25,590	22,807	17,129	12,973	9,060	7,221
Barcelona	7,225	10,240	13,740	17,651	21,182	23,034	24,262	20,888	15,870	11,572	7,995	6,579
Burgos	5,090	7,954	12,011	15,160	19,651	23,502	25,678	22,756	16,270	10,527	6,462	4,322
Cáceres	7,938	10,592	15,902	17,134	23,054	25,358	27,318	24,398	18,102	12,577	8,049	6,401
Cádiz	9,291	12,306	16,394	20,379	24,649	26,290	27,191	25,219	19,402	14,835	10,397	8,511
Cantabria	5,137	7,501	10,919	14,430	17,534	19,803	20,095	17,683	13,775	9,397	6,093	4,349
Castellón	8,474	11,150	15,084	18,365	21,904	23,930	24,647	21,280	17,315	12,682	9,250	7,428
Ceuta	8,654	11,453	14,958	18,523	21,719	24,362	24,300	22,547	18,069	12,845	9,645	8,002
Ciudad Real	7,391	10,471	14,651	18,290	23,119	25,244	27,360	24,562	18,182	12,736	8,550	6,574
Córdoba	8,801	11,567	15,102	18,200	23,090	25,540	27,179	24,894	18,745	13,469	10,086	7,967
Coruña La	5,306	7,801	11,405	15,167	18,222	20,619	21,815	19,731	14,296	10,204	6,197	4,531
Cuenca	6,999	9,666	13,613	16,839	20,912	23,783	26,156	23,314	17,402	12,047	7,968	6,139
Gerona	7,167	9,446	12,670	16,192	18,751	20,661	22,615	19,721	14,973	10,918	7,805	6,268
Granada	8,996	11,696	15,899	19,156	23,972	26,676	27,771	25,069	19,114	13,925	9,892	7,960
Guadalajara	6,132	8,561	12,089	15,593	19,528	22,382	25,496	22,704	16,621	11,128	7,094	5,599
Guipúzcoa	5,073	7,213	10,635	12,924	16,378	18,127	18,522	16,436	13,487	9,334	5,999	4,387
Huelva	8,457	11,666	15,472	19,880	23,977	25,567	27,129	24,777	19,411	13,726	9,576	7,462
Huesca	6,575	10,337	14,515	18,868	21,882	24,439	25,919	22,691	17,184	11,973	7,726	5,897
Jaén	8,662	11,572	15,687	19,280	24,019	26,109	27,897	24,557	18,774	13,722	10,352	7,419
León	6,374	9,231	13,519	17,245	20,842	23,660	25,488	22,492	16,381	11,015	7,345	5,534
Lérida	6,635	11,176	15,389	19,809	23,534	25,801	26,661	23,338	17,796	12,710	7,791	5,805
Logroño	5,772	9,069	12,848	16,094	19,493	22,852	24,192	21,595	15,994	11,058	6,696	4,995
Lugo	4,876	7,530	11,194	15,371	17,408	20,526	20,927	18,978	13,681	9,494	5,787	4,089
Madrid	6,777	9,585	13,628	17,426	21,385	23,914	25,886	23,058	17,189	11,774	7,674	5,983
Málaga	9,354	12,034	16,078	19,325	23,926	25,853	26,531	24,062	18,901	14,069	10,197	8,427
Melilla	9,466	11,745	15,013	18,417	21,363	23,097	22,806	21,040	16,368	13,265	10,124	8,566
Murcia	8,777	11,663	14,323	17,910	21,937	23,183	23,453	21,059	16,566	13,066	9,488	7,762
Navarra	5,275	8,279	12,384	15,244	18,694	22,758	24,237	21,105	16,528	10,626	6,430	4,701
Orense	4,977	7,375	11,698	15,523	17,950	20,629	21,977	20,884	15,584	9,565	5,964	4,312
Palencia	5,848	9,614	13,499	17,860	22,316	25,121	27,116	24,039	17,091	11,536	7,542	4,828
Palmas Las	13,395	15,967	19,232	22,074	23,826	24,272	24,289	22,875	20,448	17,158	14,091	12,464
Pontevedra	5,913	8,226	12,981	17,629	20,045	24,529	25,502	23,123	16,746	11,501	7,218	5,489
Salamanca	6,622	10,032	14,194	18,062	22,562	25,274	27,133	24,478	17,745	12,131	7,877	5,720
S. C. Tenerife	13,301	16,583	19,460	22,619	24,573	25,359	26,243	25,121	21,927	17,877	14,370	12,437
Segovia	6,164	8,614	12,491	15,704	19,770	22,992	25,876	23,294	17,000	11,021	7,059	5,358
Sevilla	9,140	12,230	16,007	19,764	24,141	25,893	27,239	24,812	19,174	14,295	10,209	8,298
Soria	6,032	8,597	12,504	16,181	20,427	24,043	26,139	22,913	16,403	10,808	6,912	5,488
Tarragona	7,870	10,470	14,964	18,466	21,414	23,532	24,684	21,262	16,851	12,335	8,606	7,087
Teruel	7,175	10,548	13,992	17,746	20,200	22,914	25,051	22,443	17,205	12,200	8,627	5,658
Toledo	7,770	10,454	15,632	18,189	22,706	26,046	27,498	24,590	18,248	12,713	8,020	6,354
Valencia	8,342	10,922	14,987	18,492	21,671	23,173	24,363	21,854	17,601	12,823	9,002	7,368
Valladolid	5,381	8,942	13,702	17,614	21,799	24,749	26,865	24,196	17,270	11,419	6,719	4,611
Vizcaya	4,479	6,729	9,556	11,976	15,224	16,899	17,272	15,256	12,400	8,550	5,317	3,891
Zamora	6,075	9,778	14,099	18,409	22,109	25,015	26,871	23,935	17,606	11,911	7,557	5,264
Zaragoza	6,398	9,778	13,793	17,381	21,520	23,848	25,312	22,488	16,507	11,639	7,452	5,659

Tabla B3: Temperatura ambiente diaria media mensual (ºC) para todas las capitales de provincia extraídos de la Norma UNE 94003:2007

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
Alicante	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
Almería	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
Ávila	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
Badajoz	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
Barcelona	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
Bilbao	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5
Burgos	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
Cáceres	7,8	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8
Cádiz	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
Castellón	10,1	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2
Ceuta	11,5	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1
Ciudad Real	5,7	7,2	9,6	11,9	16,0	20,8	25,0	24,7	21,0	14,8	9,1	5,9
Córdoba	9,5	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7
Cuenca	4,2	5,2	7,4	9,6	13,6	18,2	22,4	22,1	18,6	12,9	7,6	4,8
Gerona	6,8	7,9	9,8	11,6	15,4	19,4	22,8	22,4	19,9	15,2	10,2	7,7
Granada	6,5	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4
Guadalajara	5,5	6,8	8,8	11,6	15,3	19,8	23,5	22,8	19,5	14,1	9,0	5,9
Huelva	12,2	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5
Huesca	4,7	6,7	9,0	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3
Jaén	8,7	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7
La Coruña	10,2	10,5	11,3	12,1	14,1	16,4	18,4	18,9	18,1	15,7	12,7	10,9
Las Palmas	17,5	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3
León	3,1	4,4	6,6	8,6	12,1	16,4	19,7	19,1	16,7	11,7	6,8	3,8
Lérida	5,5	7,8	10,3	13,0	17,1	21,2	24,6	24,0	21,1	15,7	9,2	5,8
Logroño	5,8	7,3	9,4	11,5	15,1	19,0	22,2	21,8	19,2	14,4	9,1	6,3
Lugo	5,8	6,5	7,8	9,5	11,7	14,9	17,2	17,5	16,0	12,5	8,6	6,3
Madrid	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
Málaga	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
Melilla	13,2	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1
Murcia	10,6	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3
Orense	7,4	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2
Oviedo	7,5	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7
Palencia	4,1	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4
Palma de Mallorca	11,6	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0
Pamplona	4,5	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7
Pontevedra	9,9	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3
Salamanca	3,7	5,3	7,3	9,6	13,4	17,8	21,0	20,3	17,5	12,3	7,0	4,1
San Sebastián	7,9	8,5	9,4	10,7	13,5	16,1	18,4	18,7	18,0	15,2	10,9	8,6
S. C. Tenerife	17,9	18,0	18,6	19,1	20,5	22,2	24,6	25,1	24,4	22,4	20,7	18,8
Santander	9,7	10,3	10,8	11,9	14,3	17,0	19,3	19,5	18,5	16,1	12,5	10,5
Segovia	4,1	5,2	7,1	9,1	13,1	17,7	21,6	21,2	17,9	12,6	7,3	4,3
Sevilla	10,7	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1
Soria	2,9	4,0	5,8	8,0	11,8	16,1	19,9	19,5	16,5	11,3	6,1	3,4
Tarragona	10,0	11,3	13,1	15,3	18,4	22,2	25,3	25,3	22,7	18,4	13,5	10,7
Teruel	3,8	4,8	6,8	9,3	12,6	17,5	21,3	20,6	17,9	12,1	7,0	4,5
Toledo	6,1	8,1	10,9	12,8	16,8	22,5	26,5	25,7	22,6	16,2	10,7	7,1
Valencia	10,4	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18,3	13,7	10,9
Valladolid	4,1	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8
Vitoria	4,6	6,0	7,2	9,2	12,4	15,6	18,3	18,5	16,5	12,7	7,5	5,0
Zamora	4,3	6,3	8,3	10,5	14,0	18,5	21,8	21,3	18,7	13,4	8,1	4,9
Zaragoza	6,2	8,0	10,3	12,8	16,8	21,0	24,3	23,8	20,7	15,4	9,7	6,5

Tabla B4: Temperaturas máximas, mínimas y riesgo de heladas extraídos de los datos del periodo 1999-2003 del INE-INM

				DÍAS CON T<0ºC		
		MAXMAX	MINMIN	MAX	MED	MIN
NOROESTE	Coruña (A)	37,7	-4,7	15	3	0
NOROESTE	Lugo (Las Rozas)	39,1	-7,3	50	40	25
NOROESTE	Ourense (Instituto)	42,0	-8,6	31	19	4
NOROESTE	Santiago	39,0	-5,8	17	10	1
NOROESTE	Vigo (Peinador)	37,5	-2,0	6	2	0
CANTÁBRICA	Bilbao (Aeropuerto)	41,9	-6,0	14	8	0
CANTÁBRICA	Gijón	36,4	-2,4	7	3	0
CANTÁBRICA	San Sebastián (Igueldo)	38,6	-5,6	11	5	0
CANTÁBRICA	Santander (Parayas aeropuerto)	35,8	-5,2	8	3	0
DUERO	Ávila (Observatorio)	36,2	-12,0	100	69	44
DUERO	Burgos (Villafría)	38,8	-13,0	87	65	36
DUERO	León (Virgen del Camino)	35,8	-10,0	88	62	36
DUERO	Salamanca (Matacán)	38,0	-12,0	105	74	48
DUERO	Segovia (Observatorio)	38,3	-11,0	75	45	18
DUERO	Soria (Observatorio)	36,8	-13,0	91	69	52
DUERO	Valladolid (Observatorio)	39,5	-11,0	69	46	23
DUERO	Zamora (Observatorio)	39,2	-11,0	64	42	18
CENTRAL	Albacete (Los Llanos)	40,6	-9,5	72	49	27
CENTRAL	Ciudad Real (Observatorio)	41,6	-6,0	49	28	11
CENTRAL	Cuenca	38,0	-11,0	84	55	33
CENTRAL	Guadalajara (Molina de Aragón)	37,2	-24,0	137	116	95
CENTRAL	Madrid (Retiro)	38,6	-5,5	24	13	1
CENTRAL	Toledo	42,0	-8,0	42	29	10
EXTREMADURA	Badajoz (Talavera la Real)	44,8	-5,0	27	14	1
EXTREMADURA	Cáceres (Observatorio)	41,8	-18,0	11	7	1
EBRO	Huesca (Monflorite)	38,2	-11,0	44	24	8
EBRO	Logroño (Agoncillo)	40,6	-9,8	34	23	11
EBRO	Noain (Aeropuerto)	39,8	-12,0	49	29	11
EBRO	Teruel (Calamocha)	38,0	-20,0	118	102	69
EBRO	Vitoria (Foronda)	38,7	-12,0	57	43	24
EBRO	Zaragoza (Aeropuerto)	40,5	-9,5	32	20	5
CATALUÑA	Prat de Llobregat (Aeropuerto)	37,3	-3,6	10	3	0
CATALUÑA	Girona (Costa Brava)	37,6	-8,0	54	43	28
CATALUÑA	Lleida (Observatorio 2)	39,5	-9,5	50	36	19
CATALUÑA	Tortosa (Observatorio del Ebro)	40,0	-2,3	11	3	0
LEVANTE	Castellón de la Plana (Almanzora)	37,4	-0,8	1	0	0
LEVANTE	Valencia (Los Viveros)	40,3	-0,5	1	0	0
SURESTE	Alicante (Ciudad Jardín)	38,2	-0,6	2	0	0
SURESTE	Murcia (Alcantarilla)	42,6	-4,2	17	7	1
GUADALQUIVIR	Cádiz (Jerez de la Frontera)	45,1	-1,9	8	2	0
GUADALQUIVIR	Córdoba (Aeropuerto)	46,2	-3,8	17	8	0
GUADALQUIVIR	Granada (Aeropuerto)	41,4	-5,8	64	35	10
GUADALQUIVIR	Jaén (Cerro de los Lirios)	41,2	-2,9	8	3	0
GUADALQUIVIR	Sevilla (Aeropuerto)	45,2	0,0	1	0	0
COSTA SUR	Almería (Aeropuerto)	40,6	3,6	0	0	0
COSTA SUR	Huelva (Ronda Este)	43,4	-0,2	3	1	0
COSTA SUR	Málaga (Aeropuerto)	41,0	1,0	0	0	0
BALEARES	Mahón	36,6	-1,0	1	0	0
BALEARES	Palma (Centro meteorológico)	39,9	-3,0	9	1	0
CANARIAS	Izaña (Santa Cruz de Tenerife)	30,2	-6,8	62	46	28
CANARIAS	Palmas (Las) (Gando)	36,2	10,9	0	0	0
CANARIAS	Santa Cruz de Tenerife	39,7	10,1	0	0	0
TERRIT. NORTE ÁFRICA	Ceuta	31,8	7,2	0	0	0
TERRIT. NORTE ÁFRICA	Melilla (Aeropuerto)	38,8	4,0	0	0	0

14.4.3 Tablas de referencia para el cálculo de sombras

Tabla A

$\beta = 35°$ $\alpha = 0°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Tabla B

$\beta = 0°$ $\alpha = 0°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,18
11	0,00	0,01	0,18	1,05
9	0,05	0,32	0,70	2,23
7	0,52	0,77	1,32	3,56
5	1,11	1,26	1,85	4,66
3	1,75	1,60	2,20	5,44
1	2,10	1,81	2,40	5,78
2	2,11	1,80	2,30	5,73
4	1,75	1,61	2,00	5,19
6	1,09	1,26	1,65	4,37
8	0,51	0,82	1,11	3,28
10	0,05	0,33	0,57	1,98
12	0,00	0,02	0,15	0,96
14	0,00	0,00	0,00	0,17

Tabla C

$\beta = 90°$ $\alpha = 0°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,15
11	0,00	0,01	0,02	0,15
9	0,23	0,50	0,37	0,10
7	1,66	1,06	0,93	0,78
5	2,76	1,62	1,43	1,68
3	3,83	2,00	1,77	2,36
1	4,36	2,23	1,98	2,69
2	4,40	2,23	1,91	2,66
4	3,82	2,01	1,62	2,26
6	2,68	1,62	1,30	1,58
8	1,62	1,09	0,79	0,74
10	0,19	0,49	0,32	0,10
12	0,00	0,02	0,02	0,13
14	0,00	0,00	0,00	0,13

Tabla D

$\beta = 35°$ $\alpha = 30°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,10
11	0,00	0,00	0,03	0,06
9	0,02	0,10	0,19	0,56
7	0,54	0,55	0,78	1,80
5	1,32	1,12	1,40	3,06
3	2,24	1,60	1,92	4,14
1	2,89	1,98	2,31	4,87
2	3,16	2,15	2,40	5,20
4	2,93	2,08	2,23	5,02
6	2,14	1,82	2,00	4,46
8	1,33	1,36	1,48	3,54
10	0,18	0,71	0,88	2,26
12	0,00	0,06	0,32	1,17
14	0,00	0,00	0,00	0,22

Tabla E

$\beta = 90°$ $\alpha = 30°$	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33
11	0,06	0,01	0,15	0,51
9	0,56	0,06	0,14	0,43
7	1,80	0,04	0,07	0,31
5	3,06	0,55	0,22	0,11
3	4,14	1,16	0,87	0,67
1	4,87	1,73	1,49	1,86
2	5,20	2,15	1,88	2,79
4	5,02	2,34	2,02	3,29
6	4,46	2,28	2,05	3,36
8	3,54	1,92	1,71	2,98
10	2,26	1,19	1,19	2,12
12	1,17	0,12	0,53	1,22
14	0,22	0,00	0,00	0,24

Tabla F

$\beta = 35°$ $\alpha = 60°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,14
11	0,00	0,00	0,08	0,16
9	0,02	0,04	0,04	0,02
7	0,02	0,13	0,31	1,02
5	0,64	0,68	0,97	2,39
3	1,55	1,24	1,59	3,70
1	2,35	1,74	2,12	4,73
2	2,85	2,05	2,38	5,40
4	2,86	2,14	2,37	5,53
6	2,24	2,00	2,27	5,25
8	1,51	1,61	1,81	4,49
10	0,23	0,94	1,20	3,18
12	0,00	0,09	0,52	1,96
14	0,00	0,00	0,00	0,55

022

Tabla G

$\beta = 90°$ $\alpha = 60°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,43
11	0,00	0,01	0,27	0,78
9	0,09	0,21	0,33	0,76
7	0,21	0,18	0,27	0,70
5	0,10	0,11	0,21	0,52
3	0,45	0,03	0,05	0,25
1	1,73	0,80	0,62	0,55
2	2,91	1,56	1,42	2,26
4	3,59	2,13	1,97	3,60
6	3,35	2,43	2,37	4,45
8	2,67	2,35	2,28	4,65
10	0,47	1,64	1,82	3,95
12	0,00	0,19	0,97	2,93
14	0,00	0,00	0,00	1,00

Tabla H

$\beta = 35°$ $\alpha = -30°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,34	1,28	1,73	3,79
5	2,17	1,79	2,21	4,70
3	2,90	2,05	2,43	5,20
1	3,12	2,13	2,47	5,20
2	2,88	1,96	2,19	4,77
4	2,22	1,60	1,73	3,91
6	1,27	1,11	1,25	2,84
8	0,52	0,57	0,65	1,64
10	0,02	0,10	0,15	0,50
12	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,00	0,00	0,00	0,08

Tabla I

$\beta = 90°$ $\alpha = -30°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,24
11	0,00	0,05	0,60	1,28
9	0,43	1,17	1,38	2,30
7	2,42	1,82	1,98	3,15
5	3,43	2,24	2,24	3,51
3	4,12	2,29	2,18	3,38
1	4,05	2,11	1,93	2,77
2	3,45	1,71	1,41	1,81
4	2,43	1,14	0,79	0,64
6	1,24	0,54	0,20	0,11
8	0,40	0,03	0,06	0,31
10	0,01	0,06	0,12	0,39
12	0,00	0,01	0,13	0,45
14	0,00	0,00	0,00	0,27

Tabla J

$\beta = 35°$ $\alpha = -60°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,56
11	0,00	0,04	0,60	2,09
9	0,27	0,91	1,42	3,49
7	1,51	1,51	2,10	4,76
5	2,25	1,95	2,48	5,48
3	2,80	2,08	2,56	5,68
1	2,78	2,01	2,43	5,34
2	2,32	1,70	2,00	4,59
4	1,52	1,22	1,42	3,46
6	0,62	0,67	0,85	2,20
8	0,02	0,14	0,26	0,92
10	0,02	0,04	0,03	0,02
12	0,00	0,01	0,07	0,14
14	0,00	0,00	0,00	0,12

Tabla K

$\beta = 90°$ $\alpha = -60°$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	1,01
11	0,00	0,08	1,10	3,08
9	0,55	1,60	2,11	4,28
7	2,66	2,19	2,61	4,89
5	3,36	2,37	2,56	4,61
3	3,49	2,06	2,10	3,67
1	2,81	1,52	1,44	2,22
2	1,69	0,78	0,58	0,53
4	0,44	0,03	0,05	0,24
6	0,10	0,13	0,19	0,48
8	0,22	0,18	0,26	0,69
10	0,08	0,21	0,28	0,68
12	0,00	0,02	0,24	0,67
14	0,00	0,00	0,00	0,36

14.5 Abreviaturas y acrónimos

A	AREA DE CAPTACIÓN
AA	ACUMULACIÓN DEL SISTEMA DE APOYO
ACS	AGUA CALIENTE SANITARIA
ALI	CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN O CONSUMO
ASC	ACUMULACIÓN SOLAR DE CONSUMO
ASI	ACUMULACIÓN SOLAR DE INERCIA
CAR	CIRCUITO DE CARGA
CE_{ACS}	CONSUMO DE ENERGÍA EN ACS
CE_{APO}	CONSUMO DE ENERGÍA AUXILIAR (DEL SISTEMA DE APOYO)
CEF_{APO}	CONSUMO DE ENERGÍA FINAL DEL SISTEMA DE APOYO
CET_{APO}	CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA DEL SISTEMA DE APOYO
CET_{FLU}	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA DE UN FLUIDO
CON	CIRCUITO DE CONSUMO
CP	COEFICIENTE DE PRESIÓN
DB_{ACS}	DEMANDA BRUTA DE ENERGÍA TÉRMICA EN ACS
DE_{ACS}	DEMANDA (NETA) DE ENERGÍA TÉRMICA EN ACS
DE_{REP}	DEMANDA DE ENERGÍA DEL AGUA DE REPOSICIÓN
DES	CIRCUITO DE DESCARGA
DIS	CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN
E	COEFICIENTE DE ESTACIONALIDAD
EA	ENERGÍA DE APOYO
EAA	ENERGÍA DE APOYO APORTADA
EAF	ENERGÍA DE APOYO FINAL
EAP	ENERGÍA DE APOYO PRODUCIDA
e_{AIS}	ESPESOR DE AISLAMIENTO
ENT	CIRCUITO DE ENTREGA
ER ó E_{INC}	ENERGÍA RADIANTE O ENERGÍA INCIDENTE
ES_{APO}	ENERGÍA SOLAR APORTADA
ES_{INC}	ENERGÍA SOLAR INCIDENTE
ES_{PRO}	ENERGÍA SOLAR PRODUCIDA
EU	ENERGÍA UTIL
FC	FACTOR DE CENTRALIZACIÓN
FS	FRACCIÓN SOLAR
FT	FACTOR DE TEMPERATURA
G_{REF}	IRRADIANCIA SOLAR DE REFERENCIA
HF	HORAS DE FUNCIONAMIENTO
IS	INTERCAMBIADOR SOLAR
ID	INTERCAMBIADOR DE DESCARGA
IC	INTERCAMBIADOR DE CONSUMO
INCO	INCORPORADO (REFERIDO AL INTERCAMBIADOR)
INDE	INDEPENDIENTE (REFERIDO AL INTERCAMBIADOR)
MD	MEMORIA DE DISEÑO
OCU	OCUPACIÓN MEDIA MENSUAL
PCI	PODER CALORÍFICO INFERIOR
PL	PLAZA
P_{EST}	PRESIÓN ESTÁTICA
P_{MAX}	PRESIÓN MÁXIMA
P_{MIN}	PRESIÓN MÍNIMA
P_{NOM}	PRESIÓN NOMINAL
POT	POTENCIA TÉRMICA

022

POT_{IS}	POTENCIA INTERCAMBIADOR SOLAR
POT_{IC}	POTENCIA INTERCAMBIADOR DE CONSUMO
POT_{MAX}	POTENCIA TÉRMICA MÁXIMA
POT_{NOM}	POTENCIA TÉRMICA NOMINAL
PRI	CIRCUITO PRIMARIO
PT	PÉRDIDAS TÉRMICAS
PT_{ALI}	PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN
PT_{APO}	PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL SISTEMA DE APOYO
PT_{DEM}	PÉRDIDAS TÉRMICAS ASOCIADAS A LA DEMANDA
PT_{DIS}	PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN
PT_{PRI}	PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL CIRCUITO PRIMARIO
PT_{PRO}	PÉRDIDAS TÉRMICAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN SOLAR
PT_{REC}	PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL CIRCUITO DE RECIRCULACIÓN
PT_{VASO}	PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL VASO DE UNA PISCINA
$Q_{ACS}(T)$	CAUDAL DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE SANITARIA A LA TEMPERATURA T
Q_{MAX}	CAUDAL MÁXIMO SIMULTANEO DEL CIRCUITO DE CONSUMO DE ACS
RAD	RADIACIÓN
REC	CIRCUITO DE RECIRCULACIÓN
REN	RENDIMIENTO
REN_{APO}	RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE APOYO
REN_{IST}	RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA
REN_{MED}	RENDIMIENTO MEDIO
REN_{OPT}	RENDIMIENTO OPTICO
SEC	CIRCUITO SECUNDARIO
S_{VASO}	SUPERFICIE DEL VASO DE UNA PISCINA
T	TEMPERATURA
T_{AC}	TEMPERATURA DE AGUA CALIENTE
T_{AD}	TEMPERATURA AMBIENTE DIARIA
T_{AF}	TEMPERATURA DE ABASTECIMIENTO O DE ENTRADA DE AGUA FRÍA
T_{AMB}	TEMPERATURA AMBIENTE
T_{AMBEXT}	TEMPERATURA AMBIENTE EXTERIOR
T_{AMBINT}	TEMPERATURA AMBIENTE INTERIOR
T_{CE}	TEMPERATURA LADO CALIENTE ENTRADA
T_{D}	TEMPERATURA DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA CALIENTE SANITARIA
T_{FE}	TEMPERATURA LADO FRIO ENTRADA
T_{FS}	TEMPERATURA LADO FRIO SALIDA
T_{MAX}	TEMPERATURA MÁXIMA
T_{MIN}	TEMPERATURA MÍNIMA
T_{NOM}	TEMPERATURA NOMINAL
T_{P}	TEMPERATURA DE PREPARACIÓN DEL AGUA CALIENTE SANITARIA
T_{REF}	TEMPERATURA DE REFERENCIA
T_{U}	TEMPERATURA DE USO DEL AGUA CALIENTE SANITARIA
VA_{CON}	VOLUMEN DE ACUMULACIÓN SOLAR DE CONSUMO
VA_{INE}	VOLUMEN DE ACUMULACIÓN SOLAR DE INERCIA
VA_{TOT}	VOLUMEN DE ACUMULACIÓN SOLAR TOTAL
VC_{TOT}	VOLUMEN TOTAL DE UN CIRCUITO
VE_{DIL}	VOLUMEN DE DILATACIÓN (DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN)
VE_{GAS}	VOLUMEN DE GAS (DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN)
VE_{NOM}	VOLUMEN NOMINAL (DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN)
VE_{RES}	VOLUMEN DE RESERVA (DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN)
VE_{UTI}	VOLUMEN UTIL O DE LÍQUIDO (DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN)
VE_{VAP}	VOLUMEN DE VAPOR (DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN)
V_{VASO}	VOLUMEN DEL VASO DE UNA PISCINA

IDAE, Calle Madera, 8, 28004 Madrid. Telf.: 91 456 4900

Fax: 91 523 04 14, comunicacion@idae.es, www.idae.es