

1
Introducción a
la Energía Solar
Térmica



2
Configuraciones
de los SST



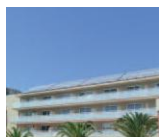
3
Componentes
de un SST
para ACS



4
Diseño y
dimensionado



5
Cálculo de
prestaciones
energéticas



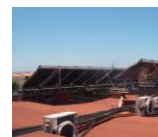
6
Instalación



7
Operación y
Mantenimiento



8
Incorporación del
SST en el edificio



Índice de contenidos

Introducción

23

1

Introducción a la Energía Solar Térmica

24

- 1.1. El agua caliente sanitaria 24
- 1.2. La demanda de energía para agua caliente 25
 - 1.2.1. El consumo de agua caliente 25
 - 1.2.2. La diferencia de temperaturas 25
- 1.3. Instalaciones convencionales de ACS 26
 - 1.3.1. Condiciones de diseño y de funcionamiento 26
 - 1.3.2. Instalaciones individuales 26
 - 1.3.3. Instalaciones centralizadas 27
- 1.4. El consumo de energía para ACS 27
 - 1.4.1. Demanda inútil o no efectiva 27
 - 1.4.2. Pérdidas térmicas en cañerías 28
 - 1.4.3. Pérdidas térmicas en acumuladores 28
 - 1.4.4. Rendimiento del generador de calor 28
- 1.5. Efectos del consumo de energía para ACS 29
- 1.6. Los sistemas solares térmicos 29
 - 1.6.1. Las distintas aplicaciones de la energía solar térmica 30
 - 1.6.2. La energía solar para agua caliente sanitaria 30
 - 1.6.3. Los equipos y las instalaciones 30

2

Configuraciones de los SST

33

- 2.1 Descripción básica de un SST 33
- 2.2. Configuraciones de las IST 35
 - 2.2.1. Según el tipo de intercambiador 35

2.2.2. Según el número de acumuladores y su conexión	36
2.2.3. Según el sistema de apoyo y su acoplamiento	41
2.3. SST para edificios multifamiliares	45
2.3.1. SST completamente centralizado	46
2.3.2. Otros SST para edificios multifamiliares	47
2.3.3. Análisis de los SST en viviendas multifamiliares	49
2.4. Condiciones de trabajo	50
2.4.1. Presión de trabajo	50
2.4.2. Temperaturas de trabajo	52

3

Componentes de un SST para ACS	55
3.1. Colector solar	55
3.1.1. Funcionamiento del colector solar plano	55
3.1.2. Elementos principales del colector solar plano	57
3.1.3. Otros tipos de colectores solares	61
3.1.4. Caracterización del funcionamiento del CST	63
3.1.5. Temperatura de estancamiento	65
3.1.6. Certificación del colector solar	67
3.1.7. Criterio de selección	68
3.2. Acumulador	68
3.2.1. Características constructivas y funcionales	68
3.2.2. Clasificación de acumuladores	70
3.2.3. Componentes de los acumuladores solares	72
3.2.4. Criterio de selección	73
3.3. Red hidráulica	74
3.3.1. Intercambiador de calor	74
3.3.2. Bomba de circulación	75
3.3.3. Cañerías	75
3.3.4. Estanque de expansión	76
3.3.5. Válvulas	76
3.3.6. Purgador de aire automático	79
3.3.7. Equipos de medida	80
3.4. Fluido de trabajo	81
3.4.1. Agua de consumo	81
3.4.2. Mezclas anticongelantes	82

4

Diseño y dimensionado	85
4.1. Criterios generales de diseño	85
4.2. Sistema de captación	85
4.2.1. El número de colectores solares	86
4.2.2. Baterías de colectores	86
4.2.3. Conexión de baterías de colectores	88
4.2.4. Agrupación de baterías de colectores	91
4.2.5. Trazado hidráulico del circuito primario	92
4.3. Sistema de acumulación	93
4.3.1. Dimensionado	93
4.3.2. Diseño del sistema de acumulación	95
4.4. Red hidráulica	96

4.4.1. Trazado de cañerías	96
4.4.2. Caudales de los circuitos	96
4.4.3. Intercambiador de calor	98
4.4.4. Cálculo de diámetros de cañerías y pérdidas de carga	101
4.4.5. Bombas de circulación	103
4.4.6. Válvulas	106
4.4.7. Equipo de llenado	107
4.4.9. Sistemas de purga	108
4.5. Dispositivos de seguridad y protección	108
4.5.1. Protección frente a altas temperaturas	109
4.5.2. Protección contra heladas	110
4.5.3. Protección frente a las máximas presiones	110
4.6. Equipos de medida	113
4.7. Aislación de la red hidráulica	113
4.8. Sistema de apoyo	115
4.9. Sistema eléctrico y de control	116
4.9.1. Equipo de control	116
4.9.2. Sistemas de monitorización	118

5

Cálculo de prestaciones energéticas **121**

5.1. Introducción al cálculo	121
5.2. Parámetros de uso	122
5.2.1. Temperaturas de uso y de preparación	122
5.2.2. Consumo de agua caliente	123
5.2.3. Cálculo de la demanda de energía	127
5.2.4. Cálculo del consumo de energía térmica	127
5.2.5. Cálculo del consumo energía convencional	128
5.3. Parámetros climáticos	129
5.3.1. Irradiación solar global	129
5.3.2. Temperatura ambiente	129
5.4. Parámetros de funcionamiento del SST	129
5.4.1. Rendimiento global medio	130
5.4.2. El número y las características de los colectores solares	130
5.4.3. Resto de parámetros de la instalación	130
5.5. Criterios de cálculo	130
5.5.1. Fracción solar	131
5.5.2. Planteamiento del cálculo	131
5.6. Aplicación de métodos de cálculo	131
5.6.1. Método de cálculo del rendimiento medio	132
5.6.2. Método de cálculo simplificado f-chart	132
5.7. Análisis de los programas de cálculo	136
5.7.1. Usos	137
5.7.2. Ventajas y desventajas	138
5.7.3. Descripción de programas	139

6

Instalación **143**

6.1. Consideraciones generales	143
--------------------------------	-----

6.1.1. Del proyecto a la instalación	143
6.1.2. Replanteo de la instalación	144
6.1.3. Consideraciones sobre los componentes	144
6.2. Sistema de captación	144
6.3. Sistema de acumulación	145
6.4. Red hidráulica	146
6.4.1. Cañerías	146
6.4.2. Intercambiador de calor	146
6.4.3. Bombas	146
6.4.4. Estanque de expansión	147
6.4.5. Válvulas	148
6.4.6. Sistemas de purga	148
6.5. Sistemas de control	148
6.6. Equipos de medida	149
6.7. Organización de la instalación	149
6.7.1. Pedido y almacenamiento de materiales	149
6.7.2. Programación de la instalación	150
6.8. Seguridad del personal instalador	150

7

Operación y mantención Instalación 153

7.1. Operación	153
7.2. Pruebas y llenado de circuitos	153
7.2.1. Limpieza de la red hidráulica	153
7.2.2. Pruebas de estanqueidad	154
7.2.3. Pruebas de libre dilatación	154
7.2.4. Procedimiento de llenado	154
7.2.5. Purga completa de los circuitos	156
7.2.6. Presurización de los circuitos	156
7.3. Puesta en marcha	156
7.3.1. Encendido manual	157
7.3.2. Ajuste del sistema de distribución de agua	157
7.3.3. Calibración del sistema de control	158
7.3.4. Verificaciones finales	159
7.4. Pruebas de operación	159
7.4.1. Encendido y apagado diario	160
7.4.2. Evolución diaria de temperaturas	160
7.4.3. Entrega de agua caliente	161
7.4.4. Sistemas de protección de la instalación	162
7.4.5. Comprobaciones finales	162
7.5. Operación automática	162
7.5.1. Plan de vigilancia	162
7.5.2. Monitorización	164
7.6. Operación manual	164
7.6.1. Detención de operación	164
7.6.2. Encendido de operación	165
7.7. Procedimiento ante fallas	165
7.7.1. Presurización de circuitos	165
7.7.2. Sistema de control	166
7.7.3. Circulación de fluido	167

7.7.4. Pérdidas térmicas	167
7.8. Mantenimiento	168
7.8.1. Mantenimiento preventivo	168
7.8.2. Mantenimiento correctivo	171
7.9. Instrucciones de operación y uso del SST	171
7.9.1. Entrenamiento del operador	171
7.9.2. Información al usuario	172
7.9.3. Manual de uso y mantenimiento	172

8

Incorporación del SST en el edificio Instalación **175**

8.1. Incorporación del SST en el edificio	175
8.2. Nivel de centralización	176
8.3. La ubicación del sistema de captación	176
8.3.1. En cubierta	177
8.3.2. En fachada	179
8.3.3. En otros elementos	179
8.4. El campo de colectores	179
8.4.1. Orientación y la inclinación	179
8.4.2. Estudio de sombras sobre colectores	181
8.4.3. Estructura soporte de colectores	182
8.5. El sistema de acumulación	182
8.5.1. Ubicación	182
8.5.2. Organización y distribución	184
8.6. Trazados de canalizaciones	184
8.7. Espacios ocupados	185
8.7.1. El recinto de colectores	185
8.7.2. La sala de acumulación	185
8.8. Relación con otras instalaciones	185
8.8.1. Acometidas de agua	186
8.8.2. Acometidas eléctricas	186
8.8.3. Desagües y red de saneamiento	186
8.9. Integración arquitectónica	186
8.9.1. Condiciones urbanísticas	187
8.9.2. Condiciones del edificio	187
8.9.3. Ejemplos de integración	187

A

Anexos **190**

Anexo 1 Ley N°20.365, que Establece Franquicia Tributaria respecto de Sistemas Solares Térmicos	190
Anexo 2 DS N°331, de 2009, del Ministerio de Economía, que fija el Reglamento de la Ley N°20.365	194
Anexo 3 ResEx N°502, del 30 de septiembre de 2010, del Ministerio de Energía, que establece Norma Técnica	206
Anexo 4 Circular N°50, del Servicio de Impuestos Internos	231
Anexo 5 Formulario F1808, del Servicio de Impuestos Internos	236
Anexo 6 Instructivo F1808, del Servicio de Impuestos Internos	237



Índice de figuras

Figura 2-1	Denominación de los sistemas de una instalación solar	33
Figura 2-2	Denominación de los circuitos hidráulicos de una instalación solar	34
Figura 2-3	Instalación solar con intercambiador interno	35
Figura 2-4	Instalación solar con intercambiador externo	36
Figura 2-5	Instalación de acumuladores con intercambiadores internos en paralelo	37
Figura 2-6	Instalación de acumuladores con intercambiadores internos en serie	38
Figura 2-7	Instalación con intercambiador externo y acumuladores en paralelo	38
Figura 2- 8	Instalación con intercambiador externo y acumuladores en serie	39
Figura 2-9	Instalación con válvula para controlar temperatura de calentamiento	40
Figura 2-10	Instalación con válvula para seleccionar destino del calentamiento	40
Figura 2-11	Instalación con bypass en la conexión al sistema de apoyo	41
Figura 2-12	Instalación solar con válvula mezcladora a la salida	42
Figura 2-13	Instalación con válvula mezcladora a la salida del sistema de apoyo	42
Figura 2-14	Instalación con válvula de 3 vías para el retorno de la recirculación	43
Figura 2-15	Instalación con bomba de trasvasije	43
Figura 2-16	Circuito con bomba para tratamiento térmico del acumulador solar	44
Figura 2-17	Circuito de calentamiento con intercambiador de apoyo para tratamiento térmico de los acumuladores	44
Figura 2-18	Instalación con sistema de apoyo incorporado en el acumulador solar	45
Figura 2-19	Instalación totalmente centralizada para edificio multifamiliar	46
Figura 2-20	Instalación solar centralizada con apoyo distribuido para edificio multifamiliar	47
Figura 2-21	Instalación solar con acumulación distribuida para edificio multifamiliar	48
Figura 2-22	Instalación solar con intercambio distribuido para edificio multifamiliar	49
Figura 2-23	Temperaturas máximas de trabajo de la instalación solar	53
Figura 3-1	Efecto invernadero en el colector solar	56
Figura 3-2	Distribución espectral de la radiación y transmisividad del vidrio	56
Figura 3-3	Balance energético del colector solar	57
Figura 3-4	Componentes principales de un colector solar plano	57
Figura 3-5	Absorbedores de bandas y de lámina entera	58
Figura 3-6	Absorbedores de parrilla (vertical y horizontal)	59
Figura 3-7	Colector con absorbedor de serpentín	59
Figura 3-8	Diferentes tipos de circuitos del absorbedor	60
Figura 3-9	Esquema de partes de un tubo de calor (heat-pipe)	62
Figura 3-10	Esquema de partes de un tubo de vacío en U	62

Figura 3-11	Rendimiento de 3 colectores solares para irradiancia de 1.000 W/m ²	64
Figura 3-12	Rendimiento de un colector solar para distintos valores de irradiancia	65
Figura 3-13	Pérdida de carga en función del caudal másico para tres tipos de absorbedores	66
Figura 3-14	Esquema de pérdidas térmicas y conexiones de un acumulador solar	69
Figura 3-15	Disposición del acumulador (horizontal y vertical)	70
Figura 3-16	Acumuladores con intercambiador de serpentín y de doble envolvente	71
Figura 3-17	Distintas protecciones y terminaciones externas de los acumuladores	73
Figura 3-18	Grupos de transferencia prefabricados	74
Figura 3-19	Intercambiador de calor de placas	75
Figura 3-20	Bombas de circulación	75
Figura 3-21	Estanque de expansión	76
Figura 3-22	Válvula de esfera o de bola	77
Figura 3-23	Válvula de seguridad de escape conducido	77
Figura 3-24	Válvulas de retención o antirretorno	78
Figura 3-25	Válvulas de equilibrado	78
Figura 3-26	Válvula de llenado automático	78
Figura 3-27	Válvula de tres vías	79
Figura 3-28	Purgador automático de aire	79
Figura 3-29	Manómetro y termómetros	80
Figura 3-30	Caudalímetro	80
Figura 3-31	Temperatura de congelación en función de la proporción de anticongelante	82
Figura 4-1	Campo de colectores con distribución homogénea	86
Figura 4-2	Conexión de colectores en paralelo en baterías con trazado externo	87
Figura 4-3	Conexión de colectores en baterías con paralelo interno	87
Figura 4-4	Conexión de colectores en serie para formar batería	88
Figura 4-5	Conexión de baterías en paralelo con válvulas de equilibrado	89
Figura 4-6	Conexión de baterías en paralelo con circuito invertido	89
Figura 4-7	Conexión de baterías en serie	90
Figura 4-8	Conexión de baterías en serie y paralelo	90
Figura 4-9	Elementos para el conexionado de un grupo de baterías	91
Figura 4-10	Ejemplos de purgadores manuales, válvulas de corte y de seguridad	91
Figura 4-11	Ejemplo de distribución de 16 colectores	92
Figura 4-12	Ejemplo de distribución de 144 colectores solares	93
Figura 4-13	Influencia del tamaño de la acumulación en el rendimiento global	94
Figura 4-14	Conexionado de acumulación e intercambio (solar y de apoyo)	95
Figura 4-15	Influencia del caudal del circuito primario en el rendimiento global	96
Figura 4-16	Funcionamiento de colectores solares conectados en paralelo y en serie	97
Figura 4-17	Pérdida de carga de un colector solar en función del caudal másico	98
Figura 4-18	Esquema de conexionado y ejemplo de instalación de intercambiador de calor de placas	99
Figura 4-19	Esquema de conexionado y ejemplo de instalación de bombas de circulación	104
Figura 4-20	Diagrama caudal-presión para la selección de bombas de circulación	104
Figura 4-21	Curvas de funcionamiento de bombas de circulación	105
Figura 4-22	Sistemas de llenado de circuitos primarios	107
Figura 4-23	Purgador automático con válvula y sistema de purga manual	108
Figura 4-24	Sistema de expansión con depósito tampón	111
Figura 4-25	Manómetro diferencial entre aspiración e impulsión de bomba	113
Figura 4-26	Instalación de tuberías de cobre antes de su aislación: soportes sin puentes térmicos y con separación suficiente	114
Figura 4-27	Tubería de cobre aislada con doble capa de coquilla de fibra de vidrio	114
Figura 4-28	Cuadros eléctricos con los equipos de control incorporados	116
Figura 4-29	Distintos modelos de equipos de control	117
Figura 4-30	Sistema de expansión con depósito tampón	118
Figura 4-31	Elementos de medida de los equipos de control	118
Figura 4-32	Situación de sondas de temperatura y caudalímetros	119
Figura 5-1	Proceso iterativo de cálculo	121
Figura 5-2	Temperaturas de preparación, distribución y uso de una instalación	122
Figura 5-3	Perfil diario de consumo de agua caliente en viviendas	126

Figura 5-4	Esquema explicativo de las pérdidas térmicas del proceso de producción de ACS	128
Figura 5-5	Configuración utilizada para obtener los modelos del método f-Chart	136
Figura 6-1	Conexión del estanque de expansión	147
Figura 6-2	Recomendación de no instalar válvulas hacia abajo	148
Figura 6-3	Ejemplo de arnés de seguridad de personal	150
Figura 7-1	Esquema descriptivo del procedimiento de llenado de una instalación	155
Figura 7-2	Monitorización de las temperaturas de grupos de colectores en paralelo	158
Figura 7-3	Prueba de encendido y apagado diario	160
Figura 7-4	Evolución diaria de temperaturas sin consumo	161
Figura 7-5	Evolución diaria de temperaturas con consumo	161
Figura 7-6	Gráfica de temperaturas de una instalación telemonitorizada	164
Figura 8-1	Estudio del nivel de centralización de instalaciones solares	176
Figura 8-2	Estudio de soluciones alternativas para el sistema de captación	177
Figura 8-3	Ejemplos de colectores solares en cubierta plana visitable	178
Figura 8-4	Ejemplos de colectores en cubiertas inclinadas	178
Figura 8-5	Ejemplos de colectores solares en el terreno	179
Figura 8-6	Influencia de las desviaciones en orientación e inclinación sobre la radiación máxima disponible	180
Figura 8-7	Estudio de inclinación, separación y sombras entre colectores	181
Figura 8-8	Ejemplos de soluciones a la estructura soporte de colectores	182
Figura 8-9	Ejemplos de sistemas de acumulación en espacios interiores	183
Figura 8-10	Ejemplos de acumuladores situados en el exterior de edificios	183
Figura 8-11	Estudio de soluciones para organizar y distribuir sala de acumuladores	184
Figura 8-12	Distintas soluciones de sistemas de acumulación	185
Figura 8-13	Ejemplos de integración de colectores solares	188



INSTRUCTORA DECLARANTE

RÍO		NOMBRE O RAZÓN SOCIAL	
		COMUNA	CORRE

ACCIÓN POR SISTEMA SOLAR TÉRMICO (SST)

ESPECIFICACIONES D

DIRECCIÓN DE INSTALACIÓN DEL SST

LE	NÚMERO	BLOCK	CASA O DEPARTAMENTO
	C3	C4	C5

FECHA Y DE LA RECEPCIÓN		MONTOS POR	
VA DEL CIPRO NTE DEL ISO DE ACCIÓN	FECHA RECEPCIÓN MUNICIPAL DEFINITIVA	VALOR DE LOS COMPONENTE S (UF)	VALOR DE INSTALACI DEL SST (UF)



Índice de tablas

Tabla 3-1	Tabla de propiedades de las mezclas anticongelante	83
Tabla 4-1	Taudales máximos admisibles para diferentes diámetros de tubería de cobre	102
Tabla 4-2	Longitud equivalente de tubería (en metros) para pérdidas de carga singulares	102
Tabla 4-3	Cálculo de la pérdida de carga total de un circuito primario	103
Tabla 5-1	Tabla de consumos unitarios en viviendas	124
Tabla 5-2	Tabla de personas estimadas por dormitorio	124
Tabla 5-3	Tabla de consumos unitarios	125
Tabla 5-4	Modelo de tabla con los parámetros climáticos y de demanda	133
Tabla 5-5	Valores y rangos admisibles para f-chat	135
Tabla 6-1	Ejemplo de programa de instalación	150
Tabla 7-7	Valores habituales para parámetros del controlador	159
Tabla 7-2	Valores de consigna para sistema de control	166
Tabla 7-3	Operaciones de mantención referentes al colector	168
Tabla 7-4	Operaciones de mantención referentes al sst en general	169
Tabla 7-5	Protocolo de chequeo de fechas en el grupo de colectores	170
Tabla 7-6	Protocolo de chequeo de actividades de periodicidad de 6 meses	170



Abreviaturas y acrónimos

AS	ACUMULADOR SOLAR
A_{COL}	AREA DE CAPTACIÓN
ACS	AGUA CALIENTE SANITARIA
A_F	AGUA FRIA
A_{INT}	AREA ÚTIL DE INTERCAMBIO
AA	ACUMULACIÓN DEL SISTEMA DE APOYO
AE_{SOL}	APORTE ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN SOLAR
BP	BOMBA CIRCUITO PRIMARIO
BR	BOMBA CIRCUITO RETORNO
BS	BOMBA CIRCUITO SECUNDARIO
CA	CALDERA AUXILIAR
CE_{ACS}	CONSUMO DE ENERGÍA EN ACS
CE_{APO}	CONSUMO DE ENERGÍA AUXILIAR (DEL SISTEMA DE APOYO)
CE_{GEN}	CONSUMO DE ENERGÍA TÉRMICA EN EL GENERADOR DE CALOR DEL SISTEMA DE APOYO
CF_{GEN}	CONSUMO DE ENERGÍA FINAL DEL SISTEMA DE APOYO
CET	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA DE UN FLUIDO
CP	COEFICIENTE DE PRESIÓN
CPC	COLECTOR DE CONCENTRACIÓN CILINDRICO-PARABOLICO COMPUESTO
CS	CONTRIBUCIÓN SOLAR
CST	COLECTOR SOLAR TERMICO
DA	DEPÓSITO DE ACUMULACIÓN (ACUMULADOR)
DE_{ACS}	DEMANDA (NETA) DE ENERGÍA TÉRMICA EN ACS
e_{min}	ESPESOR MÍNIMO DE AISLAMIENTO
EPDM	CAUCHO ETILENO-PROPILANO-DIENO
EP_{SOL}	PERDIDAS TERMICAS DE LA INSTALACION SOLAR
G_{REF}	IRRADIANCIA SOLAR DE REFERENCIA
H_t	RADIACIÓN SOLAR GLOBAL
IE	INTERCAMBIADOR EXTERNO
I_{SST}	INCLINACION DEL SISTEMA DE CAPTACION
IST	INSTALACION SOLAR TERMICA
λ	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
PCI	PODER CALORÍFICO INFERIOR

PC_{COL}	PÉRDIDA DE CARGA DEL COLECTOR
P_{MAX}	PRESIÓN MÁXIMA
P_{MIN}	PRESIÓN MÍNIMA
P_{VS}	PRESIÓN TARADO VÁLVULA DE SEGURIDAD
POT_{COL}	POTENCIA TÉRMICA DEL COLECTOR
PT	PÉRDIDAS TÉRMICAS
PT_{ACU}	PÉRDIDAS TÉRMICAS DE LA ACUMULACIÓN DEL SISTEMA DE APOYO
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_{PRO}	PÉRDIDAS TÉRMICAS ASOCIADAS A LA PRODUCCIÓN SOLAR
PT_{REC}	PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL CIRCUITO DE RECIRCULACIÓN
PT_{SOL}	PERDIDAS TERMICAS DE LA INSTALACION SOLAR
$Q_{ACS}(T)$	CAUDAL DE CONSUMO DE AGUA CALIENTE SANITARIA A LA TEMPERATURA T
$RACS$	RETORNO AGUA CALIENTE SANITARIA
SST	SISTEMA SOLAR TERMICO
T	TEMPERATURA
T_{AC}	TEMPERATURA DE AGUA CALIENTE
T_{AF}	TEMPERATURA DE ABASTECIMIENTO O DE ENTRADA DE AGUA FRÍA
T_{AMB}	TEMPERATURA AMBIENTE
T_{CE}	TEMPERATURA LADO CALIENTE ENTRADA
T_D	TEMPERATURA DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA CALIENTE SANITARIA
T_{ENT}	TEMPERATURA DE ENTRADA A COLECTORES
T_{FS}	TEMPERATURA LADO FRIO SALIDA
TIM	TRANSPARENT INSULATING MATERIALS
T_{MAX}	TEMPERATURA MÁXIMA
T_{MIN}	TEMPERATURA MÍNIMA
T_{MED}	TEMPERATURA MEDIA
T_P	TEMPERATURA DE PREPARACIÓN DEL AGUA CALIENTE SANITARIA
T_{REF}	TEMPERATURA DE REFERENCIA
T_U	TEMPERATURA DE USO DEL AGUA CALIENTE SANITARIA
V	VOLUMEN DE ACUMULACIÓN
V_C	VALVULA DE CORTE
V_D	VALVULA DE DESAGÜE
V_E	VALVULA DE EQUILIBRADO
V_P	VALVULA DE PURGA
VC_{TOT}	VOLUMEN TOTAL DEL CIRCUITO
VE_{GAS}	VOLUMEN DE GAS
VE_{NOM}	VOLUMEN NOMINAL
VE_{RES}	VOLUMEN DE RESERVA
VE_{UTI}	VOLUMEN ÚTIL O DE LÍQUIDO
VE_{VAP}	VOLUMEN DE VAPOR



Bibliografía

Sistemas Solares Térmicos I, Manual de diseño para el calentamiento de agua.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC). Chile, 2007.

La Guía ASIT de la Energía Solar Térmica.

Asociación Solar de la Industria Térmica (ASIT). España, 2008.

Ley N° 20.365, que Establece Franquicia Tributaria respecto de Sistemas Solares Térmicos.

DS N° 331, de 2009, del Ministerio de Economía, que fija el Reglamento de la ley 20.365.

ResEx N° 502, del 30 de septiembre de 2010, del Ministerio de Energía, que establece Norma Técnica.

Sistemas Solares Térmicos. Diseño e instalación

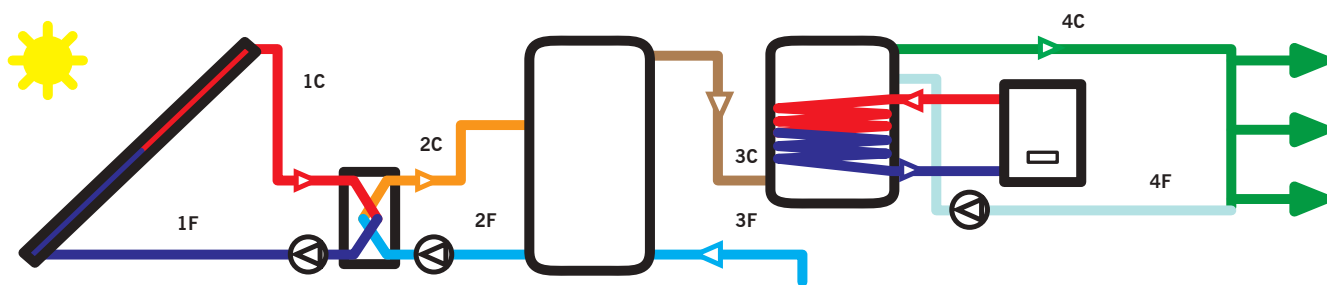
Peuser, Félix A. y Remmers, Karl Heinz y Schauss, Martin. España, 2005.

Instalaciones Solares Térmicas: Manual para uso de instaladores, fabricantes, proyectistas, ingenieros y arquitectos, instituciones de enseñanza y de investigación.

Agencia Andaluza de la Energía. España, 2004.



Colorimetría de esquemas



- 1C – Salida de colectores y caldera auxiliar
- 2C – Salida de intercambiador a DA
- 3C – Salida de DA
- 4C – Salida de agua caliente sanitaria
- 1F – Retorno desde intercambiador a colectores o caldera auxiliar
- 2F – Retorno desde DA
- 3F – Alimentación de agua fría de red
- 4F – Retorno Agua caliente sanitaria
- Circuito destacado



- *Introducción a la Energía Solar Térmica* · *Configuraciones del SST* ·
- *Componentes de un SST para ACS* · *Diseño y dimensionado* ·
- *Cálculo de prestaciones energéticas* · *Instalación* · *Operación y mantenimiento* ·
- *Incorporación del SST en el edificio* ·

SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS II

Guía de Diseño e Instalación para Grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria

Introducción

El objetivo principal de este manual, es contar con una guía para el diseño, montaje, operación y mantención de sistemas solares térmicos para el calentamiento de agua sanitaria. La finalidad de este documento, es colaborar con los profesionales para que puedan proyectar instalaciones solares de cualquier tamaño y especialmente los de gran envergadura.

La metodología que esta guía presenta, constituye una propuesta para el mejorar las capacidades actuales de diseño e instalación de un sistema solar térmico para agua caliente sanitaria. Plantea de manera didáctica, formas de proyectar instalaciones, a partir del conocimiento de las condiciones de terreno o de campo. Desde este punto, permitirá preparar un primer diseño en base a las llamadas prestaciones. Además, los aportes de la instalación proyectada, cuyo fin óptimo será, para el caso de la realidad nacional, aquella que el cálculo y criterios de las buenas prácticas de la ingeniería obtenga. Todas estas contribuciones, ayudarán a tener en cuenta la contribución solar mínima exigida por la normativa y complementariamente entregue el mayor rendimiento térmico del sistema.

Con relación a las configuraciones, indica que todas ellas son factibles, teniendo como criterio general las necesidades de equilibrio hidráulico para las conexiones en paralelo o el criterio de contar siempre con líneas duplicadas cuando las instalaciones son grandes o son proyectadas para hospitales, entre otras.

Los lineamientos que presenta este libro, permitirán determinar el tamaño de un sistema solar térmico según las condiciones de campo, los números de colectores instalados, el volumen de agua demandado y el tipo de componentes. También la distancia de los recorridos hidráulicos y los tipos de elementos de seguridad -pasivos o dinámicos- que son requeridos en un proyecto solar para ACS.

Una consideración general que aporta, es que toda instalación debe dar cuenta del mejor aprovechamiento de la energía disponible y el máximo rendimiento del sistema, donde adquieren vital importancia el diseñar con bajas pérdidas térmicas. Además, se deberán elaborar criterios locales más allá que lo que la guía hoy nos presenta, ya que si estas pérdidas térmicas son altas, el rendimiento del sistema tiende a cero con lo cual el propósito de la inversión no se justifica.

Todo proyecto solar térmico podrá prescindir de elementos ajenos al sistema, para asegurar su correcto funcionamiento y vida útil. Es decir, se deberá proyectar para que entre en operaciones bajo cualquier condición externa, como por ejemplo, sobre calentamiento por falta de consumo, como sucede en las vacaciones y trabajar fuera de las demandas proyectadas, entre otros. El sistema solar siempre va a funcionar como el usuario lo demande. En este sentido un buen diseño y una buena instalación aseguran un óptimo resultado independiente de otros factores.

Capítulo 1

Introducción a la Energía Solar Térmica

1.1. El agua caliente sanitaria

El agua caliente sanitaria (ACS) es una necesidad derivada del nivel de confort de las sociedades actuales. Su disponibilidad en el interior de los hogares es una exigencia mínima de bienestar, pero a la vez, debe considerarse un verdadero privilegio ya que trae asociado el consumo de dos recursos escasos: Agua y Energía.

Aunque la disponibilidad de sistemas de ACS no esté completamente generalizada, es evidente que el desarrollo social implicará que se extienda y masifique su uso; debiendo establecer desde hoy una solución de futuro. Según estudios del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), de los más de 4,2 millones de hogares que había en 2002, solo unos 2,4 millones disponen de sistemas de producción de ACS; es indiscutible que queda mucho por hacer.

Si los sistemas de ACS evolucionan a una mayor o total incorporación, la idea es que su desarrollo considere por soluciones eficientes de ambos recursos. Se estima que, actualmente, un 90% corresponde a calefones que usan como combustible gas y el porcentaje restante son termos eléctricos. Por otro lado, además de promover el uso de soluciones técnicas que ahorren agua y energía, resulta fundamental que se genere la conciencia en los usuarios sobre la necesidad de utilizar racionalmente el agua caliente.

Sin considerar la escasez de estos recursos, los sistemas de producción de agua caliente se diseñan como un equipamiento más dentro de la vivienda y pasan a un segundo plano. Afortunadamente, como la sociedad empieza a ser consciente de la importancia del uso eficiente de los recursos, exige aplicar ciertos criterios de desarrollo sostenible para el consumo de ACS:

- La demanda de agua caliente debe ser la imprescindible para cubrir las necesidades.
- Debe hacerse un uso racional de este recurso.
- Deben utilizarse procedimientos eficientes en la utilización del agua y en la conversión de energía.
- Deben utilizarse energías renovables para cubrir la mayor parte de estas necesidades.

1.2. 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 consumida (Q_{ACS}), desde la temperatura de entrada de agua fría (T_{AF}) hasta la temperatura de uso (T_U) en los puntos de consumo. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$DE_{ACS} = Q_{ACS} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_U - T_{AF})$$

Donde las características del agua están representadas por su densidad ρ , que a 25°C tiene el valor de 1000 [KG / m³] y por el calor específico C_p a presión constante, que a 25°C tiene el valor de 4,1868 [KJ / Kg · m] (es aceptado usar este valor mientras el agua se mantenga en estado líquido).

Se analizan a continuación los factores que intervienen: Consumo de agua caliente y la diferencia de temperaturas.

1.2.1. El consumo de agua caliente

El consumo, gasto, flujo o caudal de ACS es el que produce el efecto útil en el aseo personal, el lavado de ropa o de la vajilla, entre otros requerimientos, y es el primer factor que afecta al consumo de energía asociado. Es preciso conocer cómo se produce dicho consumo de agua para actuar y utilizarla de la forma más racional y eficientemente posible.

En primer lugar, el consumo depende de las costumbres de los usuarios; si para el aseo personal, por ejemplo, se utiliza la ducha en vez de la tina de baño se reduce el consumo de agua en más de un 50% (del orden de 120 litros a 50 litros), si además se cierra la ducha mientras la persona se jabona se puede reducir hasta 30 litros. Por otro lado, la temperatura de utilización del agua caliente en la ducha es menor que en el baño de tina por lo que de esta forma se podría reducir el consumo total de energía en más de un 75%. Asimismo, la apertura del grifo puede reducir sensiblemente el gasto de agua caliente según su uso, si se abre estrictamente lo necesario, ya que rara vez es necesario abrir un grifo completamente.

En segundo lugar, el caudal de agua va a depender de la infraestructura y del equipamiento que se disponga; por ejemplo, si la presión de la red es elevada, el consumo aumenta considerablemente. Se pueden utilizar reductores de presión para toda la red o reductores de caudal instalados en el interior de los grifos.

Los variados tipos y modelos de grifería aportan distintas prestaciones al consumo de agua, pero lamentablemente pocas veces se consideran: por mencionar algunos, existen cabezales de ducha de bajo consumo que permiten reducir el consumo de agua a la mitad y también la grifería termostática, que reduce sensiblemente los tiempos de puesta a régimen permitiendo que los cortes no obliguen a una nueva regulación del caudal de mezcla.

Por último, hay que destacar el consumo de agua caliente que no produce efecto útil y que generalmente se debe a un mal uso, como dejar los grifos abiertos durante mucho tiempo hasta alcanzar la máxima temperatura; dejarlos mal cerrados al terminar de ocuparlos o grifos con monomando abierto en posición intermedia sin necesidad. También se debe a defectos de la instalación, como fugas en cañerías o grifería averiada que pierde continuamente agua.

1.2.2. La diferencia de temperaturas

Mientras más baja sea la diferencia de temperaturas entre el agua caliente y el agua fría, menor será la demanda de energía asociada; de ahí la importancia de que el consumo se realice a la menor temperatura posible. En el extremo, si el consumo se hiciera a la temperatura del agua fría no habría demanda de energía.

Para que el consumo de agua caliente produzca el efecto deseado es necesario que se realice a una determinada temperatura que varía según la aplicación y el usuario. Normalmente casi todo el gasto de agua caliente se produce entre los 35 y 45°C, siendo utilizada el agua menos caliente para el lavado de manos y la más caliente para la limpieza en fregaderos.

Una temperatura de hasta 38°C, tres o cuatro grados superior a la del cuerpo, es más que suficiente no sólo para la higiene sino para la sensación de comodidad.

1.3. Instalaciones convencionales de ACS

Para producir, disponer y utilizar ACS en los edificios existen múltiples tipos de instalaciones cuyo diseño, dimensionado y uso varían en función de localizaciones geográficas, condiciones de cálculo, campañas activas de proveedores (tanto de equipos como de energía), evolución tecnológica de sistemas, normativa aplicable, características de los edificios, entre otros factores.

1.3.1. Condiciones de diseño y de funcionamiento

Es importante conocer las características que influyen en el diseño y uso de las instalaciones para evaluar el proceso de consumo de energía y adoptar, a priori, los mejores criterios de diseño. Y en el caso de instalaciones en funcionamiento, las medidas correctivas necesarias.

Las características que se deben analizar están relacionadas con los siguientes criterios:

- Condiciones higiénicas y sanitarias.
- Características de las instalaciones individuales y centralizadas, así como rendimientos de los equipos que se utilizan.
- Diseño de los circuitos de distribución y recirculación.
- La mantención y uso de las instalaciones.
- Las fuentes de energía empleadas.

Las instalaciones de ACS deben mantener las características higiénicas y sanitarias del agua. Para ello, se deben utilizar materiales en contacto con el agua que sean compatibles para mantener las condiciones de potabilidad requeridas. El cobre es un material óptimo para asegurar estas condiciones.

En algunas instalaciones es necesario tomar precauciones especiales para evitar la proliferación de la bacteria que produce la legionelosis. Para ello es necesario conocer todos los requisitos que deben cumplir las instalaciones convencionales y, en lo que afecta al tratamiento térmico de la instalación solar, ver apartado 2.2.3.

1.3.2. Instalaciones individuales

Las instalaciones individuales preparan el agua caliente para cada usuario o, incluso, para cada punto de consumo; de manera que son independientes tanto las instalaciones como los consumos de agua y de energía asociados.

Los sistemas individuales para obtener agua caliente pueden ser de dos tipos:

A) Sistemas instantáneos

Calientan el agua en el momento que se va a consumir haciéndola pasar por un intercambiador de calor. Es común el uso de calentadores instantáneos (calefón a gas o eléctrico) y calderas mixtas.

Aunque son los sistemas más utilizados, presentan los inconvenientes que se detallan a continuación:

- Hasta que el agua alcanza la temperatura de uso en el punto de consumo, se está desperdiciando agua y energía por lo que son importantes las distancias, los diámetros de las cañerías y su aislamiento.
- Independientemente del caudal requerido siempre arranca el calentador, con una escasa modulación en potencia, lo que reduce significativamente los rendimientos de estos equipos y aumenta el deterioro por los continuos arranques y paradas.
- Es limitada la capacidad de abastecer simultáneamente varios consumos.

B) Sistemas con acumulación

Calientan previamente el agua y la almacenan en un depósito acumulador (DA), a partir del cual se va produciendo el consumo. Común es utilizar termos eléctricos o acumuladores acoplados a calderas o bombas de calor.

Los principales inconvenientes de estos sistemas son:

- Tienen una capacidad limitada, según el volumen caliente acumulado, de abastecer una demanda prolongada de ACS.

- Si el acumulador está continuamente a la temperatura de servicio, las pérdidas térmicas pueden ser muy elevadas. Por ello es importante el nivel de aislación de los mismos.

1.3.3. Instalaciones centralizadas

Las instalaciones centralizadas preparan el agua caliente para varios usuarios (viviendas en un condominio, habitaciones en un hotel, etc.) que la pueden utilizar simultáneamente. En este caso, existe una instalación general cuya mantención y gastos de operación deben ser compartidos o prorrateados entre los que la utilizan.

Para estas instalaciones, lo más común es utilizar sistemas de acumulación calentados por calderas. El calentamiento se produce mediante intercambiador exterior o incorporado al acumulador. Y, normalmente se requiere un sistema de recirculación para acercar el agua a las viviendas o los puntos de consumo.

Las mayores ventajas son la reducción de la potencia instalada en los generadores de calor, en relación con la solución individual, así como su mejor rendimiento. Las desventajas son las pérdidas térmicas, tanto en el sistema de acumulación como en la red de cañerías de distribución, por lo que éstas deben ser la mayor preocupación durante el diseño.

En edificios de viviendas, si las instalaciones están bien proyectadas y ejecutadas, representan la opción más eficiente de producir y suministrar agua caliente sanitaria.

La medición de los consumos individuales de agua caliente, para repartir los gastos correspondientes en forma proporcional al uso que hace cada uno de los ocupantes se realiza por medio de un contador de consumo volumétrico o medidor de energía.

1.4. El consumo de energía para ACS

Para abastecer una determinada demanda es necesario utilizar más energía, en el punto donde se produce el calor, para compensar las pérdidas térmicas y los rendimientos de todos los componentes que intervienen en la transferencia de calor.

Toda esa energía no aprovechada da lugar a pérdidas térmicas asociadas a la demanda (PT_{DEM}). Si esto se suma al requerimiento neto de energía (DE_{ACS}), determina el consumo total de energía térmica (CE_{ACS}). Esta demanda bruta se puede definir como la cantidad de energía térmica que es necesario emplear, en el lugar donde se produce, para abastecer una determinada demanda en un punto de consumo, y se determina por:

$$CE_{ACS} = DE_{ACS} + PT_{DEM}$$

La demanda produce, por tanto, un consumo de energía térmica que es el que realmente define el gasto de energía final, ya sea electricidad, combustibles fósiles o renovables.

Es necesario evaluar, para cada caso, las pérdidas térmicas y los rendimientos de transformación para definir la importancia en el consumo de energía final. Su determinación precisa es compleja porque depende del diseño, montaje, funcionamiento, mantención y uso de las instalaciones de producción de ACS. Se pueden agrupar en:

- Demanda no efectiva de energía.
- Pérdidas térmicas en cañerías.
- Pérdidas térmicas en acumuladores.
- Rendimiento del generador de calor.

1.4.1. Demanda inútil o no efectiva

El flujo de agua caliente está básicamente producido por la demanda útil o efectiva, aquella que produce el efecto deseado; pero también hay un consumo de agua caliente no útil que debería tenerse en cuenta a la hora de diseñar y utilizar las instalaciones. Entre otros, destacan:

- La pérdida de agua y energía al vaciar las cañerías que están llenas de agua fría para conseguir el agua a la temperatura ideal en el punto de consumo.
- El agua caliente que queda en la tubería, cuando se termina el consumo, se va enfriando y se pierde ese calor que no se aprovecha.

1.4.2. Pérdidas térmicas en cañerías

Las pérdidas de calor en cañerías se producen debido a la diferencia de temperatura entre la tubería caliente y el aire ambiente, si es tubería aérea; o entre la cañería y el material que la rodea si es tubería empotrada.

- El agua caliente siempre se enfría al trasladarse o fluir a través de la tubería desde el punto donde se produce hasta el de consumo.
- Si existe un circuito de recirculación en la instalación, que en grandes instalaciones es imprescindible para acercar el agua caliente a los puntos de consumo, dicho circuito está continuamente perdiendo calor.

Debido a estas pérdidas es necesario aumentar la temperatura de trabajo en el sistema de preparación, para que la temperatura que llegue al punto de consumo sea la deseada. Este aumento de temperatura a su vez produce mayores pérdidas en el sistema de preparación.

Debe tenerse en cuenta que la cantidad de energía que se pierde en las cañerías depende, además del aislamiento y la diferencia de temperaturas, de longitud de las mismas y el tiempo que esté el agua caliente en su interior; de ahí la gran importancia de evaluar las pérdidas térmicas en los circuitos con recirculación.

1.4.3. Pérdidas térmicas en acumuladores

Análogamente a las cañerías, las pérdidas de calor en acumuladores se producen debido a la diferencia de temperatura entre éstos y el aire ambiente. Además, cuentan con un condicionante añadido que afecta al consumo de energía: las pérdidas en acumuladores deben contabilizarse continuamente si el sistema está previsto para garantizar la disponibilidad de agua caliente en cualquier instante.

La ubicación del acumulador en espacios exteriores o interiores, la calidad y el espesor de la aislación, así como los puentes térmicos, son factores importantes a considerar.

1.4.4. Rendimiento del generador de calor

El sistema de producción de ACS siempre dispone de uno o varios generadores de calor que deben proporcionar la energía necesaria para abastecer la demanda bruta de energía (CE_{ACS}). El generador de calor tendrá que producir la cantidad de energía (CE_{GEN}) tal que:

$$CE_{GEN} = CE_{ACS}$$

El generador de calor (sea caldera, calefón o cualquier otro medio) siempre tiene un rendimiento debido a la transformación de la energía final que utilice para la generación de calor que se produce. Este rendimiento produce un consumo de energía final del generador que, expresado en unidades del combustible convencional empleado y en función de su poder calorífico inferior (PCI) más el rendimiento del sistema convencional (η_{GEN}), se puede calcular mediante la expresión:

$$CF_{GEN} = CE_{GEN} \cdot [PCI * \eta_{GEN}]$$

Siendo la energía térmica que produce el generador (CE_{GEN}) la cantidad de calor que ha introducido en el circuito de agua y puede medirse por el producto del caudal por el incremento de temperatura. La energía final que se consume (CF_{GEN}) corresponde al gasto total del contenido aprovechable del combustible o energía final (gas licuado, leña, gas natural, electricidad, etc.) que se ha utilizado.

Es importante señalar la diferencia entre el rendimiento instantáneo y el rendimiento estacional, global o de explotación de un equipo productor de agua caliente.

1.5. Efectos del consumo de energía para ACS

Desde el punto de vista del interés general de la sociedad en los aspectos energéticos, los efectos del consumo de energía para obtener ACS son los derivados del consumo de energía primaria y los efectos inducidos sobre el medioambiente que el uso de esta conlleva.

Aunque pueda parecer un gasto pequeño, el consumo de agua caliente produce una parte importante del consumo de energía a nivel nacional: puede estimarse que, en Chile, el consumo de energía para ACS representa aproximadamente un 18% del consumo de energía final residencial nacional, lo que supone del orden de 9.500 GWh/año. Esto significa que las necesidades energéticas para ACS de los consumidores finales produzcan una factura energética de más 1.200 millones de dólares anuales. Esta factura energética podría ser sustancialmente reducida con la utilización de energía solar térmica, que permite obtener energía "gratis" y al mismo tiempo reducir las emisiones de contaminantes. De hecho, si el 100% de los hogares chilenos tuviese colectores solares en sus techos, podría bajarse esa factura, en teoría, a menos de 500 millones de dólares anuales.

La utilización de las distintas fuentes de energía en la producción de agua caliente sanitaria de los hogares chilenos se reparte aproximadamente en un 70% de uso de gas licuado, un 25% de gas natural, y el 5% restante entre electricidad, leña y otros combustibles.

Como ya se indicó, existe un alto porcentaje de hogares que no dispone de agua caliente para su uso habitual, se estima que al 2010 aún existe más de un 20%¹ que no dispone de agua caliente para su uso habitual, por lo que es previsible que el consumo de agua caliente deba aumentar durante los siguientes años para que todos puedan disponer de este factor de bienestar.

Resulta, por tanto, razonable pensar que una sociedad que aspira lograr un desarrollo sustentable y que desee mantener o aumentar estas cuotas de consumo de agua caliente sanitaria -y al mismo tiempo disminuir las emisiones de contaminantes- deba promover la utilización de estas tecnologías basadas en energías renovables e impulsar medidas de eficiencia energética.

1.6. Los sistemas solares térmicos

Vistas las necesidades energéticas que requiere la producción de ACS, habría que analizar las distintas formas de solucionarlas y decidir la mejor forma de hacerlo pero, desde el punto de vista del interés general, la solución con energía solar es, sin lugar a dudas, la más beneficiosa:

- Porque la fuente de energía primaria es siempre gratuita con lo que no hay costos de utilización de la misma; al contrario que en el resto de fuentes de energía.
- Porque la disponibilidad a largo plazo está asegurada ya que la fuente de energía primaria perdura en el tiempo independiente de cualquier otra actividad humana; lo que tampoco ocurre con las otras.
- Porque tiene los mejores rendimientos de transformación de la radiación solar en energía útil: del orden del 50%.

Adicionalmente, la sencillez de la tecnología solar térmica es una de las ventajas fundamentales de las instalaciones y eso facilita que pueda estar al alcance de muchos y que sea más fácil su expansión.

Desde el punto de vista medioambiental, la energía solar es la mejor de las opciones posibles puesto que, a diferencia del resto de las energías convencionales, no contamina en absoluto y suponen la utilización de un recurso natural, gratuito y de carácter renovable.

¹ Estimaciones de la Corporación de Desarrollo Técnico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción, basadas en el censo 2002 y la proyecciones de crecimiento en el sector.

1.6.1. Las distintas aplicaciones de la energía solar térmica

Dentro de las posibles aplicaciones directas de la energía solar térmica las más inmediatas están relacionadas con cualquier demanda de calor a baja temperatura (hasta unos 100°C): agua caliente, sanitaria o industrial, calentamiento de piscinas, calefacción y refrigeración ambiental, y otras aplicaciones térmicas como secado agrícola, evaporación de agua, cocción de alimentos, etc.

Si se pretende que todas las demandas térmicas sean solucionadas con energía solar, será más fácil alcanzar un objetivo final de generalización del uso de la energía solar para todas las aplicaciones si se concentran los primeros esfuerzos en las aplicaciones más sencillas, eficientes y rentables.

Si se analiza la demanda potencial de las distintas aplicaciones, la forma de utilizar la tecnología en cada una de ellas, y las distintas eficiencias y rentabilidades que proporcionan, se deduce que conviene concentrar esfuerzos en la aplicación más demandada que es el agua caliente sanitaria utilizada en el sector residencial y servicios. La estabilidad de la demanda anual de este servicio es uno de los factores que más contribuye a su desarrollo.

Las soluciones de ACS son un primer paso ya que enseñan a proyectarla, a instalarla y a utilizarla; ésto no es fácil porque la energía solar lleva consigo un cambio de mentalidad en la disponibilidad de la fuente de energía y hay que demostrar a la sociedad que el camino de derrochar una abundante y barata energía convencional es el equivocado.

La utilización intensiva de la energía solar para ACS permitirá avanzar en su conocimiento para que, posteriormente, se generalice su uso en la calefacción y refrigeración de edificios así como en el resto de aplicaciones.

1.6.2. La energía solar para agua caliente sanitaria

Las instalaciones solares para la producción de agua caliente sanitaria constituyen la aplicación más extendida, sencilla, desarrollada y rentable que existe hoy en día de la energía solar térmica. Para la sociedad no hay lugar a dudas pero, para la economía doméstica, todavía hay que solventar el único inconveniente relativo a lo que es necesario invertir inicialmente para disponer de una instalación solar térmica.

El costo de adquisición de una instalación solar para agua caliente es muy superior a lo que cuesta un sistema convencional ya sea individual (calefón o termo eléctrico) o colectivo. Cuando se evalúa la rentabilidad del mayor costo comparándolo con los ahorros económicos directos, los resultados no son siempre atractivos debido al bajo costo de la energía convencional.

Aunque los criterios para decidir las inversiones y para analizar su rentabilidad son distintos en las empresas y en las economías domésticas, no siempre se utiliza el criterio de rentabilidad económica, sino que hay otros muchos criterios que se pueden tomar en consideración: rentabilidad social, marketing, imagen, etc.

Para que el mercado se desarrolle, de acuerdo con todo lo anterior, es necesaria hacer más atractivo para el usuario, lo que es bueno para la sociedad. Además de las actividades de formación medioambiental e información al ciudadano, las acciones directas como el incentivo económico o la obligatoriedad en las nuevas edificaciones son intervenciones que han demostrado su eficacia en la experiencia internacional.

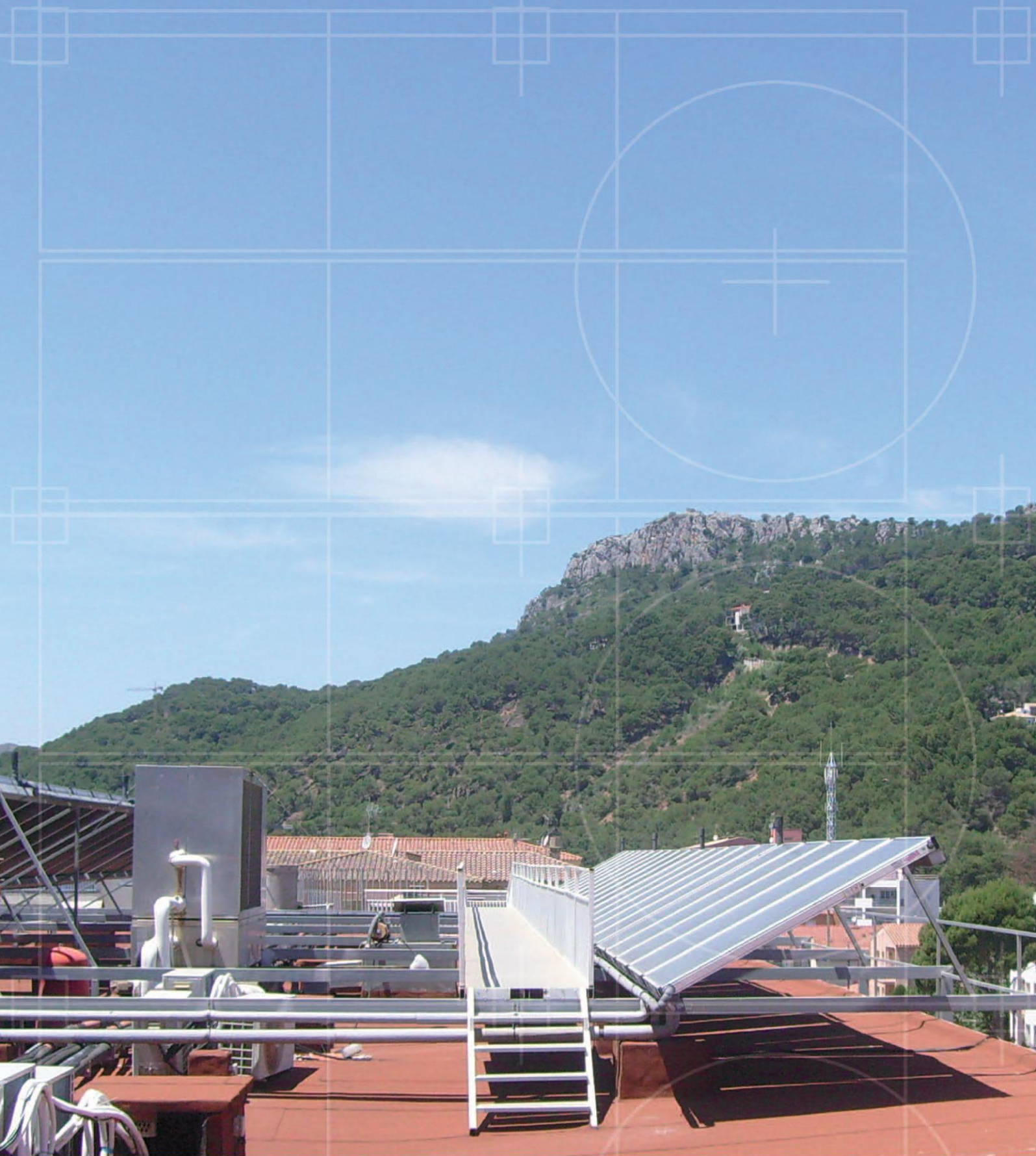
1.6.3. Los equipos y las instalaciones

En las aplicaciones de agua caliente sanitaria hay que destacar las diferencias tecnológicas que se están empezando a establecer entre las pequeñas instalaciones, representadas por los equipos solares domésticos o sistemas prefabricados, fundamentalmente utilizadas en viviendas unifamiliares y las instalaciones solares, medianas o grandes, utilizadas en cualquier sector (condominios, hoteles, hospitales, etc.).

Los equipos solares domésticos, ya funcionen por termosifón o por circulación forzada, son sistemas prefabricados tipo kits, que están diseñados por un fabricante, son fáciles de instalar siguiendo las instrucciones del mismo, y el funcionamiento está suficientemente experimentado. Son productos que se comercializan bajo una marca, con una elevada fiabilidad del producto final y cuyos costos son menores que las instalaciones equivalentes.

Para la aplicación de que se trate, lo único que hay que hacer es adaptarlo al edificio y al sistema convencional correspondiente.

Las instalaciones solares térmicas, por el contrario, están constituidas por distintos componentes que se integran en sistemas cuyo acoplamiento se define seleccionando la mejor solución posible y, para ello, requieren la intervención de técnicos cualificados desde la fase de diseño e integración en el edificio hasta las fases de montaje y mantenimiento. A estas instalaciones solares térmicas se refiere esta Guía.



- *Introducción a la Energía Solar Térmica · Configuraciones del SST ·*
- *Componentes de un SST para ACS · Diseño y dimensionado ·*
- *Cálculo de prestaciones energéticas · Instalación · Operación y mantención ·*
- *Incorporación del SST en el edificio ·*

Capítulo 2

Configuraciones de los SST

2.1. Descripción básica de un SST

Un sistema solar térmico transforma la energía radiante emitida por el sol en energía térmica y la acumula, en forma de agua caliente, para pasar al sistema de apoyo antes de su posterior consumo. El sistema de apoyo, por su parte, es el encargado de cubrir las diferencias térmicas que el aporte solar no alcanza a proveer al sistema.

En este capítulo se establece la denominación de los sistemas y circuitos que componen el SST, las posibles configuraciones a emplear, los criterios para su selección y los criterios adicionales para completar los esquemas de principio.

En el esquema básico de funcionamiento de una instalación solar térmica para preparación de ACS, representado en la figura 2-1, pueden diferenciarse los siguientes sistemas:

- **Sistema de captación:** transforma la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura de un fluido de trabajo.
- **Sistema de acumulación:** almacena el agua caliente hasta que se precise su uso.

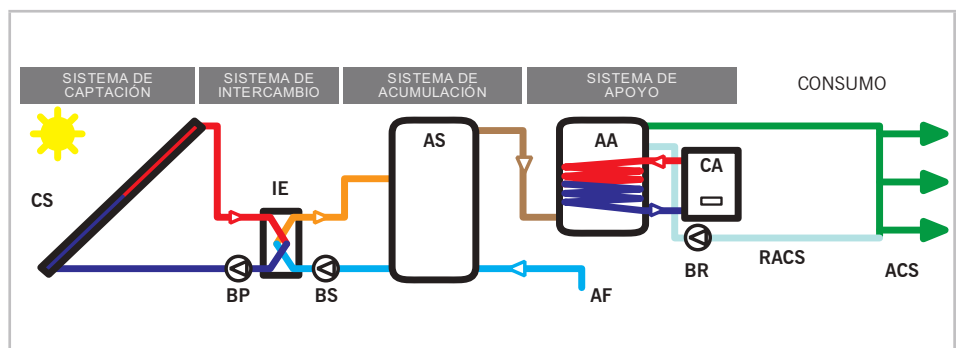


FIGURA 2-1
DENOMINACIÓN DE
LOS SISTEMAS DE UNA
INSTALACIÓN SOLAR

- **Sistema de intercambio:** realiza la transferencia de energía térmica entre el fluido de trabajo, que circula por el circuito primario, y el del circuito secundario (agua de consumo).
- **Sistema de apoyo (auxiliar o de respaldo):** complementa el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir el consumo previsto. En algunos aspectos, este sistema no se considera incluido en el SST.
- **Red hidráulica:** está constituido por todos los circuitos hidráulicos que son los conjuntos de cañerías, con su aislante, accesorios, bombas, válvulas, etc. que interconectan los distintos sistemas y mediante la circulación de fluidos producen la transferencia de calor desde el sistema de captación hasta el consumo.
- **Sistema eléctrico y de control:** aplica las estrategias de funcionamiento y de protección organizando el arranque y parada de bombas, las posibles actuaciones de las válvulas de tres vías (si las hubiera) y cualquier otra actuación electromecánica que se prevea.

Asimismo, en el esquema básico de la instalación (figura 2-2) se pueden distinguir tres circuitos hidráulicos distintos:

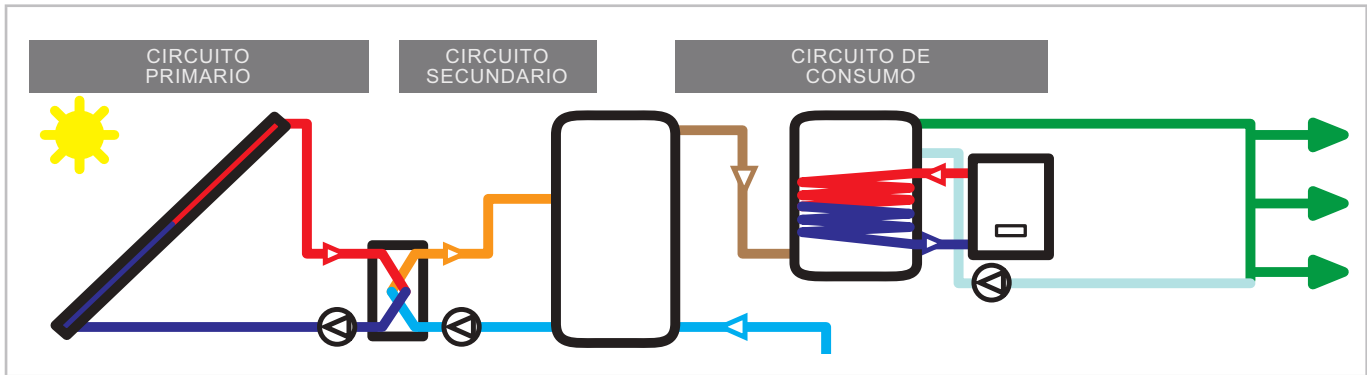


FIGURA 2-2
DENOMINACIÓN DE LOS
CIRCUITOS HIDRÁULICOS DE UNA
INSTALACIÓN SOLAR

- **Circuito primario:** permite la circulación del fluido a través de los colectores que recogen la energía térmica y la transporta hasta el intercambiador.
- **Circuito secundario:** recoge en el intercambiador la energía captada por el circuito primario y la transfiere al depósito de acumulación.
- **Circuito de consumo:** transporta agua potable de consumo y comprende desde la acometida de agua fría, pasando por los sistemas de acumulación y de apoyo, hasta la red de distribución que alimenta a los puntos de consumo.

El movimiento de fluidos en los circuitos primario y secundario se realiza mediante bombas de circulación; en el circuito de consumo el agua circula con la apertura de los puntos de consumo gracias a la presión de la red de alimentación. El fluido de trabajo en los circuitos secundario y de consumo es siempre el agua potable. En el circuito primario, que es un circuito cerrado, se utilizan los fluidos que se describen en el apartado 3.4

En algunas ocasiones, los esquemas básicos anteriormente definidos se podrían simplificar, normalmente buscando la reducción de costos, con las siguientes actuaciones:

1. Eliminado el sistema de intercambio, de forma que se podría quitar el intercambiador y la bomba del circuito primario. A estos sistemas se les denomina directos ya que el agua potable del acumulador también sería el fluido de trabajo de los colectores. Además de que podrían tener problemas de congelación del agua en zonas con riesgo de heladas, el problema fundamental que tienen estos sistemas directos es que generan depósitos calcáreos en los colectores. Los depósitos de cal se producen en la parte interior de las tuberías cuando se alcanzan temperaturas elevadas; éstos hacen perder rendimiento y finalmente, por obstrucción, pueden hasta dejar de circular. Es mejor que los depósitos de cal, si se producen, sean los menores posibles y en un componente más económico como es el intercambiador del SST. No es lo mismo limpiar o sustituir un intercambiador que hacerlo con todo un campo de colectores.
2. Eliminando las bombas de circulación de forma que la circulación de fluido y el trasvase de energía desde colectores al acumulador sea por circulación natural aprovechando el efecto termosifón. En cuanto al funcionamiento por termosifón del SST, el problema es que se puede reducir significativamente el rendimiento del sistema, además de los condicionantes de ubicación de colectores y acumulador y los trazados de tuberías. Esto es debido a que la fuerza impulsora en circulación natural es la diferencia de temperaturas que se obtiene que vencer la pérdida de carga; al ser ésta mayor a medida que los SST son más grandes, las temperaturas de trabajo también tienen que ser mayores y los colectores trabajarían con peor rendimiento.

Por las razones anteriores, no se incluyen en esta Guía destinada a instalaciones de cierto tamaño, las configuraciones en sistemas directos ni con circulación natural. Por otro lado, estas configuraciones tienen restricciones de uso como las establecidas en el Reglamento de la Ley 20.365 (Artículos 11 y 12).

2.2. Configuraciones de las IST

Entre la gran variedad de esquemas de funcionamiento que se podrían utilizar, interesa seleccionar esquemas que hayan sido experimentados y de los que se conozca, además de su comportamiento y prestaciones, toda la casuística relativa a las condiciones de funcionamiento y sus efectos inducidos. El uso de nuevas configuraciones requerirá verificar su fiabilidad, contrastar que ha sido experimentada, analizar las condiciones y estrategia de funcionamiento así como definir los criterios de integración de todos los componentes.

Las configuraciones aquí recogidas para instalaciones solares térmicas (IST) corresponden a esquemas experimentados y contrastados, y su adecuada utilización producirá instalaciones solares fiables. La elección de una buena configuración es un primer paso, aunque no suficiente, para asegurar el correcto funcionamiento de la misma. Sin experiencia previa, no se recomienda utilizar otros esquemas de funcionamiento distintos.

Las diferentes configuraciones de instalaciones que pueden utilizarse están asociadas a:

- El tipo de intercambiador
- El número de acumuladores y su conexión
- El sistema de apoyo y su acoplamiento

2.2.1. Según el tipo de intercambiador

Según el intercambiador, básicamente se distinguen dos tipos de configuraciones:

- Instalaciones con intercambiador interno o incorporado al acumulador (figura 2-3). A éstos se les denomina interacumuladores.

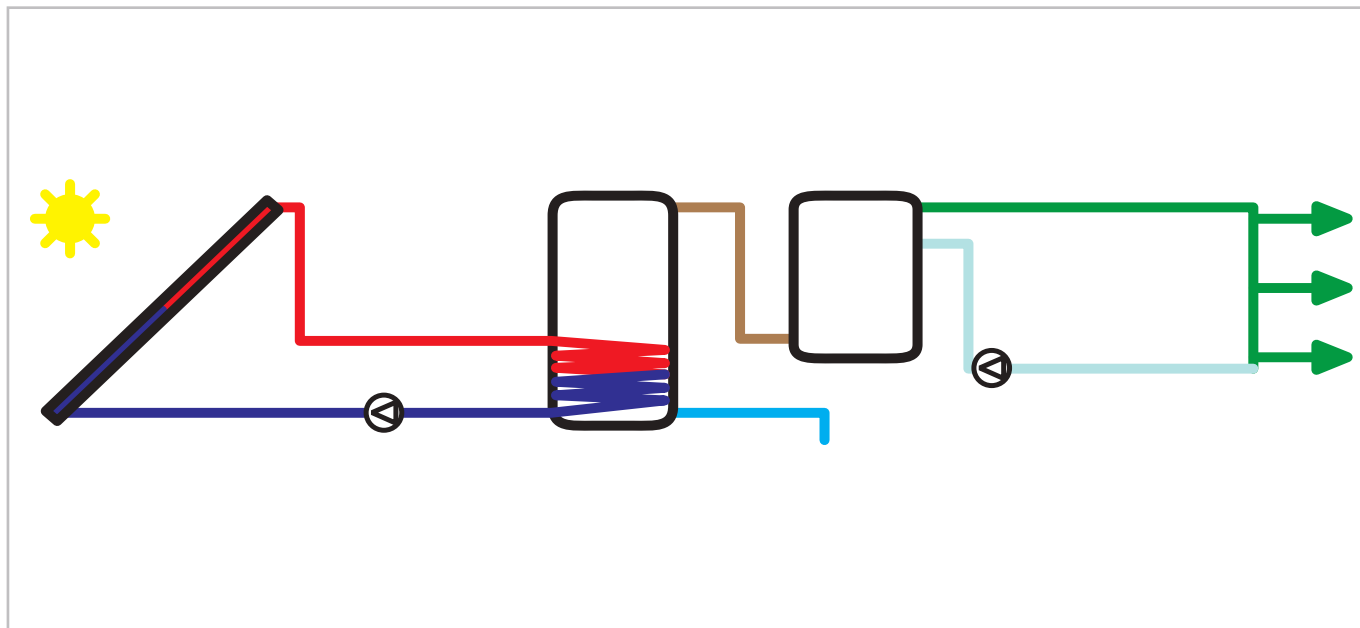


FIGURA 2-3
INSTALACIÓN SOLAR CON
INTERCAMBIADOR INTERNO

El fluido calentado por el sistema de captación entra en el intercambiador interno, que está sumergido en el agua del acumulador, pierde calor y sale para volver a ser calentado por los colectores. El agua del acumulador en contacto con el intercambiador interno se calienta, disminuye su densidad y asciende en el interior siendo sustituido por agua más fría que también se calienta; se produce en el acumulador un movimiento del agua caliente hacia arriba, y fría hacia abajo, que establece la estratificación de temperaturas. (ver 3.2.1.B)

- Instalaciones con intercambiador independiente o externo (figura 2-4)

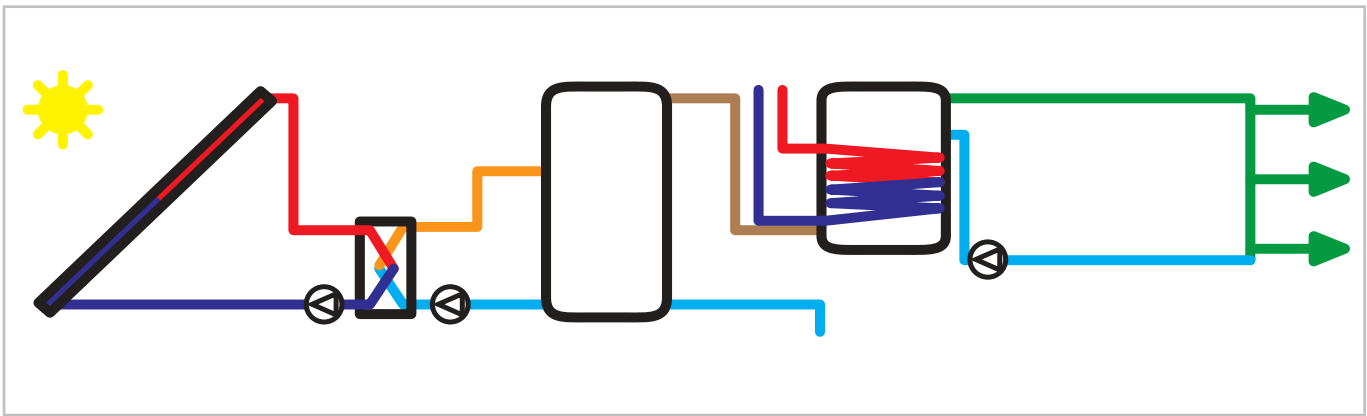


FIGURA 2-4
INSTALACIÓN SOLAR CON
INTERCAMBIADOR EXTERNO

El fluido calentado por los colectores circula por el primario del intercambiador externo transfiriendo el calor al agua del circuito secundario que ha salido de la parte baja del acumulador, que es la más fría y, una vez calentado en el intercambiador, vuelve a la parte alta del acumulador. En esta configuración el agua caliente también se estratifica pero existe el movimiento del circuito secundario que es hacia abajo y puede destruir parcialmente la estratificación al producir mezcla de agua a distintas temperaturas. Este efecto de mezcla se incrementa cuando, al ser variable la temperatura de salida del intercambiador, se introduce en el acumulador agua a distinta temperatura que la existente en el nivel de entrada. De ahí la importancia de utilizar en esta configuración dispositivos que mejoren la estratificación y eviten la mezcla.

En relación con el uso de intercambiadores internos o externos, en las instalaciones se recomienda utilizar:

- Intercambiadores internos cuando el tamaño de la instalación sea inferior a 10m²
- Intercambiadores externos cuando el tamaño de la instalación sea superior a 50m²
- En instalaciones entre 10 y 50m², por razones económicas se recomienda utilizar intercambiadores externos cuando el sistema de acumulación esté constituido por más de un depósito.

No obstante, el criterio anterior debe considerarse como recomendación ya que, para determinadas condiciones, puede haber sistemas predefinidos que excedan en cualquier sentido los criterios anteriores. En general, los criterios que deben evaluarse para seleccionar una configuración u otra son:

- Desde el punto de vista de funcionamiento, el intercambiador interno facilita más la estratificación que el externo porque evita el movimiento de fluido en el interior del acumulador. La instalación con intercambiador externo exige el estudio más detallado de las condiciones de circulación del agua por los circuitos de consumo y secundario.
- La simplicidad de la instalación, ya que una instalación con intercambiador interno dispone de un único circuito de calentamiento y es más sencilla que una con intercambiador externo. Esta última, además de dos circuitos para calentamiento, puede requerir componentes adicionales para mejorar la estratificación.
- Los costos de inversión. La repercusión del costo de los intercambiadores internos aumentan significativamente en las instalaciones grandes y a medida que aumenta el tamaño es más económico sustituir el intercambiador interno por el externo con bombas de secundario.

2.2.2. Según el número de acumuladores y su conexión

Aunque normalmente se recomienda utilizar un único acumulador solar, en determinadas ocasiones es necesario, o recomendable, que la instalación disponga de varios acumuladores:

- Por razones del espacio disponible
- Para conseguir una mejor distribución de las cargas
- Para aumentar la fiabilidad del sistema completo
- Para permitir la mantención sin paralizar la instalación
- Para utilizar acumuladores de fábrica y no realizados en obra
- Por razones económicas

En esos casos se pueden utilizar diversas formas de conexión para las que se deben tomar las precauciones necesarias que aseguren el correcto funcionamiento de la instalación y, sobre todo, en lo relativo a distribución de los caudales en circulación.

Se describen a continuación, los distintos esquemas para el caso de dos acumuladores aunque la situación es extrapolable a los casos de más acumuladores:

- Por razones del espacio disponible
- Para conseguir una mejor distribución de las cargas
- Para aumentar la fiabilidad del sistema completo
- Para permitir la mantención sin paralizar la instalación
- Para utilizar acumuladores de fábrica y no realizados en obra
- Por razones económicas

En esos casos se pueden utilizar diversas formas de conexión, pero es necesario tomar precauciones que aseguren el correcto funcionamiento de la instalación y, sobre todo, en lo relativo a distribución de los caudales en circulación.

Se describen a continuación los distintos esquemas para el caso de dos acumuladores, aunque la situación es extrapolable a instalaciones con más acumuladores:

A) Instalaciones con intercambiador interno

• En paralelo

La alimentación de agua fría se bifurca y sale un ramal que llega a la parte baja del primer acumulador, de éste sale por la parte superior y se conecta al circuito de salida que directamente alimenta al sistema de apoyo. De la bifurcación inicial sale la línea que alimenta al segundo depósito, lo que se realiza de la misma forma que en el primero, y su salida se conecta igualmente con la alimentación al sistema de apoyo.

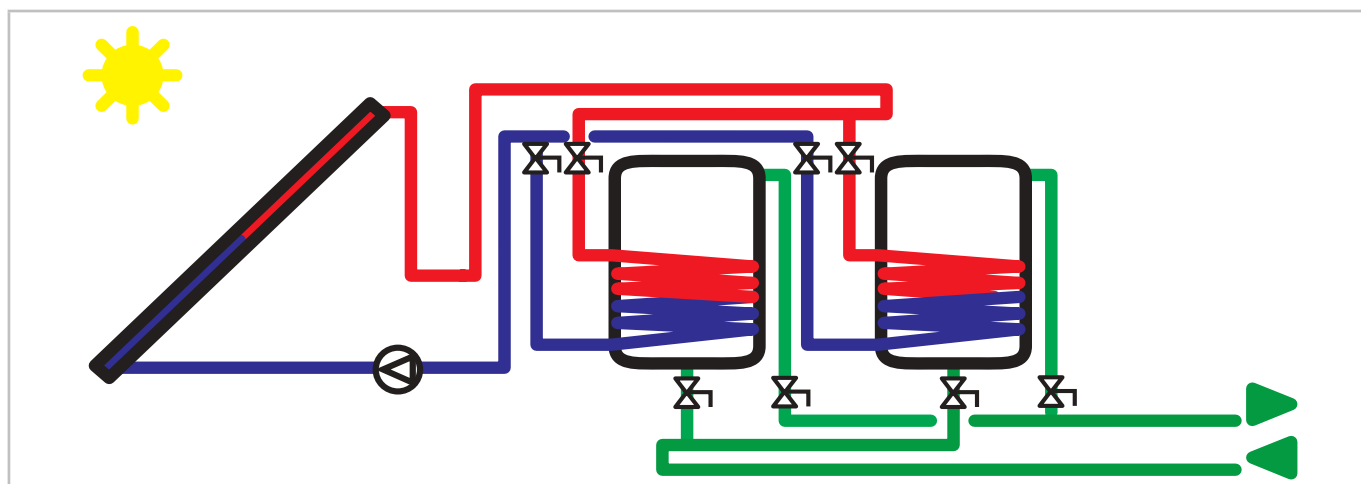


FIGURA 2-5
INSTALACIÓN DE ACUMULADORES
CON INTERCAMBIADORES
INTERNOS EN PARALELO

La conexión del circuito primario de calentamiento procedente de los colectores se realiza alimentando, en paralelo, la parte alta del intercambiador de los dos acumuladores; el fluido sale más frío por la parte baja de los dos intercambiadores, y se vuelven a unir para retornar a los colectores para ser nuevamente calentado.

En este caso, los dos acumuladores trabajan en las mismas condiciones y siempre deben estar a igual temperatura; para ello son imprescindibles los perfectos equilibrados hidráulicos tanto del circuito de consumo como del circuito primario.

• En serie

La alimentación de agua fría llega a la parte baja del primer acumulador (que será el más frío), de éste sale por la parte superior y vuelve para constituir el by-pass de consumo del primer acumulador; desde aquí se alimenta al segundo acumulador (que será el más caliente) y vuelve a configurar otro by-pass de consumo. Hay que resaltar que la línea de acometida de agua fría se transforma en línea de agua caliente una vez pasado el by-pass del primer acumulador y que, por tanto, debe estar aislada a partir de este punto.

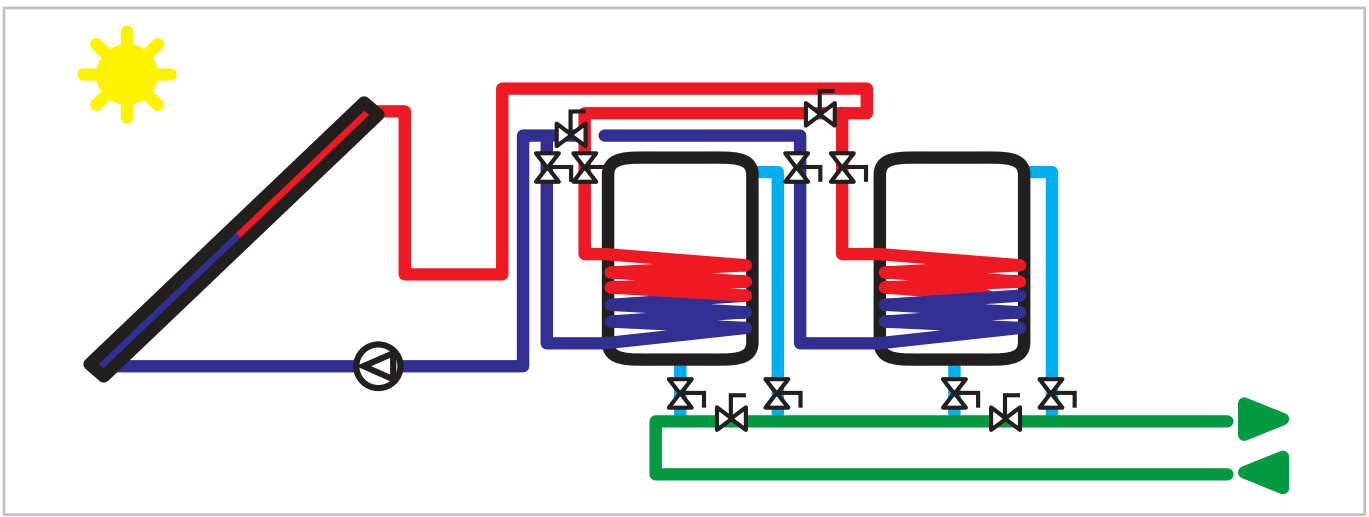


FIGURA 2-6
INSTALACIÓN DE ACUMULADORES
CON INTERCAMBIADORES
INTERNOS EN SERIE

La conexión del circuito primario de calentamiento procedente de los colectores se realiza en la parte alta del intercambiador del acumulador más caliente, el fluido sale más frío por la parte baja del intercambiador, y vuelve para configurar el by-pass de calentamiento del acumulador más caliente; desde aquí se conecta, de la misma forma, al by-pass de calentamiento del acumulador más frío y desde éste vuelve al circuito de colectores para ser nuevamente calentado.

Debe observarse el conexionado en serie invertida de ambos circuitos:

- El de consumo primero pasa por el acumulador más frío y después por el más caliente.
- El de calentamiento entra primero en el interacumulador más caliente y después por el más frío.

En este caso los acumuladores deben trabajar a temperaturas diferentes y, dado que no hay circuitos en paralelo, no existe necesidad de equilibrar los circuitos de acumuladores.

B) Instalaciones con intercambiador externo

• En paralelo

El conexionado del circuito de consumo es exactamente igual que el caso de los interacumuladores en paralelo. El caudal de alimentación de agua fría se divide: un ramal llega a la parte baja del primer acumulador, de éste sale por la parte superior y se conecta al circuito de salida que alimenta directamente al sistema de apoyo; el otro ramal alimenta al segundo acumulador de la misma forma que en el primero y su salida se conecta igualmente con la alimentación al sistema de apoyo.

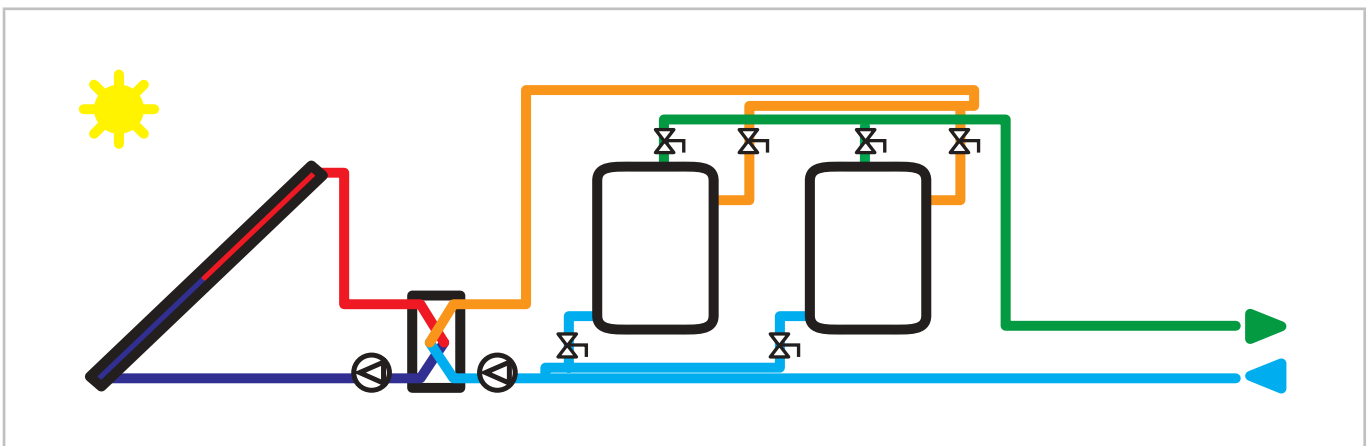


FIGURA 2-7
INSTALACIÓN CON
INTERCAMBIADOR EXTERNO Y
ACUMULADORES EN PARALELO

El circuito secundario se puede iniciar en la línea de acometida de agua fría (como se indica en el esquema) o haciendo una nueva conexión en paralelo a la parte baja de los dos acumuladores. En cualquiera de los casos, el agua, movida por la bomba del secundario y una vez calentada en el intercambiador, vuelve a la parte alta de los dos acumuladores mediante una conexión en paralelo equilibrado. En este caso ocurre la misma problemática indicada anteriormente con la estratificación y la mezcla producida por el movimiento descendente del circuito secundario en el acumulador, pero los efectos son menos importantes al reducirse el caudal a la mitad.

Otro efecto que se debe considerar es el de mezcla producido por la entrada de agua a distinta temperatura que la existente en el nivel de entrada, en la parte alta del acumulador, producido porque la temperatura de salida del intercambiador es variable.

Por último, hay que resaltar que una parte de las líneas de entrada de agua fría puede llevar agua caliente y por tanto, debe ser aislada.

- **En serie**

La alimentación de agua fría llega a la parte baja del primer acumulador (que será el más frío), de éste sale por la parte superior y constituye el by-pass de consumo del primer acumulador, desde aquí se alimenta al segundo acumulador y vuelve a configurar otro by-pass de consumo del siguiente acumulador (que será el más caliente). Obsérvese que la forma de conexión del circuito de consumo es exactamente igual que en el caso de los interacumuladores en serie, aunque en la figura se ha representado un trazado realizado por la parte superior.

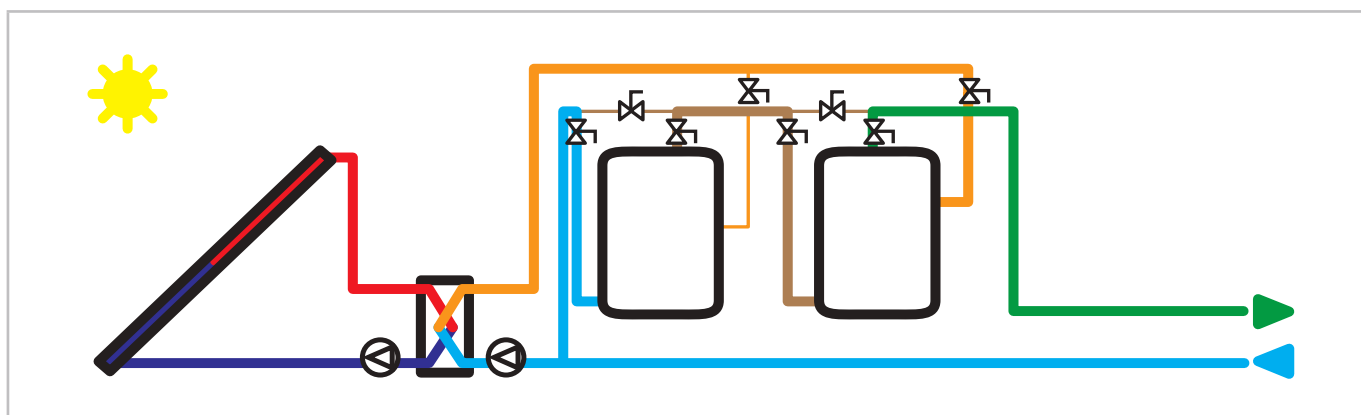


FIGURA 2-8
INSTALACIÓN CON
INTERCAMBIADOR EXTERNO Y
ACUMULADORES EN SERIE

La conexión del circuito secundario procedente del intercambiador se realiza en la parte alta del acumulador más caliente, el agua pasa al acumulador más frío por el mismo circuito de consumo pero en sentido contrario y de éste sale por la acometida de agua fría. El agua caliente vuelve al intercambiador por el ramal de conexión del circuito secundario en la línea de alimentación de agua fría.

Asimismo, hay que resaltar que la línea de acometida de agua fría puede llevar agua caliente y por tanto, debe ser aislada desde el punto de conexión del circuito secundario.

Al igual que en el caso de los interacumuladores, debe apreciarse que el conexionado de ambos circuitos, el de consumo y el de calentamiento, se realiza en serie invertida y en este caso, además, los dos circuitos son de agua caliente. Es necesario analizar las distintas condiciones de funcionamiento que se pueden presentar:

- Cuando no hay consumo de agua caliente y el circuito secundario está en funcionamiento, y se supone que el primario también, el agua sale por la parte inferior del acumulador más frío, aspirada por la bomba del secundario, entra en el intercambiador para calentarse, y entra por la parte superior del acumulador más caliente; el agua desplaza a la que está acumulada en el interior hacia abajo, hasta que sale por el circuito de consumo que interconecta a los acumuladores. De esta forma, el agua entra por la parte superior del acumulador más frío y desplaza a la que se encuentra en su interior provocando su salida por la parte inferior hasta cerrar el circuito de calentamiento.
- Cuando hay consumo de agua caliente y aunque la bomba del secundario esté parada, el agua fría entra por la presión de la red y tiene dos circuitos alternativos para llegar hasta la parte alta del acumulador más caliente: 1) entrar en la parte inferior del acumulador más frío, sale por la parte alta de éste y entra por la parte baja del acumulador

más caliente ó 2) entra en el circuito secundario por la aspiración de la bomba, atraviesa ésta y el intercambiador, llegando directamente a la parte alta del acumulador más caliente. La circulación del fluido se repartirá entre los dos circuitos de manera que la pérdida de carga sea la misma por ambos pero, dado que el circuito secundario no calienta, el agua que entra en el acumulador más caliente es fría y rompe la estratificación por lo que éste caudal por el circuito del intercambiador debería evitarse y que el agua recorra, sólo o fundamentalmente, el circuito de consumo. Esto se podría evitar instalando una válvula motorizada en el circuito secundario que corte la circulación cuando la bomba de secundario está parada o diseñando un circuito que tenga una pérdida de carga muy elevada en comparación con el circuito de consumo.

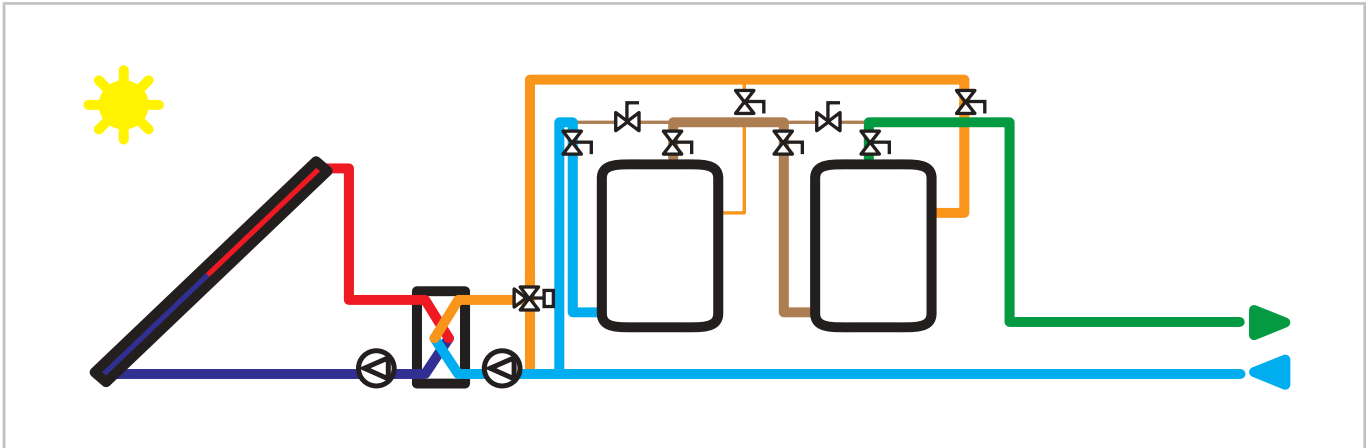


FIGURA 2-9
INSTALACIÓN CON VÁLVULA PARA
CONTROLAR TEMPERATURA DE
CALENTAMIENTO

También se puede utilizar una válvula de tres vías que, además de cortar la circulación cuando la bomba de secundario esté parada, permite establecer un nivel mínimo de temperatura en el secundario del intercambiador para abrir el paso hacia los acumuladores.

- Cuando se produce simultáneamente el consumo de agua caliente y el calentamiento de la instalación solar, ocurre la misma situación que en el caso anterior pero ahora cambian las condiciones de funcionamiento de los circuitos, ya que al estar la bomba del secundario en funcionamiento, siempre existirá circulación por este segundo circuito; el problema es que la temperatura de salida del intercambiador será variable y, en función de ésta, interesará que vaya de un acumulador a otro. Para eso se pueden disponer la válvula motorizada que se indica en el esquema siguiente.

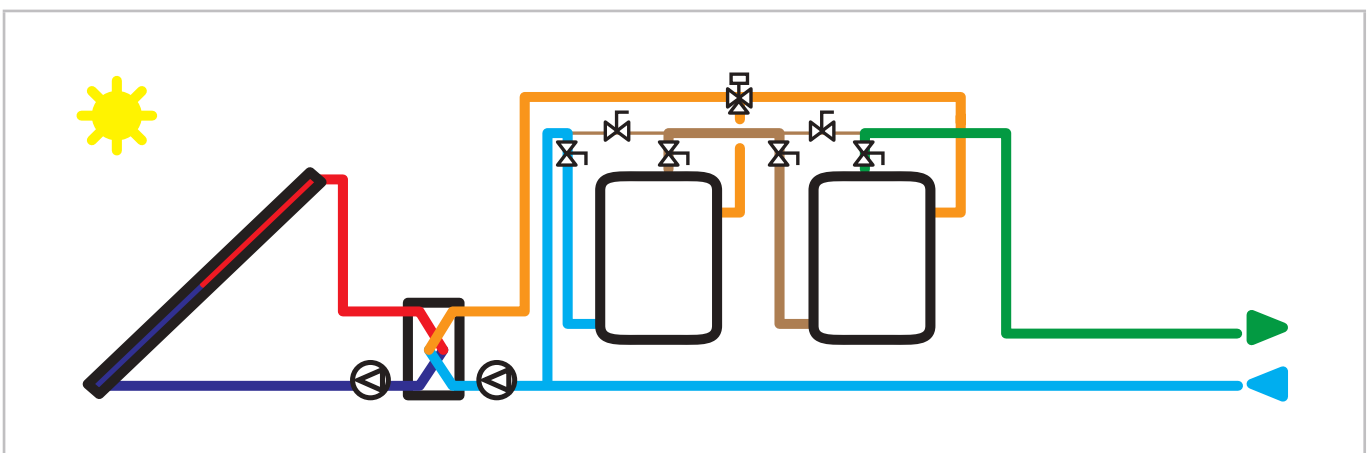


FIGURA 2-10
INSTALACIÓN CON VÁLVULA PARA
SELECCIONAR DESTINO DEL
CALENTAMIENTO

El funcionamiento de esta válvula estaría supeditado a un control diferencial que sólo abriría el paso a éste cuando la temperatura de salida del intercambiador sea superior a la existente en la parte alta del acumulador más caliente. La posición de la válvula, cuando el circuito secundario arranca, debería ser dejando paso al acumulador más frío.

C) Criterios para seleccionar la configuración

Para seleccionar la configuración más apropiada y diseñar los circuitos correspondientes, deberán considerarse los siguientes criterios:

- Es recomendable utilizar acumuladores del mismo tamaño para regularizar el diseño de la sala de acumuladores, permitir un posible intercambio de componentes y dar uniformidad al comportamiento térmico de todos ellos.
- La conexión de los acumuladores siempre debe permitir la desconexión individual de cada uno de ellos, sin interrumpir el funcionamiento de la instalación. Para esto, 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 la válvula adicional para constituir un by-pass.
- El mayor inconveniente del conexionado en paralelo es que los circuitos de calentamiento y de consumo deben estar muy bien equilibrados y es necesario controlar esta situación durante todo el tiempo de vida de la instalación ya que por obstrucciones o depósitos de cal pueden cambiar las características hidráulicas de los circuitos. Este control se puede realizar con la medida del caudal en cada uno de ellos o midiendo las temperaturas de salida.
- La gran ventaja de los acumuladores en serie es que no tienen ninguna necesidad de equilibrado y que funcionan como un único acumulador cuya altura total es la suma de alturas de cada uno de ellos, mejorando de forma significativa la estratificación de temperaturas.
- La opción en serie, no obstante, requiere un estudio detallado del diseño de los circuitos y de las condiciones de funcionamiento para garantizar la máxima estratificación y evitar las mezclas internas como se ha indicado anteriormente; esta situación debe hacerse con más detalle cuanto mayor sea el número de acumuladores.
- Condicionantes que pueden afectar al conexionado en serie son: la necesidad de disponer circuitos de consumo duplicados para seguridad en el suministro, la existencia previa de un sistema de acumulación que se quiera utilizar como solar, el tamaño de las conexiones de los acumuladores ya que, si son pequeñas, podrían aumentar excesivamente las velocidades del fluido e interesa disminuir los caudales utilizando el conexionado en paralelo.

2.2.3. Según el sistema de apoyo y su acoplamiento

Aunque el sistema de apoyo no forma parte del SST, su diseño, su forma de alimentación al consumo y su acoplamiento a la instalación solar puede afectar el funcionamiento del SST. Es necesario conocer las situaciones que se pueden presentar y las soluciones que se deben adoptar.

A) By-pass de conexión

En todas las instalaciones, pero sobre todo en instalaciones existentes para mantener la fiabilidad del sistema de producción de ACS, es importante que se prevea la posibilidad de aislar hidráulica y completamente la instalación solar y que la instalación de apoyo pueda funcionar sin ninguna interferencia de la primera. De esta forma, toda el SST puede ser sometida a cualquier operación de mantenimiento sin interrumpir el suministro de ACS:

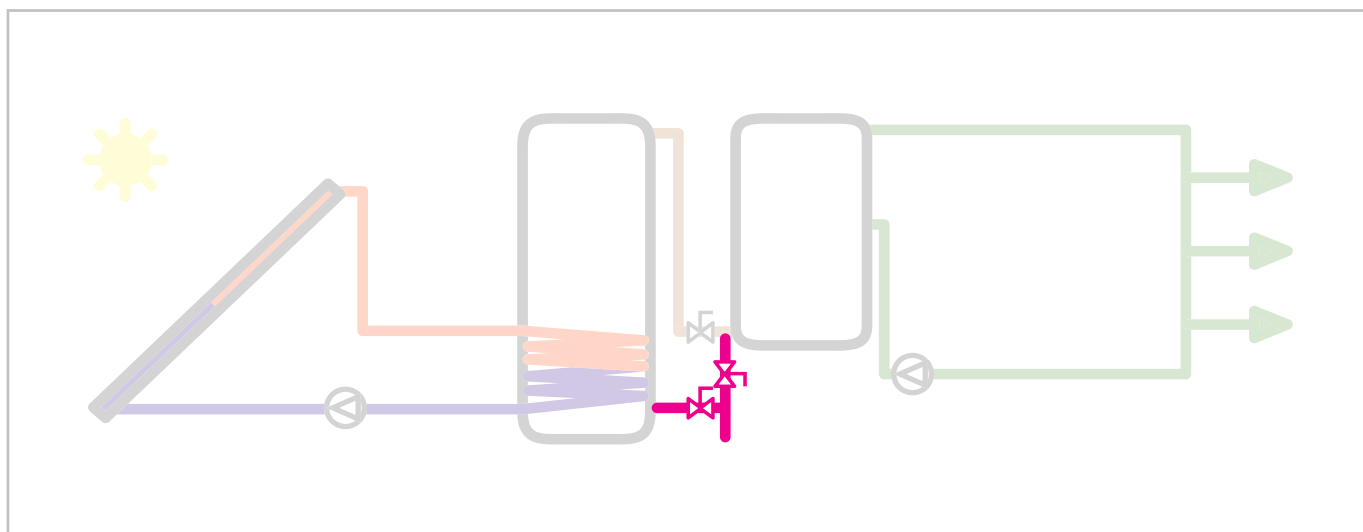


FIGURA 2-11
INSTALACIÓN CON BYPASS EN LA
CONEXIÓN AL SISTEMA DE APOYO

B) Limitación de la temperatura de salida del acumulador solar

Puede ocurrir que determinados sistemas de apoyo no soporten temperaturas de entrada elevadas (por ejemplo, por la temperatura máxima del tratamiento interior de acumuladores o por algún componente del circuito de alimentación). Entonces deben tomarse medidas preventivas para limitar la temperatura de suministro solar; puede utilizarse una limitación de la temperatura máxima del acumulador solar o una válvula mezcladora a la salida de la acumulación solar. Debe observarse que esta situación afecta negativamente al funcionamiento de la instalación solar.

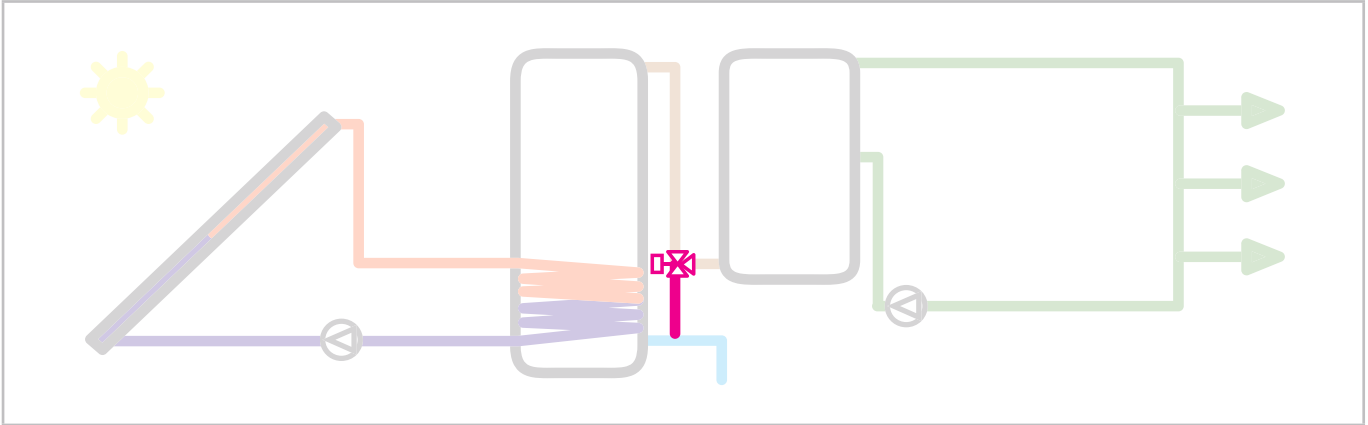


FIGURA 2-12
INSTALACIÓN SOLAR CON VÁLVULA
MEZCLADORA A LA SALIDA

C) Limitación de la temperatura de distribución

Si el sistema convencional de ACS no dispone de un sistema de control que limite la temperatura de distribución por debajo de 60°C, con una válvula mezcladora a la salida, es necesario considerar su uso si el sistema de apoyo puede ser alimentado desde la instalación solar con temperaturas superiores a 60°C.

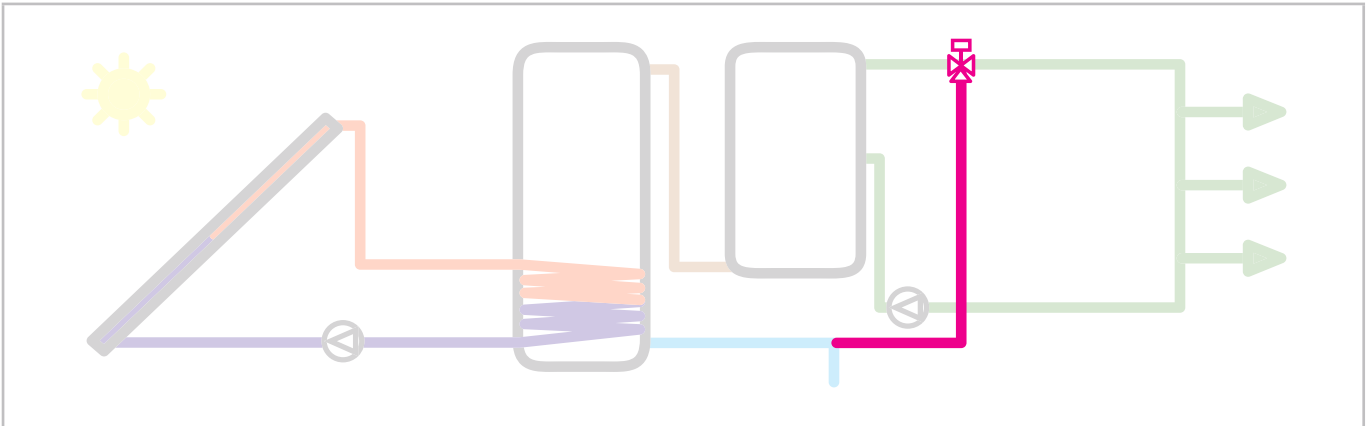


FIGURA 2-13
INSTALACIÓN CON VÁLVULA
MEZCLADORA A LA SALIDA DEL
SISTEMA DE APOYO

D) Retorno de la recirculación

El circuito de recirculación de la instalación interior del edificio siempre debe retornar al sistema de apoyo pero, en determinadas situaciones, puede ocurrir que el retorno esté más frío que el acumulador solar e interese aprovechar la instalación solar para que la entrada al apoyo sea del acumulador solar y no la del retorno. En este caso, la solución es disponer una válvula de tres vías que normalmente estará en posición de alimentar al sistema de apoyo, pero cuando la temperatura de retorno sea inferior a la de la parte alta del acumulador dispondrá la recirculación sobre el acumulador solar y aprovechará la mayor temperatura de éste.

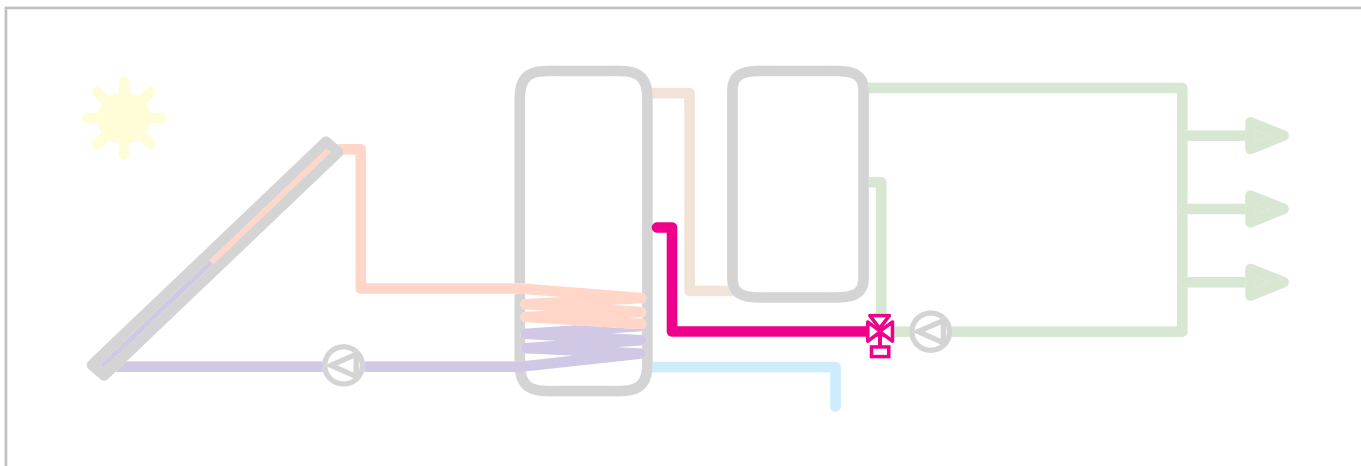


FIGURA 2-14
INSTALACIÓN CON VÁLVULA DE
3 VÍAS PARA EL RETORNO DE LA
RECIRCULACIÓN

E) Bomba de trasvasije

En instalaciones con una gran variación del consumo (hoteles o residencias con grandes cambios de ocupación) puede ocurrir que, cuando el consumo es muy bajo, el sistema de apoyo se esté continuamente enfriando debido al circuito de recirculación y, por el contrario, la acumulación solar alcance una temperatura elevada debido al bajo consumo. En estos casos, se mejora la eficiencia de la instalación global si se utiliza la alternativa de retorno de la recirculación, indicada anteriormente, o se utiliza una bomba de trasvase entre el último acumulador solar y el sistema de apoyo. Esto, con la estrategia de control de que funcione cuando la temperatura en el acumulador de apoyo sea inferior a la de la parte alta del acumulador solar.

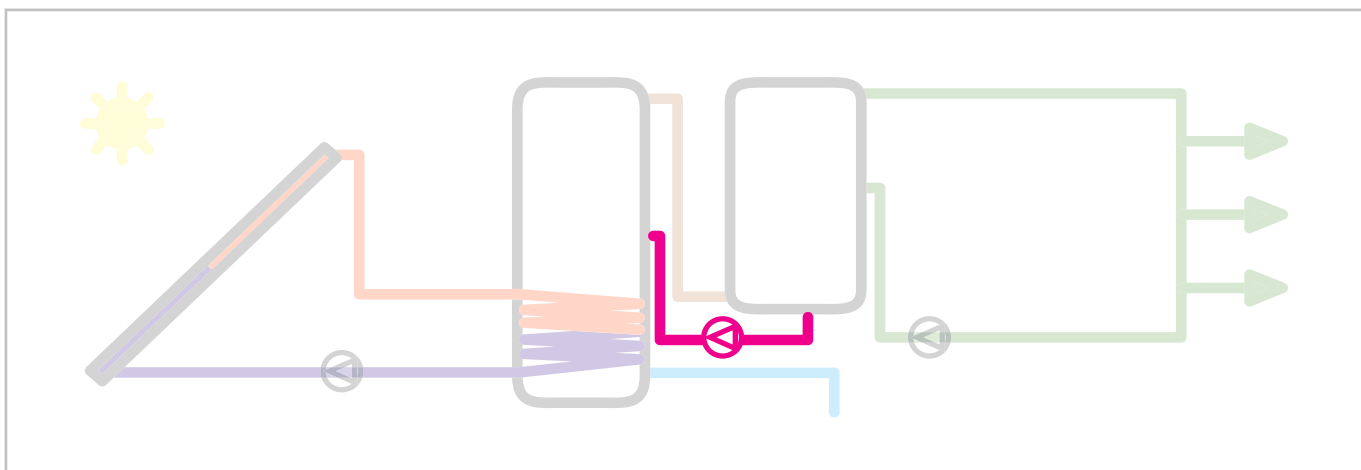


FIGURA 2-15
INSTALACIÓN CON BOMBA DE
TRASVASIJE

F) Tratamiento térmico

En las instalaciones que requieran un tratamiento térmico para, según lo descrito en 1.3.1, prevenir la legionelosis (normalmente calentar todo el volumen de agua a temperatura mínima de 70°C), se debe diseñar la instalación dejando prevista la conexión de todos los acumuladores con el sistema de apoyo para que puedan ser calentados por éste. Existen distintas soluciones:

Solución 1. Disponer una bomba de circulación para calentar el acumulador solar desde el acumulador de apoyo. Este circuito, además de disponer de una válvula de retención, operará controlado por un termostato que garantice que está en funcionamiento hasta que se alcance la temperatura prevista.

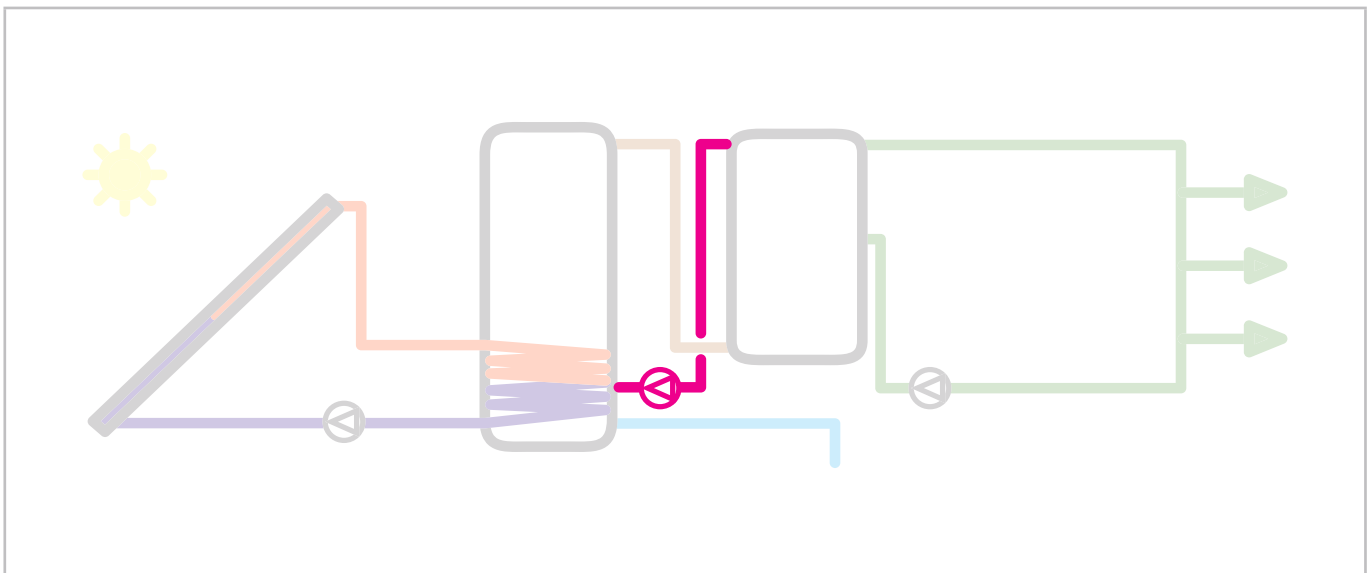


FIGURA 2-16
CIRCUITO CON BOMBA PARA
TRATAMIENTO TÉRMICO DEL
ACUMULADOR SOLAR

Solución 2: Intercalar, normalmente con actuación manual de válvulas, el acumulador solar en el circuito de calentamiento desde el intercambiador de apoyo, de forma que se caliente tanto el acumulador de apoyo como el acumulador solar:

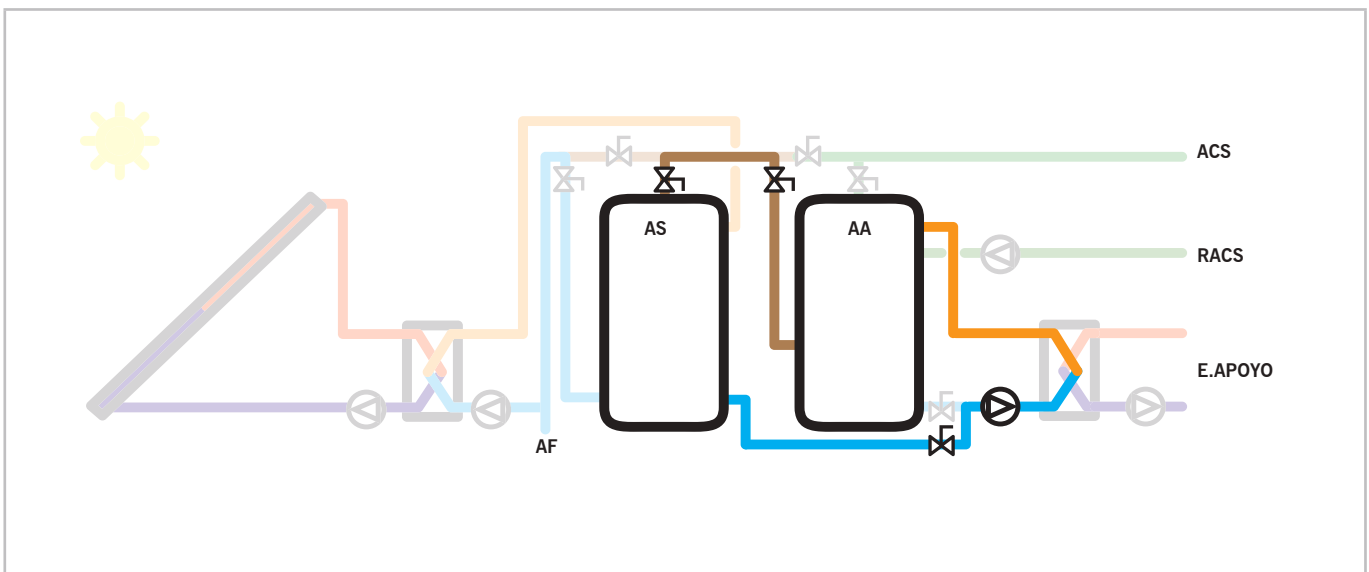


FIGURA 2-17
CIRCUITO DE CALENTAMIENTO CON
INTERCAMBIADOR DE APOYO PARA
TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS
ACUMULADORES

G) Sistema de apoyo incorporado en el acumulador solar

Incorporar el sistema de apoyo al acumulador solar trae ventajas cuando no hay espacios disponibles, se trata de un funcionamiento discontinuo o existe gran variación del consumo, pues permite desconectar el sistema de apoyo con garantías de que la instalación solar abastecerá toda la demanda de agua caliente.

En estos casos, se utiliza un acumulador con dos intercambiadores: el situado en la parte inferior es calentado por el sistema de captación y el ubicado en el extremo superior se calienta mediante la caldera de apoyo. El movimiento ascendente producido por el consumo de agua y por la estratificación de temperaturas, hace que el agua calentada por la energía solar suba hacia arriba y el sistema de apoyo sólo funcionará cuando la temperatura en la parte superior del acumulador sea inferior a la necesaria.

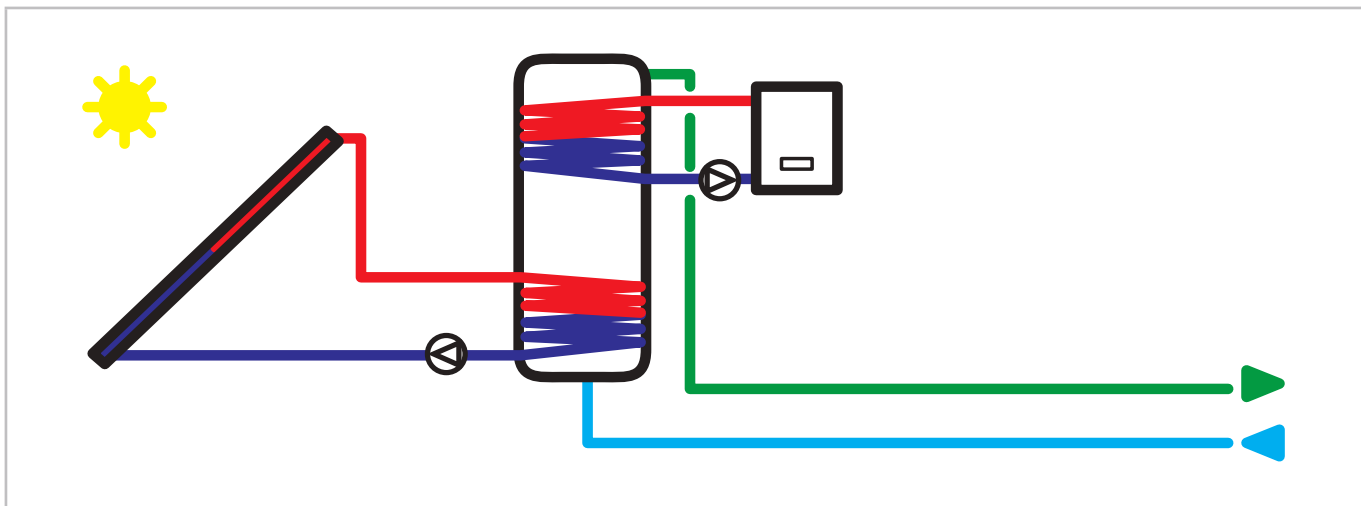


FIGURA 2-18
INSTALACIÓN CON SISTEMA DE
APOYO INCORPORADO EN EL
ACUMULADOR SOLAR

No obstante, esta configuración, si se diseña y se utiliza inadecuadamente, puede reducir significativamente el rendimiento de la instalación solar. Aunque, en principio, el sistema de apoyo calienta únicamente la parte superior del acumulador, lo cierto es que entre las dos masas de agua a diferentes temperaturas intervienen todos los mecanismos de transferencia de calor (radiación, conducción y convección) y se va calentando la parte inferior. Cuando el sistema de apoyo está continuamente conectado para garantizar la temperatura de suministro y no se han tomado medidas para mantener la estratificación, se termina calentando, con la energía de apoyo, la parte inferior del acumulador. Esto naturalmente hace que el sistema de captación funcione durante menos tiempo y a mayor temperatura, es decir, con menor rendimiento.

En los casos en los que se incorpore el sistema de apoyo al acumulador solar, se deberían tener en cuenta los siguientes criterios:

- El volumen calentado por el sistema de apoyo siempre debe estar en la parte superior del acumulador y por encima de la entrada del intercambiador solar, de forma que el volumen de apoyo no caliente al intercambiador.
- El acumulador debe ser de configuración vertical y lo más esbelto posible para favorecer la estratificación y reducir la superficie de transferencia de calor hacia abajo.
- Desde el punto de vista del funcionamiento, y del cálculo de prestaciones, la capacidad útil solar del acumulador debería ser el volumen no calentado por el sistema de apoyo. Expresado de otra forma, el volumen total del acumulador debería ser la suma de los correspondientes al volumen solar calculado según el capítulo 5 y el volumen de apoyo calculado con el criterio de garantizar la demanda punta prevista.
- Debería evitarse o reducirse al mínimo, cualquier tipo de circulación forzada interior del volumen de agua del acumulador. Esto, para eliminar las posibilidades de mezcla del agua del volumen auxiliar con la del volumen solar. Resulta necesario tomar precauciones, o evitar, los sistemas con intercambiador independiente y los circuitos de recirculación. Limitar las velocidades de entrada y salida del agua en el acumulador también reduce la posible destrucción de la estratificación.
- La precisión de los sistemas de control y el ajuste de la consigna del sistema de apoyo a la menor temperatura posible, también contribuye a reducir los efectos de transferencia de calor hacia la parte inferior.

Naturalmente, lo que más contribuye al mayor rendimiento de estos sistemas es la desconexión del sistema de apoyo que se podrá realizar cuando los requisitos de garantía de suministro de ACS lo permitan.

2.3. SST para edificios multifamiliares

Cualquiera de las configuraciones anteriormente referidas puede utilizarse para la instalación de producción de ACS de un edificio multifamiliar; el único elemento diferencial y adicional en estas instalaciones será un contador de agua caliente en la entrada de cada vivienda para controlar los consumos de cada una.

En todas las instalaciones de edificios multifamiliares, uno de los aspectos más importantes a considerar son las pérdidas térmicas del circuito de distribución, por lo que se debe hacer especial hincapié en el mejor diseño y ejecución de estos circuitos.

2.3.1. SST completamente centralizado

Aunque desde el punto de vista de la instalación solar es igual que las anteriormente descritas, conviene que el técnico de la parte solar conozca las implicaciones con el resto de la instalación de producción de ACS.

En estas instalaciones, existe una única alimentación de agua fría a la instalación solar. Toda la instalación, incluyendo el sistema de apoyo, está centralizada y en ella se realiza la preparación del ACS.

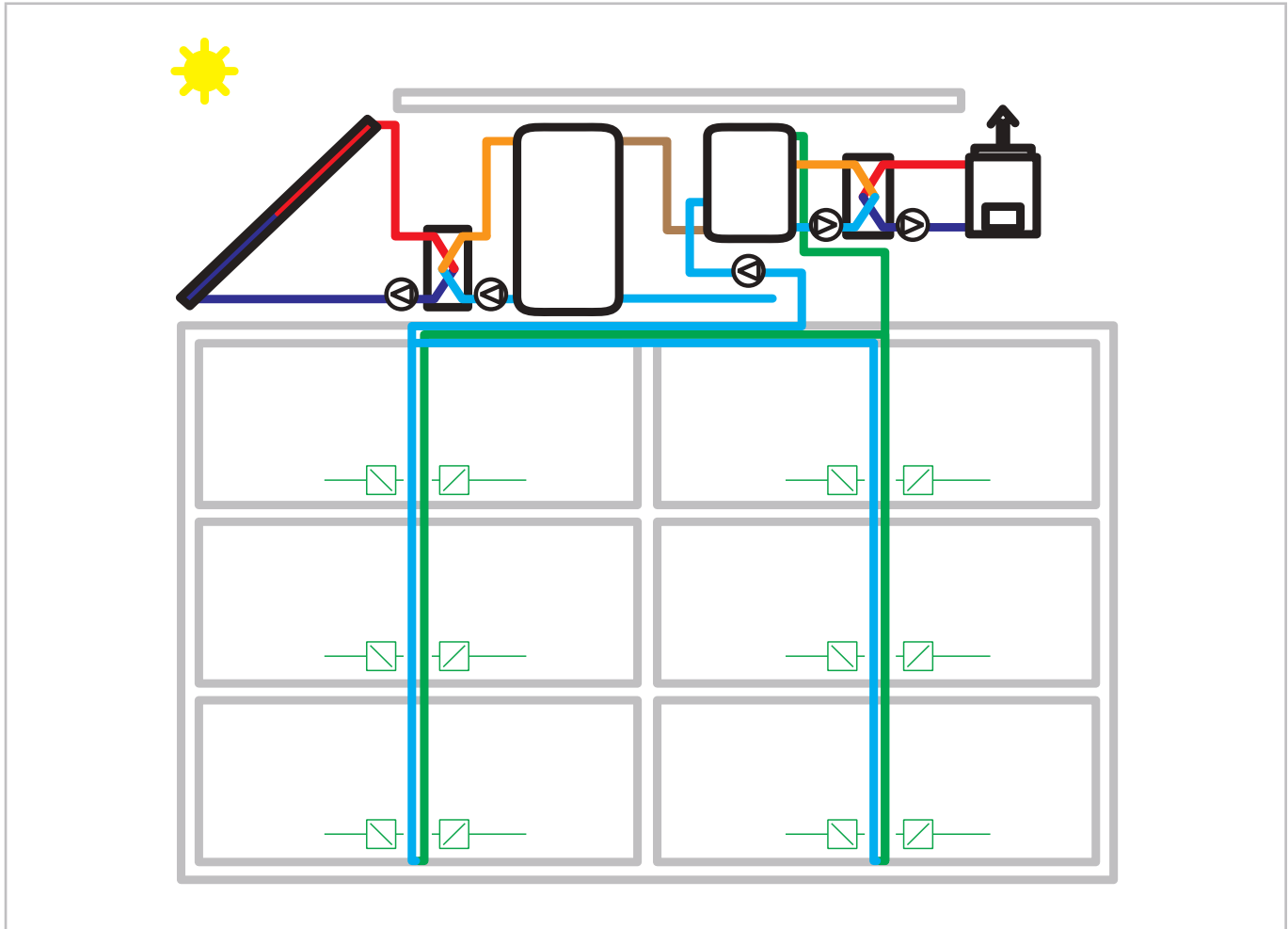


FIGURA 2-19
INSTALACIÓN TOTALMENTE
CENTRALIZADA PARA EDIFICIO
MULTIFAMILIAR

La acometida de agua llega a la instalación solar, a través de una cañería de sección suficiente para el consumo de agua caliente de todas las viviendas, desde un contador de agua fría situado en la centralización de contadores de la red de abastecimiento, cuyo consumo corre a cargo de la comunidad de propietarios del edificio.

El agua precalentada en la parte solar de la instalación pasa al sistema de apoyo donde, cuando sea necesario, se termina de calentar, y mediante el circuito de distribución se pone a disposición de cada una de las viviendas.

En cada acometida a vivienda se debe disponer un contador para el control del consumo de agua caliente y reparto del gasto de agua y energía. La comunidad de propietarios, que controla todos los gastos de la instalación (amortización, mantención, consumo de agua fría y gasto de energía convencional), debe prorratar todos ellos en el costo del consumo de agua caliente que corresponde a cada uno de los usuarios. Es importante que la lectura de contadores y la gestión de consumos sea lo más automatizada posible.

Casi siempre se requiere un circuito de recirculación que permite mantener una temperatura homogénea en todas las acometidas de agua caliente a cada vivienda y evita, si no existiera, un consumo elevado de agua. El diseño del circuito de recirculación se ha de realizar limitando la disminución de temperatura en todo su trazado.

El diseño de esta configuración requiere disponibilidad de espacios en zonas comunes, tanto para captación y acumulación solar como para el sistema de apoyo. Por el contrario, no requiere ningún espacio para equipos de agua caliente en el interior de la vivienda. Cada vivienda dispone de dos acometidas y dos contadores, uno para agua fría de la empresa suministradora y otro para agua caliente de la comunidad de propietarios.

2.3.2. Otros SST para edificios multifamiliares

Además de la instalación completamente centralizada, anteriormente referida, hay otras configuraciones que se podrían utilizar en edificios multifamiliares, pero su diseño tiene peculiaridades que hacen que estas configuraciones deban ser tratadas con especial precaución. De todas las configuraciones posibles, se hace referencia a instalaciones que, aunque dispongan de un sistema de captación centralizado tienen:

- Acumulación centralizada y apoyo distribuido.
- Acumulación distribuida.
- Intercambio distribuido.

Todas estas instalaciones disponen de un equipo de apoyo individual y pueden existir pequeñas diferencias en el aporte solar a cada una de las viviendas aunque, desde el punto de vista energético y económico, no suelen ser significativas y no es necesario contabilizarlas.

A) Acumulación centralizada y apoyo distribuido

La instalación solar centralizada sólo realiza el precalentamiento del agua y no incluye un único sistema de apoyo centralizado, sino varios sistemas de apoyo distribuidos. El circuito de distribución, con un circuito de recirculación, pone a disposición de cada una de las viviendas agua precalentada por la instalación solar que se debe terminar de calentar, cuando sea necesario, en el sistema de apoyo individual de la vivienda.

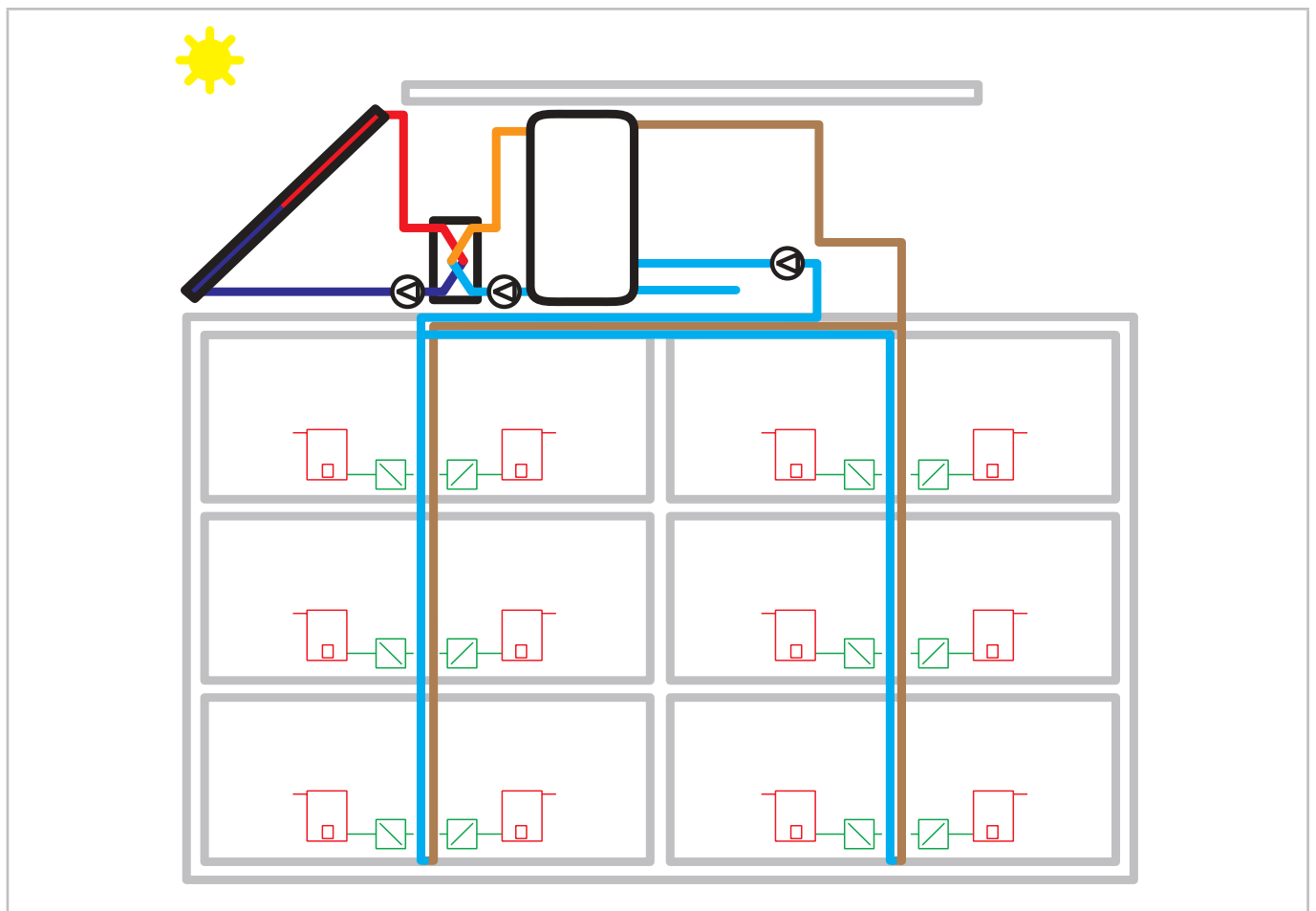


FIGURA 2-20
INSTALACIÓN SOLAR
CENTRALIZADA CON APOYO
DISTRIBUIDO PARA EDIFICIO
MULTIFAMILIAR

Debe existir un contador en la acometida del agua caliente a cada vivienda que, en este caso, contabiliza el caudal de agua precalentada por la instalación solar.

B) Acumulación distribuida

El circuito secundario de esta configuración es un circuito cerrado (no es agua de consumo) que calienta un interacumulador, situado en cada vivienda, donde se precalienta el agua antes de entrar en el sistema de apoyo que, naturalmente, es individual.

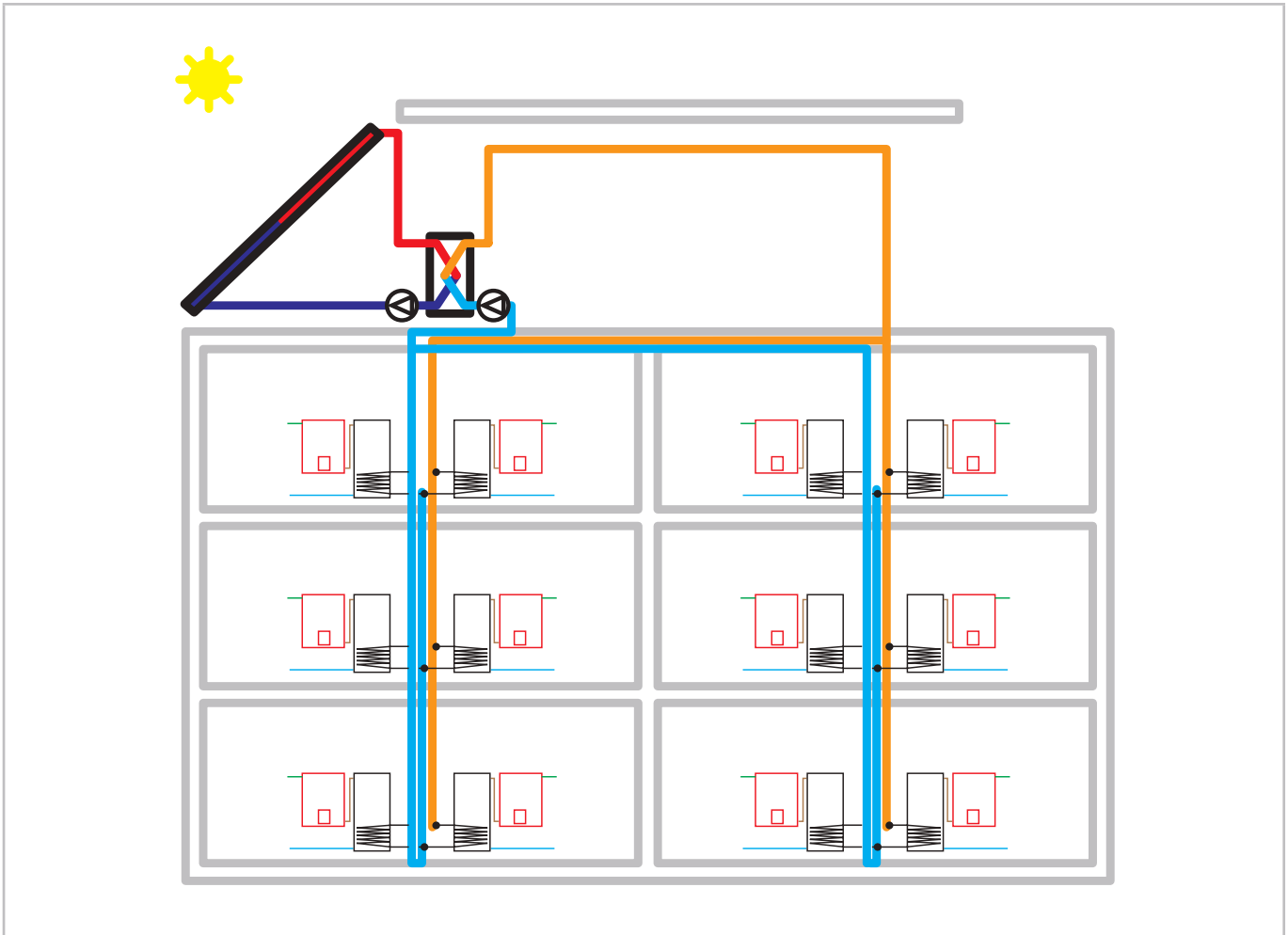


FIGURA 2-21
INSTALACIÓN SOLAR CON
ACUMULACIÓN DISTRIBUIDA PARA
EDIFICIO MULTIFAMILIAR

Cada vivienda dispone de una única acometida de agua fría procedente de la centralización de contadores; de la red interior de agua fría de la vivienda se extrae la alimentación para el sistema de preparación de agua caliente individual que la vivienda dispone.

Esta configuración soluciona el problema de la medida individualizada del reparto del consumo de agua caliente, como alternativa a las dos anteriores con alimentación centralizada.

No obstante, en algunos casos se puede requerir acometidas de agua, con contador a cargo de la comunidad de propietarios, para alimentar los sistemas de llenado de los circuitos cerrados comunes. Naturalmente, los caudales consumidos por estos circuitos deberían ser mínimos.

C) Intercambio distribuido

En este caso el circuito secundario es también cerrado e incorpora el sistema de acumulación centralizado que no contiene agua potable. Desde éste se configura un circuito terciario que conecta y calienta todos los intercambiadores de consumo individuales instalados en cada una de las viviendas.

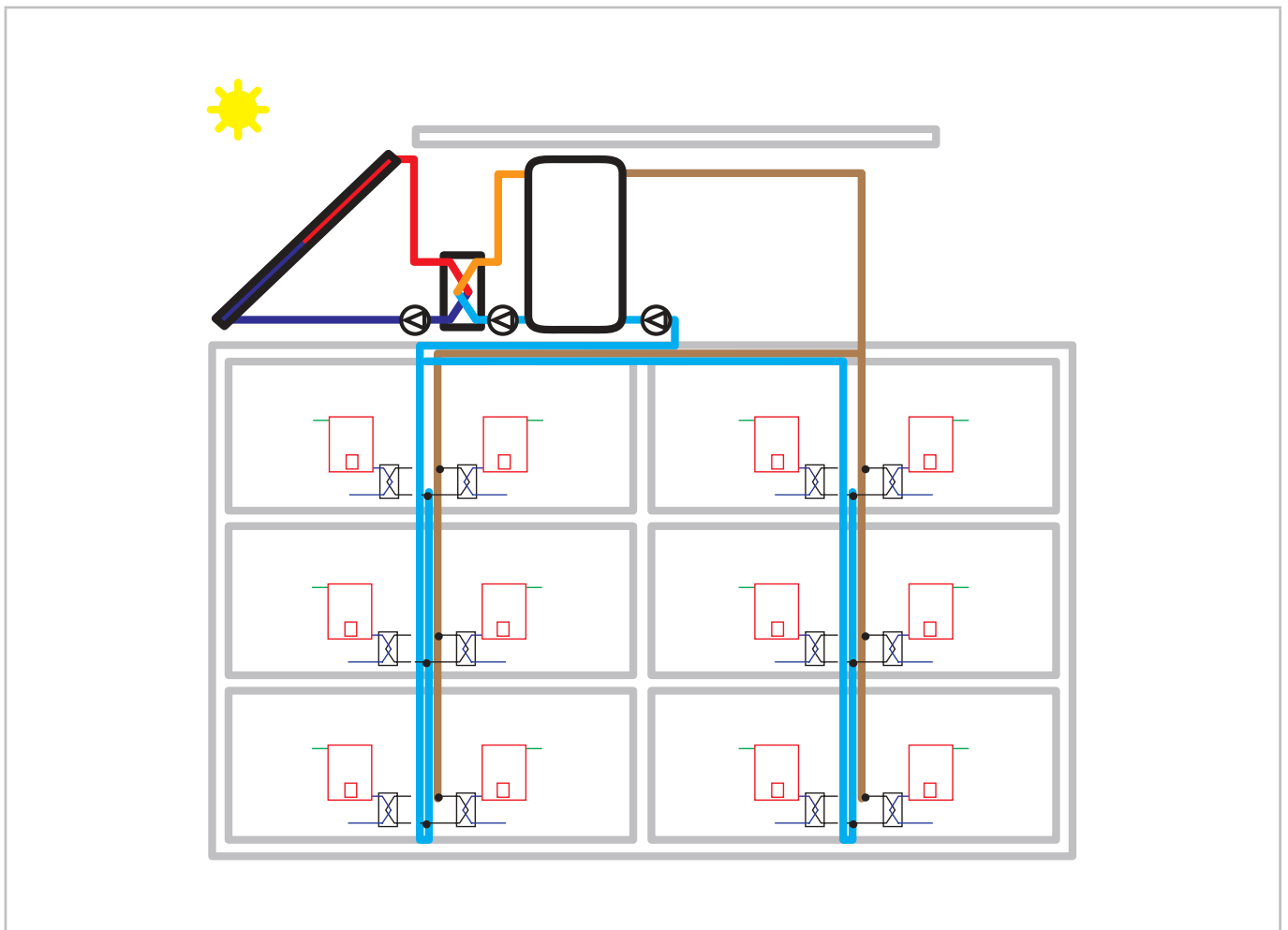


FIGURA 2-22
INSTALACIÓN SOLAR CON
INTERCAMBIO DISTRIBUIDO PARA
EDIFICIO MULTIFAMILIAR

El intercambiador de cada vivienda, que actúa como precalentador “al paso”, se alimenta de agua fría de la red interior antes de entrar en el equipo de apoyo.

Esta configuración, en relación con la anterior, evita la problemática de espacios ocupados por los interacumuladores individuales y, por el contrario, requiere espacios de zonas comunes para la acumulación centralizada.

2.3.3. Análisis de los SST en viviendas multifamiliares

Las instalaciones centralizadas por completo son las más eficientes en edificios multifamiliares que funcionan continuamente, ya que al ser el ACS un servicio que se utiliza de modo permanente a lo largo del año, con alguna variación estacional, se aprovecha todo el tiempo la simultaneidad de uso.

Las mejores prestaciones en los sistemas completamente centralizados se obtienen, fundamentalmente, porque se utiliza un único generador de calor –en ocasiones, dos– en lugar de equipos individuales por vivienda, normalmente menos eficientes y con escasa capacidad de regulación a carga parcial.

Por el contrario, el mayor inconveniente y la atención más importante que requiere esta configuración es la de minimizar las pérdidas térmicas de la instalación completa y, sobre todo, del circuito de distribución. Es fundamental saber que estas pérdidas térmicas, llamadas de disponibilidad porque se generan sólo por disponer de ACS en las acometidas a las viviendas, existen, y pueden ser muy significativas, aunque el consumo de agua caliente sea muy pequeño o incluso nulo.

En cualquier caso, además de que la configuración completamente centralizada es la más económica de inversión, también es la más económica de explotación si se ejecuta en forma correcta. Está claro el tipo de configuración que se debería utilizar.

No obstante, en determinadas circunstancias se plantea la necesidad de utilizar cualquiera de las otras configuraciones, porque, en general, no aportan mayores ventajas que las derivadas de la individualización de los sistemas de apoyo y su costo de explotación.

Adicionalmente, las connotaciones especiales que tienen estas configuraciones relativas a su diseño, ejecución y explotación, exigen unos conocimientos y criterios diferentes que quedan fuera del alcance de este documento y, por tanto, no se recomienda su utilización sin contar con experiencia previa. Para estos efectos se puede consultar la Guía ASIT de la energía solar térmica –documento editado por la Asociación Solar de la Industria Térmica de Madrid- que es la primera y única publicación existente donde se recogen las condiciones de diseño de este tipo de instalaciones.

2.4. Condiciones de trabajo

Analizar y definir las condiciones de trabajo de los distintos circuitos de una instalación solar térmica, es un requisito imprescindible para disponer de un correcto diseño y debe prestársele la debida atención.

Se analizan en este apartado, los criterios para definir las presiones y temperaturas de trabajo, así como las máximas y las mínimas alcanzables para cada circuito y los componentes que lo integran.

2.4.1. Presión de trabajo

Las presiones de los fluidos en el interior de los circuitos varían debido a los cambios de temperaturas y a las variaciones introducidas por el funcionamiento de las bombas. Es importante que la fluctuación de presiones se produzca dentro de los márgenes establecidos (máximo y mínimo) para cada circuito, de manera que no se produzca ninguna situación en la que el usuario tenga que tomar medidas especiales para que el sistema vuelva a funcionar correctamente. En el caso de que las presiones de trabajo excedan los límites establecidos puede ocurrir, por ejemplo, que entre aire en el circuito porque está en depresión o se produzca la descarga de una válvula de seguridad y se pierda fluido al exterior.

En todos y cada uno de los circuitos, siempre habrá que tener en consideración las diferencias de presión que se producen por el peso de la columna del fluido de trabajo, debido a la diferencia de alturas. Para el agua se puede considerar una presión de 1 bar por cada 10 metros de altura.

Es importante que los intercambiadores soporten la diferencia de presiones que puede ocurrir, entre los circuitos que separa, en las condiciones más desfavorables. Especial precaución requiere el caso de los interacumuladores de doble envolvente.

A continuación se establecen los criterios y el procedimiento para definir las presiones manométricas, es decir, las presiones relativas que toman como referencia la presión atmosférica en todos los circuitos de la instalación solar.

A) Presión máxima

Todos los circuitos de la instalación deben estar diseñados de forma que nunca se sobrepase la máxima presión soportada por todos los materiales. Para ello, deberían ir provistos de válvulas de seguridad reguladas a una presión que garantice que en cualquier punto del circuito no se supere el máximo de trabajo de cualquiera de los componentes.

Para determinar las presiones máximas de cada circuito, se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Se debe conocer la presión nominal de cada componente. Este es un dato que entrega el fabricante y se corresponde, normalmente, con la presión máxima de trabajo que admite bajo un coeficiente de seguridad del 50%, es decir, que su presión de prueba es 1,5 veces la presión nominal.
2. A continuación se define la presión nominal de cada uno de los circuitos. Ésta debe ser menor que cualquiera de las presiones nominales de cada uno de los elementos y materiales que lo componen.
3. Se establece la presión de tarado de la válvula de seguridad de forma que no sea superior a la presión nominal del circuito. Con esto se evita que en cualquier punto del circuito la presión pueda subir por encima de la presión de tarado.
4. La presión máxima de trabajo de cada circuito, valor máximo que puede alcanzarse durante cualquiera de las condiciones de funcionamiento, será siempre inferior a la presión de tarado de la válvula de seguridad, con un margen del 10% o, como mínimo, de 0,5 bar.

Para el diseño de los circuitos acoplados a la acometida de agua, se tendrá en cuenta la presión máxima de trabajo del grupo de presión que alimenta la red de agua interior del edificio o directamente de la red de abastecimiento, dato que tendrá que ser proporcionado por la empresa que realiza el suministro.

B) Presión mínima

Para evitar que entre aire en los circuitos, las instalaciones estarán diseñadas para asegurar que, en las condiciones de temperaturas más frías, quede un margen de presión, entre 0,5 y 1,5 bar, por encima de la presión atmosférica.

Para el diseño de los circuitos secundario y de consumo (acoplados a la acometida de agua fría) se tendrá en cuenta que puede ser cero la presión mínima de trabajo de la red de abastecimiento o incluso negativa cuando, para sistemas ubicados en cubierta, se produzca el vacío que puede generar el peso de una columna de agua.

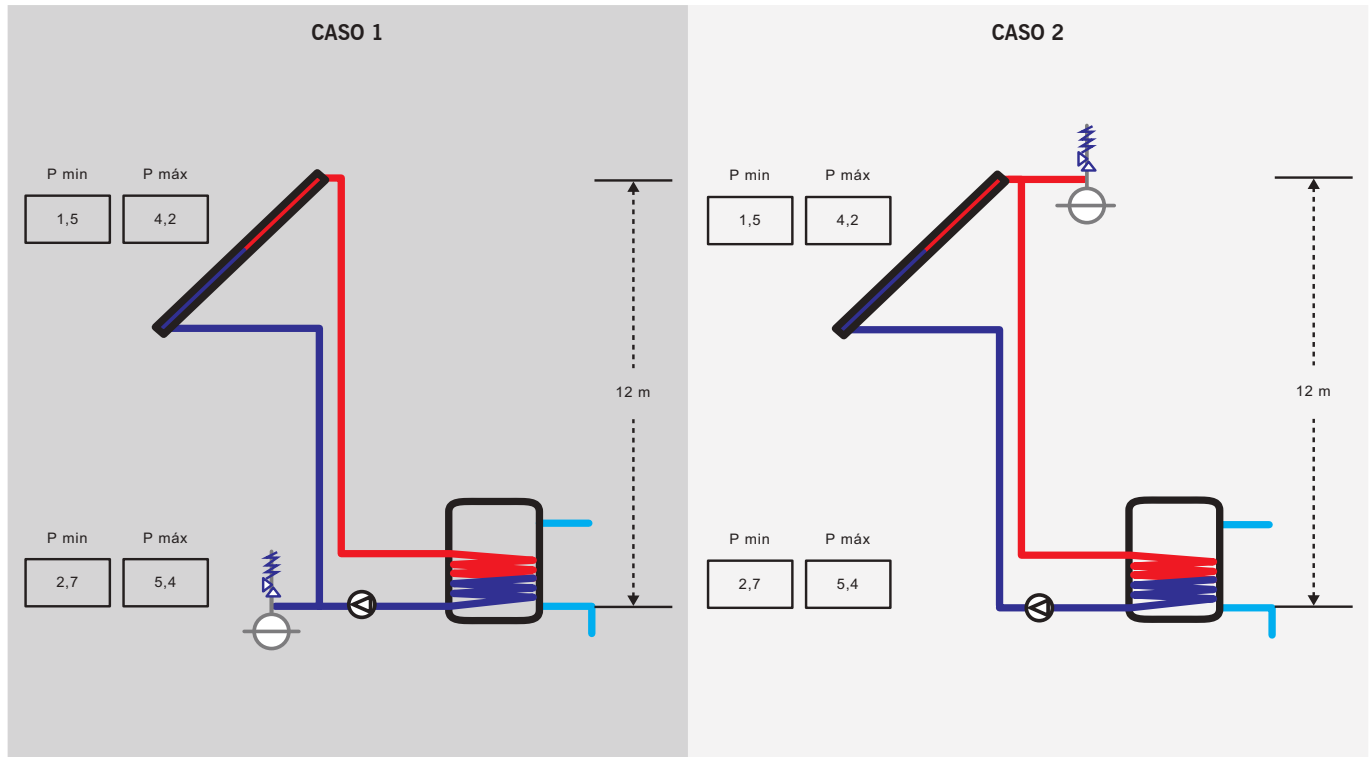
Las presiones máximas y mínimas de cada circuito se utilizan para el dimensionado del sistema de expansión, que se encarga de absorber las dilataciones sin que se alcance la presión de tarado de la válvula de seguridad.

Ejemplo de cálculo de presiones

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

Caso 1: Si se instala en la parte inferior, la presión máxima de trabajo en la parte inferior será 5,4 bar ($6 \cdot 0,9$). 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 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 6,6 bar ($5,4 + 1,2$). Debe verificarse que cualquier componente situado en la parte inferior soporta esta presión. El sistema de expansión se calcula entre 1,5 bar de mínima y 5,4 bar de máxima.



CIRCUITO PRIMARIO	CASO 1				CASO 2			
	ALTURA	Pmín	Pmáx	PTvs	ALTURA	Pmín	Pmáx	PTvs
PUNTO MÁS ALTO	0,0	1,5	4,2	-	0,0	1,5	5,4	-
COLECTORES	0,0	1,5	4,2	-	0,0	1,5	5,4	-
PRIMARIO INTERCAMBIADOR	12,0	2,7	5,4	-	12,0	2,7	6,6	-
EXPANSIÓN Y SEGURIDAD	12,0	2,7	5,4	6,0	0,0	1,5	5,4	6,0

2.4.2. Temperaturas de trabajo

Una característica de las instalaciones solares térmicas, que las diferencia del resto de las instalaciones térmicas, es la gran variabilidad de las temperaturas de trabajo producidas por la potencia variable de la fuente de energía y por las variaciones del consumo de agua caliente.

En una instalación solar funcionando normalmente, las temperaturas en la parte exterior de la instalación (los colectores y las cañerías del circuito primario) varían, cada día, desde los valores mínimos que ocurren por la mañana temprano, hasta los valores máximos que se dan a primera hora de la tarde, cuando además de una radiación elevada la temperatura ambiente también es alta.

Se pueden definir las temperaturas medias de trabajo representativas de una instalación, calculando una temperatura media del acumulador solar (T_{MED}) en función de la contribución solar (CS) y las temperaturas del agua fría y de preparación:

$$T_{MED} = T_{AF} + CS * (T_P - T_{AF})$$

Esta temperatura media se puede utilizar, por ejemplo, para transformar el parámetro de contribución solar a una variable más tangible o para evaluar la tecnología que puede ser aplicable.

Ejemplos:

- En una instalación de ACS con acumulador de apoyo a $T_P = 60^\circ\text{C}$ y $T_{AF} = 15^\circ\text{C}$, si la $CS=33\%$, puede tener una temperatura de media del acumulador de:

$$T_{MED} = 15 + 0,33 * (60 - 15) = 30^\circ\text{C}$$

- Si la misma instalación tiene $CS=66\%$, puede tener una temperatura de media del acumulador de:

$$T_{MED} = 15 + 0,66 * (60 - 15) = 45^\circ\text{C}$$

- Si la instalación funciona con acumulador a $T_P = 75^\circ\text{C}$ y $T_{AF} = 15^\circ\text{C}$, si la $CS=25\%$, puede tener una temperatura de media del acumulador de:

$$T_{MED} = 15 + 0,20 * (75 - 15) = 30^\circ\text{C}$$

La temperatura de preparación es, por tanto, un límite superior de la temperatura media de funcionamiento de la instalación solar, pero no es la representativa para definir la tecnología a emplear.

También se pueden utilizar temperaturas medias para calcular las pérdidas térmicas en los circuitos; se determinan a partir de la temperatura de funcionamiento de la instalación solar, así como de la temperatura del sistema de preparación y del circuito de distribución de agua caliente. A partir de la temperatura de acumulación se puede deducir la temperatura de funcionamiento del circuito primario (5 ó 10 K por encima).

A) Temperaturas máximas

Las temperaturas máximas de cada uno de los circuitos, primario y secundario, se definirán a partir de la temperatura de estancamiento del colector (ver apartado 3.1.5) y de la temperatura de preparación del sistema de apoyo. La temperatura de preparación del sistema de apoyo debería estar definida para las condiciones de diseño y/o funcionamiento del mismo.

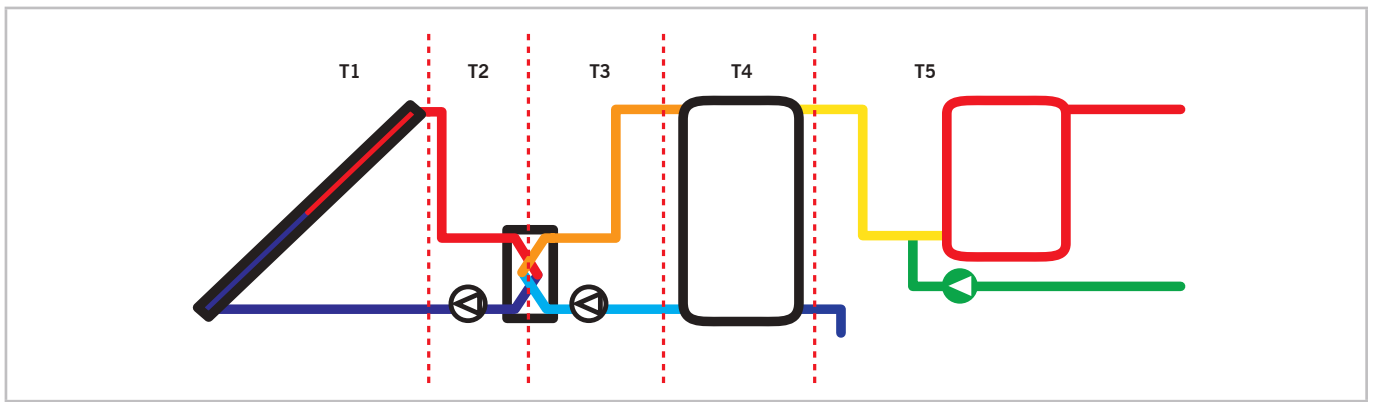


FIGURA 2-23
TEMPERATURAS MÁXIMAS DE
TRABAJO DE LA INSTALACIÓN
SOLAR

Se consideran hasta tres temperaturas máximas de trabajo del circuito primario, que estarán definidas y asociadas a tres partes del circuito:

- La temperatura de estancamiento del colector (T_{EST}) en las baterías de colectores, elementos de interconexión y tramos del circuito solar situados por encima de la parte más baja del circuito de colectores.
- La temperatura correspondiente a la de saturación del fluido a la presión máxima, en los tramos de circuito desde los colectores hasta el sistema de expansión y por donde pueda circular vapor. Normalmente no será inferior a 140°C.
- La temperatura máxima de la parte fría del circuito primario será de 110°C en el resto de tramos de circuito no alcanzables por el vapor.

La temperatura máxima del circuito secundario vendrá impuesta por el sistema de intercambio, los diseños de los circuitos y las estrategias del sistema de control; aunque puntualmente pueda alcanzar los 110°C correspondientes al circuito primario, lo normal es considerar 90°C.

B) Temperaturas mínimas

Las temperaturas mínimas de cada uno de los circuitos se definirán a partir de las temperaturas ambientes mínimas exteriores y de las temperaturas mínimas de suministro de agua fría.

Las temperaturas mínimas dependen de la ubicación geográfica de la instalación y se podrán obtener, en tanto no se hayan dictado otras normas técnicas, de los valores establecidos en el artículo primero de las Disposiciones Transitorias del DS 331, Reglamento de la Ley 20.365.

Las temperaturas mínimas en los colectores y en todos los circuitos que tienen alguna parte que discurre por el exterior, serán iguales a la temperatura mínima exterior aunque estén térmicamente aislados. Adicionalmente se tendrá en cuenta que los colectores solares, a causa del enfriamiento nocturno, pueden disminuir su temperatura interior por debajo de la temperatura ambiente y este descenso será mayor cuanto mayor sea la emisividad del absorbedor.

Las temperaturas mínimas en el resto de los circuitos, será la temperatura interior en locales cerrados, siempre que se tenga la certeza de que no se alcanzarán las mínimas temperaturas exteriores. En los circuitos secundario y de consumo, se tendrá en cuenta que la temperatura mínima podrá ser la de suministro de agua fría.



- *Introducción a la Energía Solar Térmica · Configuraciones del SST ·*
- *Componentes de un SST para ACS · Diseño y dimensionado ·*
- *Cálculo de prestaciones energéticas · Instalación · Operación y mantención ·*
- *Incorporación del SST en el edificio ·*

Capítulo 3

Componentes de un SST para ACS

3.1. Colector solar

El colector solar térmico es el dispositivo que transforma la radiación solar en energía térmica (calor); ésta se transfiere a un fluido caloportador aumentando su temperatura.

Es el principal componente del sistema de captación y el elemento más representativo de las instalaciones solares térmicas. Además de producir el calor de manera eficiente, el colector debe estar diseñado para soportar la continua exposición a condiciones exteriores tales como lluvia, nieve, granizo, polvo, etc. y para resistir las altas y bajas temperaturas a las que va a estar sometido.

El tamaño de los colectores más utilizados se encuentra en el rango de los 2m^2 , aunque se fabrican colectores de diferentes tamaños. El peso aproximado de un colector plano con una cubierta de cristal, que es el más utilizado en instalaciones de ACS, varía entre 15 y 25 $[\text{Kg} / \text{m}^2]$.

3.1.1. Funcionamiento del colector solar plano

Los elementos básicos del colector son la cubierta, que normalmente es de vidrio, y el absorbedor correspondiente a una placa plana, comúnmente metálica, que se calienta al recibir la radiación del sol que atraviesa la cubierta.

El funcionamiento del colector solar plano está basado en el denominado “efecto invernadero”, y se corresponde con las propiedades de transmisión de la cubierta:

- De la radiación solar incidente, de longitud de onda corta ($0,3\text{-}3\ \mu\text{m}$), una parte es reflejada, otro pequeño porcentaje es absorbido por la cubierta y una gran parte la atraviesa e incide sobre el absorbedor que la transforma en calor aumentando su temperatura.
- El absorbedor, al calentarse, emite radiación en una longitud de onda larga ($3\text{-}30\ \mu\text{m}$), que no puede salir al exterior debido a que la cubierta es opaca frente a esa radiación.

En la figuras 3-1 y 3-2 se muestra una sección transversal de un colector solar plano,

en el que se ilustra gráficamente este efecto y un gráfico con la transmitancia de un vidrio y la distribución aproximada de la energía en cada longitud de onda de las radiaciones del sol (6.000K) y del absorbedor (400K).

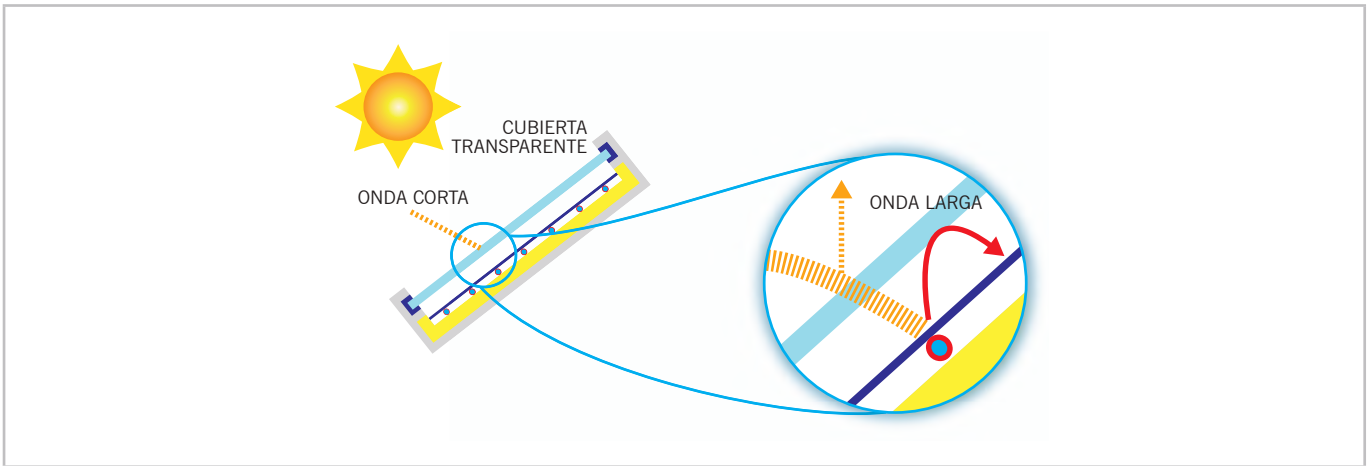


FIGURA 3-1
EFECTO INVERNADERO EN EL
COLECTOR SOLAR

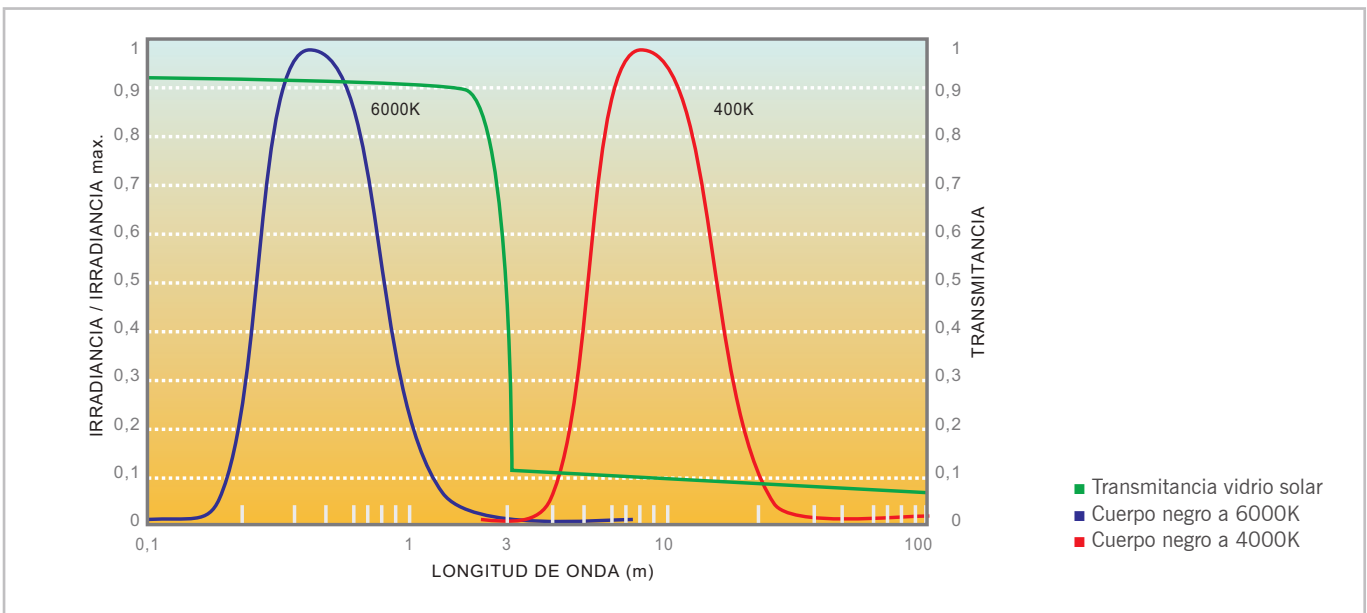


FIGURA 3-2
DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA
RADIACIÓN Y TRANSMISIVIDAD DEL
VIDRIO

Incorporado o adosado al absorbedor, existe un circuito hidráulico por el que circula el fluido caloportador que se calienta por la transferencia de calor, por conducción, fenómeno que tiene lugar entre el absorbedor y el circuito del fluido. El aumento de la temperatura del fluido de trabajo es el efecto útil que se pretende conseguir, que a su vez hace disminuir la temperatura del absorbedor, producto de este proceso de transformación de calor.

Debido a que el absorbedor, al calentarse, pierde también calor hacia el ambiente que lo rodea, y dado que el objetivo del colector es que el calor sólo sea extraído por el fluido caloportador, se disponen los medios necesarios para reducir todas las pérdidas térmicas por radiación, convección y conducción:

- Con la cubierta, además de reducirse las pérdidas por radiación en el efecto invernadero, también se disminuyen las pérdidas por convección ya que evita el contacto directo del absorbedor con el aire ambiente.
- Con el aislamiento, en la parte posterior y en los laterales del absorbedor, se reducen las pérdidas térmicas por conducción.

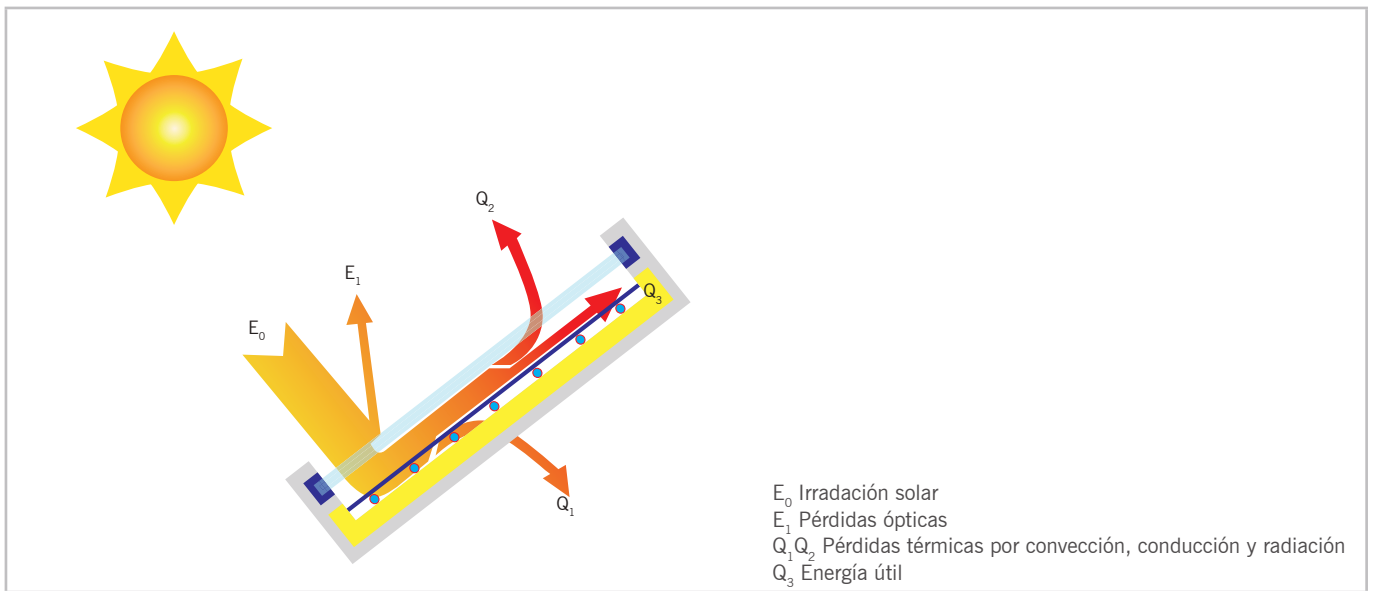


FIGURA 3-3
BALANCE ENERGÉTICO DEL
COLECTOR SOLAR

En definitiva, se establece un balance de energía en el colector que debe ser detalladamente analizado para conocer todos los procesos internos y los resultados globales de energía útil producida frente a la energía solar incidente.

3.1.2. Elemento principales del colector solar plano

En la figura 3-4 se indican los componentes principales de un colector solar plano:

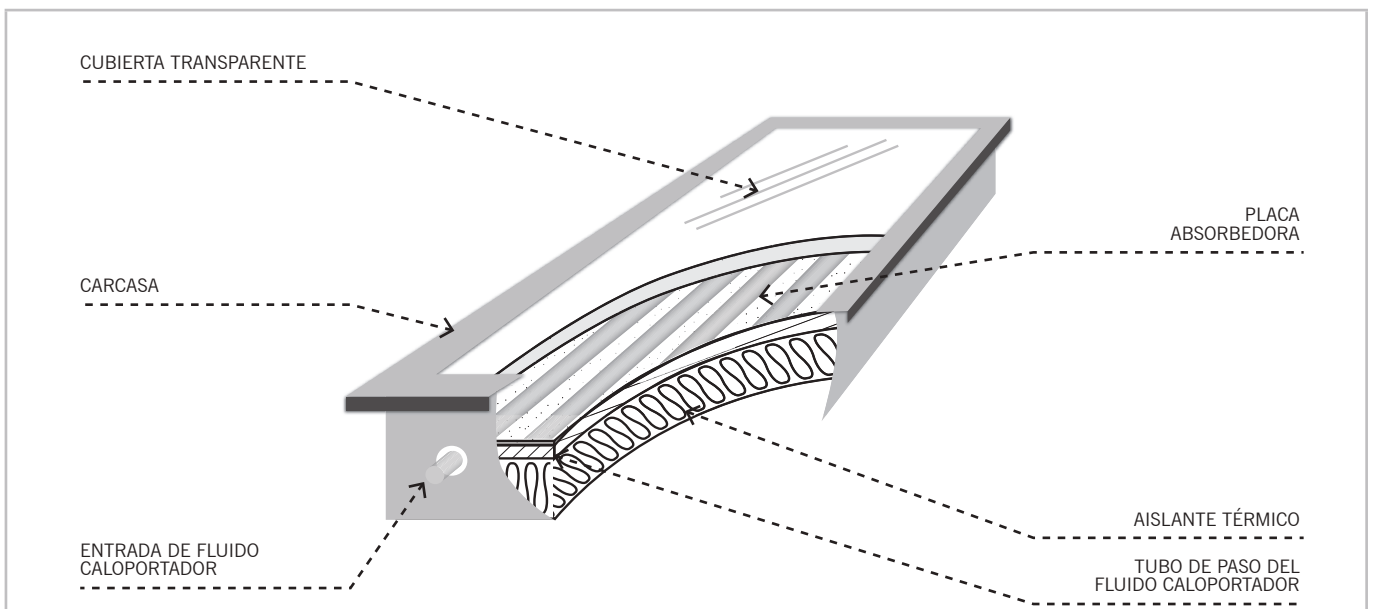


FIGURA 3-4
COMPONENTES PRINCIPALES DE
UN COLECTOR SOLAR PLANO

A) Cubierta transparente

La cubierta es un elemento plano de material transparente que además de reducir las pérdidas por radiación y convección, asegura la estanqueidad del colector, protegiendo a los componentes interiores frente a agentes externos tales como lluvia, humedad u otro, y así evitar su deterioro.

Mayoritariamente se utilizan cubiertas de vidrio en lugar de cubiertas plásticas, ya que estas últimas suelen degradarse por efectos de la radiación solar ultravioleta y las altas temperaturas. Además, por su mayor dilatación térmica, requieren de especial cuidado para asegurar la estanqueidad. No se recomienda su uso.

Las cubiertas de vidrio deben tener un espesor mínimo, normalmente entre 3 y 4 mm, que evite su rotura y garantice la resistencia mecánica del conjunto.

Para absorber la diferente dilatación térmica de los componentes del colector e impedir la entrada de agua, se utilizan juntas elásticas entre la cubierta y la carcasa. El material de estas juntas debe ser resistente a la radiación solar, a las temperaturas extremas y a la humedad. Es común utilizar juntas de silicona o de EPDM².

B) Absorbedor

Es el componente que transforma la radiación solar en energía térmica y consiste en una superficie metálica plana que tiene adosadas, generalmente mediante soldadura, unas cañerías metálicas por las que circula el fluido de trabajo para evacuar el calor.

El material habitualmente empleado para el absorbedor, como lámina entera o en bandas, es el cobre. En menor medida se usa el aluminio o el acero. El cobre también es el material más empleado en las cañerías debido a su buena conductividad térmica y su resistencia a la corrosión. Un buen contacto térmico entre la parte plana del absorbedor y las cañerías, es imprescindible para facilitar la transferencia de calor por conducción.

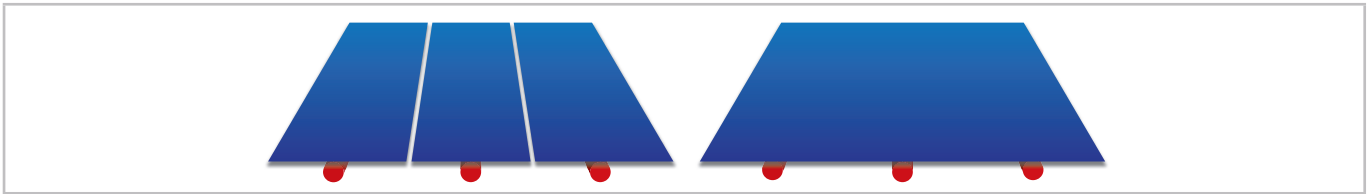


FIGURA 3-5
ABSORBEDORES DE BANDAS Y DE
LÁMINA ENTERA

Tratamiento superficial del absorbedor

El rendimiento del colector solar depende, en gran medida, del tratamiento superficial del absorbedor. Básicamente, esto determina su capacidad de absorber radiación, representado por un factor de absortancia, y su capacidad de emitir radiación cuando se calienta; por un factor de emisividad. Se pueden distinguir los tratamientos con pintura negra y los tratamientos selectivos.

La pintura negra proporciona una elevada absortancia (0,95) pero también una elevada emisividad (0,85-0,95), lo que produce muy buen rendimiento a temperaturas bajas pero, a altas temperaturas, los rendimientos son bajos y las temperaturas máximas alcanzables no son muy elevadas. Normalmente se utilizan pinturas solares específicas que soportan las temperaturas de trabajo, con aglomerantes para que no se degraden y le proporcionen máxima durabilidad.

Los tratamientos selectivos intentan, manteniendo un valor elevado de la absortancia (0,95), reducir la emisividad del absorbedor (0,05-0,15). Existe una gran variedad de tratamientos selectivos; desde hace años se han utilizado las electrodeposiciones de cromo negro aplicado, directamente o a través de una capa de níquel, sobre un sustrato de cobre. Actualmente, también se utilizan tratamientos selectivos obtenidos mediante procesos de pulverización, deposición física o química en fase vapor, etc. Gracias a la reducción de las pérdidas térmicas por radiación, los tratamientos selectivos aportan mejor rendimiento a altas temperaturas que los tratamientos negros.

Circuito hidráulico del absorbedor

El circuito hidráulico del absorbedor se encarga de hacer circular el fluido de trabajo para evacuar el calor del colector. Su diseño debe asegurar la mejor transferencia de calor y para ello:

² Caucho etileno-propileno-dieno.

- La superficie de contacto del circuito hidráulico con el absorbedor debe ser lo más grande posible.
- Las características constructivas deben garantizar la mejor transmisión térmica desde cualquier punto del absorbedor al circuito.
- La circulación del fluido en régimen turbulento favorece significativamente la transferencia de calor.
- El equilibrado hidráulico interior debe garantizar que no haya diferencias de caudal en el circuito, pues el rendimiento global disminuye.

Se fabrica una gran variedad de absorbedores, siendo más comercializados los que tienen un circuito de tubos de cobre en forma de parrilla o de serpentin. En la mayoría de los casos, la distancia entre tubos paralelos suele estar en el rango de 100 a 120 mm y resulta del compromiso entre maximizar la transferencia de calor al fluido de trabajo y minimizar los costos de materiales y de fabricación.

En los absorbedores tipo parrilla, el circuito hidráulico está constituido por varias cañerías paralelas que se unen a dos conductos distribuidores, formando la denominada “parrilla de tubos”, como se aprecia en la figura N°36. Dado que el fluido que entra por el distribuidor circula por todas las cañerías paralelas, el absorbedor tipo parrilla suele presentar una pérdida de carga relativamente pequeña. Por este motivo son los que normalmente se emplean en sistemas termosifón, porque es conveniente que haya una pérdida de carga reducida.

En los circuitos de tipo parrilla es muy importante el diseño de los conductos interiores del absorbedor, ya que la distribución del caudal de circulación a través de éste depende de la relación entre las pérdidas de carga de las cañerías paralelas y de los conductos distribuidores. Sin un diseño adecuado, podrían circular distintos caudales por cada tubería paralela y aparecer desequilibrios hidráulicos no aceptables.

Existen diferentes variantes de absorbedores en forma de parrilla. Entre ellas destaca la posibilidad de montar los absorbedores de forma longitudinal o transversal, como se observa en la figura 3-6.

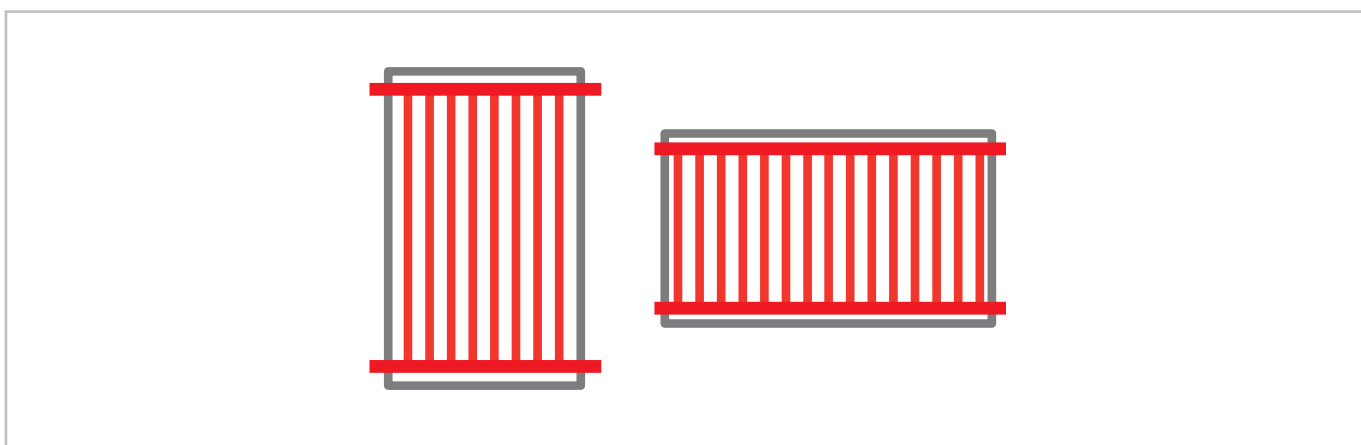


FIGURA 3-6
 ABSORBEDORES DE PARRILLA
 (VERTICAL Y HORIZONTAL)

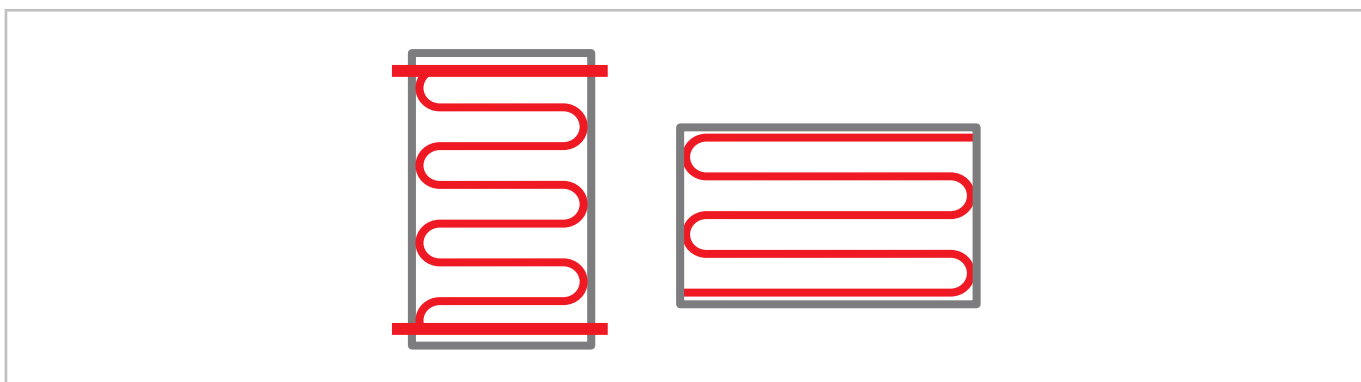


FIGURA 3-7
 COLECTOR CON ABSORBEDOR DE
 SERPENTIN

En los absorbedores tipo serpentín, el circuito hidráulico lo constituye una única tubería con dicha forma que recorre el absorbedor completo. Estos colectores pueden tener la salida del serpentín directamente al exterior o disponer de tubos distribuidores para facilitar la interconexión entre colectores para formar baterías. En la figura 3-7 se muestra un colector con absorbedor de serpentín típico.

En este caso, no existen problemas de desequilibrio hidráulico dentro de un colector, ya que todo el fluido de trabajo que circula a través del colector solar lo hace a través de esta única tubería.

Para el mismo régimen de caudal, aunque dependiendo de los diámetros, la pérdida de carga en el absorbedor tipo serpentín es mayor que la del absorbedor en forma de parrilla, porque el caudal que circula por la única tubería del tipo serpentín, es superior al que circula por cada tubería del tipo parrilla de tubos. También, por la presencia de cambios de dirección en el circuito del tipo serpentín. Por esta mayor pérdida de carga no se recomienda el empleo de absorbedores tipo serpentín en instalaciones solares con circulación por termosifón.

En otros casos, el circuito hidráulico del absorbedor se realiza con otras configuraciones de tubos (por ejemplo, de doble parrilla), otras veces, con hojas de aluminio o de acero inoxidable conformadas como absorbedor ("roll-bond"), o con los tubos embutidos en las hojas (Figura 3-8).

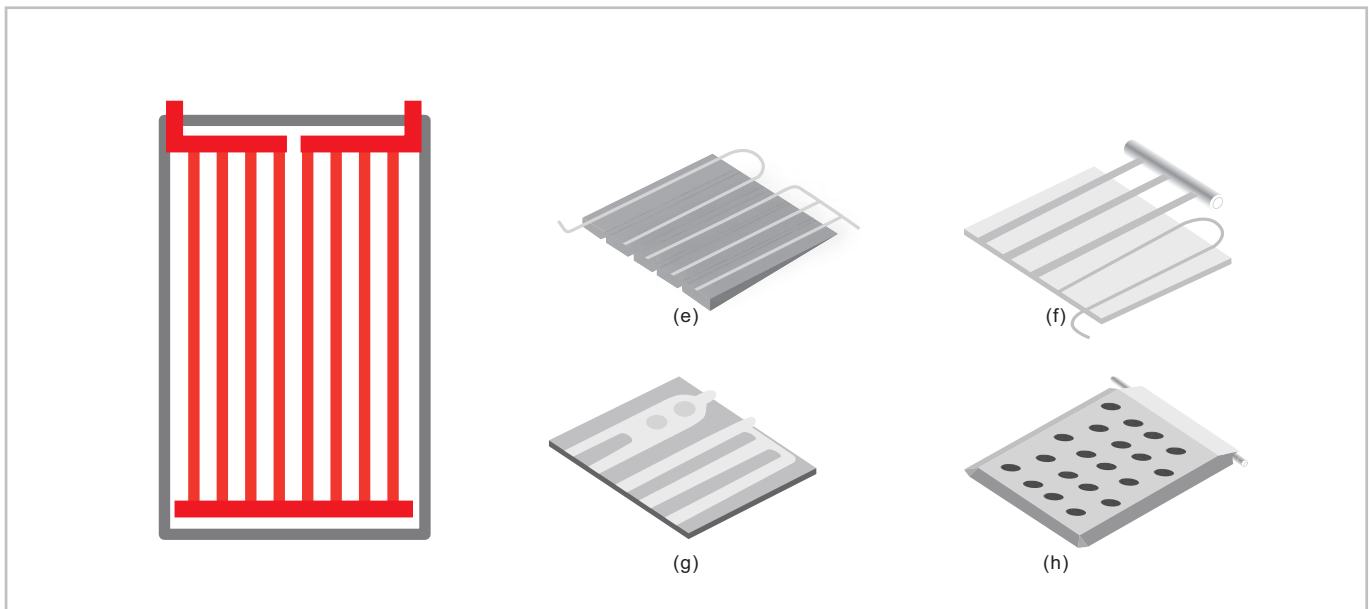


FIGURA 3-8
DIFERENTES TIPOS DE CIRCUITOS
DEL ABSORBEDOR

C) Aislación del colector

La aislación en la parte posterior y en los laterales de la carcasa permite reducir las pérdidas térmicas por conducción. Normalmente se utiliza lana de vidrio o lana mineral. Poliuretano rígido se puede utilizar tomando medidas para que no le afecten las elevadas temperaturas de estancamiento del colector. Esto se realiza incorporando una capa de lana mineral intermedia entre el absorbedor y el poliuretano.

Además de que el material soporte la temperatura de estancamiento y no vaporice, para asegurar el correcto funcionamiento de la aislación del colector es necesario evitar que se pueda deteriorar por la entrada de agua en el interior del colector, produciendo la pérdida de sus propiedades aislantes. Por otro lado, el incremento de su volumen debido al agua puede provocar la deformación del colector.

D) 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 extruídos 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 forma por embutición.

Para dar estanqueidad a las conexiones de entrada y salida del colector se emplean juntas de silicona, caucho o EPDM, cuya temperatura máxima de trabajo supera las temperaturas de estancamiento normales.

3.1.3. Otros tipos de colectores solares

Además del colector solar plano, el más utilizado en las instalaciones de agua caliente, existe una gran variedad de colectores solares; aunque su utilización en instalaciones de ACS no está muy extendida.

A) Otros colectores solares planos

Fuera de las variantes anteriormente referidas, hay otros tipos de colectores solares que introducen, sobre la base del colector plano, diversas adaptaciones para conseguir objetivos de mayor eficiencia o de menor costo.

Entre otros, cabe destacar:

- **Colectores sin cubierta:** Absorbedores metálicos con tratamiento selectivo que están diseñados para soportar las condiciones exteriores sin cubierta, aislamiento ni carcasa³.
- **Colectores con varias cubiertas:** Se puede utilizar más de una cubierta, del mismo o diferentes materiales, para reducir las pérdidas térmicas. Aunque esto disminuye la transmitancia y aumenta significativamente el costo del colector.
- **Colectores tipo CPC (Colector 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.
- **Colectores con cubierta TIM (Transparent Insulating Materials):** Se utilizan cubiertas aislantes transparentes denominadas TIM, estructuras en forma de panal de abeja que, colocadas en la cara interna de la cubierta, reducen significativamente las pérdidas por convección. Esta cubierta también disminuye la transmitancia global pero se compensa, a elevadas temperaturas, con la reducción de pérdidas térmicas.
- **Colectores de vacío:** Son colectores planos muy herméticos a los que se les hace el vacío interior y disponen de unos soportes internos que impiden que la cubierta y la carcasa se quiebren hacia dentro al hacer el vacío.
- **Colectores a medida:** En determinadas ocasiones y para conseguir la mejor integración arquitectónica, se fabrican colectores a medida para su incorporación como parte de la envolvente del edificio.

B) Colectores de tubos de vacío

En los tubos al vacío se reducen las pérdidas térmicas, tanto las de convección como las de conducción, al hacerse el vacío en el espacio entre el absorbedor y el tubo exterior. Con esto 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, el parámetro cuya fiabilidad a largo plazo es más difícil de garantizar.

Un colector de tubos al vacío está compuesto por un conjunto de tubos, conectados en un distribuidor, cada uno de los cuales está formado por uno o más tubos por donde circula el fluido a calentar y un tubo de vidrio como cubierta y envolvente exterior.

Hay varios tipos de colectores de tubos al vacío entre los que destacan: los de tubos de calor, los tubos en U y los de flujo directo que se describen a continuación:

- **Colector de vacío de de tubos de calor (Heat-Pipe)**

En el interior del tubo evacuado hay un tubo cerrado que dispone de aletas como absorbedor por ambos extremos (Tubo de Calor), en cuyo interior hay un fluido caloportador a la presión adecuada para que se evapore y condense en un rango determinado de temperatura. Al calentarse el tubo absorbedor, se evapora una parte del líquido desplazándose en forma de vapor a la parte superior del tubo donde, en un bloque de transferencia, 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 En este manual no se hace referencia a colectores de plástico negro que se utilizan en el calentamiento de piscinas.

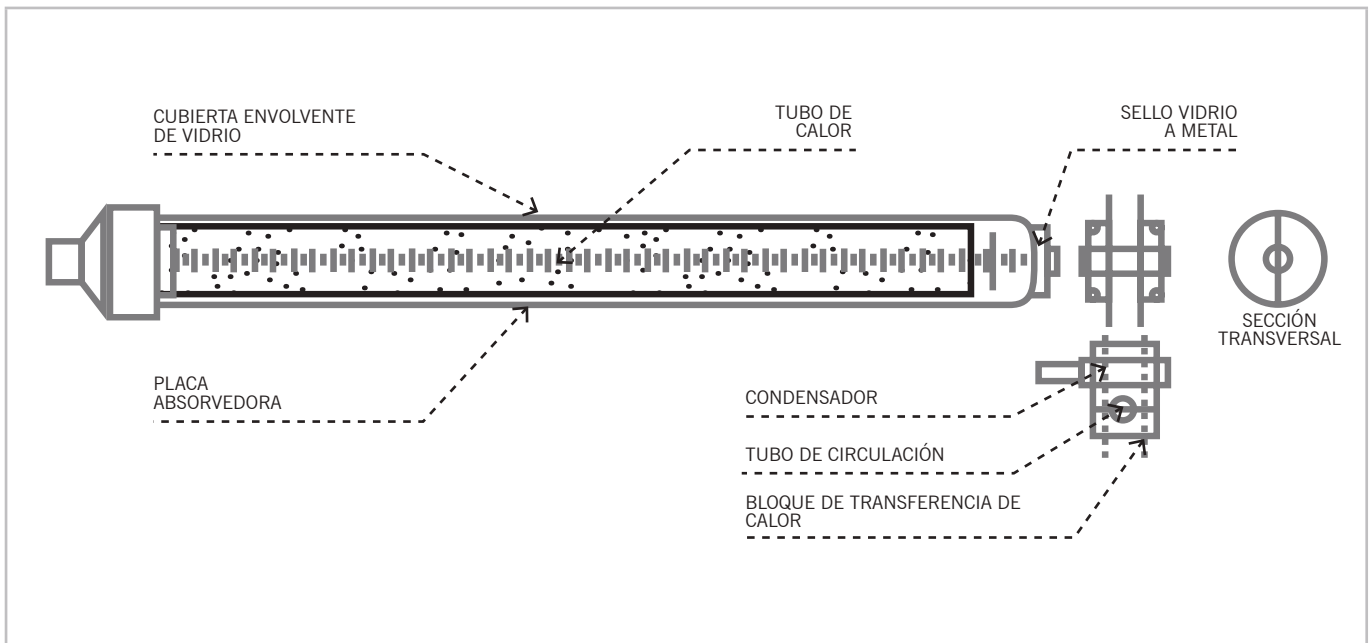


FIGURA 3-9
ESQUEMA DE PARTES DE UN TUBO
DE CALOR (HEAT-PIPE)

Estos colectores necesitan que los tubos tengan una inclinación mínima (superior a unos 20°) para funcionar correctamente.

Cuando la temperatura del distribuidor es superior a la de evaporación del fluido del tubo de calor, se produce la evaporación total y se paraliza la transferencia de calor a través del fluido; únicamente actúa la conducción directa a través del tubo metálico.

- **Colector de vacío de tubo en U (U-Tube)**

En el interior del tubo evacuado hay un tubo de paso del fluido caloportador. Por uno de los extremos, el fluido caloportador entra a baja temperatura para luego recorrer el circuito de U y vuelve a salir a mayor temperatura. El absorbedor adosado a los dos tubos es de morfología plana.

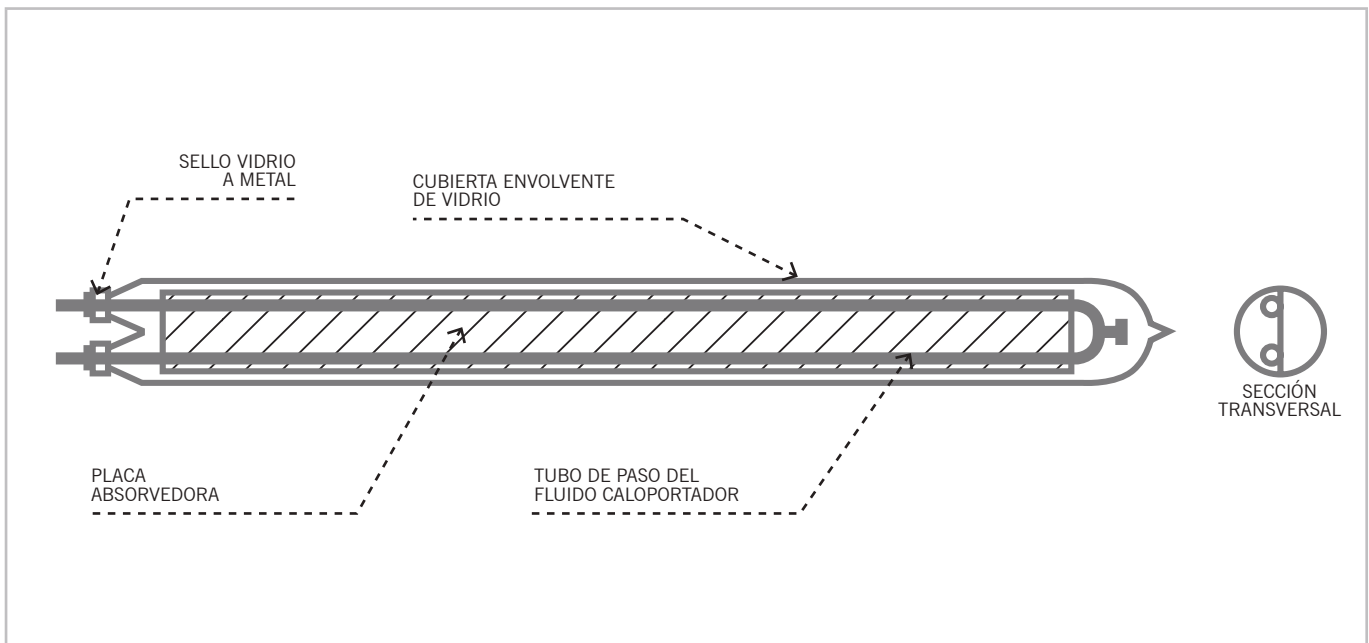


FIGURA 3-10
ESQUEMA DE PARTES DE UN TUBO
DE VACÍO EN U

- **Colector de vacío de flujo directo**

En el interior del tubo evacuado existe un absorbedor plano con un tubo en el centro que contiene el fluido de trabajo; éste entra por un tubo concéntrico y de menor diámetro, circula hasta el final del tubo y vuelve por el tubo exterior calentándose.

Dentro de unos márgenes, los absorbedores se pueden girar en el interior del tubo para optimizar su inclinación. Esto permite, además, instalar los colectores solares verticales u horizontales para conseguir una mejor integración arquitectónica y simplificar la estructura de soporte.

3.1.4. Caracterización del funcionamiento del CST

A) Rendimiento del colector solar

La potencia útil extraída del colector solar (POT_{COL}) se emplea en aumentar la temperatura del fluido caloportador de trabajo que circula por el absorbedor y puede expresarse de la siguiente manera:

$$POT_{COL} = m_{COL} \cdot c_p \cdot (T_S - T_E) = n \cdot A_{COL} \cdot G_{REF}$$

Siendo:

- m_{COL} : El caudal másico que circula por el colector y es igual al caudal volumétrico por la densidad del fluido
- C_p : El calor específico a presión constante del fluido
- T_S : La temperatura de salida del colector (°C)
- T_E : La temperatura de entrada del colector (°C)
- n : El rendimiento del colector
- A_{COL} : La superficie o área útil del colector (m²)
- G_{REF} : La irradiancia total sobre la superficie del colector (W/m²)

Despejando la expresión anterior, el rendimiento del colector puede definirse como la relación entre potencia térmica generada por unidad de área y la irradiancia solar incidente.

Por otro lado, el rendimiento del colector se calcula experimentalmente de los resultados del ensayo, por una aproximación matemática cuadrática del modelo físico real, según la expresión:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{(T_{in} - T_{amb})}{G_{REF}} - k_2 \cdot \frac{(T_{in} - T_{amb})^2}{G_{REF}}$$

Algunas veces se utiliza el modelo lineal, que utiliza una expresión de la forma:

$$\eta = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_e - T_{amb})}{G_{REF}}$$

Donde el rendimiento óptico del colector o factor de la eficiencia óptica [$F_R \cdot (\tau\alpha)$ ó η_0] representa el rendimiento del colector cuando la temperatura de entrada al colector [T_e] es igual a la temperatura ambiente [T_{amb}] y los coeficientes de pérdidas térmicas [$F_R \cdot U_L$ ó k_1 y k_2] describen la variación lineal y la variación cuadrática de las pérdidas térmicas. Las pérdidas térmicas aumentarán, y por tanto el rendimiento será menor, a medida que estos coeficientes sean mayores.

Para calcular el rendimiento de un colector es necesario conocer la temperatura de entrada del fluido caloportador, la temperatura ambiente y la irradiancia sobre la superficie del colector.

Es importante señalar que la curva determinada experimentalmente en el ensayo de un colector, siempre está asociada al 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 colector por lo que deben estar siempre biunívocamente referenciados.

Como caudal de ensayo, normalmente se utiliza el valor de $0,02 [K_g/s_m^2]$ ($72 [K_g/h_m^2]$) aunque el ensayo se puede realizar para cualquier otro valor que solicite el fabricante.

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

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

Ejemplo: Gráfico de rendimientos para una irradiancia de $1.000 [W/m^2]$ de tres colectores solares con los factores $(\eta - k_1 - k_2)$.

- **CS1:** 0,85 – 8,50 – 0,030
- **CS2:** 0,80 – 4,00 – 0,025
- **CS3:** 0,75 – 2,00 – 0,020

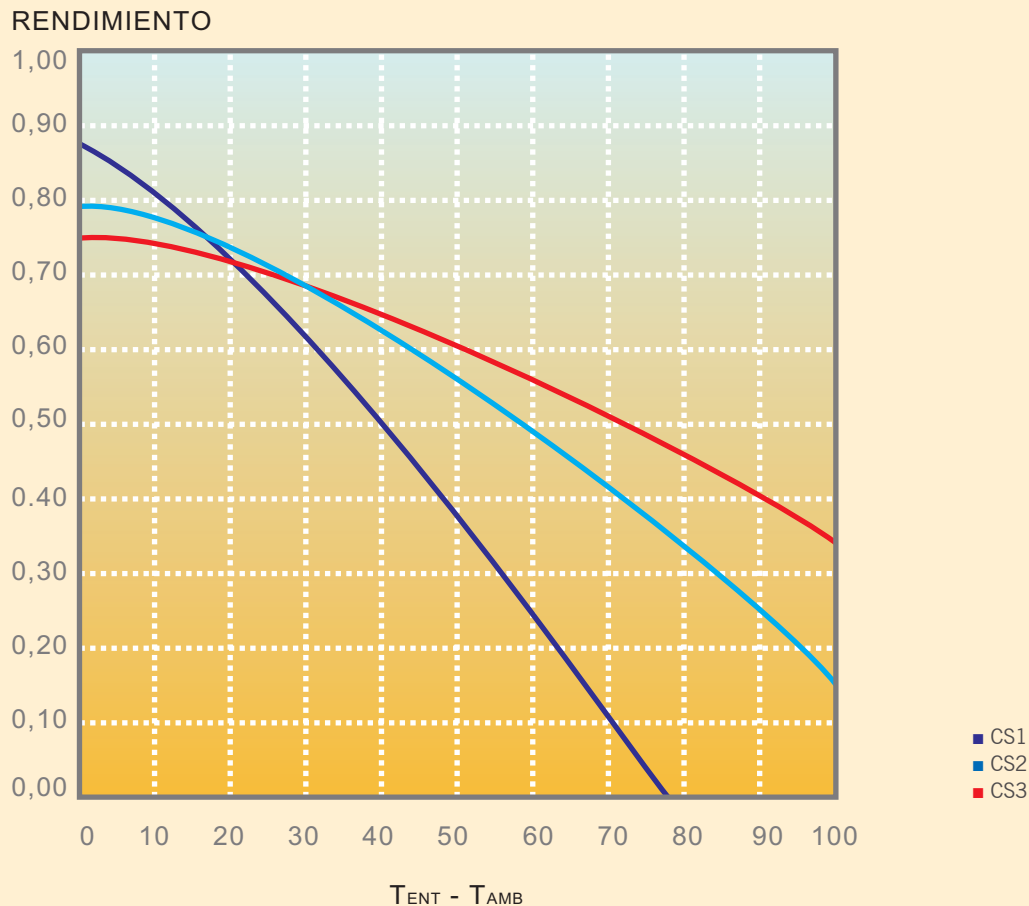


FIGURA 3-11
RENDIMIENTO DE 3
COLECTORES SOLARES PARA
IRRADIANCIA DE $1.000 W/M^2$

Ejemplo: Gráfico de rendimientos para irradiancias de 600, 800 y 1.000 $[W/m^2]$ del colector solar con los factores CS2: 0,80 – 4,00 – 0,025

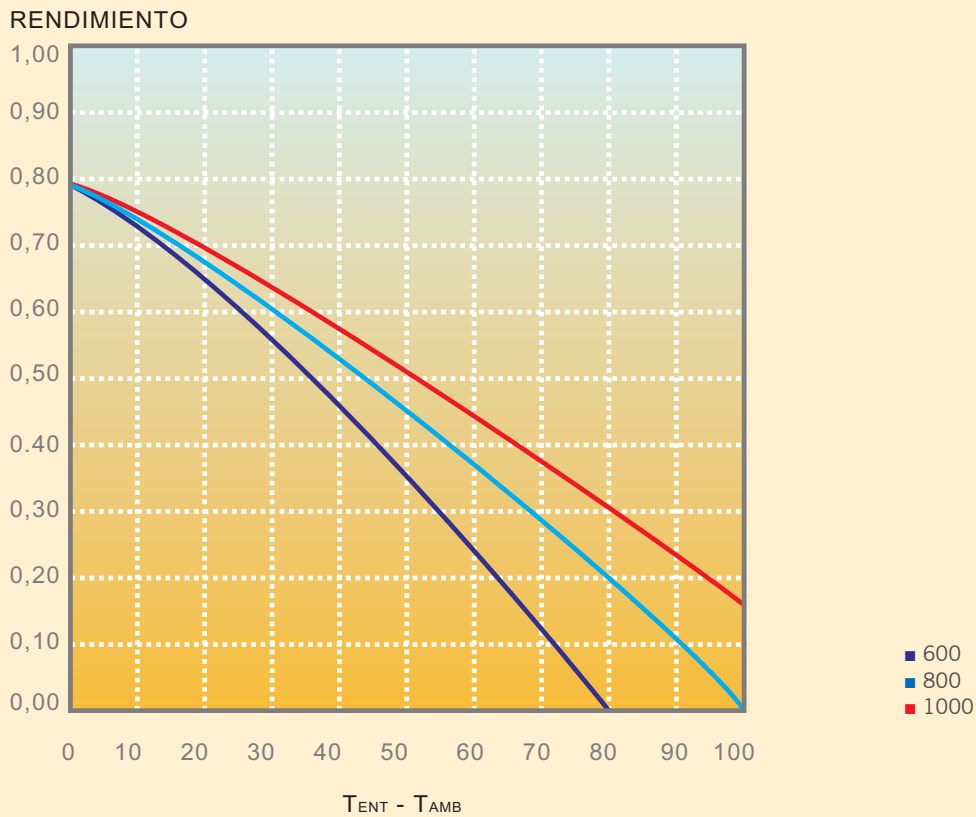


FIGURA 3-12
RENDIMIENTO DE UN
COLECTOR SOLAR PARA
DISTINTOS VALORES DE
IRRADIANCIA

Calcular el rendimiento y la temperatura de salida del colector CS2 de 2,00m², si circula un caudal de agua de 100kg/h por el colector y la radiación global incidente es de 1.000 $[W/m^2]$, la temperatura de entrada es de 30°C y la del ambiente es de 20:

- Rendimiento = $0,80 - 4,00 * (30 - 20) / 1000 - 0,025 * (30 - 20)^2 / 1000 = 0,7575$
- Salto de temperaturas = $(0,7575 * 2 * 1.000 * 3,6) / (4,18 * 100) = 13,0$ K
- Temperatura de salida = $30 + 13,0 = 43,0^{\circ}C$

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

- Rendimiento = $0,80 - 4,00 * (70 - 20) / 1000 - 0,025 * (70 - 20)^2 / 1000 = 0,5375$
- Salto de temperaturas = $(0,5375 * 2 * 1.000 * 3,6) / (4,18 * 100) = 9,3$ K
- Temperatura de salida = $70 + 9,3 = 79,3^{\circ}C$

B) Pérdidas de carga

La dependencia de la pérdida de carga del colector (PC_{COL}) con el caudal másico (m_{COL}) se determina experimentalmente en un ensayo que mide la caída de presión a través del colector en función del caudal de agua y que permite determinar los parámetros a_1 y a_2 de la función exponencial:

$$PC_{COL} = a_1 \cdot m_{COL} + a_2 \cdot m_{COL}^2$$

Se presenta en la figura adjunta una representación gráfica de la pérdida de carga de distintos tipos de circuitos en absorbedores.

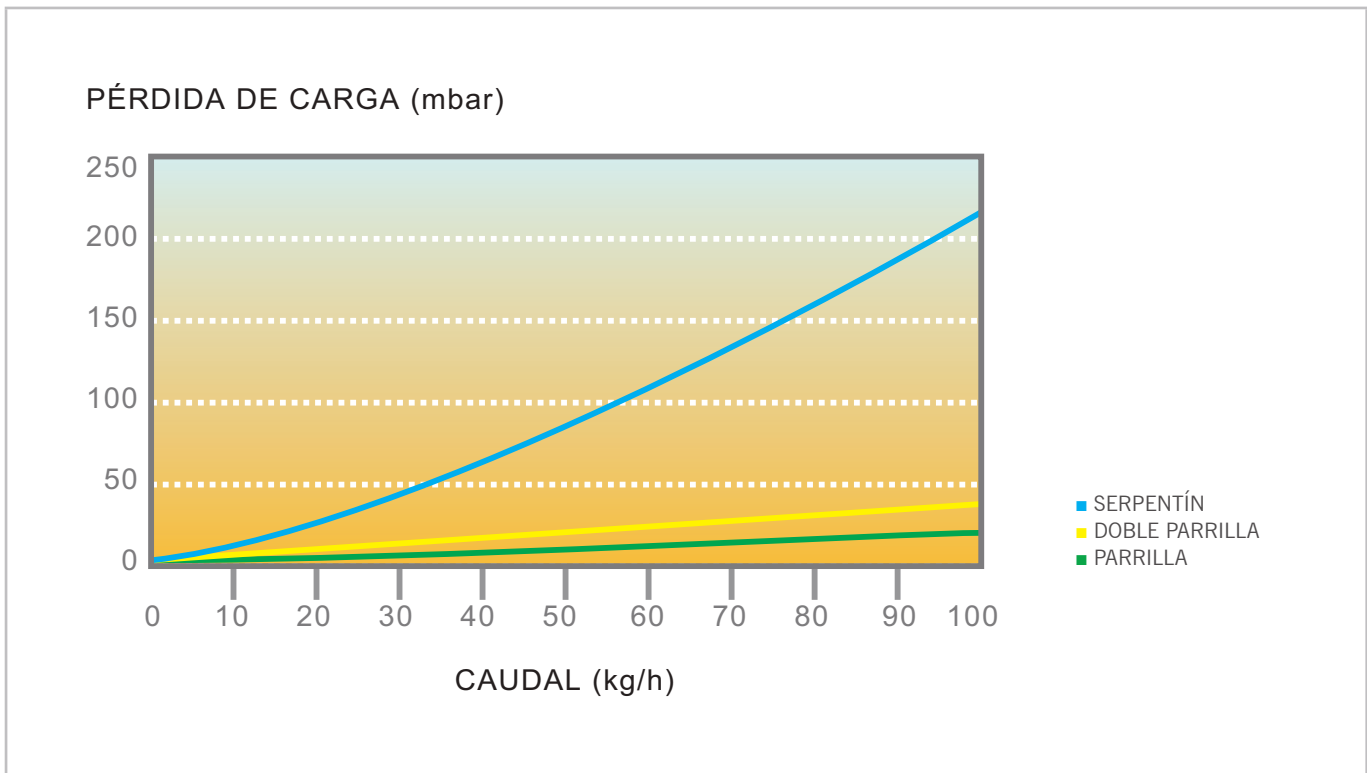


FIGURA 3-13
PÉRDIDA DE CARGA EN FUNCIÓN
DEL CAUDAL MÁSSICO PARA TRES
TIPOS DE ABSORBEDORES

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

Ejemplo: Si se calcula la pérdida de carga de los colectores representados en el gráfico anterior para un caudal de 80kg/h, se pueden comparar los valores obtenidos y comprobar que las pérdidas de carga son pequeñas en el absorbedor de parrilla (8 mbar), aumentan en el de doble parrilla (27mbar) y aumentan más en el de serpentín (154mbar). Estos valores pueden cambiar en función de los diámetros de las tuberías.

3.1.5. Temperatura de estancamiento

Cuando no circula el fluido por el colector, aumenta la temperatura de éste y aumentan las pérdidas térmicas, hasta que llega un momento en que las pérdidas térmicas se igualan con la radiación solar incidente alcanzándose un equilibrio térmico.

Se define la temperatura de estancamiento de un colector solar como la temperatura que alcanza cuando, expuesto a unas determinadas condiciones de irradiancia incidente y de temperatura ambiente, no circula a través de él el fluido contenido en el mismo. De acuerdo a la norma UNE-EN 12.975 la temperatura de estancamiento está referida a una irradiancia incidente de $1000 [W/m^2]$ y a una temperatura ambiente de $30^{\circ}C$.

Las temperaturas típicas de estancamiento, según las condiciones anteriores, suelen rondar los $120^{\circ}C$ para colectores con tratamiento de pintura negra y los $160^{\circ}C$ para colectores selectivos.

La temperatura de estancamiento es una característica intrínseca del colector y se puede deducir de su curva de rendimiento cuando el rendimiento es cero.

La importancia de este valor radica en que es la temperatura máxima que puede alcanzar el colector en una instalación solar y deben adoptarse las medidas necesarias para que no afecte al resto de componentes. Mientras menor sea la inercia del colector más rápido se alcanza la temperatura de estancamiento.

Ejemplo: Calcular la temperatura de estancamiento de los colectores solares CS1, CS2 Y CS3 que tiene las funciones de rendimiento indicadas:

- Si la irradiancia incidente es de 1.000W/m^2 y la temperatura ambiente de 30°C :

$$T_{EST}(CS1)=108^\circ\text{C}$$

$$T_{EST}(CS2)=146^\circ\text{C}$$

$$T_{EST}(CS3)=180^\circ\text{C}$$

- Si la irradiancia incidente es de 1.100W/m^2 y la temperatura ambiente de 45°C :

$$T_{EST}(CS1)=130^\circ\text{C}$$

$$T_{EST}(CS2)=169^\circ\text{C}$$

$$T_{EST}(CS3)=204^\circ\text{C}$$

Para cada caso, sería necesario resolver la ecuación que resulta haciendo $\eta = 0$; por ejemplo, la primera ecuación sería: $0 = 850 - 8,5 X - 0,030 X^2$

Y se terminaría calculando posteriormente: $T_{EST} = X + T_{AMB} = X + 30$

3.1.6. Certificación del colector solar

La certificación de un colector solar representa la acreditación por terceros de que ha sido sometido a los ensayos recogidos en una determinada norma y dispone de un certificado que lo acredita.

Por lo general, hay solo un organismo gubernamental autorizado que elabora los procedimientos según la norma a certificar y que, a su vez, autoriza a centros de testeo y laboratorios a entregar la certificación que ellos manejan de acuerdo con la norma de referencia.

A) Procedimiento de certificación

En Chile, los sistemas de certificación de productos eléctricos y combustibles son regulados por la Superintendencia del ramo, la SEC, quien por las atribuciones conferidas en la Ley 20.365 en su artículo 9, establece y administra el registro de CST y DA con la finalidad de que las empresas puedan acceder a ese beneficio tributario y controlar su correcto uso. Con ello indica los requisitos que los productos deben cumplir para su posterior registro y de esta manera busca asegurar un estándar de calidad mínimo para los productos solares térmicos con derecho al beneficio; que en lo general queda establecido en la RE N°1150 y disposiciones complementarias emitidas por esa autoridad.

La SEC, dentro de sus atribuciones tiene también la de fiscalizar el cumplimiento del reglamento y norma técnica que establece la Ley 20.365, para aquellas instalaciones que hagan uso del beneficio tributario que establece dicha ley.

Otros organismos relacionados con la certificación, registro y apoyo de fiscalización son:

El INN, que entre sus funciones tiene a cargo la homologación de normativas, la acreditación de organismos certificadores y de los laboratorios de ensayos de productos componentes de un SST, específicamente de CST, CST-Integrados (CSTI) y DA.

Los Organismos de Certificación de estos productos, que son entidades privadas independientes autorizadas o reconocidas por la SEC para desarrollar dicha actividad, y son por tanto los encargados de autorizar u homologar la certificación de CST, CSTI y DA de acuerdo a los procedimientos establecidos por la autoridad. A la vez son los encargados de llevar el registro de estos productos

El Laboratorio de Ensayos, que es una persona jurídica nacional o extranjera, autorizada por la autoridad competente para validar certificaciones de productos de origen o medir, examinar y ensayar CST, CSTI y DA, en las instalaciones autorizadas para tal fin. Es entonces el encargado de emitir el certificado de validación o rechazo del cumplimiento de las normas y protocolos establecidos a nivel nacional e internacional cuando corresponda

Finalmente, los Organismos de Inspección, entidades privadas independientes, son autorizados por la SEC para realizar inspección, pruebas y ensayos de los SST en las viviendas que hayan hecho uso del beneficio tributario que señala la ley, de acuerdo a los procedimientos establecidos por la autoridad antes mencionada.

B) Norma de ensayo

Para garantizar los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad, las normas establecen una serie de ensayos a los que deben ser sometidos los colectores solares. La norma UNE, por ejemplo, establece los siguientes ensayos:

- Presión interna del absorbedor
- Resistencia a alta temperatura
- Exposición
- Choque térmico externo
- Choque térmico interno
- Penetración de lluvia
- Carga mecánica
- Rendimiento térmico
- Resistencia antiheladas
- Temperatura de estancamiento
- Resistencia al impacto (opcional)

Asimismo, la norma establece los criterios de aceptación y se consideran fallos graves los siguientes:

- Las fugas en el absorbedor o deformaciones de forma tal que se establezcan contactos permanentes entre el absorbedor y la cubierta
- La rotura o deformación permanente de la cubierta o las fijaciones de la misma
- La rotura o deformación permanente de los puntos de fijación del colector o de la carcasa
- La pérdida de vacío (sólo aplicable a colectores de vacío)
- La acumulación de humedad en forma de condensado en el interior de la cubierta transparente

3.1.7. Criterio de Selección

Los factores a considerar para la elaboración de criterios para la selección de un colector solar son:

1. La disponibilidad de un certificado del colector
2. **Los resultados del ensayo:** fundamentalmente los parámetros de rendimiento del colector y la pérdida de carga
3. **Los materiales que lo componen:** espesor y calidad del vidrio, materiales del absorbedor y su circuito hidráulico, formas de conexionado exterior, características de aislación y materiales de la carcasa
4. La facilidad para constituir baterías de colectores y los tipos de accesorios de conexión y de sujeción, así como los procedimientos de trabajo a utilizar
5. La capacidad de adaptación a la estructura de soporte, al edificio y a las condiciones generales de la instalación
6. Los requisitos del fluido de trabajo que se pueda utilizar
7. La disponibilidad de un manual de instrucciones claro
8. Las condiciones de mantención previstas en el manual
9. Las formas de embalaje, transporte y almacenaje previstos
10. Las condiciones y los plazos de la garantía del fabricante y del distribuidor
11. Las referencias de instalaciones en los que se ha utilizado y los años de experiencia constatable
12. El costo de adquisición del colector y de los accesorios necesarios para su montaje y acoplamiento
13. Los costos de transporte y montaje. Incluso las diferencias de costos de la instalación asociada a cada caso
14. Las prestaciones energéticas de la instalación. Estudiando los resultados de los programas de cálculo con distintos colectores solares y realizando un análisis comparativo de los mismos

3.2. Acumulador

El acumulador solar o depósito acumulador (DA) se utiliza para almacenar el agua caliente producida en el SST hasta que se precise su uso. Por lo tanto, debe mantener la calidad sanitaria del agua, colaborar en la buena eficiencia de la instalación y evitar las pérdidas térmicas para no perder temperatura.

3.2.1. Características constructivas y funcionales

A) Resistencia y durabilidad

Para asegurar la resistencia y durabilidad, el acumulador solar debe diseñarse de forma que:

- Soporte las condiciones extremas de presión, cumpliendo con el reglamento de DA y disponiendo de la correspondiente placa de identificación.
- Soporte las máximas temperaturas que se puedan alcanzar, incluso teniendo en cuenta las posibles fallas de otros componentes de la SST o tener prevista su eventual reparación.
- Quede protegido contra la corrosión interna para asegurar la máxima durabilidad del tratamiento interior. Se pueden utilizar equipos de protección catódica permanente o ánodos de sacrificio recambiables. A los efectos de protección catódica de los acumuladores se recomienda seguir la Norma UNE-EN 12.499.
- Quede protegido efectivamente contra las condiciones climáticas exteriores que pueden afectar tanto a las pérdidas térmicas como a la corrosión externa.

B) Estratificación

El agua del acumulador, cuando se calienta, disminuye su densidad y tiende a subir mientras el agua fría, más densa y pesada, tiende a bajar. 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. Este efecto, denominado estratificación, es siempre deseable dado que permite disponer del agua más caliente en la parte superior del acumulador para alimentar al sistema de apoyo, mientras que el agua más fría se acumula en la parte inferior para ser calentada por la energía solar, lo que se realizará con mayor rendimiento mientras más baja sea la temperatura.

Para mejorar la estratificación se deben incorporar medidas que la favorezcan y evitar, o reducir, los efectos que la destruyen. Son recomendables las siguientes:

- Utilizar la disposición vertical, con relaciones altura/anchura superiores a 2 siempre que sea posible, ya que se favorece el movimiento vertical y se disminuye la superficie de transferencia de calor hacia abajo.
- Introducir el agua fría de consumo por la parte inferior y la salida de agua caliente al sistema de apoyo por la parte superior.
- Es conveniente que la situación y la geometría de la cañerías de entrada de agua fría y de salida de agua caliente, reduzcan al mínimo los volúmenes “no útiles” en los fondos del acumulador.
- Reducir la velocidad de entrada de agua fría aumentando los diámetros de entrada y utilizando elementos deflectores o difusores en la entrada para evitar las mezclas.
- Es conveniente que la tubería de salida hacia el consumo tome el agua de la parte superior del acumulador (ver figura 3-14) 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 de la tubería de salida vuelva al acumulador rompiendo la estratificación, cuando se enfría porque no hay consumo.

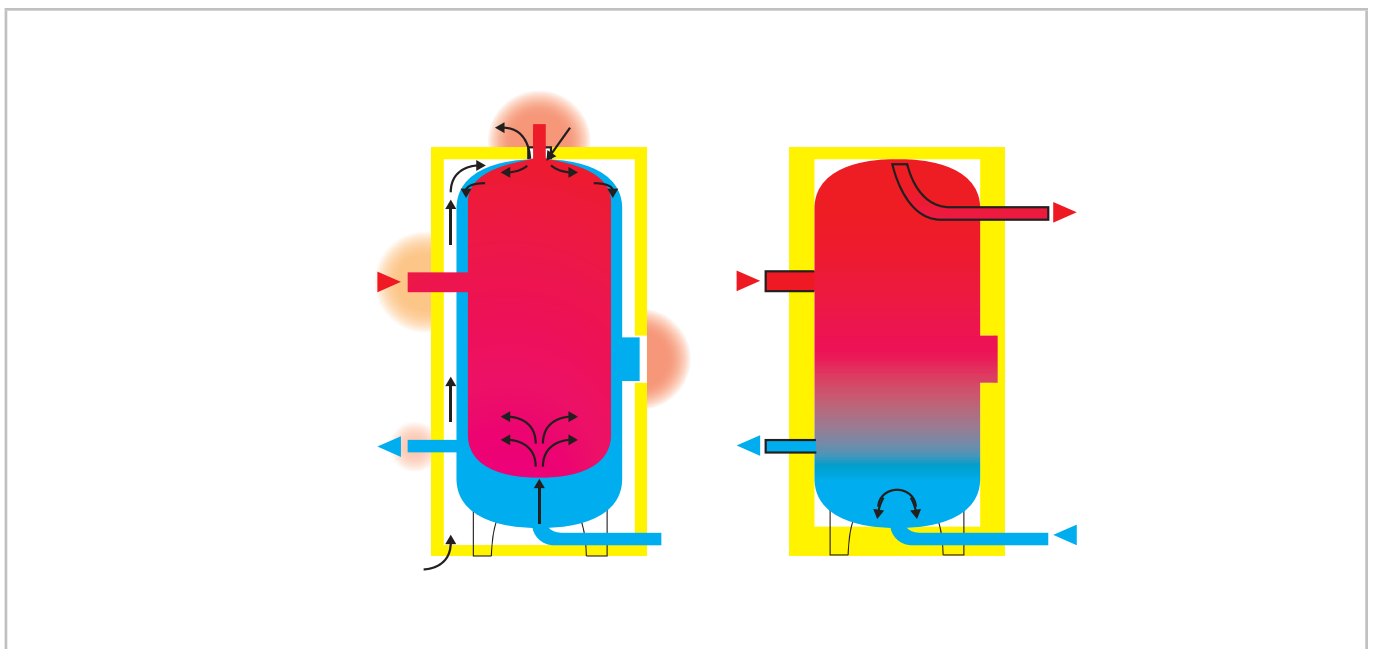


FIGURA 3-14
ESQUEMA DE PÉRDIDAS
TÉRMICAS Y CONEXIONES DE UN
ACUMULADOR SOLAR

C) Pérdidas térmicas

Para disminuir las pérdidas térmicas y aumentar notablemente el rendimiento de la instalación, ha de cubrirse toda la superficie exterior del acumulador, cañerías y bocas de conexión con material aislante adecuado y correctamente sellado. Este material, en caso de que el acumulador esté situado al exterior, ha de ser también resistente a la humedad y a la radiación solar, o se ha de colocar sobre él algún tipo de recubrimiento exterior resistente a estos dos factores (aluminio, poliéster, etc.). Para disminuir las pérdidas térmicas, también se recomienda emplear acumuladores en los que el cociente entre la superficie exterior y el volumen sea bajo. En este sentido, resulta más adecuado el empleo de un único acumulador frente a varios.

Los requisitos de aislación que se establezcan se pueden cumplir con acumuladores que estén totalmente contruidos, aislados y terminados en fábrica o bien con acumuladores que expresamente se construyan, aislen y terminen en la obra. Sin embargo, son preferibles los primeros.

3.2.2. Clasificación de Acumuladores

Los acumuladores se pueden clasificar atendiendo a su disposición y a la disponibilidad, o no, de intercambiador de calor incorporado.

A) Disposición del Acumulador

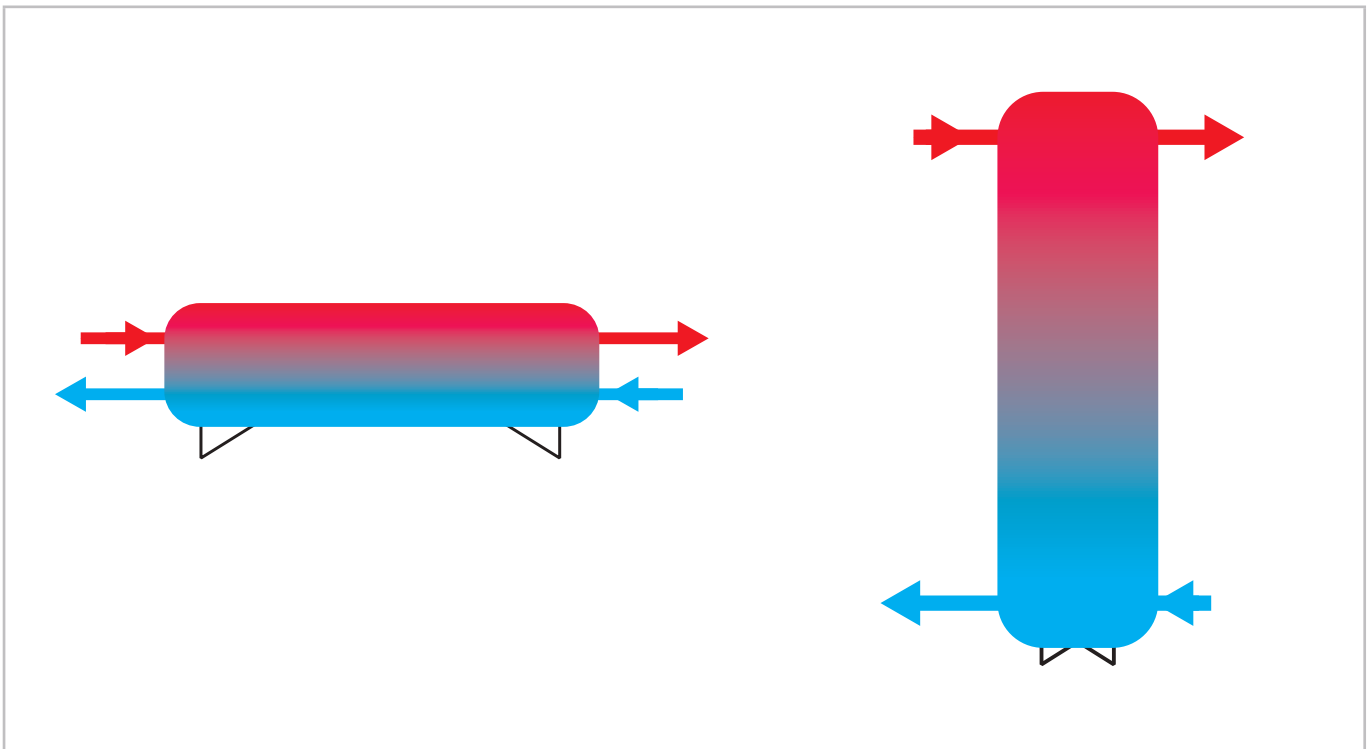


FIGURA 3-15
DISPOSICIÓN DEL ACUMULADOR
(HORIZONTAL Y VERTICAL)

El acumulador solar puede tener una disposición horizontal o vertical en función de la posición del eje mayor del mismo. La disposición afecta significativamente a la distribución vertical del gradiente de temperaturas (estratificación) y a la circulación interna del agua caliente que dificulta (horizontal) o favorece (vertical) la estratificación.

En el acumulador horizontal la temperatura del agua acumulada es bastante homogénea, es decir, tiene poca estratificación, y necesita más energía para llegar a temperaturas más altas. En cambio, en el acumulador vertical se logran temperaturas heterogéneas mucho mayores en la parte superior del acumulador y bajas en la base del acumulador, en otros términos, una alta estratificación.

En general, deben disponerse acumuladores verticales y sólo se utilizarán acumuladores horizontales cuando no sean posibles los verticales, habitualmente por limitaciones de altura o por problemas de distribución de cargas.

B) Disponibilidad de intercambiador de calor

Los acumuladores solares pueden disponer de un intercambiador incorporado y realizar la doble función de intercambio y acumulación (normalmente se les denomina interacumuladores) o realizar sólo la función de un acumulador. En este caso, el SST requiere un intercambiador externo o independiente para separar los circuitos primario y secundario.

Los interacumuladores disponen de un intercambiador de calor incorporado, éste está diseñado para transferir el calor del fluido del circuito primario al agua contenida en el acumulador. Hay distintos tipos de intercambiadores de calor internos, como los de doble envolvente o los de haz de tubos, pero los más usados son los de serpentín.



FIGURA 3-16
ACUMULADORES CON
INTERCAMBIADOR DE SERPENTÍN
Y DE DOBLE ENVOLVENTE

El intercambiador de calor interno se dispone, normalmente, en la parte baja del acumulador. Allí, el agua está más fría y a medida que se va calentando sube de forma natural favoreciendo la estratificación. El uso de interacumuladores está limitado por las necesidades de espacio para el intercambiador a los tamaños que se fabrican (pueden llegar hasta los 5 ó 6.000 litros).

Los acumuladores sin intercambiador, además de las conexiones para entrada de agua fría y salida de agua caliente del circuito de consumo, deben disponer de conexiones de entrada y salida para el circuito secundario.

En estos acumuladores, la estratificación está afectada por el movimiento del agua que produce el circuito secundario. Por ello se deben adoptar medidas para favorecer la estratificación y evitar la mezcla:

- En acumuladores verticales, la unión de la tubería de entrada de agua caliente proveniente del intercambiador se debe localizar en la parte superior del acumulador, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del acumulador. De esta forma, si el agua está más caliente que la del acumulador se irá hacia arriba pero si está más fría se irá hacia abajo y no moverá el volumen más caliente de la parte superior.
- La tubería de salida de agua fría desde el acumulador hacia el intercambiador o los colectores, debe estar acoplada al acumulador en la parte inferior de éste, preferentemente, a una altura comprendida entre el 5% y el 10% de la altura total del acumulador.
- Se recomienda que la alimentación de agua fría al acumulador solar se efectúe por la parte inferior, alcanzando el punto final de la tubería una altura máxima del 10% de la altura total del acumulador. Esta alimentación de agua fría estará equipada con un sistema que evite que la velocidad residual destruya la estratificación en el acumulador (difusor).
- Se recomienda realizar la extracción de agua caliente del acumulador solar por la parte superior a una altura comprendida entre el 90% y el 100% de la altura total del acumulador.

En ocasiones y para evitar las mezclas de agua a diferentes temperaturas, se utilizan diversos dispositivos especiales: entrada distribuida exterior, tubo estratificador, etc.

3.2.3. Componentes de los acumuladores solares

Los acumuladores solares pueden llegar a alcanzar temperaturas elevadas (superiores a 100°C), por tanto, es preciso que estén conformados por materiales y protecciones interiores con unas características físicas concretas. Además, de un aislamiento térmico adecuado, imprescindible para desempeñar su función.

Se debe analizar y decidir la disponibilidad y aptitud para emplear productos completamente fabricados y terminados o la necesidad de diseñar expresamente acumuladores para cada proyecto. También existen las soluciones intermedias de acumuladores utilizables a los que hay que adaptarles en obra nuevas bocas de conexión y hacerle el tratamiento interior, y/o el aislamiento y su protección exterior.

A) Materiales y protecciones internas

Además de la buena calidad de los materiales y de la correcta fabricación de los acumuladores, para garantizar la durabilidad de los mismos es imprescindible el diseño, montaje y mantención de un sistema de protección catódica adecuado. Se deben tener en cuenta los aspectos más importantes de la instalación, como son las características del agua y su posible cambio de composición con el tiempo; los regímenes de calentamiento del acumulador; la presencia de tuberías de cobre que circulen agua en el acumulador y el comportamiento del revestimiento interno.

Los materiales habitualmente empleados para los acumuladores de ACS son el acero negro con revestimiento plástico (resinas epoxi), el acero negro vitrificado y el acero inoxidable. En determinadas situaciones, en función de la calidad del agua y cuando se tienen garantías de que el agua caliente no va a superar los 60°C, se podrían utilizar acumuladores de acero galvanizados en caliente. Pero, generalmente, no se aconseja su uso.

- **Acero negro con revestimiento plástico**

Los revestimientos plásticos más utilizados son las resinas epoxi, éstas son termoplásticos endurecidos químicamente y se obtienen por mezcla de dos componentes, que por unos agentes endurecedores, reaccionan y dan lugar a una sustancia muy dura y resistente. Ésta se adhiere internamente al acero para separarlo del agua.

Son productos que presentan una buena resistencia mecánica y resistencia, tanto frente a agentes químicos (ácidos, álcalis, disolventes, etc.), como a la intemperie y a la abrasión. Tienen una buena resistencia a la exposición continua al agua, incluso a altas temperaturas (pueden resistir adecuadamente hasta temperaturas de 80/90°C). Presentan una gran adherencia al acero una vez endurecidas, y la conservan durante un largo periodo de exposición, resistiendo altas presiones debido a su elasticidad. La durabilidad de estos acumuladores depende en gran medida de las precauciones tomadas para evitar la aparición de poros en el revestimiento plástico durante su aplicación.

- **Acero negro vitrificado**

El esmalte vitrificado del acero es un recubrimiento inorgánico a partir de boroaluminio-silicatos que se funden a alta temperatura sobre el acero en una o varias capas. El revestimiento de esmalte contiene partículas de magnesio o cualquier otro material anódico que actúa como protección catódica, presentando así un buen comportamiento frente a la corrosión. La resistencia a altas temperaturas, que pueden llegar a ser superior a 120°C está más relacionada con las dilataciones del acero y del vitrificado que por la propia resistencia de éste (que puede llegar a más de 800°C). El vitrificado aporta al acero, además, cierta dureza y resistencia a detergentes y sustancias ácidas, facilitando la limpieza del interior del acumulador. Por el contrario, aumenta su fragilidad. Entonces, habitualmente se recomienda tomar precauciones especiales durante el transporte para evitar impactos que deterioren esta protección.

- **Acero inoxidable**

Presentan un buen comportamiento frente a la corrosión pero hay que tener mucha precaución con la calidad del acero y de las soldaduras de unión. Soportan temperaturas muy elevadas (alrededor de 200°C) sin ningún tipo de problemas. Suelen necesitar menos mantención que los anteriores y son más ligeros que los acumuladores de acero vitrificado. Sin embargo, su costo es más elevado.

B) Aislación térmica y su protección externa

Dada la importancia de las pérdidas térmicas de los acumuladores de ACS que se pueden encontrar durante muchas horas y con una temperatura superior al ambiente, es necesario que los acumuladores de agua caliente dispongan de un buen aislamiento térmico.

A los materiales aislantes térmicos se les exige baja conductividad térmica, peso específico reducido, alta resistencia mecánica y buen comportamiento frente al calor, el fuego, la corrosión y las condiciones exteriores (humedad y radiación). Se utilizan cada vez con más frecuencia los materiales libres de CFCs (compuestos clorofluorocarbonados) por ser, además de eficaces, medioambientalmente adecuados.

Entre los materiales habitualmente empleados se pueden distinguir los de tipo inorgánicos fibrosos (lana de roca, fibra de vidrio, etc.) y los orgánicos celulares (poliuretano, espuma elastomérica, etc.).

El aislamiento del acumulador debe protegerse en su parte exterior, en función de la ubicación de éste para asegurar su funcionamiento durante un periodo de vida adecuado. Generalmente se utiliza algún revestimiento exterior de aluminio, poliéster, etc., que proteja de la radiación solar, de la lluvia y de la humedad.

Además del aislamiento de la superficie externa del acumulador es preciso evitar los puentes térmicos, que fundamentalmente se producen en las bocas de conexión de cañerías y en las tapas metálicas no aisladas, mediante la utilización de elementos adicionales adecuados.



FIGURA 3-17
DISTINTAS PROTECCIONES Y
TERMINACIONES EXTERNAS DE
LOS ACUMULADORES

3.2.4. Criterio de Selección

Aunque los acumuladores utilizados en las instalaciones solares térmicas pueden ser similares a los empleados para producción de ACS en sistemas convencionales, se deben evaluar los criterios específicos que definen su correcto funcionamiento y su durabilidad para decidir su selección. Entre ellos se encuentran:

1. La disponibilidad de un certificado del acumulador
2. El cumplimiento de los requisitos exigidos para mantener la potabilidad y calidad del ACS
3. La capacidad de trabajar adecuadamente dentro de los márgenes de presión y temperatura previstos
4. Las dimensiones en relación con los espacios disponibles para su ubicación definitiva y para su traslado durante la instalación
5. Los materiales constructivos y protecciones interiores
6. La compatibilidad con el resto de materiales de la instalación
7. El aislamiento térmico definido por el tipo, material y espesor (y/o evaluando pérdidas térmicas) y sus protecciones exteriores en relación con el procedimiento de traslado y el lugar de ubicación
8. El sistema de protección catódica
9. La disposición del depósito acumulador, forma y relación superficie/volumen
10. La disponibilidad de todas las bocas necesarias para entradas y salidas de agua, así como para elementos de medida, de vaciado y de purga
11. La situación de conexiones de entrada y salida, así como formas de conexión y uso de dispositivos
12. La existencia de medidas y dispositivos para favorecer la estratificación
13. Los costos de adquisición, traslado y montaje, incluyendo los costos de accesorios adicionales, de conexión de cañerías y de mantención
14. Plazos y condiciones de garantía ofrecidas por el fabricante y el distribuidor

3.3. Red hidráulica

Se incluyen en la red hidráulica al resto de elementos necesarios para interconectar todos los componentes y constituir los circuitos primario, secundario y de consumo.

Para aprobar su uso, el fabricante de cada componente deberá facilitar la información necesaria relativa a las presiones y temperaturas máximas que soporta, así como a la compatibilidad con otros materiales y con el fluido de trabajo. Asimismo, para los componentes que se instalen al exterior, deberá verificarse que están expresamente diseñados para soportar las condiciones exteriores.

Se han desarrollado los denominados grupos de transferencia que son sistemas prefabricados que incluyen una gran parte de los componentes principales de la red hidráulica. Son equipos que proporcionan una gran fiabilidad de funcionamiento y una reducción de costos de instalación.



FIGURA 3-18
GRUPOS DE TRANSFERENCIA
PREFABRICADOS

3.3.1. Intercambiador de calor

El intercambiador es el componente que separa circuitos con distintos fluidos y permite realizar la transferencia de calor entre ellos. El fabricante del intercambiador deberá facilitar, además de los datos generales anteriormente referidos, la potencia, los caudales y los saltos de temperatura de los circuitos así como la superficie de intercambio térmico.

El uso de los intercambiadores tiene las siguientes ventajas para las instalaciones:

- Permite utilizar mezclas de agua con anticongelante como fluido de trabajo en el circuito primario evitando de esta manera los problemas de heladas.
- Evita la existencia de depósitos calcáreos en el circuito primario, especialmente en los colectores, cuando existen aguas duras.
- Disminuye el riesgo de corrosión en el circuito primario ya que, si no existen renovaciones continuas de agua, es mínimo el contenido de oxígeno disuelto en agua y, además, permite utilizar inhibidores de la corrosión.

A) Intercambiador externo

Los intercambiadores de calor externos normalmente utilizados son los de placas, dada su alta potencia específica de transmisión, pequeño tamaño en relación a su área de transferencia de calor y bajo precio. Debe ponerse especial cuidado a la pérdida de carga y evitar su ensuciamiento para que no pierda su capacidad de transmisión de calor.

Los intercambiadores pueden ser de placas de cobre, de acero inoxidable o de titanio, bien desmontables o bien electrosoldadas.

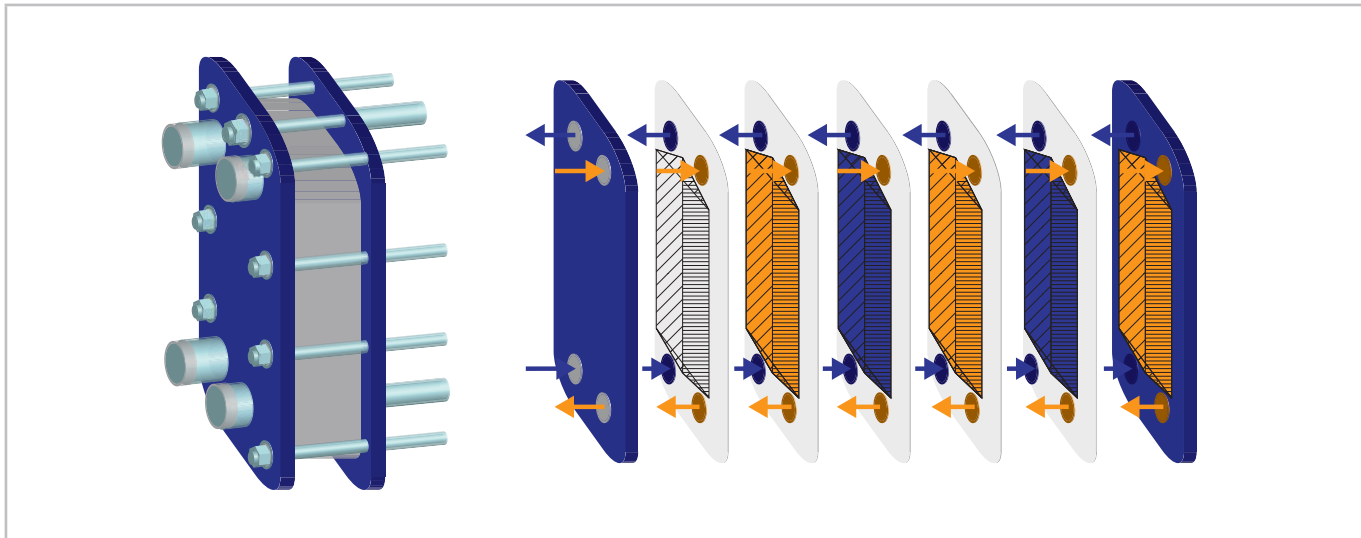


FIGURA 3-19
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE
PLACAS

B) Intercambiador interno

Los intercambiadores de calor interno son, normalmente, de tipo serpentín construido con cañería de cobre o de acero inoxidable. Para acumuladores no muy grandes se utilizan, como ya se indicó, los intercambiadores de doble envolvente como se muestra en la siguiente figura.

3.3.2. Bomba de circulación

Las bombas de circulación, accionadas por un motor eléctrico, se encargan de mover el fluido en el circuito. Son del tipo en línea, de rotor seco o húmedo, y deberán ajustarse a las condiciones de operación para su mejor y eficiente funcionamiento.

Los materiales de la bomba deben cumplir todos los requisitos generales especificados y, en particular, para los circuitos de ACS, deben ser resistentes a la corrosión y a los depósitos calcáreos que puedan producirse.



FIGURA 3-20
BOMBAS DE CIRCULACIÓN

3.3.3. Cañerías

Las cañerías interconectan hidráulicamente todo los componentes y canalizan el movimiento de los fluidos. Para la adecuada selección de los materiales es importante tener en cuenta que:

- En el circuito primario se debe utilizar cañerías de cobre, de acero inoxidable o de acero negro. Las cañerías de materiales plásticos no deberían utilizarse en circuitos primarios a no ser que existan plenas garantías de que van a soportar las condiciones extremas de presión y temperatura del circuito.
- En los circuitos secundarios y de consumo podrán utilizarse cobre y acero inoxidable. Las cañerías de materiales plásticos podrán utilizarse si son de materiales compatibles con el ACS y si garantizan su durabilidad en las condiciones de presión y temperatura que van a tener los circuitos.

Las cañerías de cobre serán fabricadas a base de tubos estirados en frío y sus uniones serán realizadas por accesorios a presión o mediante soldadura por capilaridad teniendo en cuenta que se utilizará soldadura fuerte cuando la temperatura del circuito pueda superar en algún momento los 125°C, lo que ocurre normalmente en todo el circuito primario.

Se tomarán las medidas necesarias para garantizar la compatibilidad y durabilidad de la instalación cuando se utilicen materiales diferentes.

3.3.4. Estanque de expansión

Es el dispositivo que absorbe las variaciones de volumen y presión en un circuito cerrado causadas por las variaciones de temperatura del fluido circulante. Corresponde a un depósito dividido en dos partes mediante una membrana elástica. A un lado de la membrana se encuentra el fluido de trabajo correspondiente en estado líquido y en el otro aire o un gas inerte como el nitrógeno. Al dilatarse el fluido aumenta la presión y la membrana se desplaza comprimiendo el aire del otro lado.

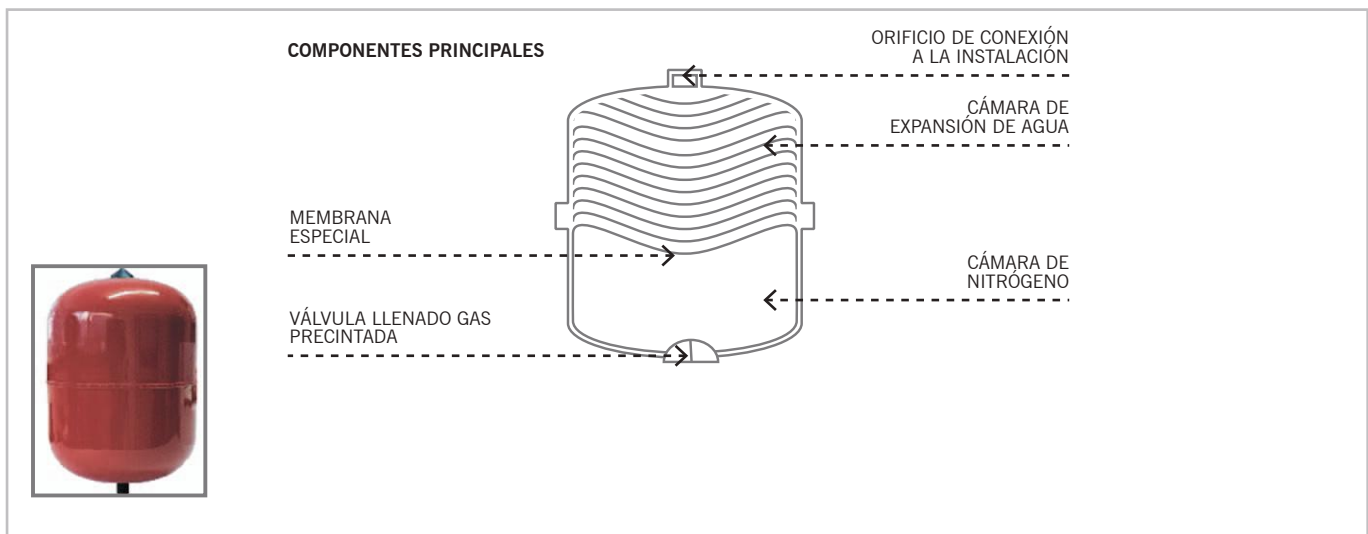


FIGURA 3-21
BOMBAS DE CIRCULACIÓN

La presión inicial en el lado del aire viene preestablecida por el fabricante pero debe ser ajustada a las condiciones de la instalación. Se recomienda que la presurización se realice con nitrógeno ya que el uso de aire, por la mezcla de oxígeno y humedad que incorpora, puede oxidar el interior y reducir la vida útil del mismo.

Se debe poner especial atención a la resistencia de la membrana a los componentes anticongelantes así como a su resistencia a la temperatura y esfuerzos mecánicos correspondientes. En cualquier caso, el sistema de expansión debe ser de calidad alimentaria en el circuito secundario, ya que trabajará con agua potable.

3.3.5. Válvulas

Las válvulas utilizadas en las instalaciones de energía solar térmica pueden ser de los siguientes tipos:

- **Válvula de esfera o de bola:** Se emplean para abrir o cerrar el paso de fluido a través de una tubería lo que permite independizar componentes aislándolos del resto del circuito. 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.

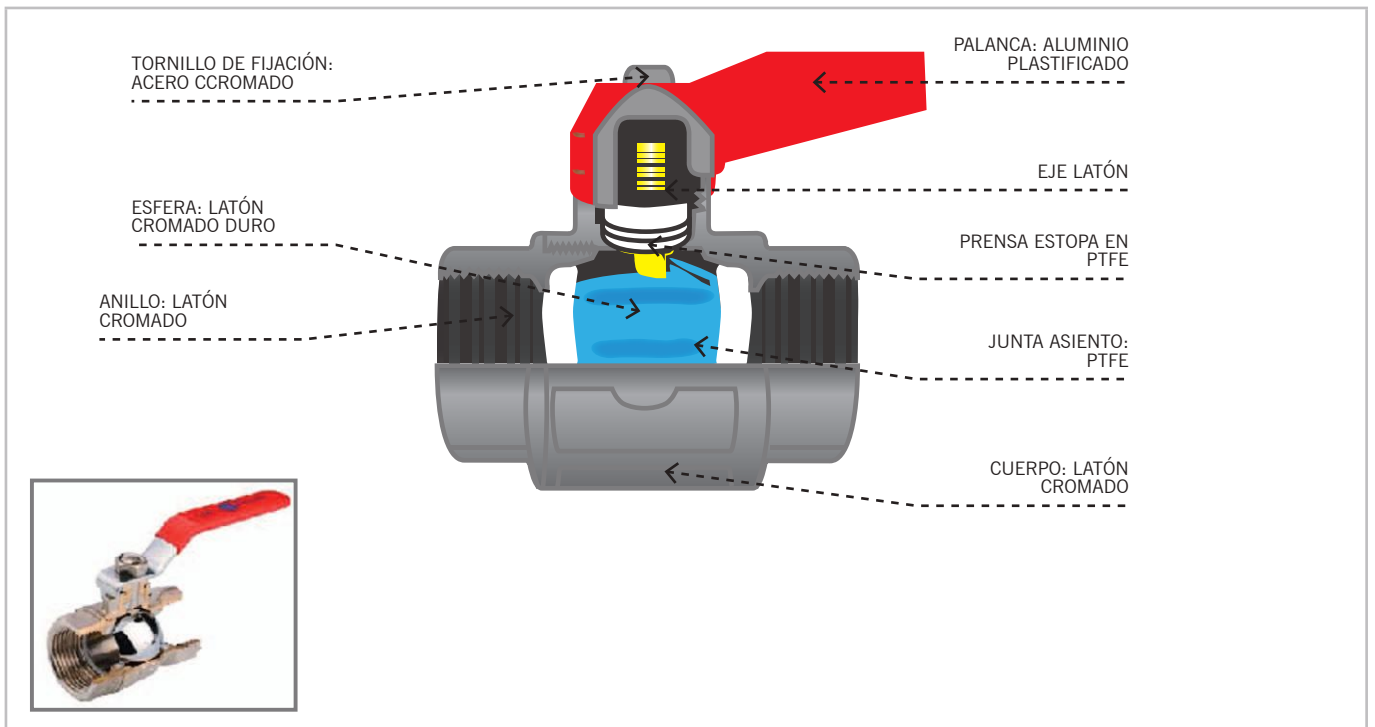


FIGURA 3-22
VÁLVULA DE ESFERA O DE BOLA

- **Válvula de seguridad:** Se utilizan para expulsar fluido de trabajo al exterior del circuito y así evitar presiones más elevadas. Son válvulas de resorte y 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.

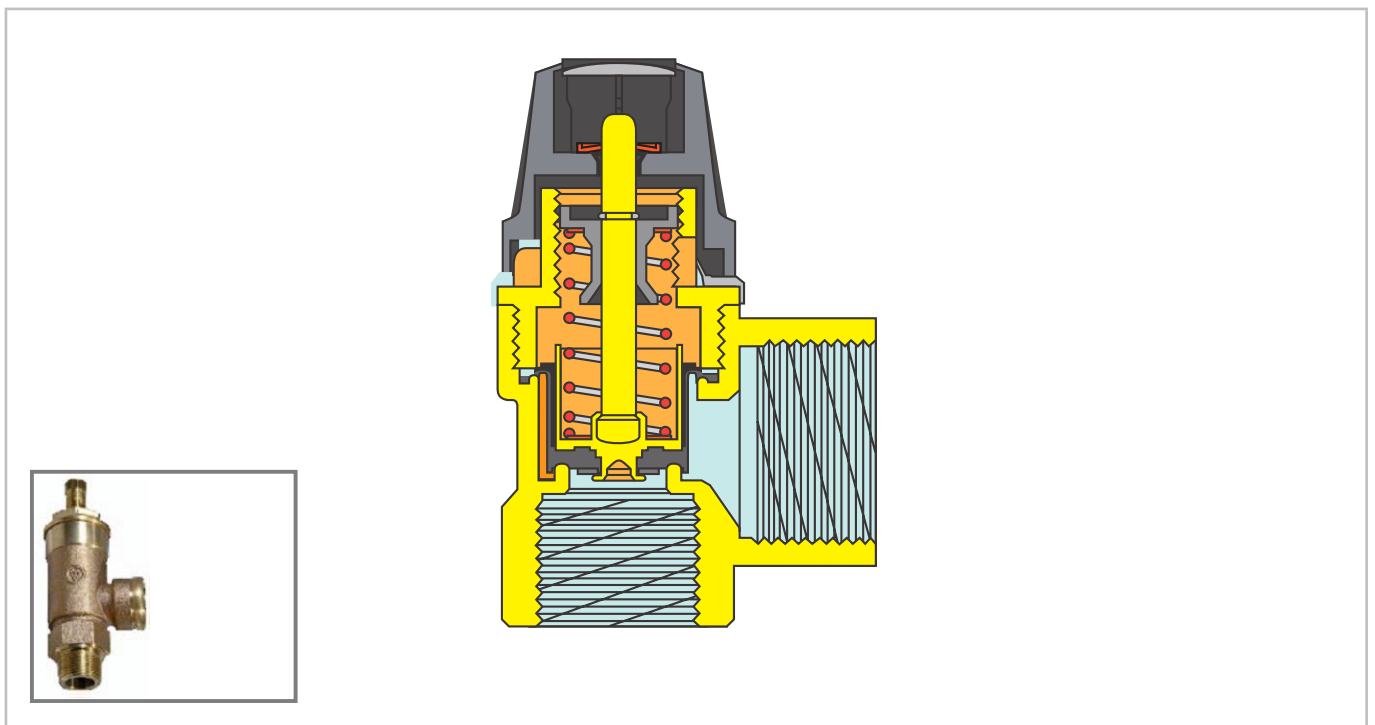


FIGURA 3-23
VÁLVULA DE SEGURIDAD DE
ESCAPE CONDUcido

- **Válvula antiretorno:** impide el paso de fluido en un sentido y permite la circulación en el otro. Suelen ser de clapeta, de muelle o de disco. Es importante que no generen una elevada pérdida de carga en el circuito.

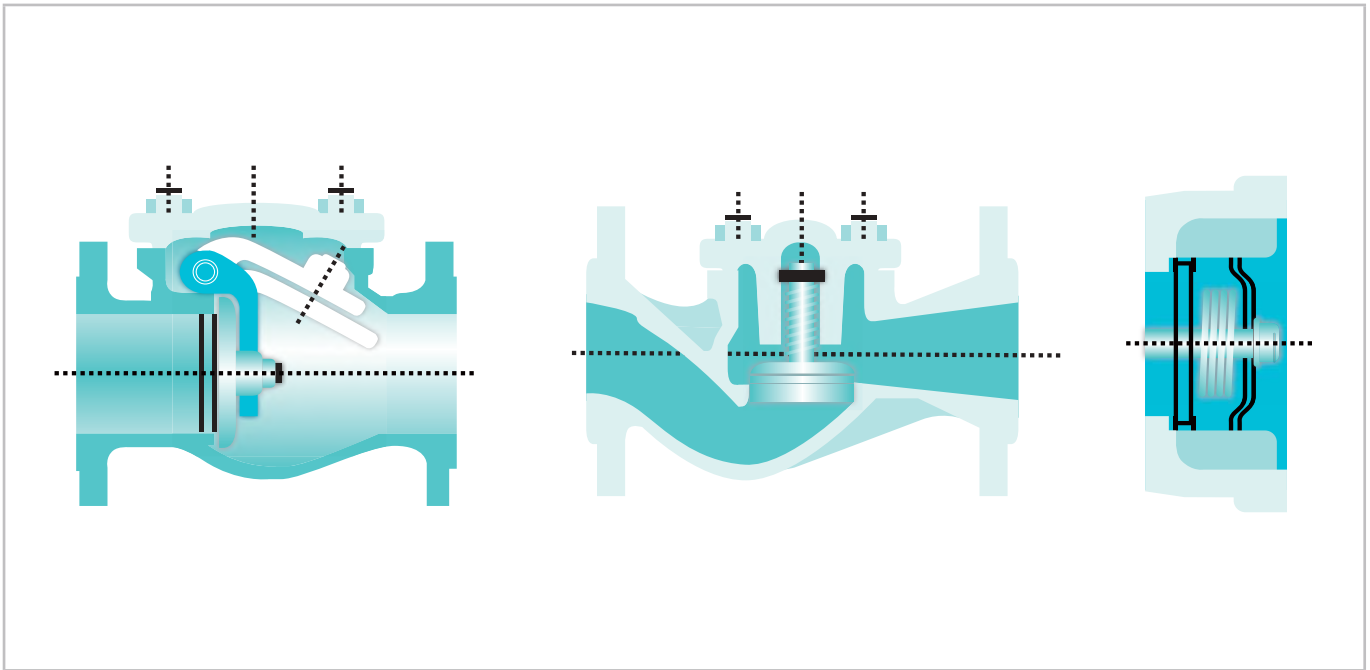


FIGURA 3-24
VÁLVULAS DE RETENCIÓN O
ANTIRRETORNO

- **Válvula de equilibrado:** se utilizan para controlar y regular los caudales lo que permite equilibrar hidráulicamente los circuitos. Puede ser manual o automática.



FIGURA 3-25
VÁLVULAS DE EQUILIBRADO

- **Válvula de llenado automático:** sirve para introducir agua y mantener la presión mínima como sistema de alimentación del circuito primario.



FIGURA 3-26
VÁLVULA DE LLENADO
AUTOMÁTICO

- **Válvula motorizada de 2 ó 3 vías:** son válvulas, normalmente de asiento, que actuadas por un servomotor del tipo todo-nada permiten modificar los circuitos en operación.

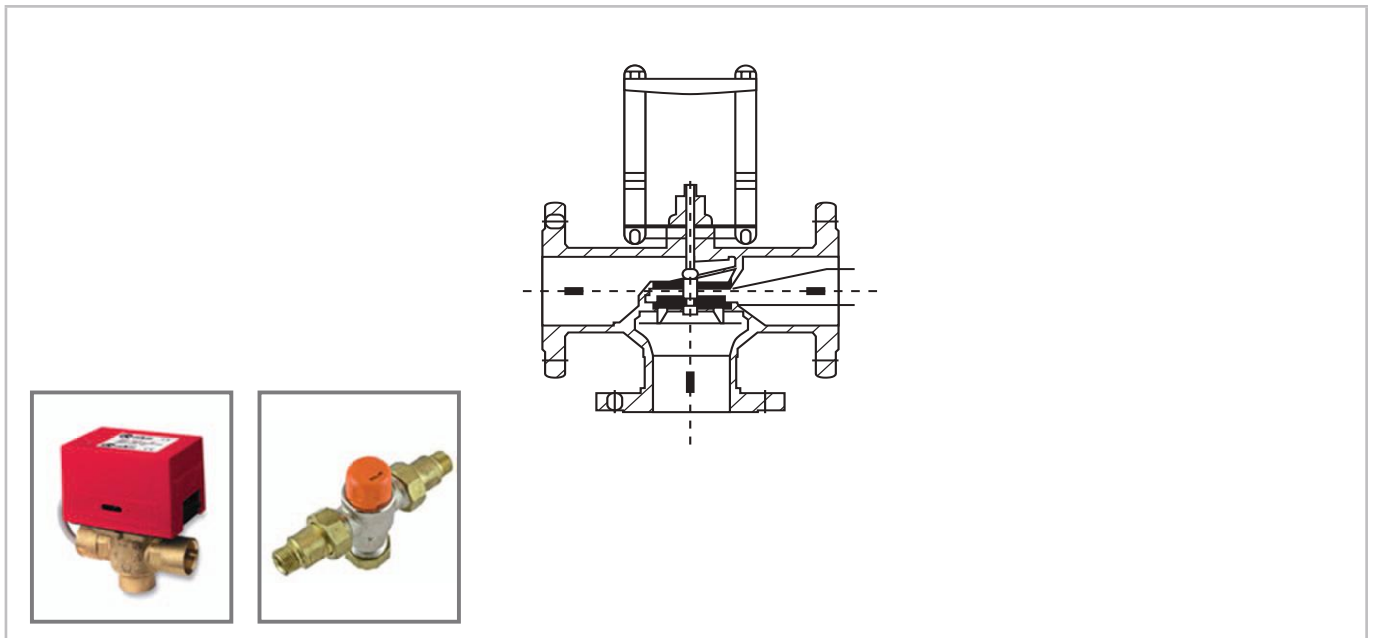


FIGURA 3-27
VÁLVULA DE TRES VÍAS

- **Válvula mezcladora termostática:** son válvulas de tres vías que mezclando agua a dos temperaturas diferentes permiten regular la temperatura de salida.

3.3.6. Purgador de aire automático

Es un dispositivo que permite la salida del aire de los circuitos. Este puede ser manual o automático y debe resistir la temperatura máxima del fluido, por lo que el flotador no debe ser de plástico sino de acero inoxidable. Los purgadores también deben ser resistentes a la intemperie.

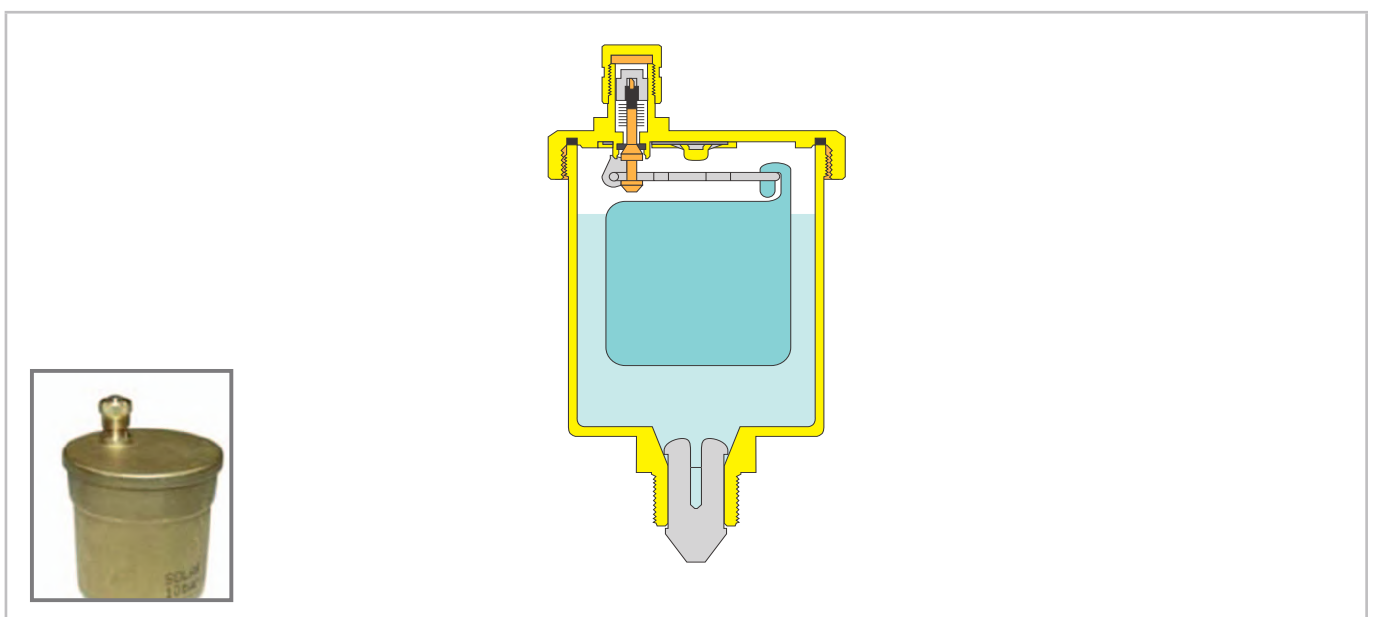


FIGURA 3-28
PURGADOR AUTOMÁTICO DE AIRE

3.3.7. Equipos de medida

Además de los elementos de medida de tipo electrónico que las instalaciones puedan disponer integrados en el sistema de control o de telemonitorización, la instalación solar térmica debería disponer de los elementos de medida necesarios para visualizar directamente los principales parámetros funcionales: temperaturas y presiones. Adicionalmente las medidas de caudal y energía proporcionarán la información necesaria para evaluar las prestaciones de la misma.



FIGURA 3-29
MANÓMETRO Y TERMÓMETROS

A) Termómetros

Los termómetros bimetálicos proporcionan la temperatura de los circuitos y acumuladores con precisión suficiente, siendo los de inmersión con vainas los más apropiados. Su instalación en lugares próximos a la ubicación de los sensores de temperatura facilita la comparación de las medidas entre ambos.

En el circuito primario se recomienda emplear termómetros con escala de 0 a 200°C; en el resto de circuitos se pueden emplear escalas de 0 a 100°C.

B) Manómetros

Los manómetros se utilizan para la medida de la presión manométrica de cada uno de los circuitos, normalmente deben disponer de una esfera de 100mm y escala graduada de 0 a 10bar.



FIGURA 3-30
CAUDALÍMETRO

C) Caudalímetros

Los caudalímetros entregan el caudal del fluido y deben tener un diámetro idéntico a la cañería en donde irá instalado.

Las mediciones de caudales se pueden realizar mediante turbinas, medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo o procedimientos gravimétricos, de forma que la exactitud sea aproximadamente igual o superior a $\pm 3\%$ en todos los casos.

D) Contadores de energía

Los medidores de energía térmica deben estar constituidos por los siguientes elementos:

- Medidor de caudal de agua
- Dos sondas de temperatura
- Microprocesador electrónico, montado en la parte superior del contador o separado

La posición del medidor 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 temperatura por el caudal instantáneo de agua y su peso específico. La integración en el tiempo de estas cantidades proporcionará la cantidad de energía.

3.4. Fluido de trabajo

En el circuito secundario y en el de consumo siempre se utiliza el agua de consumo como fluido de trabajo, sin embargo en el circuito primario se pueden utilizar otros fluidos para el transporte de energía por la red hidráulica del SST.

En general, el fluido de trabajo debería tener las siguientes características:

- Calor específico superior a 3 $[KJ / Kg \cdot K]$ en condiciones cercanas a las normales de operación de la instalación.
- Baja viscosidad.
- No debe ser tóxico ni contaminar el medioambiente.
- Completamente biodegradable.
- No debe irritar la piel.
- Debe ser estable para todo el rango de presiones y temperaturas de trabajo del circuito.
- Debe ser capaz de resistir la temperatura de estancamiento del colector.
- Debe cumplir las especificaciones del fabricante de los componentes del circuito.

3.4.1. Agua de consumo

El agua de la red, de uso sanitario o de consumo siempre va a ser uno de los fluidos de trabajo y en Chile se caracteriza por ser un agua de moderada a dura, con grandes diferencias dependiendo de la zona geográfica o de quién sea el suministrador.

El agua dura es la que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas.

De esta forma, los rangos de concentraciones de minerales para el agua blanda son de 0 a 60 $[mg / L]$, para el agua moderada son 61 a 120 $[mg / L]$ y para el agua dura de 121 a 180 $[mg / L]$. El agua dura no produce espuma y forma un residuo grisáceo con el jabón, generando una dura costra en las ollas y grifería.

El agua dura puede volver a ser blanda, con el agregado de carbonato de sodio o potasio, para precipitarlo como sales de carbonatos, o por medio de intercambio iónico con salmuera en presencia de zeolita o resinas sintéticas.

Se debe tener en cuenta la dureza y el contenido en sales del agua de consumo para su utilización en el circuito primario cuando se pueda utilizar en zonas sin riesgo de heladas. De esta forma deberá presentar como mínimo las siguientes características para ser considerada fluido de trabajo:

- La salinidad del agua del circuito primario no debe exceder de 500 $[mg / L]$ totales de sales solubles.
- El contenido en sales de calcio no debe exceder de 200 $[mg / L]$ expresados como contenido en carbonato cálcico.
- El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no debe exceder de 50 $[mg / L]$.

3.4.2. Mezclas anticongelantes

En el circuito primario se puede utilizar una mezcla de agua con anticongelante que permite proteger de heladas al circuito. Los productos comerciales, a veces, incorporan aditivos para proteger interiormente el circuito frente a la corrosión, sobre todo cuando se utilizan distintos materiales.

Como anticongelante no se debe utilizar etilenglicol debido a su toxicidad, lo que generaría que cualquier falla en el sistema de intercambio produciría la contaminación del agua potable. Únicamente se deben emplear los que utilizan propilenglicol.

El propilenglicol es un líquido viscoso de origen orgánico, usualmente insípido, inodoro e incoloro (aunque por seguridad se le agrega un colorante), de densidad muy similar a la del agua, que no es tóxico ni inflamable y con baja demanda química de oxígeno. Es utilizado como refrigerante y/o anticongelante, como humectante farmacéutico y doméstico y como componente primario de la pintura incluida en los balines de paintball, entre otros usos.

La proporción de anticongelante en la mezcla se seleccionará de forma que, con un margen de seguridad, garantice la protección del circuito primario ante temperaturas mínimas. Con temperaturas inferiores a las de congelamiento, la mezcla anticongelante se transforma en una pasta viscosa pero no revienta las cañerías.

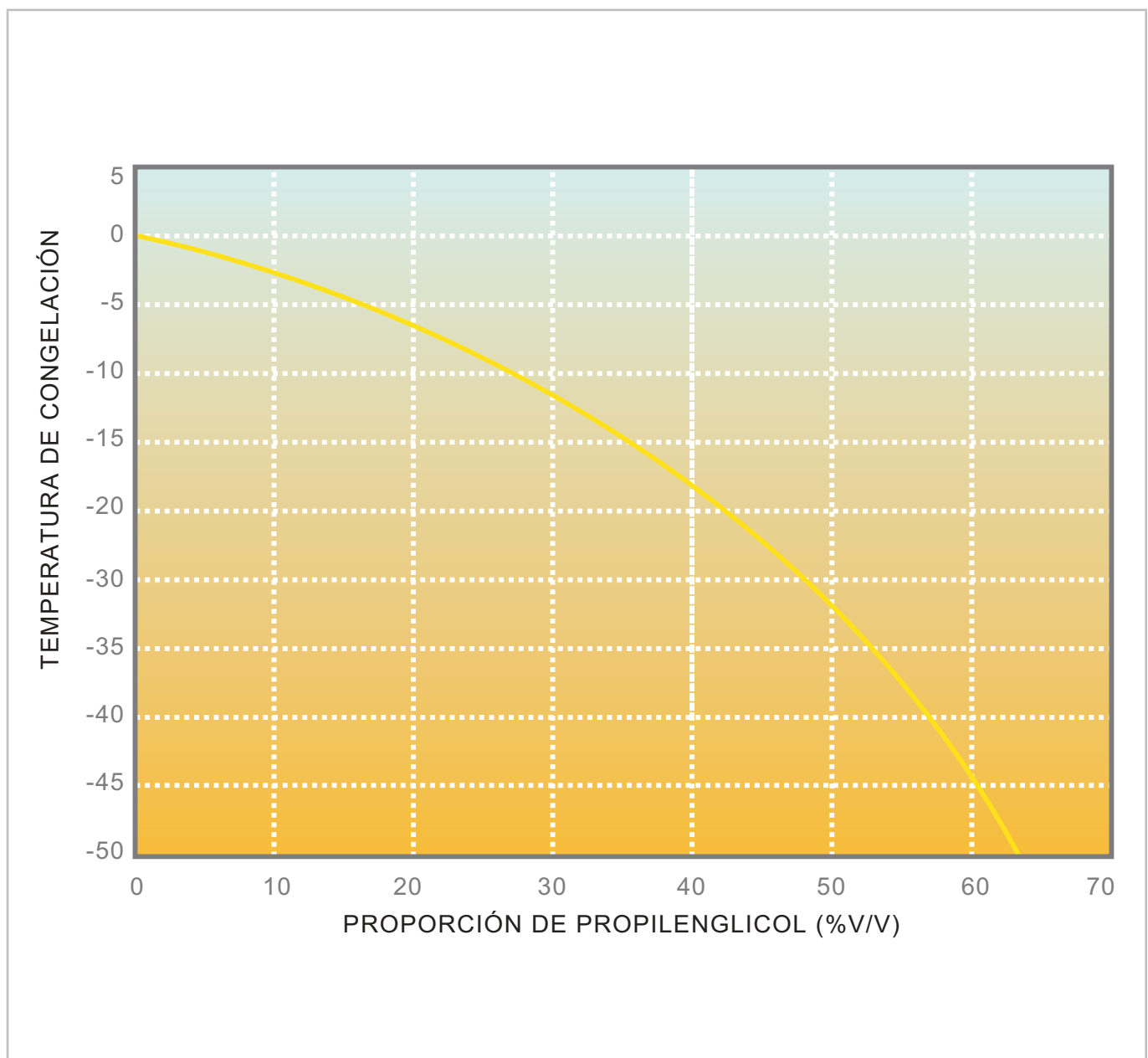


FIGURA 3-31
TEMPERATURA DE CONGELACIÓN
EN FUNCIÓN DE LA PROPORCIÓN
DE ANTICONGELANTE

Hay que reseñar que el glicol penetra mejor en ranuras y capilares que el agua por lo que resulta más difícil asegurar la estanqueidad de los circuitos y se recomienda que la prueba de presión final sea realizada con el propio fluido que se va a utilizar en el circuito.

Las propiedades más relevantes de las mezclas anticongelantes de propilenglicol y agua son las siguientes:

MEZCLA DE ANTICONGELANTE (% POR VOLUMEN)			0	10	20	30	40	50	60
Temperatura de Congelamiento	Propilenglicol	°C	0	-3	-7	-14	-22	-34	-48
Temperatura de Ebullición	Propilenglicol	°C	100	100	100,556	102,222	103,889	105,56	107,222
Calor Específico	Propilenglicol	J/(kg K)	4,187	4,10306	4,01933	3,91466	3,74719	3,5588	3,37037

TABLA 3-1
TABLA DE PROPIEDADES DE LAS
MEZCLAS ANTICONGELANTE

El glicol penetra mejor en ranuras y capilares que el agua por lo que resulta más difícil asegurar la estanqueidad de los circuitos y se recomienda que la prueba de presión final sea realizada con el propio fluido que se va a utilizar en el circuito.

Para el caso de SST que pretendan aplicar a la franquicia tributaria que establece la Ley N° 20.365, se debe cumplir con las especificaciones establecidas en el artículo 17, letra a) del DS N° 331, de 2009, del Ministerio de Economía.



- *Introducción a la Energía Solar Térmica* • *Configuraciones del SST* •
- *Componentes de un SST para ACS* • *Diseño y dimensionado* •
- *Cálculo de prestaciones energéticas* • *Instalación* • *Operación y mantención* •
- *Incorporación del SST en el edificio* •

Capítulo 4

Diseño y dimensionado

4.1. Criterios generales de diseño

El diseño y dimensionado del SST se refiere al proceso de definición completa de las características de los componentes, sistemas y circuitos que lo componen. El proceso es iterativo en el sentido que después de definir el SST y realizar el cálculo de prestaciones energéticas puede ser necesario volver a redefinir, parcial o totalmente, el SST hasta que se alcance la solución óptima para cubrir los objetivos que se hayan planteado.

Para el diseño del SST se parte del parámetro básico de dimensionado de la instalación que es el número y las características de los colectores solares aunque algunas veces, para simplificar y en cálculos aproximados, se utiliza como parámetro el tamaño en metros cuadrados de superficie de apertura de colectores solares.

A partir de este dato se definen el número y tamaño de los acumuladores, se selecciona una configuración determinada, se seleccionan el resto de componentes (de acuerdo a lo descrito en los capítulos 2 y 3 precedentes) y se realiza el resto del diseño como se indica en el presente capítulo.

4.2. Sistema de captación

El diseño del sistema de captación permite distribuir, en el lugar seleccionado y de forma segura, el número de colectores requerido de forma que no estén afectados por las sombras, tanto de obstáculos como entre las diferentes filas de colectores. Todo lo relacionado a los posibles espacios donde se pueden ubicar, los efectos estructurales sobre el edificio y la seguridad del recinto de colectores, se analizan en el capítulo 8.

En este capítulo se analiza el diseño del sistema de captación, desde el punto de vista hidráulico y térmico, para que resulte un campo de colectores homogéneo y optimizado. De esta manera se consideran:

- Criterios de diseño de la batería de colectores.
- Conexión de baterías de colectores.
- Agrupación y sectorización de baterías.
- Trazado hidráulico del circuito primario.

4.2.1. El número de colectores solares

En una instalación solar de gran tamaño el número final de colectores debe resultar del proceso de diseñar un campo de colectores con baterías de igual tamaño y distribuidas de forma homogénea por el espacio disponible.

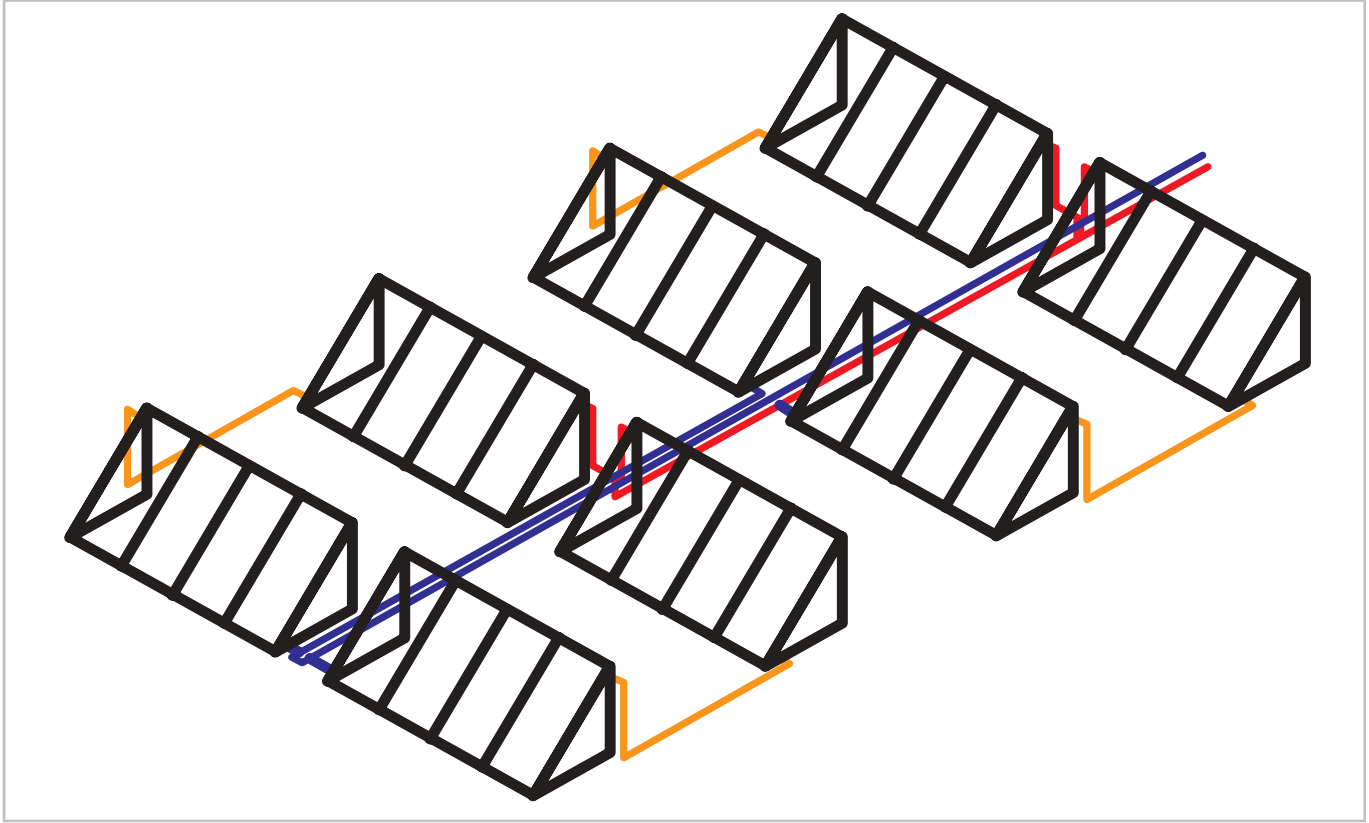


FIGURA 4-1
CAMPO DE COLECTORES CON
DISTRIBUCIÓN HOMOGÉNEA

No siempre es posible pero, en muchas ocasiones, es mejor renunciar a una parte del campo de colectores cuya instalación podría desajustar las baterías, complicar la instalación o desequilibrar los circuitos. En otras ocasiones, es necesario instalar, por las mismas razones, algunos colectores adicionales a los inicialmente previstos.

No obstante, en función de las características del lugar de implantación, muchas veces es necesario renunciar a la posibilidad de hacer baterías iguales y se establece, de entrada, el criterio de diseñar un campo con distintos tamaños de baterías asumiendo, por lo tanto, que será necesario utilizar válvulas de equilibrado para ajustar los caudales en cada batería.

4.2.2. Baterías de colectores

En un sistema de captación grande, los colectores solares no se utilizan, normalmente, de manera individual sino integrados en baterías o bancos de 2 ó más colectores, que pasa a ser la unidad básica para definir el sistema de captación de una gran instalación.

La batería es un conjunto de colectores que, montados sobre una misma estructura, se comportan como un único colector cuya área de captación es la suma de la de todos los colectores que la componen y con un rendimiento equivalente calculado por la composición de los rendimientos de cada colector en función del tipo de conexionado y del caudal de diseño. Esta transformación a rendimiento equivalente normalmente viene implantada internamente en los métodos de cálculo. Las conexiones de las baterías con el exterior deben garantizar el equilibrado hidráulico.

Los colectores de una misma batería podrán estar conectados entre sí en paralelo, en serie o en forma mixta combinando ambos tipos de conexiones.

A) Conexión de colectores en paralelo

La característica principal de la conexión en paralelo de los colectores es que el caudal total de la batería se reparte entre los distintos colectores y, si el reparto es idéntico, todos los colectores trabajan con el mismo caudal y la temperatura de salida será la misma. Al dividirse el caudal la pérdida de carga producida en cada colector es más reducida que si pasara todo el caudal por un colector. Para el correcto funcionamiento de esta batería lo más importante es lograr un flujo uniforme en todos los colectores. El riesgo que tiene este tipo de conexión es, por lo tanto, que los colectores trabajen con distinto caudal y, en el caso límite que un colector deje de funcionar, lo cual sería muy difícil de detectar y se requeriría establecer un método de detección controlando las distintas temperaturas de funcionamiento.

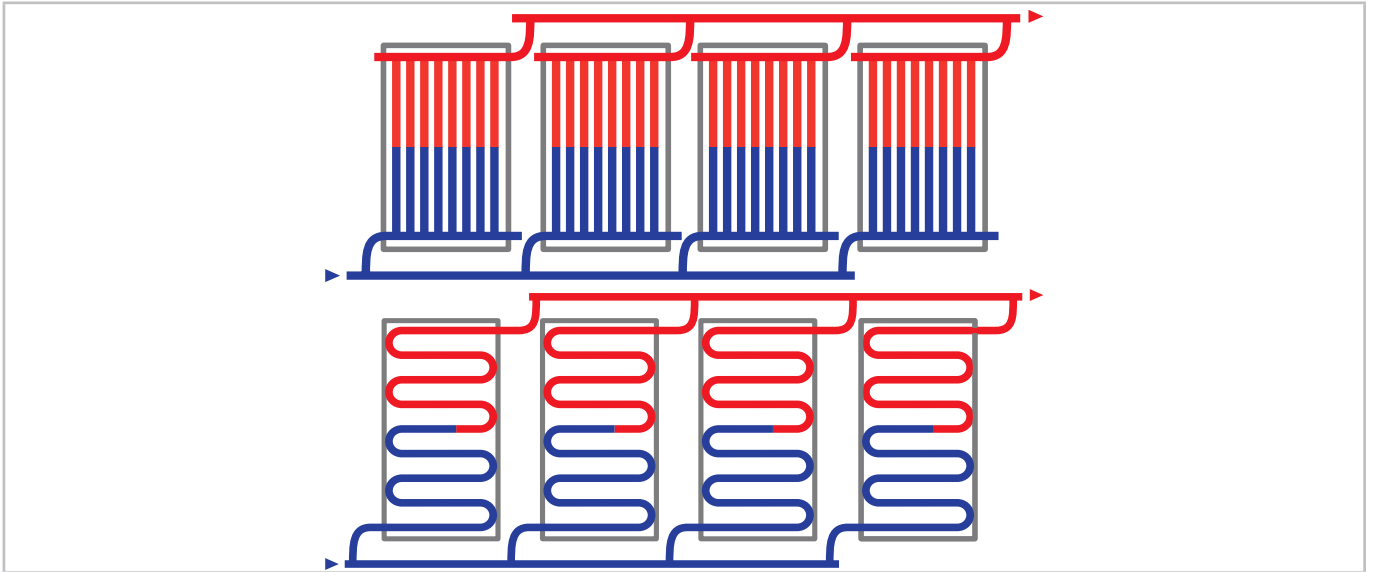


FIGURA 4-2
CONEXIÓN DE COLECTORES EN
PARALELO EN BATERÍAS CON
TRAZADO EXTERNO

La conexión de colectores en paralelo se puede realizar con un trazado de cañerías exterior a los mismos tanto de entrada como de salida o, cuando los colectores disponen de distribuidores con 4 conexiones exteriores, se puede utilizar el denominado “paralelo interno” en los que se utilizan los distribuidores como cañerías de reparto del flujo por todos los absorbedores.

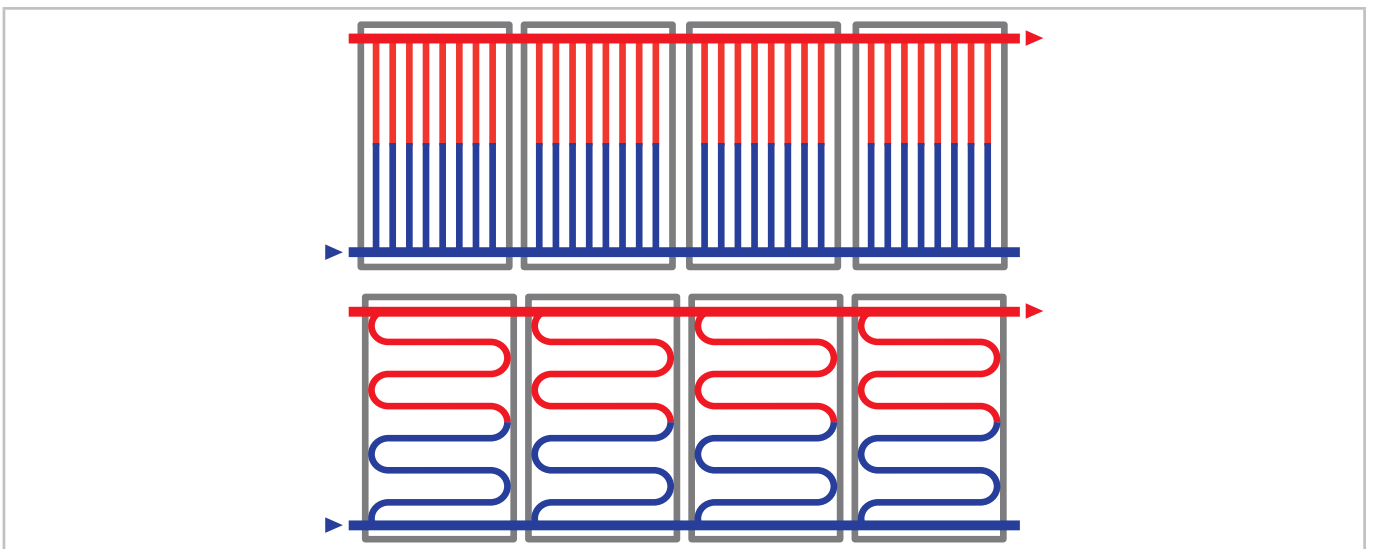


FIGURA 4-3
CONEXIÓN DE COLECTORES EN
BATERÍAS CON PARALELO INTERNO

La gran ventaja del paralelo interno es el importante ahorro en cañerías exteriores que, a la vez, evita importantes pérdidas térmicas de la instalación.

La precaución que hay que tener con el conexionado interno es la distribución de flujos o equilibrio hidráulico y, para ello, el fabricante del colector debe definir el número de colectores que pueden componer una batería y debe establecer los límites correspondientes a los caudales que se pueden utilizar y las pérdidas de carga que se producen.

B) Conexión de colectores en serie

La característica principal de la conexión en serie de los colectores en una batería, es que el fluido recorre todos los colectores conectados de la serie, de forma que el flujo total es el que recorre cada colector. Sin embargo entre más colectores en serie, el fluido recorre más distancia y por ende cada vez son mayores las pérdidas de carga. Un factor importante a considerar es que el rendimiento de los colectores de la serie va disminuyendo a medida que pasa el fluido de trabajo, ya que a entra cada vez a mayor temperatura.

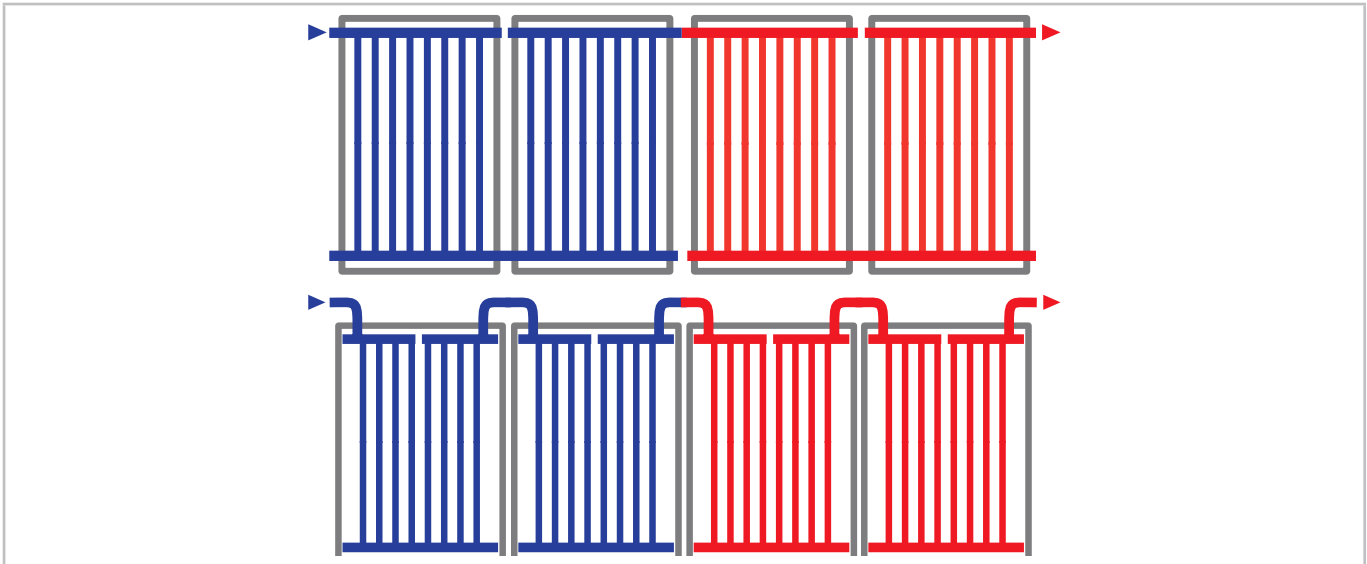


FIGURA 4-4
CONEXIÓN DE COLECTORES EN
SERIE PARA FORMAR BATERÍA

4.2.3. Conexionado de baterías de colectores

Las baterías del campo de colectores deberían tener el mismo número de colectores y deberían estar conectadas de la misma forma. Cuando no sea posible habrá que adoptar las medidas necesarias para que no haya diferencias en la temperatura de salida de cada una de ellas. Para conseguir esto se suele admitir, con el uso de válvulas de balanceo, que las diferencias de caudales entre baterías sean inferiores al 5%-10%.

Independientemente del tipo de conexionado de los colectores en la batería, éstas también se pueden conectar, a su vez, en paralelo, en serie o en conexión mixta.

Las ventajas e inconvenientes de cada configuración son similares a las indicadas anteriormente para los colectores. La diferencia es que ahora se trabaja en la modulación con baterías.

A) Conexión de baterías en paralelo

El flujo se divide entre las distintas baterías y la precaución en el diseño es que circule el mismo caudal por cada batería. Para ello se pueden utilizar dos procedimientos: el equilibrado con válvulas o con retorno invertido.

- **Retorno directo con válvulas de balanceo**

El conexionado en retorno directo consiste en que las distintas baterías están conectadas a una alimentación común y las salidas son conectadas de forma similar utilizando la menor longitud de cañería a una cañería principal de salida de flujo sin importar si los recorridos de los distintos flujos son desiguales. Naturalmente, si en el diseño no se hiciera nada más, resultarían determinados recorridos preferentes y otros penalizados y la distribución de caudales estaría totalmente

descontrolada. En esta configuración, es necesario el uso de válvulas de balanceo hidráulico que producen una pérdida de carga adicional en los lazos que lo requieren para ajustar el caudal en todos ellos; en trazados irregulares hay que optimizar el diseño para que la pérdida de carga más desfavorable no sea elevada.

La gran ventaja de éste procedimiento de equilibrado es que, al reducirse al mínimo las longitudes de cañería también se reducen las pérdidas térmicas en el circuito. Dependiendo de los trazados, los menores costos de tuberías pueden compensar el mayor costo de las válvulas de equilibrado.

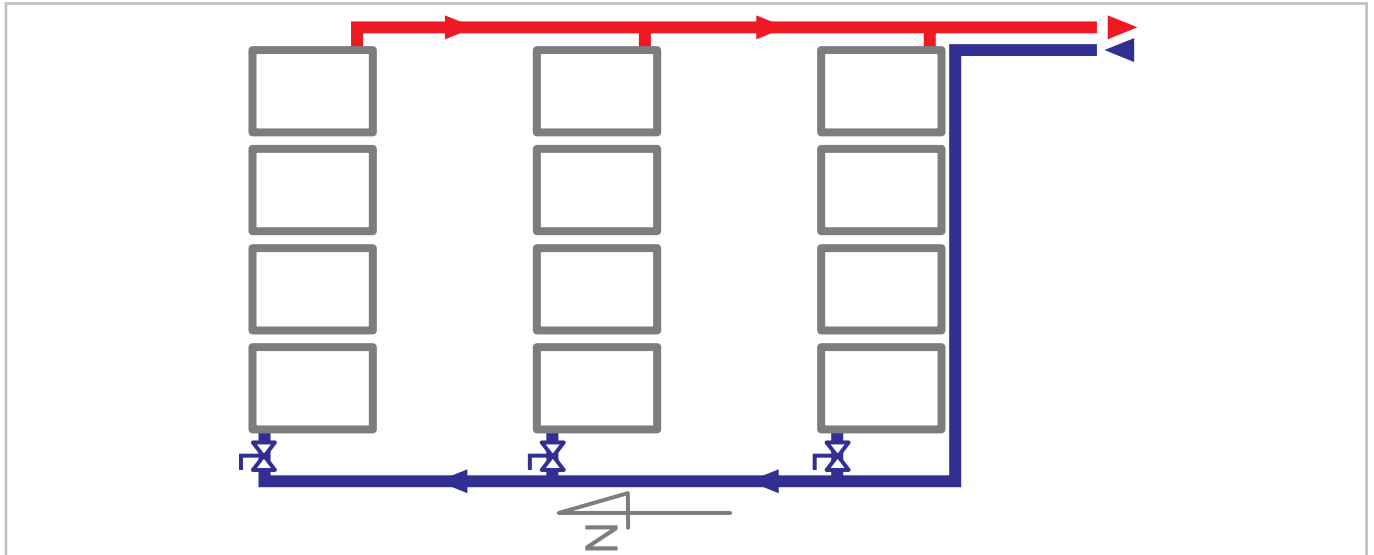


FIGURA 4-5
CONEXIÓN DE BATERÍAS EN
PARALELO CON VÁLVULAS DE
EQUILIBRADO

- **Retorno invertido y equilibrado**

La configuración de cañerías de retorno invertido consiste en utilizar una tubería adicional en la alimentación común de forma que en el conexionado se igualen los recorridos y los flujos de todas las baterías. Es importante tener en cuenta que el correcto equilibrado requiere que los distintos lazos de los circuitos sean iguales pero no sólo sobre plano sino que sean ejecutados con las mismas piezas y accesorios. El aumento de la pérdida de carga está producido por la mayor longitud de la tubería de alimentación.

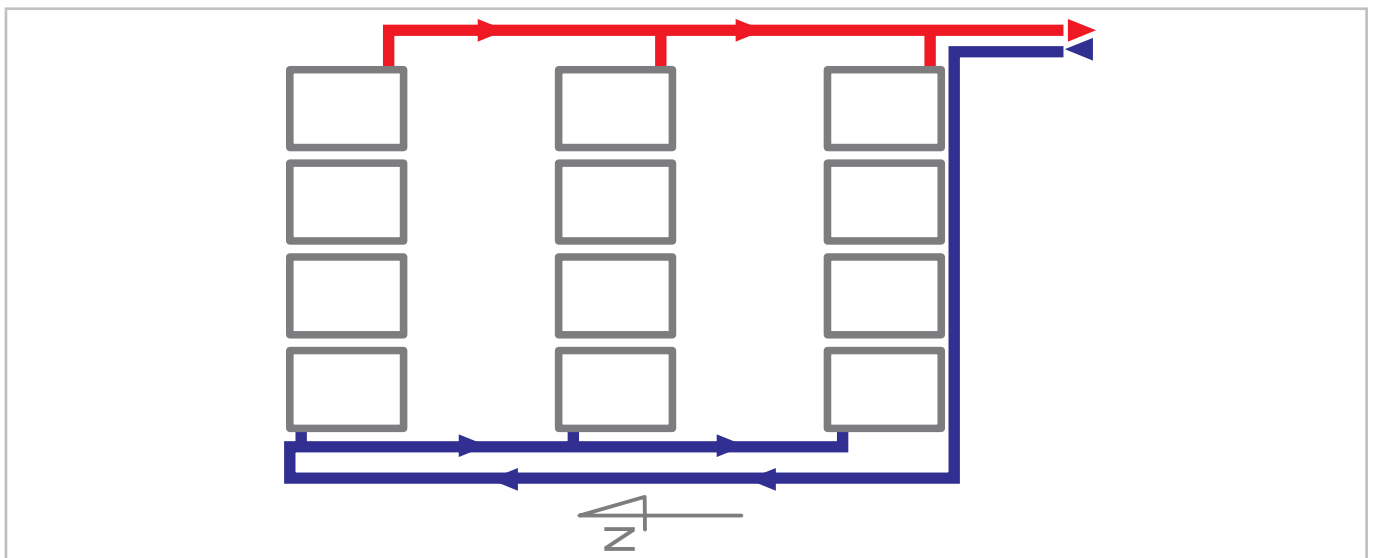


FIGURA 4-6
CONEXIÓN DE BATERÍAS EN
PARALELO CON CIRCUITO
INVERTIDO

La mayor ventaja radica en la simplicidad del procedimiento siempre que se realice correctamente pero hay que optimizar los recorridos ya que el aumento de la longitud de tuberías introduce mayores pérdidas térmicas. Por eso se debe priorizar que el aumento de longitud sea en el lado frío del circuito.

B) Conexión de baterías en serie

El conexionado de baterías en serie normalmente se utiliza para simplificar y reducir el trazado hidráulico del circuito primario lo que produce el efecto inmediato de la reducción de costos por la disminución de longitudes de cañerías. En el funcionamiento de la instalación tiene la gran ventaja de que se pueden reducir significativamente las pérdidas térmicas correspondientes.

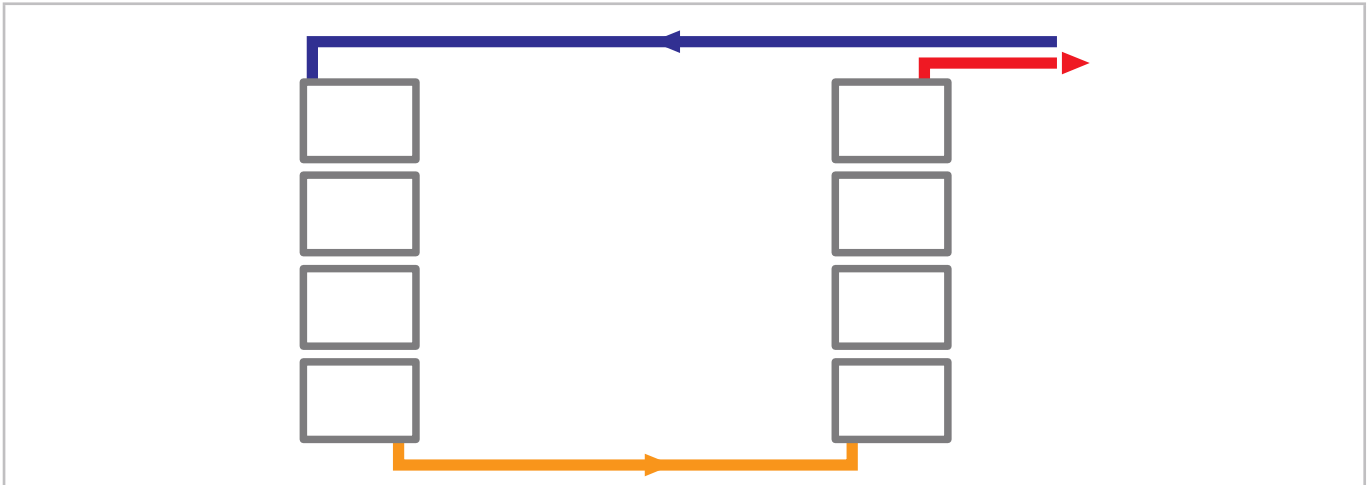


FIGURA 4-7
CONEXIÓN DE BATERÍAS EN SERIE

C) Comparación del tipo de conexionado de baterías

El criterio de selección de un tipo u otro de conexionado es el de optimización del circuito hidráulico cuyo objetivo fundamental debería ser reducir la longitud de cañerías que afecta al costo de la instalación, las pérdidas térmicas y las pérdidas de carga.

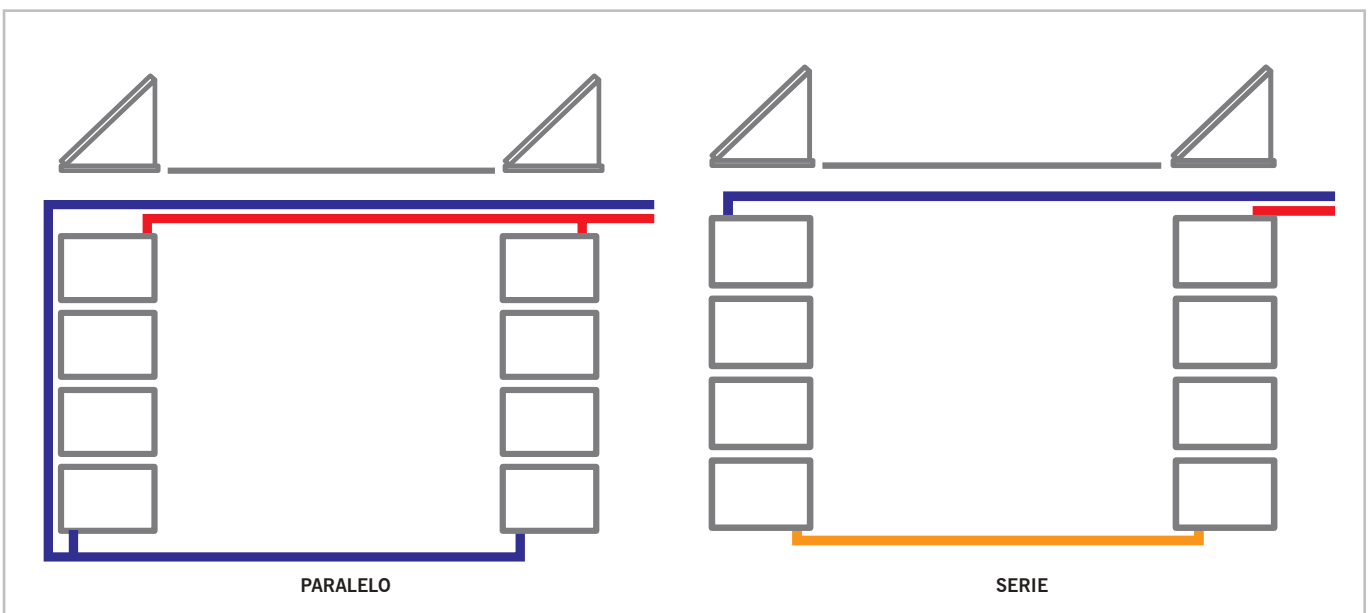


FIGURA 4-8
CONEXIÓN DE BATERÍAS EN
PARALELO Y SERIE

Para un mismo caudal total, en comparación con el conexionado en paralelo, el conexionado en serie es más económico de implantación, tiene menos pérdidas térmicas pero más pérdidas de carga, esto último implica mayor consumo eléctrico de bombas, sin embargo simplifica las necesidades de equilibrado.

4.2.4. Agrupación de baterías de colectores

La modulación en baterías y la agrupación de éstas se realizará normalmente teniendo en cuenta el espacio transversal disponible y los espacios necesarios para trazados de cañerías y accesos para mantención.

Las baterías de colectores se agrupan de forma que el resultado final del campo de colectores sea un conjunto de grupos conectados en paralelo y cada grupo tendrá el mismo número de baterías y conectadas, en serie, paralelo o mixta, pero de la misma forma. Cuando no sea posible, se ajustarán los caudales con válvulas de equilibrado, para conseguir que no existan diferencias en la temperatura de salida.

La agrupación de colectores debe permitir la correcta sectorización del campo de colectores que permite independizar cada grupo del funcionamiento de la instalación completa para organizar actuaciones en algún componente sin necesidad de interrumpir el funcionamiento de la instalación completa sino únicamente aislando el grupo afectado. Esto permite organizar la mantención de los distintos grupos que lo componen.

Para ello, cada grupo debe disponer de 2 válvulas de corte (VC), situadas a la entrada y salida del grupo, para interrumpir su conexión y de una válvula de seguridad (VS) tarada a la presión necesaria para proteger el circuito aislado. Adicionalmente se puede prever una o más válvulas de vaciado para realizar un eventual vaciado del grupo.

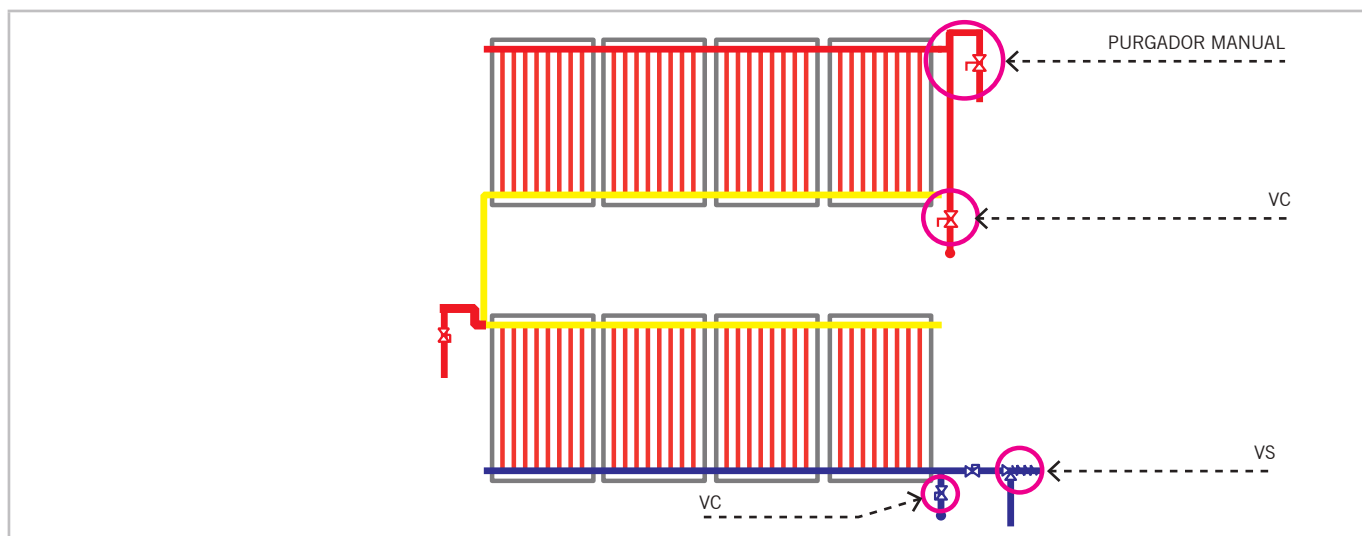


FIGURA 4-9
ELEMENTOS PARA EL
CONEXIONADO DE UN GRUPO DE
BATERÍAS



FIGURA 4-10
EJEMPLOS DE PURGADOR
MANUAL, VÁLVULAS DE CORTE Y
DE SEGURIDAD

Cuando sea posible seleccionar el nivel de sectorización debe elegirse la mejor solución entre la fiabilidad de funcionamiento y la organización de la mantención:

- Cuando existe un único grupo, la fiabilidad de funcionamiento es máxima ya que se puede detectar fácilmente si la instalación funciona o no. En cambio, si hay muchos grupos y no se tienen datos que controlen el funcionamiento de cada grupo, puede dejar de funcionar cualquiera de ellos y no ser detectado.
- La organización de la mantención también se puede evaluar analizando los extremos ya que si hay un único grupo no hay muchos componentes en la instalación pero se requiere intervención inmediata ya que toda la instalación puede estar completamente parada y si hay muchos grupos habrá muchos componentes dispersos pero la desconexión de un grupo no afecta mucho al funcionamiento.

Aunque no siempre es posible, en función del tamaño del campo de colectores se pueden recomendar que para campo de colectores de unos 100m², utilizar entre 5 y 10 grupos. Para instalaciones de tamaño superior no aumentar mucho más el número de grupos y para instalaciones de menor tamaño reducir progresivamente el número de grupos.

4.2.5. Trazado hidráulico del circuito primario

El trazado hidráulico del circuito primario es una parte de los circuitos hidráulicos de la instalación por lo que le serán de aplicación todas las especificaciones sobre los mismos recogidos en éste y otros capítulos.

El trazado hidráulico define el recorrido de tuberías del circuito primario en el campo de colectores de forma que se optimice la evacuación de calor del mismo y se cumplan los requisitos de seguridad, fiabilidad y funcionalidad que se hayan establecido.

El trazado hidráulico debe garantizar una distribución equilibrada de los caudales por todos los grupos, baterías y colectores del campo y una minimización de las pérdidas térmicas.

El equilibrado hidráulico se alcanzará cuando sean mínimas las diferencias de la temperatura de salida y, para ello, se establece como criterio que las diferencias de caudales entre colectores, baterías y grupos sean inferiores al 10%. Para garantizar el criterio de equilibrado se verificará que las pérdidas de carga en los grupos de baterías, que estarán conectados en paralelo, sean iguales y equivalentes, como mínimo, a un 30% de la pérdida de carga total del circuito.

Para obtener un circuito equilibrado se podrá utilizar:

- Ramal del circuito (de ida o de retorno) invertido, 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.

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 que permite reducir las secciones de tuberías.
- Reduciendo la longitud total del trazado.
- Priorizando al trazado corto del tramo caliente.

En general, el diseño del trazado hidráulico respetará los ejes principales del edificio y del campo de colectores.

Ejemplos: de distribución de colectores y trazado hidráulico.

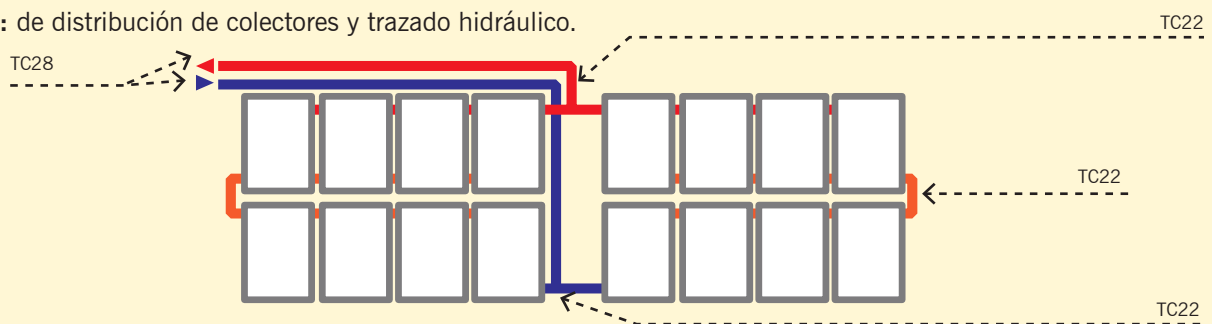


FIGURA 4-11
EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE
16 COLECTORES

Ejemplo de distribución de 144 colectores solares en 2 grupos con sendas válvulas de equilibrado: Dentro de cada grupo hay 12 subgrupos conectados en paralelo; cada subgrupo está constituido por 2 baterías de 6 colectores cada una conectadas en serie.

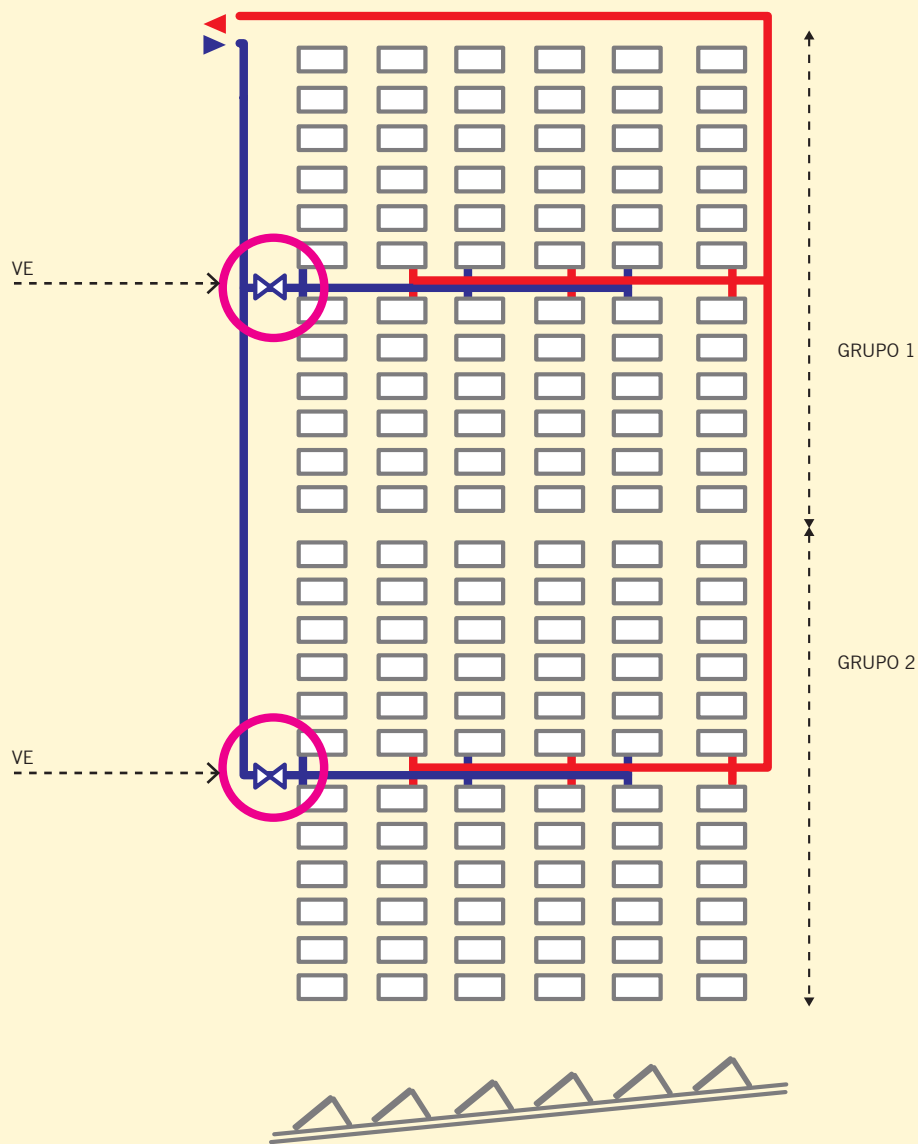


FIGURA 4-12
EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE
144 COLECTORES SOLARES

4.3. Sistema de acumulación

4.3.1. Dimensionado

El rendimiento global de la instalación solar aumenta con el volumen de acumulación (V), pero si se analiza la dependencia del rendimiento en función de la acumulación específica V/A_{COL} , siendo A_{COL} el área total de captación, siempre se observa que:

- Por debajo de un valor entre 40 y 50 $[L/m^2]$, el rendimiento baja significativamente.
- Para valores superiores a 100-120 $[L/m^2]$, el aumento del rendimiento es muy pequeño o incluso, en algunos casos, puede descender si las pérdidas térmicas del sistema de acumulación son elevadas.

Se puede observar en el gráfico adjunto un ejemplo de cómo varía el rendimiento global de tres sistemas solares térmicos de distinta superficie de captación $A_{SST1} \leq A_{SST2} \leq A_{SST3}$ en función de la acumulación específica.

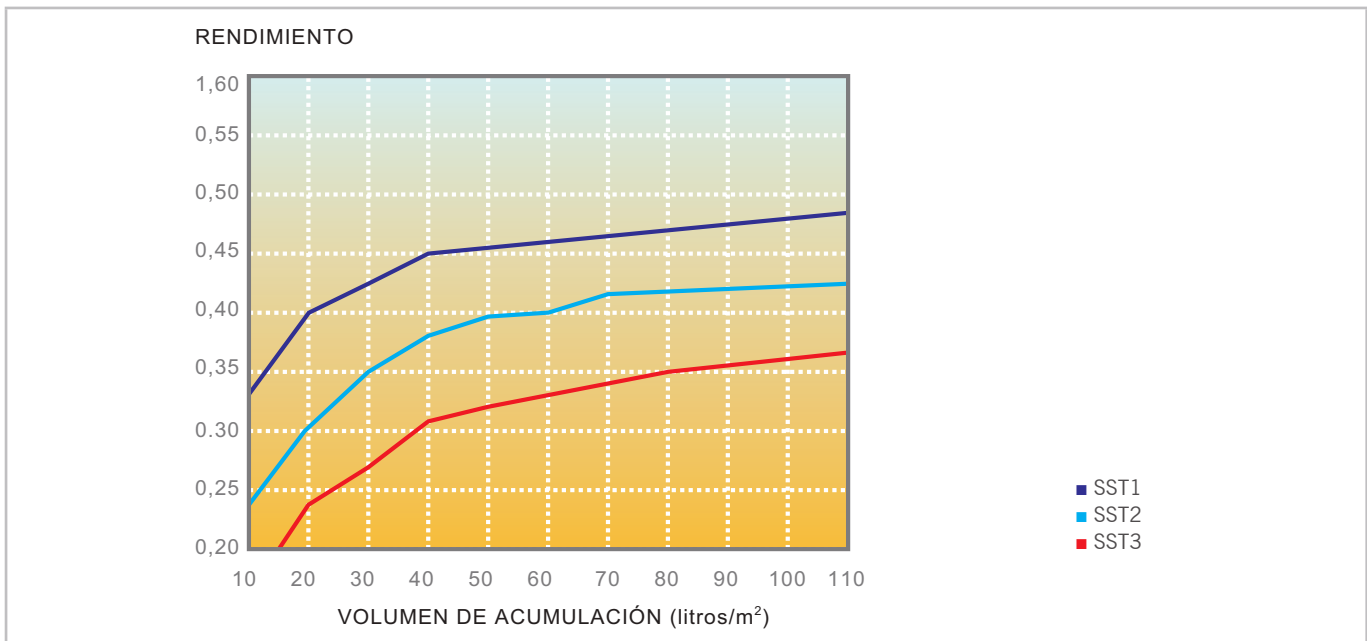


FIGURA 4-13
INFLUENCIA DEL TAMAÑO
DE LA ACUMULACIÓN EN EL
RENDIMIENTO GLOBAL

El volumen total del sistema de acumulación se puede definir, en función del tamaño del campo de colectores, utilizando un valor de la acumulación específica de 75 litros de acumulación por metro cuadrado de captación.

Es recomendable realizar un análisis de sensibilidad y evaluar cómo afecta globalmente al rendimiento de la instalación pero, no obstante, la acumulación específica se debe encontrar en el rango:

$$40 \leq V / A_{COL} \leq 180$$

Debido a su dependencia con el consumo, algunas veces se determina el volumen de acumulación V en base al consumo medio diario demandado Q_{ACS} que, si no es contante a lo largo del año, se adopta el consumo medio en la temporada de mayor insolación y se recomienda cumplir:

$$0,8 \cdot Q_{ACS} \leq V \leq Q_{ACS}$$

No obstante, cuando la superficie de captación está subdimensionada (pequeñas fracciones solares por falta de espacio u otras razones) la referencia del volumen demandado diario pierde valor y puede reducirse sobre los valores recomendados. Se utilizarán las referencias de acumulación específica indicadas anteriormente.

En el ajuste con más detalle del dimensionado del sistema de acumulación, adquieren importancia las pérdidas térmicas de éste, si se utiliza un programa de simulación que las toma en consideración.

Una vez estimado el volumen de acumulación debe definirse si se dispone un único acumulador o varios - preferentemente iguales - cuya suma de capacidades sea igual al volumen calculado. El tamaño del sistema de acumulación permitirá una correcta instalación, operación y mantención, considerando el espacio disponible para su instalación. Se debe velar para que en todo el proceso de diseño, el sistema de acumulación cumpla la normativa vigente que le sea aplicable.

4.3.2. Diseño del sistema de acumulación

En general debe tenerse en cuenta que el sistema de acumulación preferentemente debe estar constituido por un único acumulador, de configuración vertical y situado en el interior:

- Un único acumulador permite optimizar la relación superficie de pérdidas térmicas y volumen acumulado. Por el contrario, el único problema del acumulador único es que reduce la fiabilidad de la instalación al no poder disponer de capacidad de reserva para realizar operaciones de mantenimiento sin parar la instalación.
- La configuración vertical favorece la estratificación del agua caliente que, además, se puede potenciar con elementos adicionales específicos.
- La ubicación en espacios interiores permite mejorar su protección y se reducen sensiblemente las pérdidas térmicas.

En cualquier caso, si existen dos o más acumuladores se podrán disponer de acuerdo con cualquiera de las configuraciones establecidas en el capítulo 2 pero siempre deberían existir los bypass necesarios para intervenir ante una eventualidad o a efectos de mantenimiento sin comprometer el funcionamiento del sistema en su totalidad.

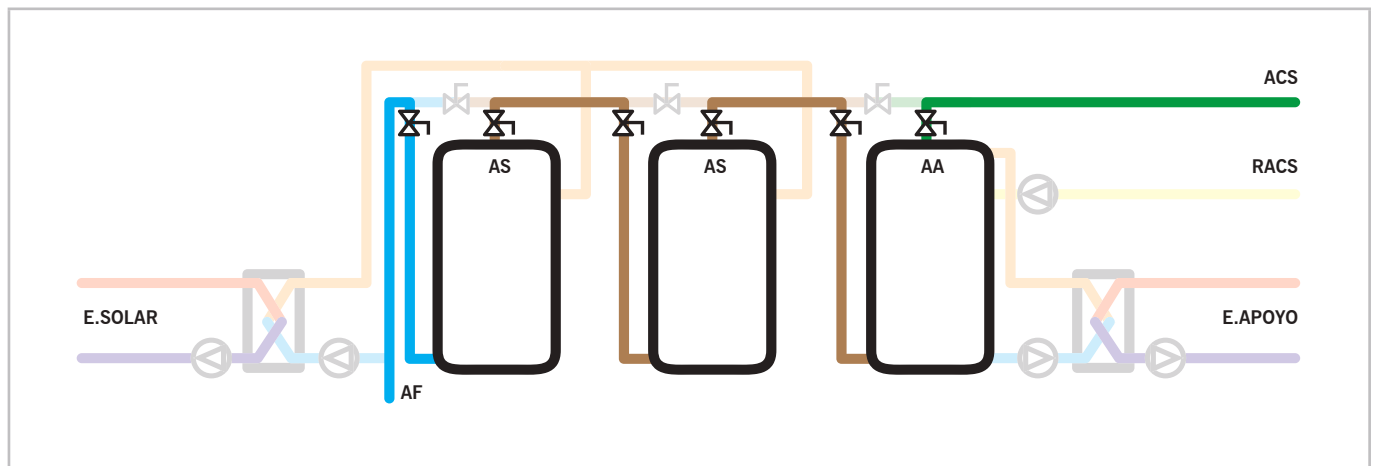


FIGURA 4-14
CONEXIONADO DE ACUMULACIÓN
E INTERCAMBIO (SOLAR Y DE
APOYO)

Todos los acumuladores o interacumuladores de la instalación deberán quedar térmicamente aislados para minimizar las pérdidas correspondientes. Se recomienda evaluar las pérdidas térmicas del sistema de acumulación para definir los materiales, espesores y protecciones más adecuados para cada caso. En cualquier caso, los espesores siempre serán superiores a:

$$e_{min} \geq 50 * \lambda / 0,04$$

Siendo e_{min} (en mm.) el espesor mínimo de aislamiento, y λ (en $[W/mK]$) la conductividad térmica del material aislante.

Ejemplo: Estudiar el sistema de acumulación de una instalación de 150m².

Se analizarían soluciones de partida entre 10.000 litros (66,6 $[L/m^2]$) y 12.000 (80 $[L/m^2]$). Con 10.000 litros, se podrían seleccionar 2 acumuladores de 5.000 y con 12.000 litros, se podría elegir entre 2 de 6.000 litros, 3 de 4.000litros ó 4 de 3.000litros cada uno.

Ajustando el dimensionado se podría llegar a 9.000 litros (60 $[L/m^2]$) o incluso 8.000 (53,3 $[L/m^2]$) pero estas soluciones habría que analizarlas con más detalle.

4.4. Red hidráulica

El diagrama de flujo de la instalación debe especificar, sobre planos a escala, la ubicación de los colectores solares, acumuladores, intercambiadores, bombas, válvulas, estanques de expansión, sistema de apoyo y el trazado de cañerías de todos los circuitos de la instalación. Además, deberá tener el grado de definición necesario para efectuar los cálculos de dimensionado de los circuitos, especificando el material y las secciones de cañerías, así como el caudal nominal que circula a través de ellas.

4.4.1. Trazado de cañerías

Los trazados de cañerías de todos los circuitos de la instalación se deben realizar de forma que se garanticen los caudales de diseño en todos los componentes y se minimicen las pérdidas térmicas de la instalación completa. Es importante minimizar los largos tendidos horizontales, con el objetivo de facilitar la purga de aire del sistema.

Para el conexionado de componentes en paralelo se deben realizar circuitos equilibrados con válvulas de balanceo o retornos invertidos como ya se indicó. La elección de un sistema u otro tendrá en consideración las pérdidas térmicas de los circuitos, las pérdidas de carga generadas y las estrategias de mantención.

4.4.2. Caudales de los circuitos

Los caudales de las instalaciones solares establecen la capacidad de evacuación del calor desde el sistema de captación hasta el consumo. Es importante que se haga de manera eficiente y para ello se debe buscar la solución de compromiso entre los costos de los circuitos, las pérdidas térmicas y las pérdidas de carga que se producen.

A) Circuito Primario

La dependencia del rendimiento de la instalación solar con el caudal del circuito primario, que puede observarse en el ejemplo del gráfico adjunto, se puede analizar de la siguiente forma:

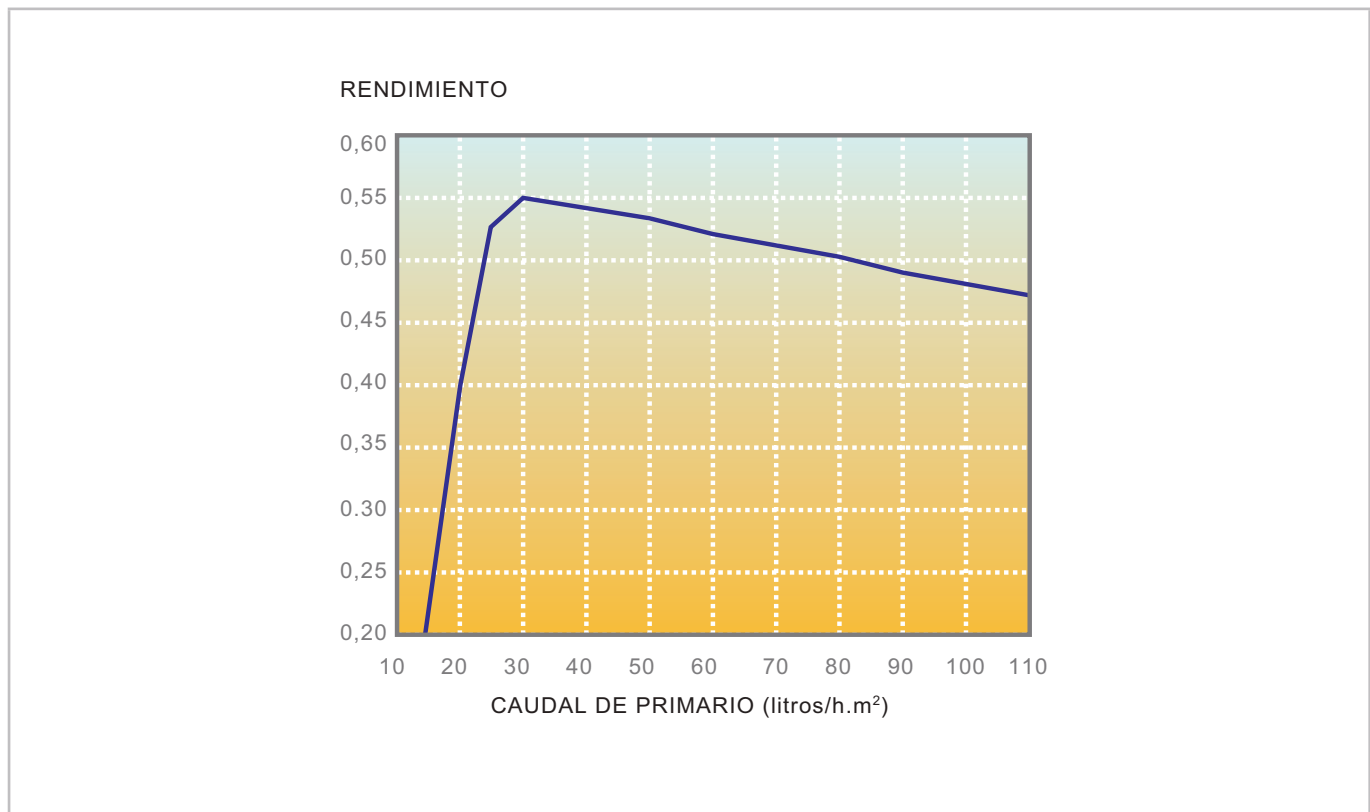


FIGURA 4-15
INFLUENCIA DEL CAUDAL DEL
CIRCUITO PRIMARIO EN EL
RENDIMIENTO GLOBAL

- Existe un caudal óptimo (normalmente está en el rango de 10 a 25 $[L/h_m^2]$), dependiendo del resto de características de la instalación, en el que el rendimiento alcanza un valor máximo.
- Para caudales inferiores al óptimo, el rendimiento cae bruscamente y es debido a que el circuito pierde capacidad de evacuación de calor.
- Para caudales superiores al óptimo, el rendimiento va descendiendo, pero lentamente, debido a que aumentan los diámetros de cañerías y, por tanto, las pérdidas térmicas de los circuitos.

Buscar el caudal óptimo tiene el riesgo de que cualquier error puede reducir drásticamente el rendimiento de la instalación. Se recomienda seleccionar un caudal por encima del óptimo pero no muy alejado; como el óptimo para cada caso habría que determinarlo por un proceso de análisis y simulación completa de la instalación, que no siempre se puede hacer, se recomienda adoptar valores del lado de la seguridad entre 30 y 60 $[L/h_m^2]$, siendo habitualmente más utilizados los valores entre 40 y 50 $[L/h_m^2]$.

Es importante que el flujo del fluido de trabajo seleccionado esté en el rango de valores recomendados por el fabricante de los colectores solares.

También es importante señalar que salvo los criterios anteriores, la selección del caudal no está condicionada por la forma de conexión de los colectores, serie o paralelo, aunque naturalmente hay que tenerlo en cuenta para evaluar el caudal en cada colector y las pérdidas de carga que se generan.

Ejemplo: Analizar el conexionado en paralelo y en serie de dos colectores de 2m² cada uno por los que circula el mismo caudal de 200 $[L/h]$ y cuya temperatura de entrada es de 40°C. Suponemos que la radiación incidente es de 1.160 $[W/m^2]$.

Para los colectores conectados en paralelo, el caudal se distribuye por igual en ambos colectores y, si suponemos un rendimiento del 50%, se producirá un incremento de temperatura de $1.160 * 0,864 * 2 * 0,5 / 100 = 10K$

Para los colectores conectados en serie, todo el caudal atraviesa el primer colector y, debido al mayor caudal, el rendimiento debe ser algo mayor; si suponemos que es del 52%, se producirá un incremento de temperatura de $1.160 * 0,864 * 2 * 0,52 / 200 = 5,2K$. Pero el segundo colector, ya tendrá una temperatura de entrada superior (45,2°C), si suponemos que es del 48% el incremento de temperatura será de 4,8K con lo que el resultado final es el mismo.

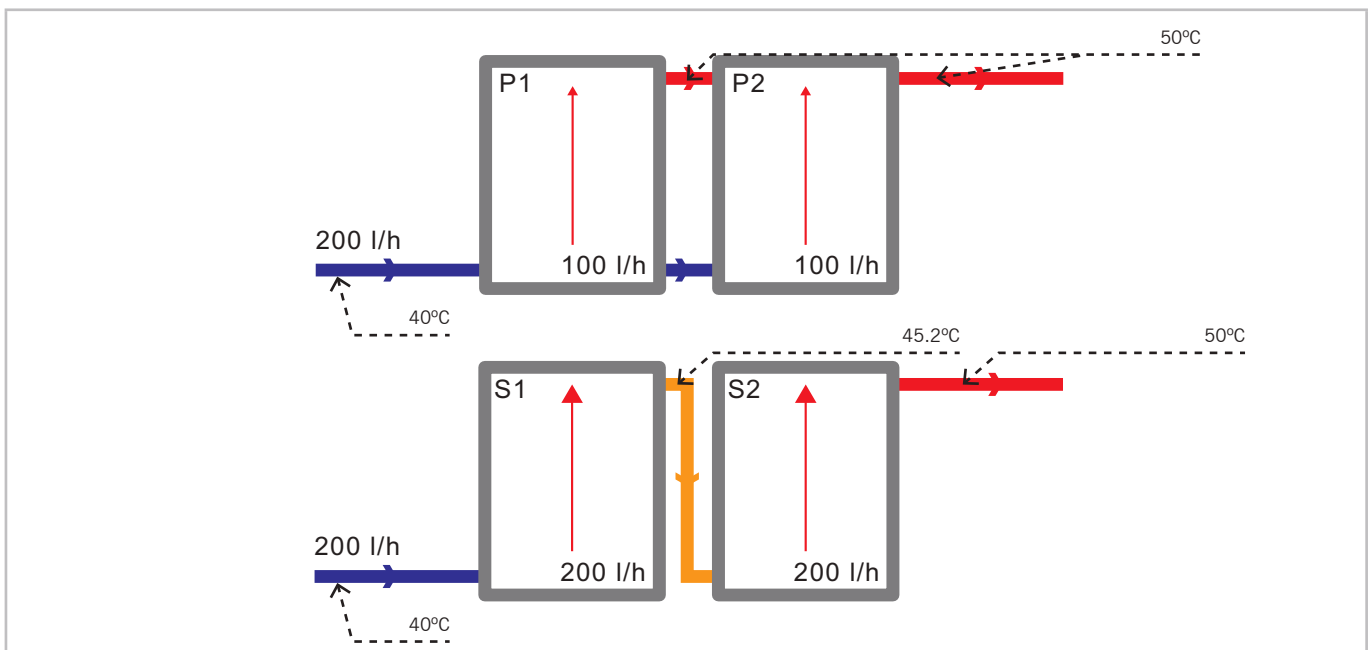


FIGURA 4-16
FUNCIONAMIENTO DE COLECTORES
SOLARES CONECTADOS EN
PARALELO Y EN SERIE

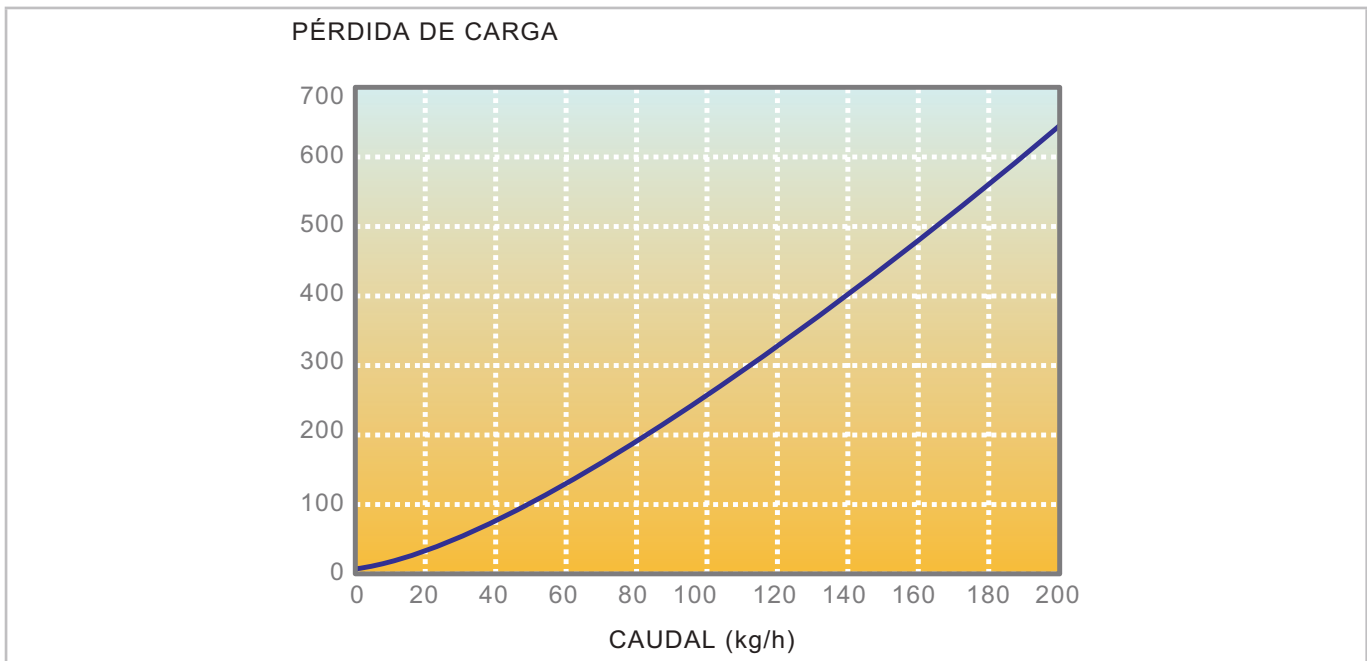


FIGURA 4-17
PÉRDIDA DE CARGA DE UN
COLECTOR SOLAR EN FUNCIÓN
DEL CAUDAL MÁSSICO

Si se analiza la pérdida de carga, suponiendo que el gráfico adjunto es el representativo del colector, lo que ocurre es que:

- Para la conexión en paralelo la pérdida de carga es pequeña y corresponde prácticamente a la un colector (214mbar en la figura).
- Para la conexión en serie, la pérdida de carga es muy superior (633mbar en la figura), pero además hay que contabilizar la de los 2 colectores en serie (serían más de 1.266mbar)

B) Circuito Secundario

El fluido de trabajo será el agua de consumo y su caudal mínimo se establece para garantizar la transferencia de calor en el intercambiador; un caudal excesivo en el circuito secundario, aunque mejore algo la transferencia de calor, disminuye las temperaturas de salida del intercambiador y produce mayor rotura de la estratificación del acumulador. Normalmente se define el caudal del secundario en función del caudal del circuito primario y debe estar en el rango:

$$0,9 \dot{m}_{\text{primario}} \leq \dot{m}_{\text{secundario}} \leq \dot{m}_{\text{primario}}$$

C) Circuito de consumo

El agua en el circuito de consumo se mueve, impulsada por la presión de red o por la de un grupo de presión, cuando se abre cualquier grifo o punto de consumo.

Desde el punto de vista del acoplamiento de la instalación solar al circuito de consumo, la única precaución a adoptar es que no se introduzcan pérdidas de carga excesivas. En instalaciones existentes, esta situación se resuelve utilizando los mismos diámetros que la instalación y procurando que no utilizar bocas de conexión del acumulador más pequeñas.

4.4.3. Intercambiador de Calor

A) Diseño

Se recomienda disponer válvulas de corte (VC) en todas las bocas de los intercambiadores. Se deben dejar previstos los

elementos necesarios para su desmontaje y limpieza: válvulas de purga (VP) y de desagüe (VD) entre las válvulas de corte y las bocas del intercambiador. El soporte y la ubicación del intercambiador deberían permitir el desmontaje de las placas cuando éstas sean desmontables.

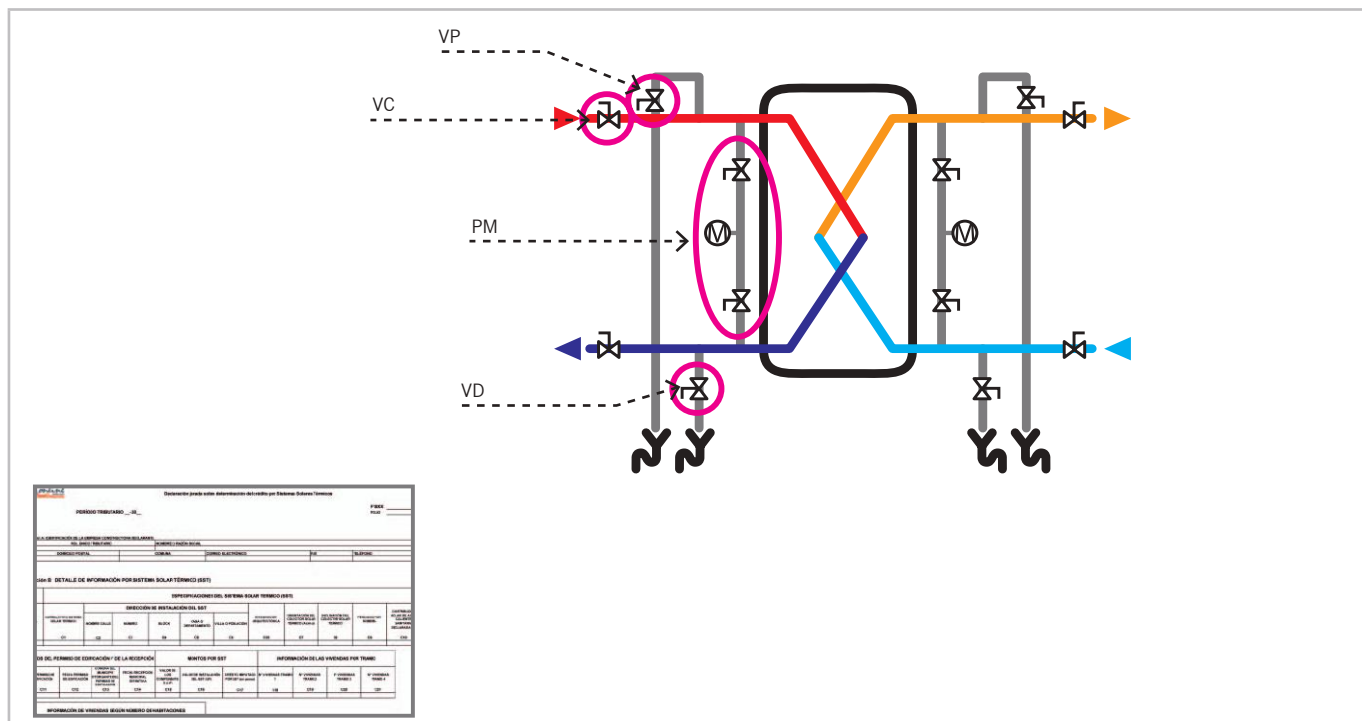


FIGURA 4-18
ESQUEMA DE CONEXIONADO Y
EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE
PLACAS

Los puentes manométricos (PM) permiten controlar las pérdidas de carga de cada uno de los circuitos que es una medida indirecta de su nivel de ensuciamiento.

Para instalaciones pequeñas con intercambiador externo se recomienda simplificar el conjunto de válvulas que independizan componentes cercanos, como por ejemplo intercambiadores y bombas.

Para sistemas de intercambio de instalaciones superiores a 500m², y en función de la calidad del agua y de las temperaturas de funcionamiento, se recomienda el montaje de dos intercambiadores en paralelo, para permitir las operaciones de mantenimiento sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.

Los intercambiadores deberán quedar térmicamente aislados, para que la transferencia sea máxima entre los fluidos de trabajo de los distintos circuitos y se minimicen las pérdidas al ambiente.

Los intercambiadores, preferentemente, se deben instalar en espacios interiores para su mejor protección y reducir las pérdidas térmicas.

B) Dimensionado

• Intercambiador de calor externo

El dimensionado del intercambiador de calor externo quedará definido por, al menos, los siguientes parámetros: la potencia nominal, los caudales de diseño, los valores de las temperaturas nominales de entrada y salida, y la efectividad del intercambiador.

La efectividad (ϵ) del intercambiador de calor se define como:

$$\epsilon = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}} = \frac{Q}{C_{min} (T_{ce} - T_{fe})}$$

$$C_{min} = \text{Min} [(\dot{m}c_p)_{fria} ; (\dot{m}c_p)_{caliente}]$$

Donde:

- C_{Min} : Es la menor de las capacidades caloríficas ($\dot{m} \cdot C_p$), de ambos circuitos (frio y caliente).
- T_{fs} : Temperatura a la salida del intercambiador del lado del secundario.
- T_{je} : Temperatura a la entrada al intercambiador del lado del secundario.
- T_{ce} : Temperatura a la entrada al intercambiador del lado del primario.

Para las condiciones de diseño, debe definirse la efectividad del intercambiador y, en cualquier caso, debe ser superior a 0,7.

La potencia de diseño del intercambiador solar (P) se definirá en función de la superficie útil de captación (A_{COL} en m^2) de acuerdo con la expresión siguiente:

$$P = (\text{en } W) \geq 525 \cdot A_{COL}$$

Los intercambiadores solares se deben dimensionar de forma que con una temperatura de entrada del fluido del circuito del lado del primario de 50°C la temperatura de salida del fluido del circuito del lado del secundario será superior a 45°C.

La pérdida de carga de diseño en los intercambiadores de calor externos no será superior a 0,2bares, tanto en el circuito del lado del primario como en el circuito del lado del secundario.

Ejemplo: Definir las condiciones de diseño del intercambiador externo de una instalación solar de 100m² si se quiere trabaje con un caudal de 50 [L/h_m²] y el fluido de trabajo es agua.

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

Adoptar el ratio de 579 [W/m²] (que es equivalente a 500 [kCal/h_m²]) para la potencia del intercambiador, además funcionar mejor y de disponer de un margen adicional sobre la normativa, facilita los cálculos correspondientes.

• Intercambiador de calor interno

El dimensionado del intercambiador de calor incorporado al acumulador debe quedar definido por, al menos, los siguientes parámetros: la potencia nominal, el caudal de diseño, los valores de las temperaturas y la superficie útil de intercambio.

Se considera como superficie útil de intercambio la parte de la superficie del intercambiador situada en la mitad inferior del acumulador. El área útil de intercambio (A_{int}), en relación con el área de total de captación (A_{COL}), cumplirá siempre la relación:

$$A_{int} = (\text{en } m^2) \geq 0,20 \cdot A_{COL}$$

Ejemplo: Definir el tamaño mínimo del intercambiador interno de una instalación solar de 25m² que dispone de 2 acumuladores de 1.000 litros cada uno.

El área total de intercambio debe ser superior a 5m², luego cada acumulador debe tener, como mínimo 2,5m² de área útil de intercambio.

4.4.4. Cálculo de diámetros de cañerías y pérdidas de carga

Una vez realizado el trazado de cañerías con los criterios establecidos se deben seleccionar los diámetros y calcular las pérdidas de carga de acuerdo con los siguientes criterios:

- La velocidad del fluido de trabajo no debe superar los 2 [m/s] en locales habitados y 3 [m/s] en locales deshabitados o en el exterior.
- Las pérdidas de carga unitarias deben estar dentro del rango de 10 a 40mm.c.a. (1 a 4 milibares), por metro lineal de tubería de cobre para cuando el fluido de trabajo es agua, para otros casos es aceptable un ± de 10mm.c.a. (1 milibar).

Las pérdidas de carga unitaria [mm.c.a./metro lineal] para tuberías de cobre se estiman con las siguientes ecuaciones⁴:

$$H_{tuberia} = 0,0378 * a * b * \frac{\dot{m}^{1,75}}{(0,001 D)^{4,75}} \approx \left(\frac{fr \rho v^2}{D} \right)$$

Donde:

- **fr**: Factor de fricción adimensional, que se estima con las fórmulas:
- **ρ**: Densidad del fluido, 1000 [kg/m³] para el agua y 1050 [kg/m³] para las mezclas de glicoles.
- **D**: Diámetro de la tubería en metros.
- **ṁ**: Caudal del fluido de trabajo en [L/h].
- **v**: Velocidad del fluido en m/s; que es igual a $14,4 * \dot{m} / \pi * D^2$
- **a**: Factor adimensional de corrección por el tipo de fluido de trabajo, vale 1 si es agua y vale 1,3 si es una mezcla de glicol.
- **b**: Factor adimensional de corrección de pared, vale 1 si es lisa la pared interna de la cañería y vale 1,3 si es rugosa.

El factor adimensional *fr* se calcula con las siguientes fórmulas:

- Para Flujo Laminar⁵:

$$fr = \left(\frac{64 \mu}{v D \rho} \right)$$

- Para Flujo Turbulento⁶:

$$fr = 0,316 \left(\frac{v D \rho}{\mu} \right)^{0,25}$$

4 Adaptación de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Flamant.

5 Ecuación de Poiseuille.

6 Ecuación de Blasius.

Donde μ es la viscosidad dinámica del fluido de trabajo y su valor es:

- $0,096 * 10^{-3}$ Pascales/segundo para agua (como líquido saturado) a 20°C;
- $1,500 * 10^{-3}$ Pascales/segundo para una mezcla de glicol al 20%, a 20°C.

Para los distintos diámetros de cobre habitualmente utilizados, en la siguiente tabla se indican los caudales máximos admisibles de acuerdo con los criterios anteriormente establecidos.

DIÁMETRO NOMINAL	ESPESOR DE LA PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	CAUDAL (litros/h)
18	1	16	HASTA 500
22	1	20	HASTA 950
28	1	26	HASTA 1.900
35	1	33	HASTA 3.600
42	1	40	HASTA 6.200
54	1.2	51.6	HASTA 12.000

TABLA 4-1
CAUDALES MÁXIMOS ADMISIBLES
PARA DIFERENTES DIÁMETROS DE
TUBERÍA DE COBRE

En la siguiente tabla se proporcionan las longitudes equivalentes de tubería para las distintas piezas de fittings:

	DIÁMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA					
	18	22	28	35	42	54
CURVA 45°	0.34	0.43	0.47	0.56	0.7	0.85
CODO 90°	0.5	0.63	0.76	1.01	1.32	1.71
CURVA 90°	0.33	0.45	0.6	0.84	0.96	1.27
REDUCCIÓN	0.3	0.5	0.65	0.85	1	1.3
Ts → ↓	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
Ts → ↑	2.5	3	3.6	4.1	4.6	5
Ts ← ↓	1.68	1.8	1.92	2.4	3.	3.6
VÁLVULA ANTIRRETORNO DE CHAPALETA	0.5	0.77	1.05	1.01	2.1	2.66

TABLA 4-2
LONGITUD EQUIVALENTE DE
TUBERÍA (EN METROS) PARA
PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES

A) Pérdidas de carga en los colectores solares

Las pérdidas de carga de las baterías de colectores deben ser facilitadas por el fabricante que normalmente las incorporan en los manuales de instrucciones para los distintos tamaños de baterías que se pueden componer y todo el rango de caudales de funcionamiento recomendado.

En caso de no disponer de los datos del fabricante, las pérdidas de carga unitaria [*mm.c.a./metro lineal*] para los colectores se pueden estimar con las siguientes ecuaciones⁷:

- Para colectores conectados en serie⁸:

$$H_{serie} = n * \left(\frac{fr \rho v^2}{2000 D} \right)$$

7 Adaptación de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y de Flamant.

8 A falta de una relación facilitada por el fabricante.

- Para colectores conectados en paralelo:

$$H_{\text{paralelo}} = \frac{l}{n^2} * \left(\frac{fr \rho v^2}{2000 D} \right)$$

Donde n , es el número de colectores.

B) Cálculo de la pérdida de carga del circuito completo

El cálculo de la pérdida de carga de un circuito se obtiene sumando las pérdidas de carga del lazo más desfavorable del circuito. Un circuito tendrá tantos lazos como circuitos en paralelo disponga. En los casos en que existan varios, interesa calcular las pérdidas de carga de los distintos lazos para conocer el nivel de desequilibrio entre ellos. La pérdida de carga más desfavorable se utilizará para el dimensionado de la bomba de circulación.

Para el cálculo de la pérdida de carga total deben sumarse las de todos los componentes del lazo. En un circuito primario se considerarán:

- Baterías de colectores.
- **Tuberías:** tramos rectos, accesorios y valvulería.
- Intercambiador.

En un circuito secundario se considerarán:

- Intercambiador
- **Tuberías:** tramos rectos, accesorios y valvulería.
- Entrada y salida del acumulador.

Ejemplo: Calcular la pérdida de carga total de un circuito

1. PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS														
NÚM TRAMO	LONG (M)	CAU (L/H)	DIÁ EXT. (MM)	VELOC (M/S)	DIÁ INT. (MM)	PC./M	MM.C.A. TRAMO	MM.C.A. ACUMUL	RED.	COD.	TES	VÁLV.	LONGITUD EQUIV (M)	MM.C.A. ACC.
1_2	21	1.386	28	0,73	26	26	555	555	1	8	2	4	56	1.477
2_3	5,5	693	22	0,61	20	26	145	700	0	4	1	2	20	533
5_6	1,5	693	22	0,61	20	26	39	739	0	0	1	0	2	39
6_7	6	1.386	28	0,73	26	26	159	898	1	4	1	0	7	182
P carga en tuberías								898	P carga en accesorios					2.233
2. PÉRDIDAS DE CARGA EN COLECTORES														
Colectores por batería 4 – Baterías en serie: 2 Datos facilitados por fabricante: Pérdidas de carga total en 2 baterías (mm.c.a.)														994
3. PÉRDIDAS DE CARGA EN INTERCAMBIADOR														
Datos facilitados por fabricante De tablas (mm.c.a.)														1.150
Total pérdidas de carga (mm.c.a.)														5.275

TABLA 4-3
CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE
CARGA TOTAL DE UN CIRCUITO
PRIMARIO

4.4.5. Bombas de circulación

A) Diseño

En las instalaciones solares térmicas se utilizan bombas centrífugas, de rotor húmedo o seco, y se situarán en las zonas más frías del circuito; cuando sea posible se montarán en tuberías verticales, evitando las zonas bajas, que puede retener suciedades.

En instalaciones de tamaño superior a 50m² se montarán dos bombas idénticas en paralelo, una de ellas en reserva, en cada uno de los circuitos y se planificará el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.

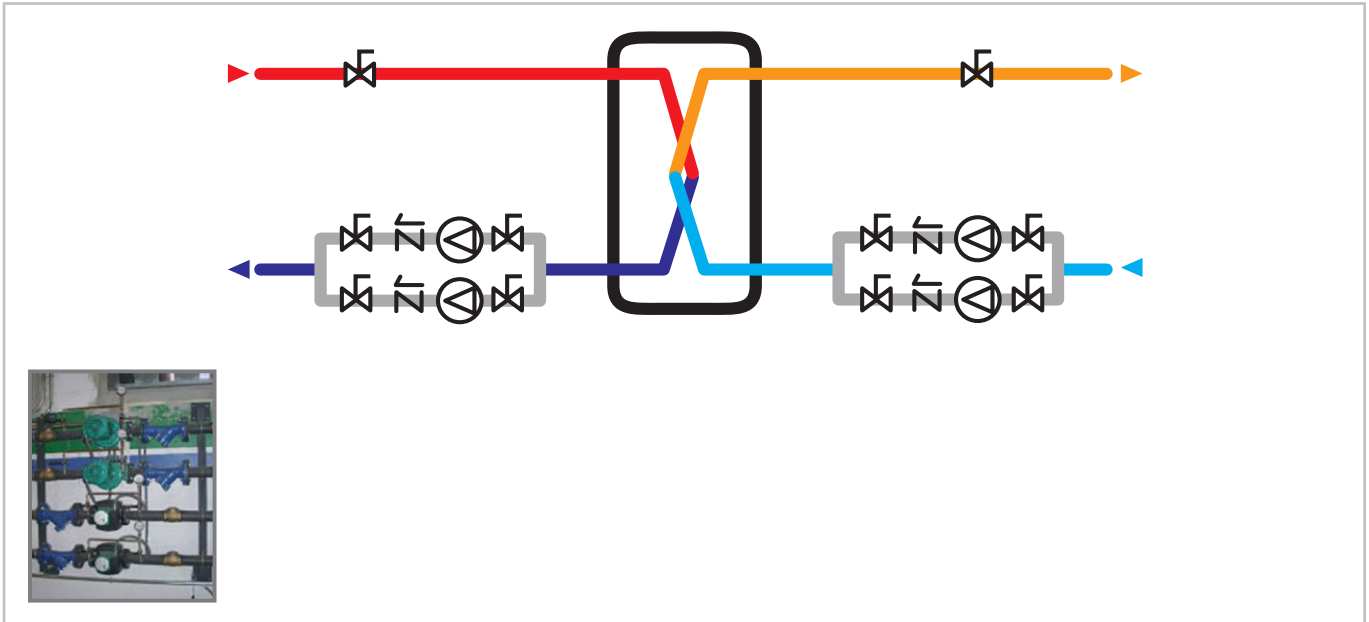


FIGURA 4-19
ESQUEMA DE CONEXIONADO Y
EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE
BOMBAS DE CIRCULACIÓN

Se deben utilizar válvulas antirretorno en la impulsión de las bombas cuando se monten bombas en paralelo. Cuando se utilice una única bomba por circuito la válvula antirretorno se podrá situar en cualquier lugar del mismo.

Se deben utilizar válvulas de corte a la entrada y a la salida de cada bomba para permitir su mantención y, en función de la calidad de las aguas es recomendable instalar un filtro de cestilla aguas arriba de las bombas.

B) Dimensionado y selección

La bomba se debe seleccionar de forma que el caudal y la pérdida de carga de diseño se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificado por el fabricante.

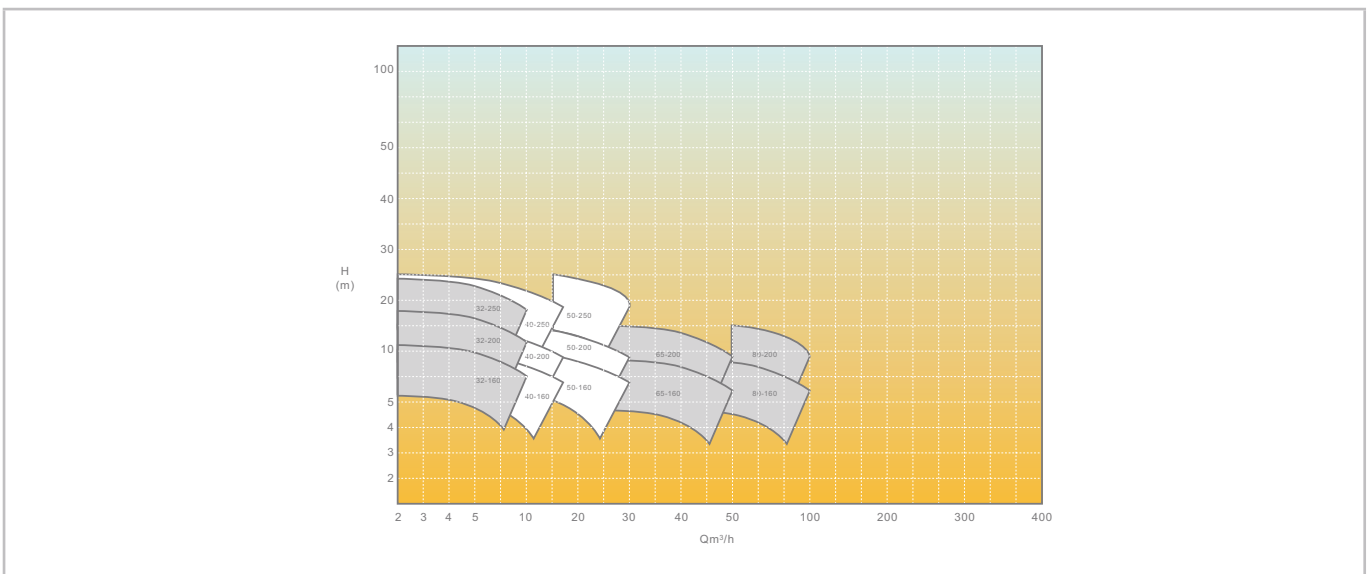


FIGURA 4-20
DIAGRAMA CAUDAL-PRESIÓN PARA
LA SELECCIÓN DE BOMBAS DE
CIRCULACIÓN

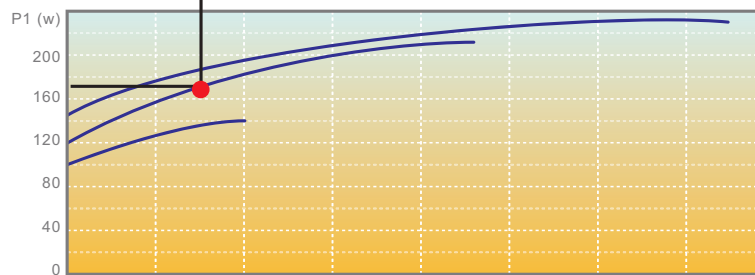
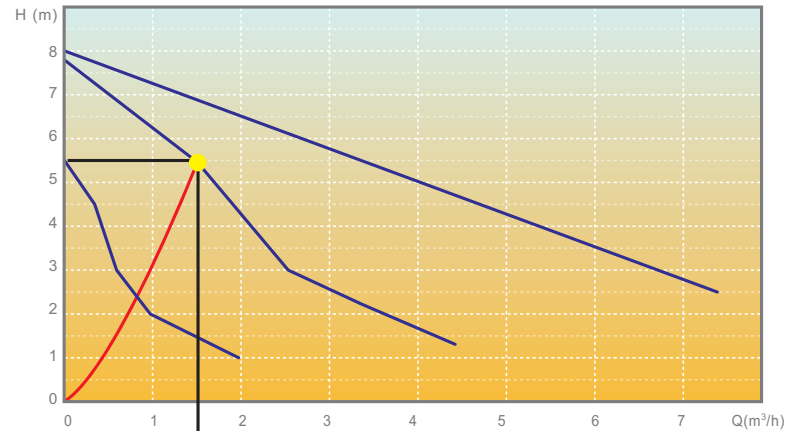
La bomba se seleccionará a partir de los datos de caudal y presión:

- El caudal nominal será igual al caudal de diseño del circuito.
- La presión de la bomba debería compensar la pérdida de carga del circuito correspondiente.

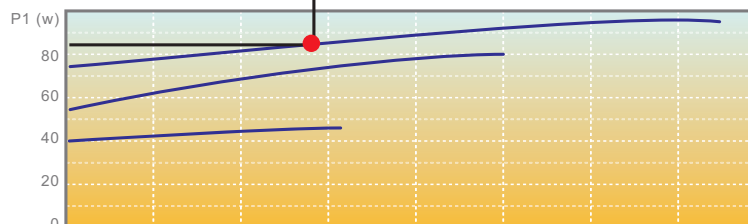
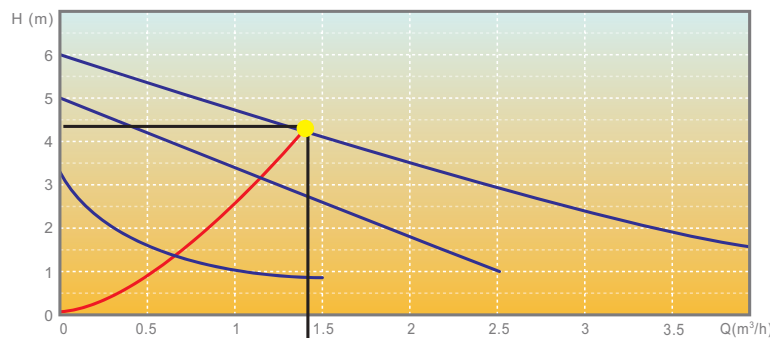
Ejemplo: Calcular las bombas de una instalación solar cuyas condiciones de funcionamiento son:

- Circuito primario: 1.386 [L/h] y 5,3mca
- Circuito secundario: 1.386 [L/h] y 4,4mca

En los gráficos de funcionamiento se determinan los puntos de trabajo.



UPS 25-80 180
Q = 1.38m³/h
H = 5.54m
P2 = 109w
P1 = 168w
BOMBA ETA = 19.1%
BOMBA + MOTOR ETA = 12.4%



UPS 25-60 130
Q = 1.39m³/h
H = 4.41m
P2 = 54.4w
P1 = 83.7w
BOMBA ETA = 30.7%
BOMBA + MOTOR ETA = 20%

FIGURA 4-21
CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE
BOMBAS DE CIRCULACIÓN

C) Consumo eléctrico

El cálculo de caudales, tuberías y pérdidas de carga de los circuitos termina con la selección de las bombas de circulación que requieren de la alimentación eléctrica para su funcionamiento. El consumo eléctrico de las bombas, en algunos casos, puede ser significativo y debe delimitarse.

Un adecuado ajuste de los parámetros de diseño anteriores conducirá a la selección de la bomba adecuada con una potencia eléctrica ajustada. En general se admite que, en grandes instalaciones, la potencia eléctrica de la bomba no debería exceder del 1% de la mayor potencia calorífica que puede suministrar el grupo de colectores.

La potencia eléctrica indicada anteriormente será aplicable a las que participan en el trasvase hasta el acumulador pero no será de aplicación a otras bombas que se puedan usar en el sistema de llenado, trasvase o similares.

Ejemplo: En una instalación de 100m² que puede suministrar una potencia térmica cercana a los 60kW, la suma de las potencias eléctricas de las bombas de primario y secundario no debería superar los 600W.

4.4.6. Válvulas

A) Válvulas de corte

Se recomienda que en instalaciones de tamaño superior a 100m², se utilicen las válvulas de corte necesarias para poder realizar operaciones de mantención en los componentes más importantes sin necesidad de realizar el vaciado completo de la instalación y sin necesidad de que deje de funcionar. Para ello se deben instalar válvulas de corte a la entrada y salida de:

- Cada grupo de colectores.
- Acumuladores, intercambiadores y bombas.
- La instalación solar para poder aislarla del sistema de apoyo.

Para mantener la instalación en funcionamiento, se deberán dejar previstas las válvulas de corte para los circuitos de by-pass cuando sean necesarios.

Es importante analizar los circuitos para no instalar más válvulas de corte de las estrictamente necesarias, ya que su uso indiscriminado, además del mayor coste que representan, produce mayores pérdidas térmicas y puede introducir más riesgos de fallas.

B) Válvula de seguridad

Se debe instalar, como mínimo, una válvula de seguridad en cada uno de los circuitos cerrados de la instalación, deberían ser siempre con manómetro e instaladas en lugar próximo a los sistemas de expansión correspondientes.

Adicionalmente, se debe instalar una válvula de seguridad en:

- Cada uno de los sectores del grupo de colectores.
- Cada uno de los acumuladores.

Se recomienda que la presión de tarado de las válvulas de seguridad ubicadas dentro de las sectorizaciones de los grupos de colectores sea superior a la de la válvula de seguridad principal del circuito primario con el fin de priorizar la descarga principal en caso de sobrepresión o, alternativamente, se puede anular el funcionamiento de las válvulas de seguridad secundarias cuando no tengan que estar operativas.

La posición de las válvulas de seguridad y la conducción del escape debería garantizar que, en caso de descarga, no se provoquen accidentes o daños. Para ello, los escapes de las válvulas de seguridad deberán estar conducidos para proteger la seguridad de las personas. La conducción a los desagües debería ser visible para poder comprobar la salida de fluido y en caso de evacuación a redes del edificio deberá verificarse la resistencia de las mismas a la alta temperatura del fluido.

C) Válvulas de retención

Se debe instalar válvulas de retención o antirretorno en:

- La alimentación de agua fría.
- En todos los circuitos cerrados para evitar circulaciones naturales indeseadas, y
- En cada una de las bombas, cuando se monten en paralelo, para permitir la conmutación automática.

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

D) Válvulas de equilibrado

Se deben instalar válvulas de equilibrado para introducir pérdidas de carga adicionales en determinados componentes o subsistemas con el fin de equilibrar circuitos en paralelo.

Debe prestarse especial atención a las temperaturas máximas de las válvulas de equilibrado próximas a los colectores ya que deben soportar la temperatura máxima correspondiente.

E) Válvulas de vaciado

Se deben instalar válvulas de vaciado que permitan el desagüe total y parcial de la instalación.

Las válvulas de vaciado deben estar conducidas, de forma visible, hasta la red de drenaje del edificio.

Las cañerías de drenaje dispondrán de las pendientes necesarias para que no existan retenciones de líquido en todo su recorrido.

4.4.7. Equipo de llenado

Los circuitos cerrados deberían incorporar un sistema de llenado, manual o automático, que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado. El diseño del sistema de llenado se realizará según la ITE 02.8.2 del RITCH⁹.

Cuando los circuitos requieran anticongelante se debería incluir un sistema que permita preparar la mezcla en un recipiente o depósito independiente para, posteriormente, introducirla en el circuito de forma manual o automática.

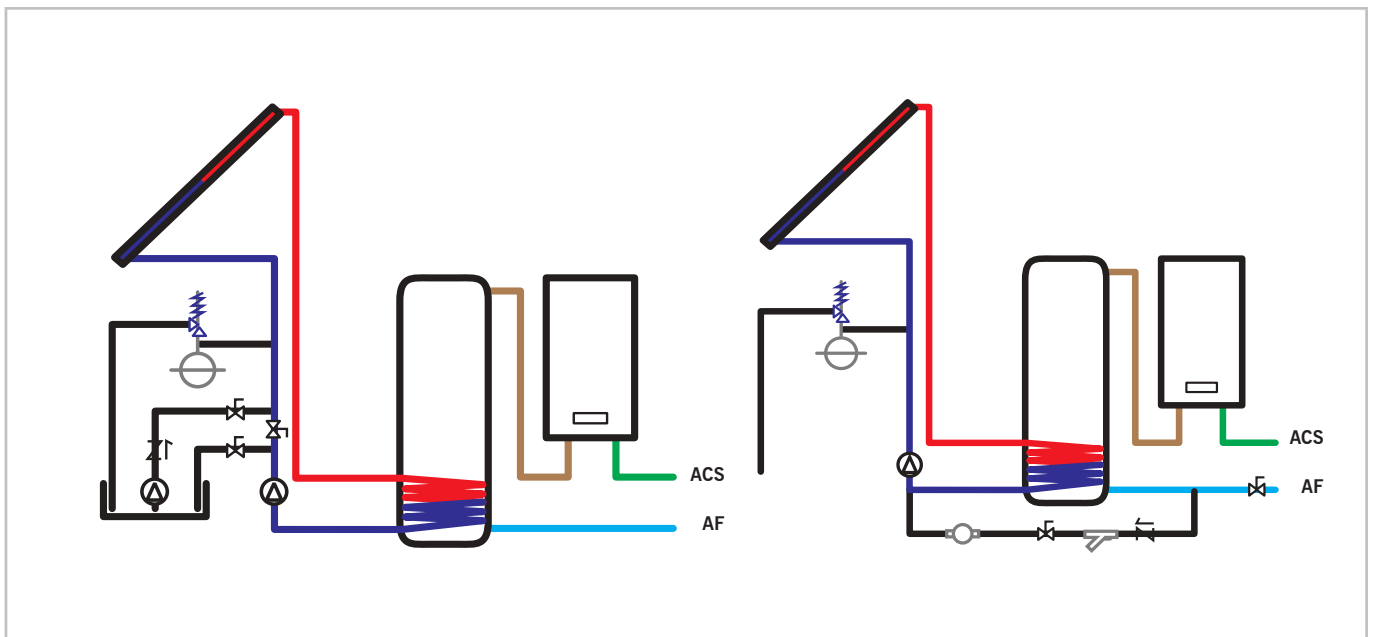


FIGURA 4-22
SISTEMAS DE LLENADO DE
CIRCUITOS PRIMARIOS

⁹ Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios en Chile, RITCH.

4.4.8. Sistemas de purga

La existencia de aire en el interior de los circuitos puede afectar a la capacidad de transferencia de calor del fluido caloportador y si no se elimina se puede ir acumulando en los puntos altos de los circuitos y reducir o incluso anular el caudal de circulación.

El aire en el interior de los circuitos puede proceder:

- Del existente con anterioridad al llenado con líquido y puesta en marcha de la instalación. Cuando la instalación está bien realizada y se realiza un procedimiento de llenado correcto, y después de repetido el proceso unas pocas veces, el aire debe haberse eliminado completamente.
- Del que pueda entrar a través de cualquier componente que pueda estar en depresión con respecto a la presión atmosférica suele ocurrir algún fallo de la instalación (estanque de expansión, sistema de llenado, válvula de seguridad, etc.) que debe subsanarse.
- Del que viene disuelto en el agua o fluido de alimentación que puede desprenderse a medida que aumenta la temperatura pero no es significativo en relación con los dos anteriores.

El aire interior siempre queda atrapado y se acumula en sifones invertidos y para facilitar su evacuación es importante, lo primero, que haya la menor cantidad posible de sifones invertidos. El sifón invertido es un trazado hidráulico que exige una circulación descendente del fluido y si éste no tiene velocidad suficiente puede no arrastrar el aire. Cuando se forme un sifón invertido se estudiará la necesidad de colocar un sistema de purga de aire en el punto más desfavorable del sifón. Puede haber sifones invertidos donde la elevada velocidad del fluido impida que se acumule el aire.

Los sifones más característicos y habituales de las instalaciones solares son los puntos altos de la salida de las baterías de colectores. Cuando así ocurra se colocarán sistemas de purga de aire que es suficiente estén constituidos por botellines de desaire y un purgador manual.

El botellín de desaire debe tener un volumen mínimo (algunos recomiendan unos 10cm³ por m² de colector) pero este volumen podrá disminuirse si en el circuito correspondiente se instala un desaireador automático.



FIGURA 4-23
PURGADOR AUTOMÁTICO
CON VÁLVULA (IZQ.)
Y SISTEMA DE PURGA
MANUAL (DER.)

Cuando se instalen purgadores automáticos de aire, siempre se instalarán con una válvula de corte que permita cortar su conexión con los circuitos para evitar problemas si se produce la vaporización del fluido de trabajo.

La instalación de los trazados horizontales e irregulares de cañerías con una ligera pendiente (mínima del 1%) en el sentido de circulación puede facilitar la evacuación pero no es imprescindible ya que puede complicar el montaje cuando el trazado horizontal corresponde a las 2 cañerías de ida y retorno.

Los acumuladores deberían disponer también de un sistema de purga en la zona más alta, preferiblemente de actuación manual.

4.5. Dispositivos de seguridad y protección

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

4.5.1. Protección frente a altas temperaturas

Se tienen que proteger de altas temperaturas a los usuarios para evitar quemaduras y 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 nunca podrá superar los 60°C. Cuando la temperatura de preparación o de distribución pueda ser superior a 60°C, la instalación ha de disponer de un sistema automático de mezcla o cualquier otro dispositivo que limite esta temperatura a 60°C como máximo.
- La instalación de todos los elementos que puedan evacuar fluido al exterior (válvulas de seguridad, de vaciado, etc.) debe realizarse de forma que su actuación no pueda provocar accidentes o daños.
- Ninguna superficie con la que exista posibilidad de contacto accidental podrá tener una temperatura mayor que 60°C. A estos efectos se debe tener en cuenta que las superficies externas del colector pueden alcanzar temperaturas superiores a 60°C.

La protección de los componentes y materiales de la instalación de energía solar frente a altas temperaturas será de seguridad intrínseca, es decir, la misma 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 el usuario tenga que hacer ninguna actuación.

La protección de otros componentes a altas temperaturas, como por ejemplo los acumuladores, se realiza normalmente para proteger el tratamiento interior del mismo o los materiales de las tuberías del circuito de consumo. Se suele realizar con el propio sistema de control, pero siempre debe tenerse en cuenta que las limitaciones de temperatura afectan negativamente al rendimiento de la instalación.

A) Protección mediante seguridad intrínseca

Como sistemas de protección mediante seguridad intrínseca frente a altas temperaturas en grandes instalaciones se utilizan: el diseño de la expansión para absorber la formación de vapor o el diseño del primario con presiones superiores a la de vapor.

Se hace referencia a los sistemas de drenaje automático que, en las condiciones extremas de funcionamiento, los colectores permanecen totalmente vacíos del fluido de trabajo, pero no se suelen utilizar en grandes instalaciones por las complicaciones constructivas que suponen.

- **Diseño de la expansión para absorber la formación de vapor**

Si se permite la formación de vapor en el interior del circuito primario (la temperatura de estancamiento de la instalación es superior a la temperatura de vaporización del fluido correspondiente a la presión máxima), se debe tener prevista la expansión del mismo de forma que el aumento de volumen sea completamente absorbido por el sistema de expansión.

Se debe comprobar 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 a altas temperaturas.

- **Diseño del primario con presiones superiores a la de vapor**

Para no permitir la formación de vapor, el diseño del circuito primario debe realizarse con una presión de trabajo que sea siempre superior a la presión de vapor del fluido a la temperatura de trabajo. Naturalmente, la máxima presión del vapor del fluido que hay que superar corresponderá a la de la temperatura de estancamiento del colector.

B) Sistemas de evacuación de calor

La exposición continua a altas temperaturas puede producir el envejecimiento acelerado de la mezcla anticongelante y de algunos materiales. Por tanto, se recomienda utilizar procedimientos para evacuar el calor de forma que se limite que determinados componentes o circuitos sobrepasen una determinada temperatura (en el rango de los 90 a 100°C).

Los más utilizados son la recirculación nocturna y el uso de disipadores de calor aunque hay que tener en cuenta que éstos no son sistemas de protección de la instalación ya que cualquier fallo en la alimentación eléctrica impide su funcionamiento. No son, por tanto, procedimientos alternativos a los sistemas de seguridad intrínseca antes referidos.

- **Recirculación nocturna**

Si se quiere reducir la temperatura alcanzada en el acumulador durante el día, se puede disponer de un sistema de

circulación nocturna que consiste en que la bomba de circulación del circuito primario opere por la noche disipando, a través de los colectores, la energía acumulada.

- **Sistema de disipación de calor**

El sistema de disipación de calor es un intercambiador agua-aire cuyo funcionamiento permite evacuar calor del circuito primario y reducir su temperatura. Se dimensiona en base a la potencia de calor que sea necesario extraer del circuito que, independientemente de la tecnología usada, se puede estimar en unos 700W de potencia térmica por m² de área de captación.

4.5.2. Protección contra heladas

En cualquiera de los circuitos de la instalación con trazado de tuberías que, total o parcialmente, discurran por el exterior deberá evaluarse el riesgo de heladas y tomar las medidas de protección adecuadas.

En las zonas con riesgo de heladas se tendrá que utilizar un sistema de protección adecuado: circuito indirecto con mezcla anticongelante o vaciado automático de circuitos aunque como ya se indicó anteriormente para la protección a altas temperaturas, sólo se hace referencia a éste último sistema de protección contra heladas porque en grandes instalaciones es de difícil aplicación.

En las zonas con riesgo de heladas bajo se podrán utilizar, además de los anteriores, un sistema de protección antiheladas mediante recirculación del fluido.

A) Circuitos indirectos con mezclas anticongelantes

El sistema de protección contra heladas se realizará utilizando circuitos indirectos con mezclas de agua y anticongelante; se utilizará agua desmineralizada y como anticongelante podrán utilizarse los productos que cumplan la reglamentación vigente (ver apartado 3.4).

Para no permitir la formación de vapor, el diseño del circuito primario debe realizarse con una presión de trabajo que sea siempre superior a la presión de vapor del fluido a la temperatura de trabajo. Naturalmente, la máxima presión del vapor del fluido que hay que superar corresponderá a la de la temperatura de estancamiento del colector.

B) Recirculación del circuito primario

La exposición continua a altas temperaturas puede producir el envejecimiento acelerado de la mezcla anticongelante y de algunos materiales. Por tanto, se recomienda utilizar procedimientos para evacuar el calor de forma que se limite que determinados componentes o circuitos sobrepasen una determinada temperatura (en el rango de los 90 a 100°C).

Se asegurará que el fluido de trabajo está en movimiento en todas las partes del circuito primario y, especialmente, se vigilará que no existan grupos de baterías cortadas y con fluido en el interior del circuito.

4.5.3. Protección frente a las máximas presiones

El sistema de protección frente a las altas presiones está constituido por el sistema de expansión. Si falla éste, como seguridad adicional y normalmente no reversible automáticamente, se disponen las válvulas de seguridad que actúan expulsando fluido al exterior. Se incorporará un manómetro que permita la lectura directa de la presión de trabajo.

A) Diseño del sistema de expansión

Se debe utilizar un sistema de expansión independiente y cerrado en cada uno de los circuitos de la instalación. Se recomienda utilizar también un sistema de expansión en el circuito de consumo.

El ramal de conexión del sistema de expansión del circuito primario se conectará en la parte del circuito que facilite la expansión del fluido de colectores y tendrá la capacidad necesaria para que la disipación de calor durante la fase de expansión evite que el fluido de trabajo llegue al sistema de expansión a una temperatura superior a la de diseño de sus componentes.

Para ello, el ramal debe estar constituido por un tramo de tubería sin aislamiento que puede ser aleteada o intercalar un depósito no aislado, que disponga de la superficie de evacuación o la capacidad de acumulación necesaria para que el fluido llegue al sistema de expansión con una temperatura inferior a la máxima que pueda soportar.

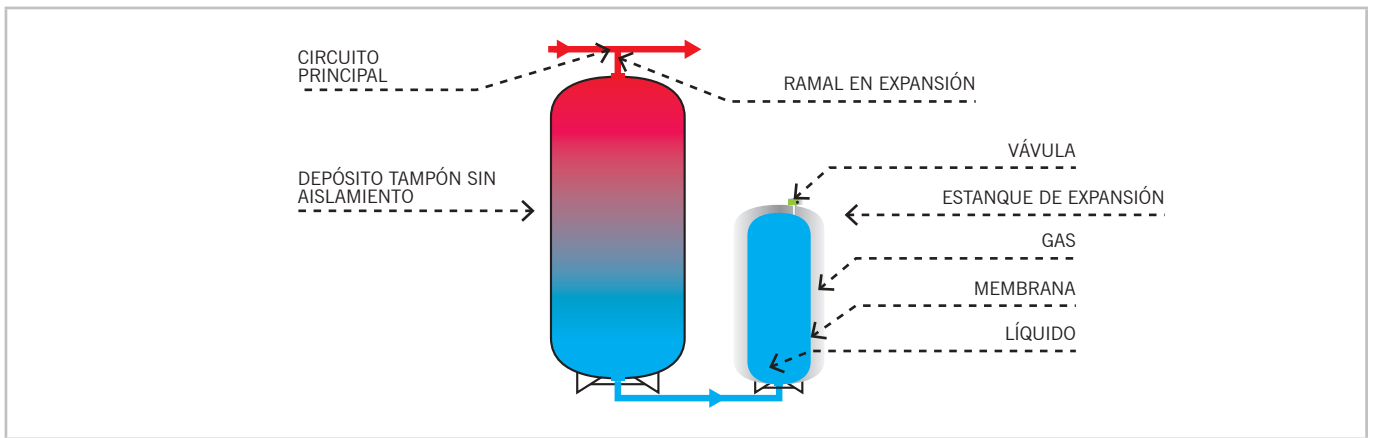


FIGURA 4-24
SISTEMA DE EXPANSIÓN CON
DEPÓSITO TAMPÓN

Los sistemas de expansión se deben ubicar preferentemente en zonas protegidas de la radiación solar.

B) Dimensionado del estanque de expansión

Se dimensionará de acuerdo con los criterios de diseño previstos en el proyecto y, en particular, con la formación, o no, de vapor y de forma que pueda absorber toda la expansión del fluido desde la presión mínima a la presión máxima definida en el apartado 2.4.

El volumen del estanque de expansión deberá ser la suma de:

- Volumen de expansión debido a la dilatación térmica del líquido.
- Volumen debido a la formación de vapor que puede crearse en los colectores y en las cañerías durante el estancamiento del sistema.
- Volumen de reserva para asegurar que el estanque no se vacía de fluido cuando las temperaturas son más bajas que aquellas a las que se hizo el llenado.

El volumen útil del estanque de expansión (V_u) se calcula de la siguiente manera:

$$V_u = (V_e + V_{vap} + V_r) * C_p$$

$$V_e = V_t * C_e$$

$$V_{vap} = V_{colectores} + V_{tuberías}$$

$$V_r = 0,03 * V_t$$

$$C_p = \frac{P_M + I}{P_M - P_m}$$

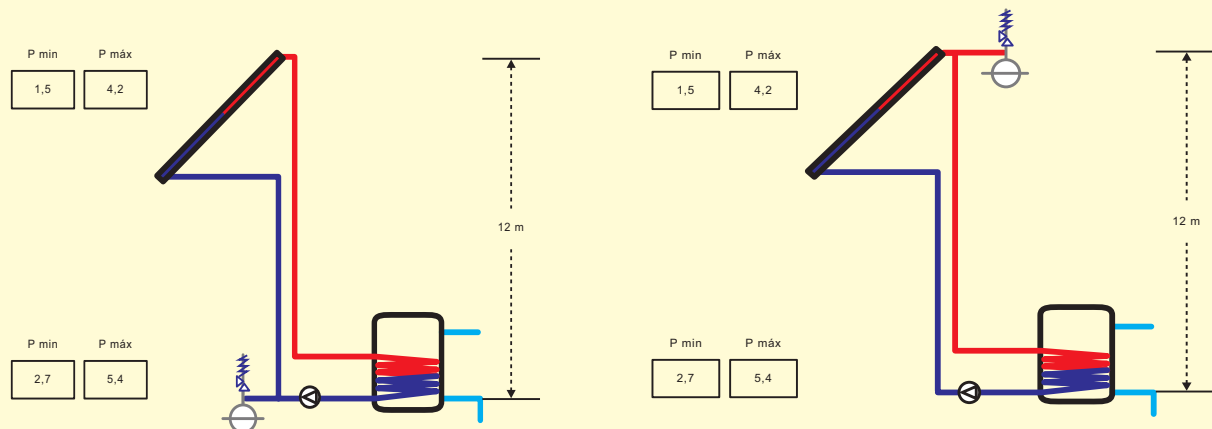
$$P_M = 0,9 * P_{vs} \leq P_{VS} - 0,5$$

Donde:

- V_e : volumen de expansión.
- V_{vap} : volumen debido a la formación de vapor.
- V_r : volumen de reserva. Se considerará el 3% del volumen del circuito con un mínimo de 3 litros.
- V_t : contenido total del líquido en el circuito
- C_e : coeficiente de expansión. Se recomienda adoptar 0,043 para el agua y 0,085 para las mezclas agua-glicol.
- $V_{colectores}$: volumen total contenido en los colectores del circuito.
- $V_{tuberias}$: volumen total contenido en las cañerías del circuito primario que están por encima de la parte inferior de los colectores.
- C_p : coeficiente de presión.
- P_M : presión máxima.
- P_m : presión mínima.
- P_{vs} : presión de tarado de la válvula de seguridad.

Debe ajustarse la presión inicial del gas (P_i) del estanque de expansión a la presión mínima del estanque de expansión.

Ejemplo: Calcular los vasos de expansión de los dos circuitos primarios de glicol sabiendo que tiene 20 colectores solares (1,5 litros de capacidad por colector) y el circuito primario tiene 10 litros de capacidad por encima de colectores y 20 en el resto hasta intercambiador; el intercambiador tiene 5 litros de capacidad:



Para ambos:

- $V_e = 0,085 * (20 * 1,5 + 10 + 20 + 5) = 5,5$
- $V_{VAP} = 20 * 1,5 + 10 = 40$
- $V_r = 3$

Para caso 1:

- $C_p = (5,4 + 1) / (5,4 - 2,7) = 6,4 / 2,7 = 2,37$
- $V_u = (5,5 + 40 + 3) * 2,37 = 114,9$ litros.
- => Seleccionar vaso de 120 litros.

Para caso 2:

- $C_p = (5,4 + 1) / (5,4 - 1,5) = 6,4 / 3,9 = 1,64$
- $V_u = (5,5 + 40 + 3) * 1,64 = 79,5$ litros.
- => Seleccionar vaso de 80 litros.

4.6. Equipos de medida

Se deben prever los dispositivos necesarios para tomar medidas de temperaturas, de presiones, de caudales y de energía.

Para medida de temperaturas se deberían disponer:

- En la entrada y salida del campo de colectores. Si los circuitos no son muy largos, esta medida se puede tomar en la entrada y salida del intercambiador de calor.
- En el campo de colectores, aunque no se disponga de termómetros en las salidas de cada grupo, se deberían prever vainas de inmersión en cada una de ellas para puntualmente realizar las medidas necesarias.
- En los intercambiadores se medirán las entradas y salidas de todos los circuitos.
- En los acumuladores. Es conveniente, sobre todo en los esbeltos, instalar 2 termómetros situados en la parte superior e inferior 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.
- En el circuito de consumo se preverán termómetros en la entrada de agua fría, en la salida de agua caliente del sistema de acumulación y en la salida de agua caliente del sistema de apoyo.

Para la medida de presión, se instalarán manómetros:

- En un lugar próximo al sistema de llenado.
- Asociado al sistema de expansión y la válvula de seguridad de cada circuito.
- An el acumulador.

Para la medida de presión diferencial, se instalarán manómetros con sendas válvulas de corte entre aspiración e impulsión de bombas, así como en la entrada y salida de los circuitos del intercambiador.



FIGURA 4-25
MANÓMETRO
DIFERENCIAL ENTRE
ASPIRACIÓN E IMPULSIÓN
DE BOMBA

Se instalará contador de agua en la entrada de agua fría a la instalación solar. Este contador se puede utilizar como parte de un contador de energía térmica que disponga de las dos sondas situadas en la entrada de agua fría y en la salida de agua caliente del sistema de acumulación.

4.7. Aislación de la red hidráulica

Todas las tuberías, accesorios y componentes de la instalación se aislarán para disminuir las pérdidas térmicas en los circuitos. 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.

No se aislarán los estanques de expansión ni el ramal de conexión entre el vaso de expansión y la línea principal del circuito.



FIGURA 4-26
 INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE COBRE ANTES DE SU
 AISLACIÓN: SOPORTES SIN PUENTES TÉRMICOS Y
 CON SEPARACIÓN SUFICIENTE



FIGURA 4-27
 TUBERÍA DE COBRE AISLADA CON DOBLE CAPA DE
 COQUILLA DE FIBRA DE VIDRIO

La importancia de las pérdidas térmicas exige que, en cada caso, sean evaluadas para determinar el aporte solar útil. El cálculo de las pérdidas térmicas se realizará conforme al método de cálculo de prestaciones que se utilice:

- Si es un método simplificado se realizará una estimación de las pérdidas térmicas no incluidas en el cálculo para evaluar las prestaciones netas de todas las instalaciones.
- Si es un método de simulación debería verificarse que están incorporadas la evaluación de todas las pérdidas térmicas. En el caso que no estén incluidas todas las pérdidas térmicas se realizarán las estimaciones adicionales que sean necesarias.

Para los cálculos simplificados, en base media mensual o anual, se podrán realizar las siguientes hipótesis de partida:

- 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 anual (o considerar una temperatura fija de 10°C para la estimación del valor medio anual) en los tramos exteriores del circuito y 20°C en los tramos interiores.
- La conductividad térmica de referencia del aislamiento será 0,040 [W/m • K].
- Se considerará una velocidad del aire nula.

En cualquier caso, siempre se cumplirá la normativa en vigor que establece el espesor mínimo de aislación de cañerías dado por las siguientes expresiones:

- Para tuberías instaladas en el interior:

$$e_{min} = \geq 0,75 * d * \lambda / 0,04$$

- Para tuberías instaladas en el exterior:

$$e_{min} = \geq d * \lambda / 0,04$$

Donde:

- e_{min} : Espesor mínimo aislamiento, en mm.
- d : El diámetro de la tubería, en mm
- λ : La conductividad térmica del material de aislamiento en $[W/m \cdot K]$.

Estos valores quieren decir que, para materiales aislantes con una conductividad térmica igual a $0,04 [W/m \cdot K]$, los espesores de aislamiento serán iguales a los diámetros de tuberías si van situadas al exterior y los espesores se podrán reducir en un 25% si van situadas en interiores.

4.8. Sistema de apoyo

Las instalaciones de energía solar dispondrán de un sistema de apoyo que, alimentado por otra fuente de energía, permita asegurar la continuidad en el suministro de agua caliente sanitaria.

El diseño de los sistemas de apoyo no es objeto de este manual, pero se toma en consideración, dado que un mal diseño o un inadecuado funcionamiento del mismo puede tener efectos muy perjudiciales en las prestaciones de la instalación solar.

La configuración del sistema de apoyo podrá ser cualquiera de las utilizadas en los sistemas convencionales de preparación de agua caliente sanitaria: con acumulación o instantáneo.

El sistema de aporte de energía de apoyo siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que, respetando la normativa vigente que le sea de aplicación, se debe encontrar tarado al menor valor posible.

El sistema de aporte de energía de apoyo siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que, respetando la normativa vigente que le sea de aplicación, se debe encontrar tarado al menor valor posible.

El acoplamiento de la parte solar y del sistema de apoyo de las instalaciones solares deberá realizarse conforme a los criterios establecidos en el capítulo 2 y de forma que se garanticen las condiciones de funcionamiento previstas.

Las condiciones de salida de la parte solar son las de entrada del sistema de apoyo y dependen de la configuración elegida, del sistema de control y, naturalmente, de las condiciones meteorológicas y de consumo.

Se deberá comprobar que el sistema de apoyo soporta la temperatura de salida de la SST que será variable entre la temperatura de red y un valor máximo que puede estar definido por:

- La que alcanza el acumulador solar sin ningún tipo de limitación.
- La que establece como límite en el acumulador solar, parando el proceso de calentamiento solar.
- La regulada en una válvula mezcladora instalada a la salida del acumulador solar.

Como ya se ha indicado, tanto la limitación como la mezcla a la salida afectan negativamente al funcionamiento de la instalación solar.

Independientemente de la temperatura de salida de la SST, el sistema de apoyo deberá ser capaz de abastecer la demanda de agua caliente.

El caudal y la temperatura de distribución de agua caliente, a la salida del sistema de apoyo, debería mantenerse en los niveles de confort fijados, aunque varíe el caudal y/o la temperatura de entrada del agua procedente del sistema solar.

La energía térmica aportada por la caldera debería modularse en función de la temperatura de entrada de agua procedente de la SST de forma que no esté excesivamente perjudicado el rendimiento del sistema de apoyo por el funcionamiento a carga parcial.

Cuando la instalación solar dispone de temperatura superior a la de diseño, podría alimentar directamente al consumo pero al atravesar el sistema de apoyo (normalmente de instalaciones existentes), se enfría y se está introduciendo un rendimiento adicional que habría que conocerlo o limitarlo.

El funcionamiento del sistema de apoyo no debe perjudicar al funcionamiento de la instalación solar de forma que se garantice que el aporte solar se traduzca en un ahorro efectivo de energía de apoyo y de emisiones de CO₂ al ambiente.

Las condiciones de conexión a una instalación solar no deberían afectar a la durabilidad del sistema de apoyo y se analizarán los posibles efectos como, por ejemplo, que los ciclos de temperatura de la instalación solar afectan el envejecimiento de plásticos o que el calentamiento previo de la instalación solar hace que disminuyan los depósitos calcáreos en el sistema de apoyo.



FIGURA 4-28
CUADROS ELÉCTRICOS CON LOS EQUIPOS DE
CONTROL INCORPORADOS

4.9. Sistema eléctrico y de control

El sistema eléctrico y de control se encarga de gobernar el correcto funcionamiento de todos los circuitos, controlando la alimentación eléctrica a los distintos dispositivos electromecánicos, fundamentalmente bombas y válvulas motorizadas, que la componen.

El objetivo del sistema de control es maximizar la energía solar aportada y minimizar el consumo de energía de apoyo. Adicionalmente puede utilizarse como medio adicional de los sistemas de protección y seguridad para evitar que se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de cada circuito.

En la memoria de cálculo se recomienda especificar la estrategia de control utilizada, el tipo de control que se utiliza en cada circuito y la posición de las sondas de temperatura así como adjuntar un esquema eléctrico del sistema.

4.9.1. Equipo de control

En el circuito primario, para el control de funcionamiento normal de las bombas, se recomienda utilizar un sistema de control de tipo diferencial, actuando en función del salto de temperatura entre la salida de colectores y el sistema de acumulación solar. Opcionalmente se podrán utilizar sistemas de control por célula crepuscular u otros dispositivos cuyo funcionamiento garantice las mejores prestaciones de la instalación.

En el resto de circuitos el control de funcionamiento normal de las bombas será de tipo diferencial comparando la temperatura más caliente de un sistema o circuito con la temperatura más fría del otro sistema o circuito.

Los sensores de temperatura que reflejen la temperatura de salida de los colectores se deben colocar en la parte interna y superior de estos en contacto con el absorbedor o a la salida de la batería de colectores solares a una distancia máxima de 30cm de la salida de los colectores o de la batería a efecto de medir adecuadamente su temperatura.

Siempre que sea posible, las referencias de temperatura es preferible tomarlas en el interior de los acumuladores antes que en las cañerías de conexión.

El sensor de temperaturas de la parte fría del acumulador solar, se debe situar en la parte inferior del acumulador, en una zona influenciada por la circulación del circuito primario, a una altura comprendida entre el 10% y el 30% de la altura total del acumulador y alejado de la toma de entrada de agua fría. En el caso particular de usar un intercambiador de tipo serpentin, se recomienda que se localice en la parte media del intercambiador.



FIGURA 4-29
DISTINTOS MODELOS DE EQUIPOS
DE CONTROL

El rango de temperatura ambiente de funcionamiento del sistema de control será deseable como mínimo entre -10 y 50°C.

El tiempo mínimo de errores especificado por el fabricante del sistema de control no debe ser inferior a 7 mil horas.

A) Función control diferencial

Cuando el control de funcionamiento de las bombas sea diferencial, la precisión del sistema de control y la regulación de los puntos de consigna buscará idealmente que las bombas estén detenidas con diferencias de temperaturas menores de 2°C y en marcha con diferencias superiores a 7°C. No obstante, se recomienda estudiar cada caso tomando en consideración la diferencia media logarítmica de las temperaturas de intercambio.

El sistema de control debe incluir señalizaciones visibles de la alimentación del sistema y del funcionamiento de bombas. Es recomendable el uso de controladores que muestren la temperatura de los sensores, así como aquellos que, adicionalmente, muestren la temperatura del fluido en la entrada al campo de colectores para observar el salto de temperaturas.

B) Función limitación temperatura máxima del acumulador

Para limitar la temperatura máxima del acumulador se utilizará un sensor de temperaturas, preferentemente situado en la parte alta del mismo que actuará anulando el aporte de energía al mismo. La actuación podrá hacerse:

- 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 por el acumulador con una válvula de 3 vías.

El funcionamiento o no de la bomba de circulación del primario estará condicionada por el interés de disponer de circulación para la evacuación de calor del circuito.

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.

Deberá tenerse en cuenta que la limitación de temperatura del acumulador siempre supone una reducción de las prestaciones de la instalación solar por lo que se deberá procurar la temperatura de consigna sea lo mayor posible para que su funcionamiento sea el menor posible.

C) Función temperatura máxima del circuito primario

La limitación de temperatura del circuito primario se realiza para evacuar el calor que se genere en los colectores y para ello, con la señal del sensor de temperatura de colectores, se puede actuar sobre una válvula de tres vías que 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 y por tanto su actuación nunca podrá producir mayor calentamiento en el mismo.

D) Función temperatura mínima de colectores

Cuando la protección contra heladas sea mediante circulación del circuito primario se utilizará la señal de un sensor de temperaturas situado en los colectores que actuará sobre la bomba del circuito primario para mantener la circulación en el mismo.

En una instalación con intercambiador externo se deberá conectar también la bomba del circuito secundario para garantizar que no existan problemas de heladas, sobre todo, cuando el circuito primario tenga poca inercia o las temperaturas mínimas alcanzables sean muy bajas.

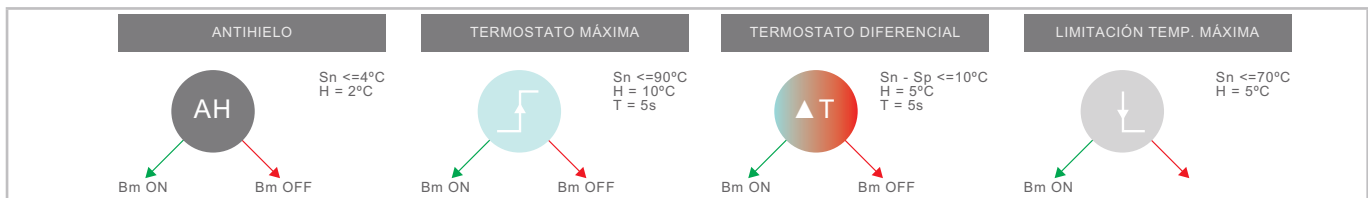


FIGURA 4-30
SISTEMA DE EXPANSIÓN CON
DEPOSITO TAMPÓN



FIGURA 4-31
ELEMENTOS DE MEDIDA DE LOS
EQUIPOS DE CONTROL

4.9.2. Sistemas de monitorización

Se recomienda la utilización de sistemas de monitorización en las instalaciones solares para realizar un adecuado control, seguimiento y evaluación de las mismas.

Las variables a medir y registrar podrán ser:

- Temperaturas de los distintos sistemas, circuitos y ambiente.

- Caudales de los distintos fluidos de trabajo de todos los circuitos.
- Radiación solar global sobre el plano de colectores.
- Presión de trabajo en cada uno de los circuitos.
- Consumo de energía eléctrica.
- Consumo de energía en los sistemas de apoyo.
- Estado de posicionamiento de las válvulas de 3 vías.
- Estado de funcionamiento de las bombas.

Preferentemente se emplearán las siguientes tecnologías de medición:

- Temperaturas entre 0 y 120°C: Sondeas resistivas PT-100 ó PT-1000
- Para temperaturas mayores de 120°C: Termopares.
- Presiones manométricas: Transductores piezoeléctricos.
- Caudales: Caudalímetros de turbina con emisores de pulsos.

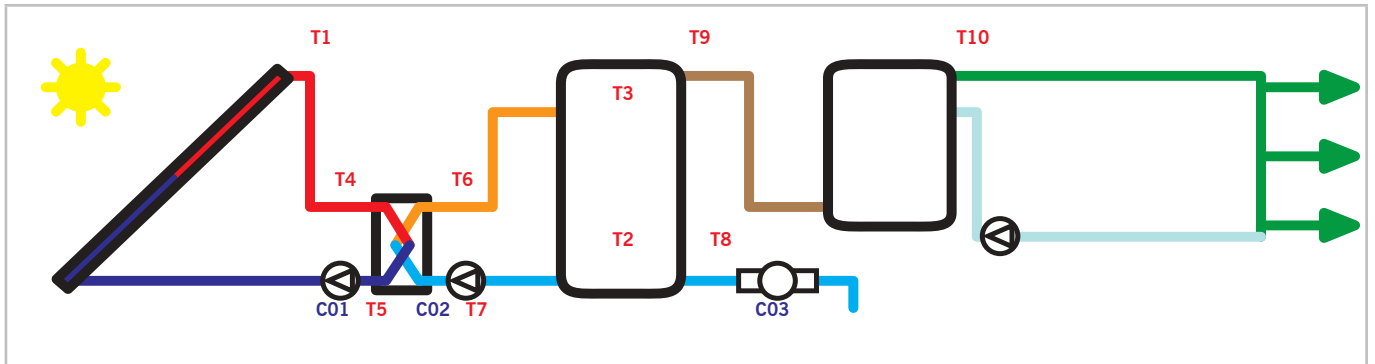


FIGURA 4-32
SITUACIÓN DE SONDAS DE
TEMPERATURA Y CAUDALÍMETROS

El sistema de adquisición de datos deberá ser capaz de adquirir las señales, de la totalidad de los sensores, con una frecuencia ideal igual a 1 minuto, sin embargo se almacenará preferentemente la media de cada una de las señales que se tomen en un lapso de 5 minutos (registro de muestras instantáneas).

El sistema empleado para la adquisición de datos, debe realizar preferentemente el registro de los valores medios de las muestras, con una periodicidad no superior a 5 minutos. Estos registros deberán guardarse, si es posible, en una memoria no-volátil del equipo remoto que tendrá capacidad para almacenar todos los datos registrados durante, al menos, 40 días de funcionamiento normal de la instalación.

El cálculo de la energía siempre se realizará de forma simultánea al muestreo de datos.

Además se tendrá en consideración el almacenar datos respecto a los siguientes aspectos:

- Registro de totales absolutos: Volumen, energía y maniobras acumuladas.
- Registro de estadísticas diarias: Máximas y mínimas de las sondas. Y Máximos y totales de los contadores de caudal/energía.



- *Introducción a la Energía Solar Térmica · Configuraciones del SST ·*
- *Componentes de un SST para ACS · Diseño y dimensionado ·*
- *Cálculo de prestaciones energéticas · Instalación · Operación y mantención ·*
- *Incorporación del SST en el edificio ·*

Capítulo 5

Cálculo de prestaciones energéticas

5.1. Introducción al cálculo

El cálculo de prestaciones energéticas tiene por objeto predecir y conocer el comportamiento térmico de una determinada instalación solar térmica ubicada en un determinado lugar y atendiendo una determinada utilización. 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 de la instalación.

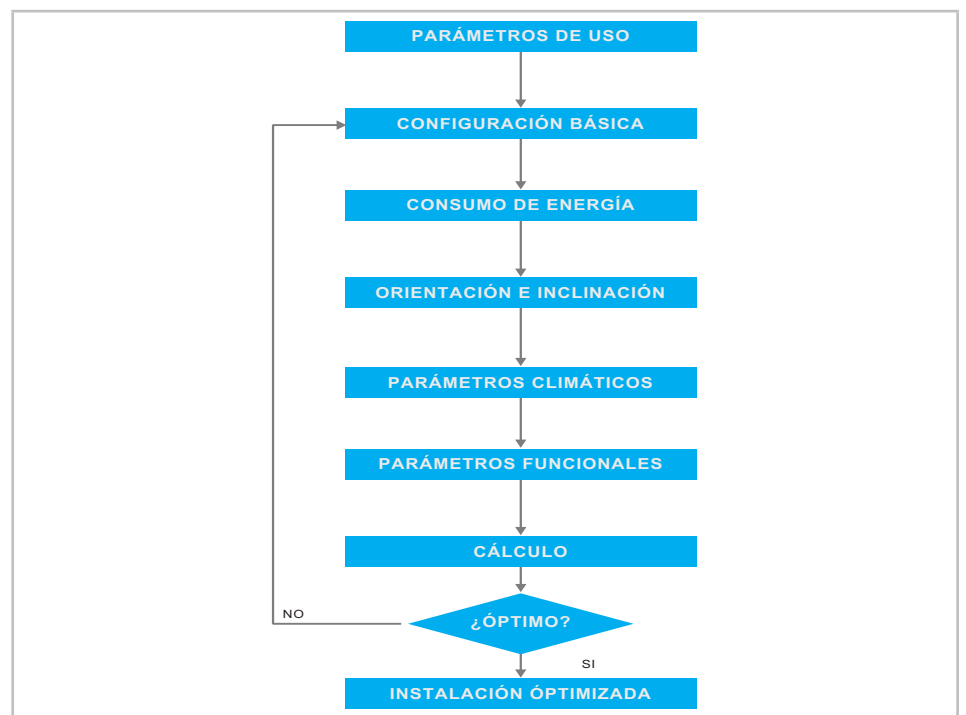


FIGURA 5-1
PROCESO ITERATIVO DE
CÁLCULO

El cálculo de una IST es un proceso iterativo que pretende definir la mejor instalación solar que resuelve un determinado consumo de energía e incluye:

- Definición y valoración de los parámetros de uso.
- Selección de la configuración básica.
- Cálculo de la demanda y el consumo de energía.
- Obtención de los datos climáticos.
- Selección de la orientación e inclinación de los colectores.
- Selección de los parámetros funcionales de la instalación.
- Cálculo de las prestaciones.

El proceso iterativo permite realizar un análisis de sensibilidad y si el resultado final no es el óptimo buscado puede ser necesario cambiar la configuración, ajustar la orientación e inclinación de colectores o modificar los parámetros funcionales para realizar un nuevo cálculo de las prestaciones de la instalación.

Todas las variables que afectan al cálculo de una instalación pueden agruparse en tres grupos de parámetros que definen las bases de cálculo o los datos de partida: parámetros de uso, climáticos y de funcionamiento.

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 la oferta de energía disponible; los de mayor importancia son la radiación solar global y la temperatura ambiente aunque también pueden influir otros factores, como la velocidad y dirección del viento, aunque 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 colectores 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.

5.2. Parámetros de uso

5.2.1. Temperaturas de uso y de preparación

El diseño de una instalación convencional de preparación y distribución de agua caliente se puede realizar con temperaturas de preparación (T_p) y de distribución (T_d) distintas y superiores a la de uso (T_u) y siempre se cumplirá:

$$T_p \geq T_d \geq T_u$$

En la siguiente figura se muestran gráficamente las temperaturas definidas anteriormente en una instalación solar con un sistema de apoyo de agua caliente por acumulación.

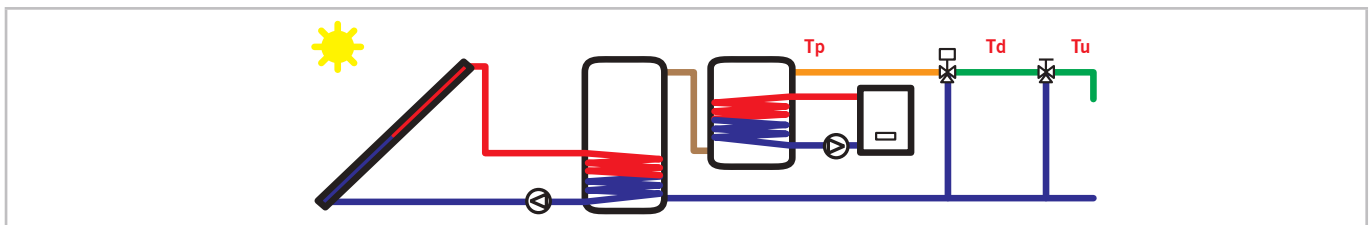


FIGURA 5-2
TEMPERATURAS DE PREPARACIÓN,
DISTRIBUCIÓN Y USO DE UNA
INSTALACIÓN

La mezcla del caudal de preparación (Q_p) con agua fría, a la salida del sistema de apoyo, proporciona el caudal de distribución (Q_d) y la mezcla de éste en el punto de consumo, produce el caudal de uso (Q_u). Los caudales asociados a cada temperatura, por tanto, van disminuyendo a medida que aumenta la temperatura correspondiente por lo que se cumple:

$$Q_u \geq Q_d \geq Q_p$$

Es muy importante tener en cuenta la temperatura de consigna del sistema de preparación (T_p) dado que es la que define el caudal (Q_p) que circula por la SST, salvo en configuraciones especiales no recogidas en esta Guía (por ejemplo, cuando los sistemas de apoyo están conectados en paralelo a la instalación solar) y es el valor que debe considerarse para el dimensionado de la misma.

Para determinar el caudal de consumo asociado a cualquier temperatura $Q_{ACS}(T)$ tomando como referencia el consumo de agua caliente $Q_{ACS}(45)$ para una temperatura de referencia de 45°C se utilizará la siguiente expresión:

$$Q_{ACS}(T) = Q_{ACS}(45) * (45 - T_{AF}) / (T - T_{AF})$$

Aunque la demanda de energía sea independiente de la temperatura de referencia utilizada no es lo mismo desde el punto de vista del consumo energético ya que, mientras más baja sea la temperatura de preparación, menores son las pérdidas térmicas del circuito de distribución y mejor será el funcionamiento de la SST y del sistema global.

Ejemplo: En una instalación calculada para suministrar 3.000l/día a 45°C con temperatura de agua fría de 15°C, calcular los caudales de preparación, de distribución y de uso si la temperatura de preparación es de 75°C, la de distribución es de 60°C y la de consumo es de 35°C.

- **Preparación:**

$$Q_{ACS}(75) = 3.000 * (45 - 15) / (75 - 15)$$

$$Q_{ACS}(75) = 1.500 \text{ l/día}$$

- **Preparación:**

$$Q_{ACS}(60) = 3.000 * (45 - 15) / (60 - 15)$$

$$Q_{ACS}(60) = 2.000 \text{ l/día}$$

- **Preparación:**

$$Q_{ACS}(35) = 3.000 * (45 - 15) / (35 - 15)$$

$$Q_{ACS}(35) = 4.500 \text{ l/día}$$

5.2.2. Consumo de agua caliente

Tanto en el caso de edificios existentes como para los de nueva construcción, se recomienda utilizar los valores medios diarios normalizados que se indican a continuación. Estos valores, por un lado, están suficientemente contrastados y, por otro, proporcionan uniformidad al proceso de cálculo y facilita la comparación de soluciones.

No obstante, en el caso de edificios e instalaciones existentes, los valores de consumo determinados con dicho procedimiento deberían ser contrastados con otros datos que puedan ser conocidos. A nivel estimativo y exclusivamente orientativo, se dan algunas pautas sobre los datos que pueden utilizarse para contrastar el cálculo del consumo normalizado:

- El consumo de agua caliente: si este dato es conocido debería utilizarse para el cálculo teniendo en cuenta la ocupación del edificio y su posible evolución a largo plazo.

- El consumo de agua fría: si se conoce este dato, el consumo de agua caliente será una fracción del mismo que puede estimarse en el 30%.
- El gasto de energía para agua caliente: con este dato se puede deducir el consumo de agua caliente a partir del consumo de combustible convencional, teniendo en cuenta las variables de funcionamiento y estimando el rendimiento medio estacional de la instalación.
- El tamaño de la instalación convencional existente: normalmente el consumo diario de agua caliente puede estar comprendido entre 1 y 3 veces la capacidad de acumulación. Este criterio puede no ser aplicable siempre porque depende del diseño y del uso de la instalación.

El cálculo del consumo de agua caliente se realiza utilizando valores medios diarios de referencia que atienden al tipo de edificio: viviendas, hospitales, residencias, etc. Las tablas siguientes incorporan los valores de los consumos unitarios de ACS a una temperatura de referencia de 45°C.

A) Viviendas

De las dos tablas siguientes se obtiene el consumo total diario medio de ACS, multiplicando el consumo unitario (C_p) por el número total de personas, esto se deduce en función del número de dormitorios de la vivienda que figura.

TIPO DE SST	CP [L/día]
UNIFAMILIAR	40
MULTIFAMILIAR	30

TABLA 5-1
TABLA DE CONSUMOS UNITARIOS
EN VIVIENDAS¹⁰.

Nº DE DORMITORIOS	1	2	3	4	5	>5
Nº DE PERSONAS	1,5	3	4	6	7	Nº DE DORMITORIOS

TABLA 5-2
TABLA DE PERSONAS ESTIMADAS
POR DORMITORIO¹¹.

B) Otros edificios

El consumo total medio diario de ACS se obtiene multiplicando el consumo unitario por persona, indicado en la tabla siguiente, por el número máximo de personas que se deducen del proyecto del edificio y por el porcentaje de ocupación o utilización del recinto. Si el programa funcional no establece el número de personas máximo que se deben considerar, se puede adoptar el criterio de personas por plaza recogidos en la segunda columna de la tabla.

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 se aplica al gasto en cocina y limpieza. En restaurantes el consumo se asocia al número de personas que comen y cenan diariamente y se estima en el doble del número de plazas. En cafeterías se interpreta como el triple del número de plazas asociado al número de personas que desayunan, comen y cenan.

¹⁰ Fuente: Reglamento de SST DS331 – Ley N° 20.365

¹¹ Fuente: Reglamento de SST DS331 – Ley N° 20.365

En cualquier caso, el proyectista podrá siempre definir el consumo aclarando que el criterio se refiere al uso de la infraestructura proyectada y no a la infraestructura en sí. Por ejemplo, para un vestuario de una industria con 10 duchas pero que lo utilizan tres turnos de 40 trabajadores, deben considerarse 120 duchas/día.

CASO	CONSUMO UNITARIO (LITROS/PERS.DÍA)	Nº PERSONAS POR PLAZA (P)
HOSPITALES Y CLÍNICAS	80	1
AMBULATORIO Y CENTRO DE SALUD	60	1
HOTEL (5 ESTRELLAS)	100	1
HOTEL (4 ESTRELLAS)	80	1
HOTEL (3 ESTRELLAS)/APARTAHOTEL	60	1
HOTEL/HOSTAL/APARTAHOTEL	50	1
HOSTAL/PENSIÓN/APARTAHOTEL	40	1
CAMPING/CAMPAMENTOS	30	1
RESIDENCIA (ANCIANOS, ESTUDIANTES, ETC.)	60	1
CENTRO PENITENCIARIO	40	1
ALBERGUE	35	1
VESTUARIOS/DUCHAS COLECTIVAS	30	3
ESCUELA SIN DUCHAS	6	0,5
ESCUELA CON DUCHAS	30	0,2
CUARTELES	40	1
FÁBRICAS Y TALLERES	30	1
OFICINAS	3	0,5
GIMNASIOS	30	1
RESTAURANTES	12	2
CAFETERÍAS	2	3

TABLA 5-3
TABLA DE CONSUMOS
UNITARIOS¹².

Adicionalmente a los datos anteriores en determinadas instalaciones (por ejemplo, hoteles turísticos, campings, etc.) se deben considerar variaciones de la ocupación a lo largo del año para lo que se recomienda utilizar valores estadísticos de edificios con funcionamiento similar.

En algunos casos, es importante considerar que tanto los valores medios como la estacionalidad del consumo pueden evolucionar a largo plazo por lo que se tendrá en cuenta, durante la elaboración del proyecto, realizando las previsiones de ampliación que el proyectista considere.

C) Perfiles de consumo

Aunque normalmente el consumo de agua caliente se estima utilizando los valores medios diarios de referencia es preciso mencionar que, a lo largo del día, el perfil del caudal de consumo será diferente en función de la aplicación y podría tener un efecto más o menos apreciable en las prestaciones de la instalación solar pero, en general, este efecto es de segundo orden en relación con el del valor total del consumo diario.

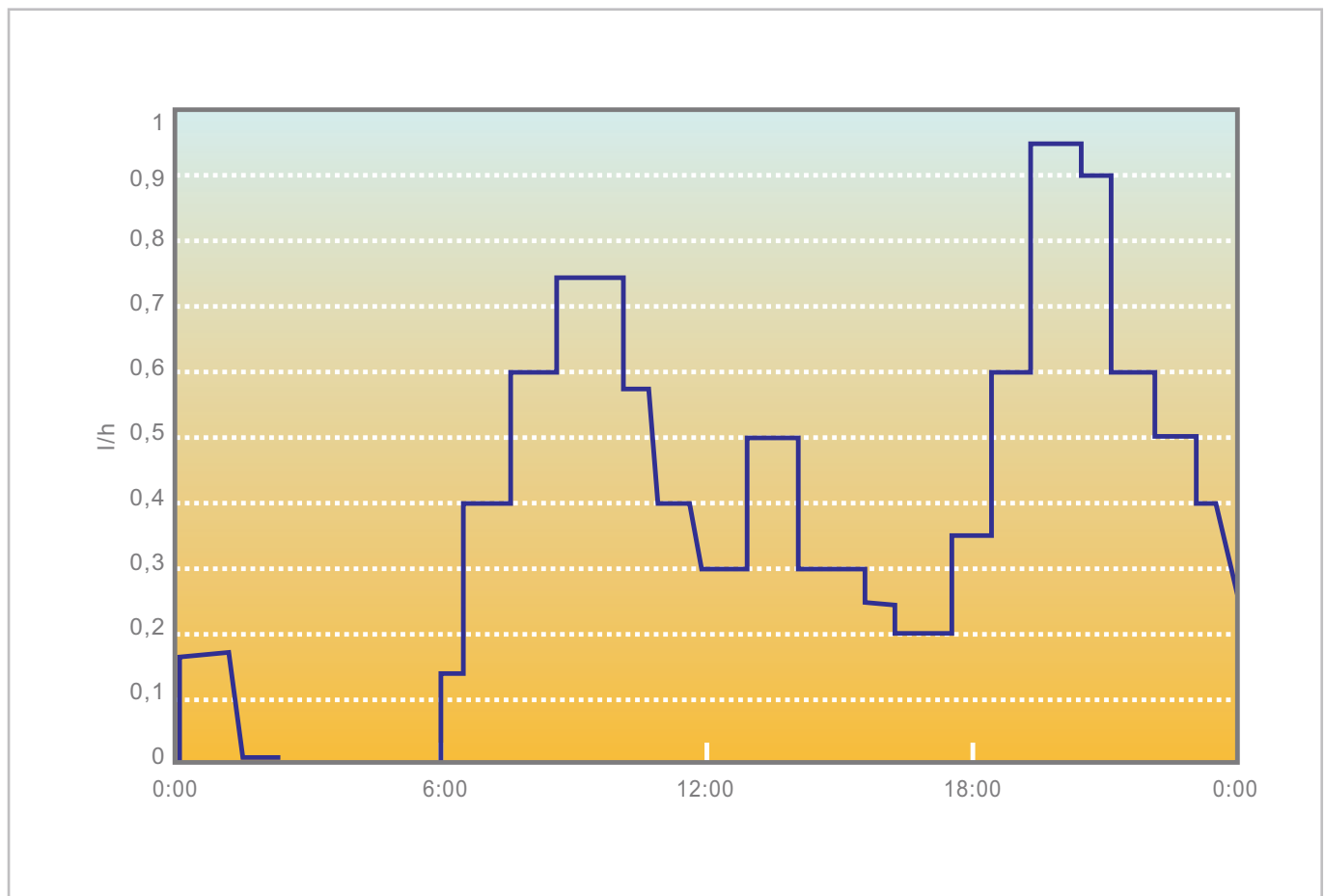


FIGURA 5-3
PERFIL DIARIO DE CONSUMO DE
AGUA CALIENTE EN VIVIENDAS

En el gráfico adjunto se puede observar un perfil diario de consumo para el sector doméstico.

En cambio, el perfil de consumo semanal o mensual, es decir, la distribución del consumo a lo largo del año sí puede ser significativo tanto en la demanda de energía como en las prestaciones energéticas de la instalación solar. Por ejemplo, variaciones en el consumo como las producidas por el cierre de edificios comerciales o industrias durante el fin de semana; de colegios durante los meses de verano; de las viviendas utilizadas como segundas residencias o sólo en temporada estival, pueden provocar un impacto significativo en el diseño y funcionamiento de la instalación.

En estos casos, el consumo medio diario de ACS obtenido con los criterios anteriores debe considerarse un valor máximo que, si varía a lo largo del año debe tenerse en cuenta para evaluar la demanda de energía anual introduciendo, como factor de reducción del consumo, el porcentaje de utilización u ocupación.

5.2.3. Cálculo de la demanda de energía

Como ya se indicó, 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 en los puntos de consumo. Las características del agua están representadas por su densidad ρ y por el calor específico C_p a presión constante. Se calcula mediante la expresión:

$$DE_{ACS} = Q_{ACS}(T_u) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_u - T_{AF})$$

El caudal de consumo de agua caliente se obtiene del apartado anterior y para determinar los valores de la temperatura de agua fría y de la temperatura de agua caliente, se tendrán en cuenta los apartados siguientes.

A) Temperatura de agua fría de entrada

La temperatura diaria media mensual de agua fría de red se ha definido, para cada una de las comunas, en el Anexo VI de la Norma Técnica aprobada en la ResEx N° 502, del 30 de septiembre de 2010, del Ministerio de Energía, la cual se adjunta en el anexo 3 de esta Guía.

B) Temperatura de agua caliente

Las temperaturas de agua caliente deberán seleccionarse teniendo en cuenta:

- La legislación vigente tanto en materia sanitaria como en ahorro y eficiencia energética, y otras.
- Que la temperatura mínima de preparación sea de 45°C.
- Las pérdidas térmicas hasta el punto de consumo producirán una caída de temperatura que siempre será inferior a 3°C.
- Que la temperatura máxima de uso siempre será inferior a 60°C para evitar quemaduras.
- Que al aumentar la temperatura de distribución y de preparación aumentan las pérdidas térmicas.
- Que mientras mayor es la temperatura de preparación, menor es el caudal (de preparación) que atraviesa la instalación solar y, por lo tanto, menor es el rendimiento de la misma.

De acuerdo con todo lo anterior, a medida que se aumenta la temperatura de preparación, para cubrir una determinada demanda, será necesaria una instalación solar de mayor tamaño y costo.

5.2.4. Cálculo del consumo de energía térmica

El consumo de energía térmica (CE_{ACS}) es la cantidad de energía térmica que es necesario emplear para poder abastecer una determinada demanda. Como ya se indicó, se determina sumando la demanda de energía y las pérdidas térmicas asociadas a la demanda (PT_{DEM}):

$$CE_{ACS} = DE_{ACS} + PT_{DEM} = DE_{ACS} + PT_{ALI} + PT_{DIS} + PT_{REC} + PT_{ACU}$$

Las pérdidas térmicas asociadas a la demanda corresponden a la suma de aquellas de los circuitos de alimentación, distribución y recirculación, así como al sistema de acumulación de agua caliente del sistema de apoyo:

- La red de alimentación proporciona pérdidas de agua y de energía de la red interior de la vivienda o del centro de consumo (PT_{ALI}).
- La red de distribución (PT_{DIS}), que incluye todos los circuitos de impulsión de agua caliente.
- El circuito de recirculación (PT_{REC}) que junto con el de distribución aporta las pérdidas por disponibilidad de agua caliente.
- El acumulador de ACS del sistema de apoyo (PT_{ACU}).

La determinación de las pérdidas térmicas se podrá deducir directamente de los cálculos de los métodos de simulación o se podrán estimar por otros métodos en base a valores medios de temperaturas y horas de funcionamiento.

Es importante hacer notar que, cuando se acopla el SST al sistema de producción de agua caliente, el aporte energético de la instalación solar (AE_{SOL}) se hace sobre el consumo de energía térmica referido en este apartado. Por lo que, cuando esto ocurra, el consumo de energía térmica convencional (CE_{APO}) pasará a ser:

$$CE_{APO} = CE_{ACS} - AE_{SOL}$$

Naturalmente, el aporte energético del SST (AE_{SOL}), será el efectivamente entregado para cerrar el balance energético, por lo que en el proceso de cálculo siempre será necesario haber deducido todas las pérdidas térmicas de la instalación solar (PT_{SOL}) que no hayan sido consideradas en el cálculo de la energía solar térmica producida (EP_{SOL}):

$$AE_{SOL} = EP_{SOL} - PT_{SOL}$$

5.2.5. Cálculo del consumo energía convencional

A partir del consumo de energía térmica del sistema de apoyo (CE_{APO}) se puede determinar el consumo de energía del generador de calor convencional (CE_{GEN}), que es la cantidad de energía térmica que es necesario producir en el generador de calor para satisfacer el consumo de energía térmica de apoyo correspondiente; su valor se obtendrá añadiendo las pérdidas térmicas de la instalación de apoyo (PT_{APO}):

$$CE_{GEN} = CE_{APO} + PT_{APO}$$

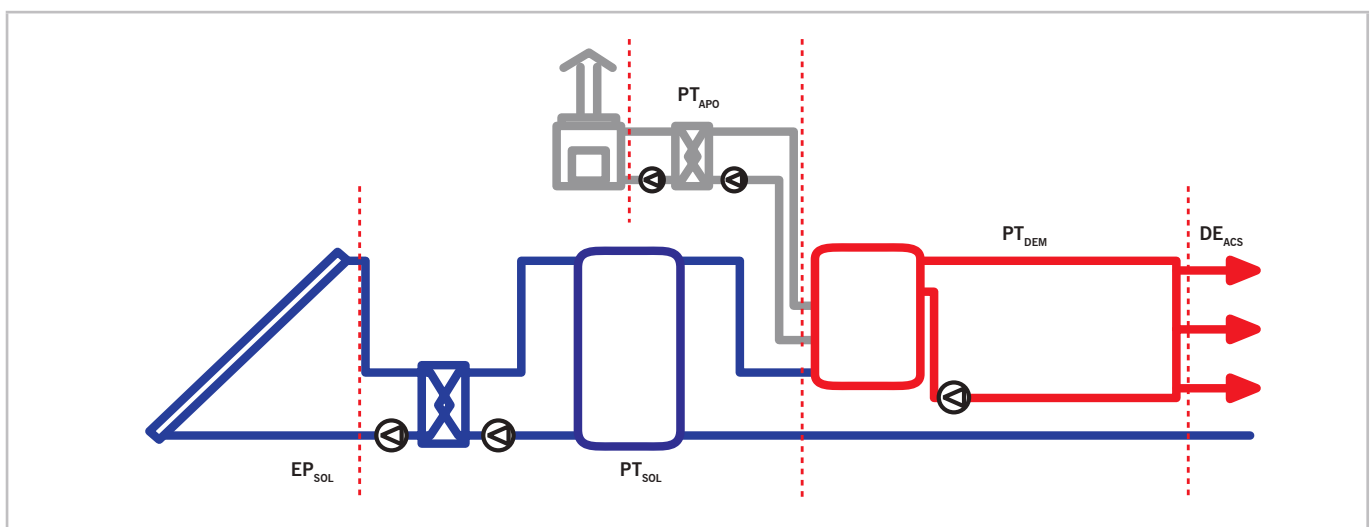


FIGURA 5-4
ESQUEMA EXPLICATIVO DE
LAS PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACS

Obsérvese que, si no hubiera IST, las pérdidas térmicas del apoyo (PT_{APO}) serían un componente adicional de las pérdidas térmicas asociadas a la demanda.

El consumo de energía final del generador, expresado en unidades del combustible convencional empleado en función de su poder calorífico inferior PCI y del rendimiento del sistema convencional (ρ_{GEN}), se puede calcular mediante la expresión:

$$CF_{GEN} = CE_{GEN} \cdot [PCI * \rho_{GEN}]$$

A partir de los valores anteriores se pueden evaluar otros efectos económicos y medioambientales inducidos por el consumo de energía del sistema de apoyo o evitados por el uso de la instalación solar como más tarde se verá. 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 .

5.3. Parámetros climáticos

Los parámetros climáticos que se deben considerar en el cálculo son la irradiación solar global sobre el plano de colectores y la temperatura ambiente. El método de cálculo a utilizar establecerá la base temporal que es necesario utilizar: valores medios anuales y mensuales para métodos simplificados y valores horarios para métodos detallados.

5.3.1. Irradiación solar global

Para normalizar los cálculos de los SST, los datos de partida utilizables para los cálculos simplificados están recogidos en el Anexo III de la Norma Técnica aprobada en la ResEx N° 502, del 30 de septiembre de 2010, del Ministerio de Energía, la cual se adjunta en el anexo 3 de esta Guía, que define los valores de irradiación global diaria media mensual sobre una superficie horizontal [MJ/m^2] para las distintas comunas.

A partir de ellos, se pueden obtener los datos de irradiación global sobre una superficie con cualquier inclinación utilizando los factores de transformación incluidos en el Anexo II de la referida Norma Técnica y cuyos valores se obtienen en función de latitud del lugar de ubicación y de la inclinación del sistema de captación (I_{SST}). La latitud media de cada comuna se puede obtener de la tabla incorporada en el Anexo I.

La influencia de la orientación y la reducción de la radiación incidente producida por las sombras sobre el campo de colectores se puede introducir por alguno de los procedimientos comúnmente aceptados, por entidades públicas y privadas o que estén expresamente autorizados en la normativa correspondiente.

5.3.2. Temperatura ambiente

De forma similar, para la temperatura ambiente se deben utilizar los datos recogidos, para cada una de las comunas, en el Anexo V de la Norma Técnica aprobada en la ResEx N° 502, del 30 de septiembre de 2010, del Ministerio de Energía.

5.4. Parámetros de funcionamiento del SST

Los parámetros de funcionamiento de la instalación deben ser los necesarios para caracterizar el comportamiento térmico y calcular las prestaciones.

En función del grado de complejidad del método de cálculo serán necesarios más o menos parámetros para caracterizarla y puede variar desde dos parámetros, como son el rendimiento medio anual y la superficie total de captación utilizados

en la estimación más sencilla y directa posible; hasta varias decenas de parámetros que pueden utilizar algunos métodos de simulación, pasando por los ocho o diez que utiliza el método f-chart como más adelante se verá.

En definitiva, la selección de los parámetros serán los específicos que requiere cada método de cálculo y aquí solamente se dan criterios generales sobre algunos de ellos en relación con su uso en los cálculos simplificados.

5.4.1. Rendimiento global medio

El parámetro que mejor representa el funcionamiento de una instalación solar es el rendimiento global medio, que es la parte de la energía solar incidente que se transforma en energía solar aportada.

Su determinación precisa entra en un proceso complejo de cálculo de prestaciones en el que todas las variables están interrelacionadas, pero su estimación aproximada facilita mucho las primeras estimaciones y los órdenes de magnitud del tamaño de las instalaciones.

Sabiendo que los parámetros no son independientes se puede hacer la siguiente estimación global:

- En primera aproximación, el rendimiento medio anual de la instalación solar depende del rendimiento medio de los colectores solares, que se encuentra habitualmente comprendido en el rango 40-60%.
- El resto de los componentes de la instalación introducen pérdidas térmicas adicionales que contribuyen a disminuir este rendimiento. Estas pérdidas nunca deberían ser superiores al 20% y, por lo tanto, se pueden estimar valores del rendimiento medio anual para la instalación completa dentro del rango de 30 a 50%.

Para cada caso particular, se podrían hacer estimaciones más precisas de estos parámetros calculando el rendimiento medio del colector para la temperatura media de funcionamiento y haciendo una estimación más ajustada de las pérdidas térmicas de la instalación, aunque debe hacerse acorde a la propia precisión y simplicidad del método.

5.4.2. El número y las características de los colectores solares

El número de colectores y el tamaño de cada uno de ellos, permite determinar la superficie total de captación de una instalación que, con el rendimiento medio anual, permite realizar las primeras estimaciones del tamaño de una IST.

5.4.3. Resto de parámetros de la instalación

Al resto de componentes del SST y a su caracterización térmica debe prestarse la misma importancia que a los anteriores, ya que para el resultado global todos los factores pueden afectar de manera significativa.

El rendimiento global de una IST también se obtiene multiplicando los rendimientos de cada uno de los sistemas (captación, acumulación, intercambio, red hidráulica y control) que componen la misma:

$$\eta_{SST} = \eta_{CAP} * \eta_{ACU} * \eta_{INT} * \eta_{RED} * \eta_{CON}$$

En base a lo anterior, se pueden buscar soluciones tecnológicas variadas que den el mismo resultado final, lo que indica que se pueden conseguir rendimientos iguales con instalaciones distintas y no hay una solución única para resolver un determinado problema.

5.5. Criterios de cálculo

En base a los datos de partida se habrá definido:

- La energía necesaria a partir de los parámetros de uso.

- La energía disponible con los parámetros climáticos.
- El rendimiento de transformación por los parámetros de funcionamiento.

Cualquier modificación de alguno de los parámetros afecta al resto y, en general, se puede deducir que:

- La misma instalación en el mismo sitio, pero con distinto uso, tiene distinto comportamiento.
- La misma instalación con el mismo uso tiene distinto comportamiento dependiendo del sitio.
- El mismo consumo en el mismo sitio puede ser atendido por distintas instalaciones con diferentes rendimientos y variadas fracciones solares.

5.5.1. Fracción solar

El objetivo global de la instalación solar es que, para una determinada demanda neta de energía, el consumo de energía convencional sea lo menor posible. Lo que se pretende, si se comparan distintas soluciones, es minimizar el gasto energético específico:

$$GE = CE_{APO} / DE_{ACS}$$

Para caracterizar globalmente el funcionamiento de una instalación solar, uno de los parámetros más significativos y habitualmente utilizado es la fracción solar (FS), definida como la parte de la demanda no cubierta con energía convencional:

$$FS = 1 - CE_{APO} / DE_{ACS}$$

La fracción solar (FS), también denominada cobertura o contribución solar es, por tanto, la parte de la demanda de energía que es cubierta mediante energía solar.

5.5.2. Planteamiento del cálculo

El mandante de una IST establece los criterios básicos que deben utilizarse para el cálculo de la misma y, básicamente, los distintos planteamientos y alternativas se pueden resumir en dos:

- En edificios nuevos cuyas instalaciones deban cumplir una normativa, el proceso de cálculo normalmente se limita a seleccionar la mejor instalación que justifica, como mínimo, el cumplimiento de las condiciones establecidas en la normativa. Como ejemplo, para cumplir la Ley de Franquicia Tributaria se debe justificar que, para la demanda establecida, la instalación solar alcanza una contribución solar mínima determinada en función de la localización geográfica.
- En edificios nuevos o existentes en los que no hay que cumplir normativa específica de instalaciones solares, el mandante puede establecer los criterios que considere oportunos, como por ejemplo
 - Diseñar una instalación solar para que el aporte solar produzca un determinado ahorro económico de energía fósil, nivel de rentabilidad, reducción de emisiones, entre otros.
 - Disponer un determinado espacio para el SST y analizar la viabilidad técnica y económica.

5.6. Aplicación de métodos de cálculo

En este apartado se hace referencia al método de cálculo del rendimiento medio, como herramienta para hacer una primera estimación del tamaño y las prestaciones de una instalación solar. También, al método de cálculo f-Chart, como alternativa simplificada que permite hacer cálculos de tamaño y prestaciones más ajustadas.

Sin perjuicio de los distintos métodos de cálculo que se presentan en este apartado, para el caso de SST que pretendan aplicar a la franquicia tributaria que establece la Ley N° 20.365, el cálculo de la contribución solar se debe realizar conforme al método establecido en la ResEx N° 502, del 30 de septiembre de 2010, del Ministerio de Energía.

5.6.1. Método de cálculo del rendimiento medio

Es un método para estimar la superficie de captación en función de:

- La radiación solar global incidente H_i sobre una superficie con la misma orientación e inclinación que los colectores solares.
- El rendimiento global de la instalación solar (η_{NST}) como cociente entre la energía térmica aportada al consumo por el SST y la energía solar incidente sobre el plano de los colectores solares de la instalación.
- La demanda de energía térmica que requiere el consumo de la instalación.
- La contribución solar, CS.

En cualquier base temporal, aunque normalmente se utiliza la anual, se puede determinar la superficie de captación necesaria (A_c) en base a:

$$A_c * H_i * \eta_{NST} = CS * DE_{ACS}$$

Ejemplo: En un lugar con radiación solar global anual sobre superficie inclinada de 1.800kWh/m², calcular la superficie necesaria de colectores solares en una instalación con $\eta_{NST}=0,4$ para alcanzar una contribución solar del 70% de la demanda necesaria para calentar 8.000 litros/día de agua desde 14,5 a 45°:

$$A_c * 1.800 * 3,6 * 0,4 = 0,70 * 365 * 8.000 * (45 - 14,5) * 0,0041868$$

Aproximadamente, resulta $A_c = 100\text{m}^2$, lo que significa que es necesario disponer 1m² de colector solar por cada 80 litros de consumo (para $\eta_{NST} = 0,4$) de consumo de agua. Este factor (1m² / 80 litros) es un valor estimativo de dimensionado previo que puede ser utilizado en lugares con la radiación indicada y criterios similares pueden deducirse para cualquier otra radiación.

En función del rendimiento, y para la misma fracción solar del 70%, este consumo específico (litros diarios por m² de colector) puede variar entre los 60 litros (para $\eta_{NST}=0,3$) y 100 litros (para $\eta_{NST}=0,5$).

5.6.2. Método de cálculo simplificado f-Chart

El método f-Chart permite calcular la fracción solar de una instalación de calefacción y de producción de agua caliente mediante colectores solares planos. En lo que sigue se hace referencia, únicamente, a los sistemas solares de agua caliente en base mensual.

Es suficientemente preciso como método de cálculo para estimaciones medias mensuales, pero no es válido para periodos de menor duración. Para su aplicación se utilizan los valores medios mensuales y la instalación queda definida por sus parámetros más significativos.

A) Parámetros climáticos y de demanda

Es necesario utilizar el valor de la radiación global media diaria mensual sobre un plano con la misma orientación e inclinación que los colectores y que se puede obtener transformando la radiación sobre el plano horizontal, según se indica en el apartado 5.4.1. Asimismo, se puede obtener, según se establece en el apartado 5.4.2, los datos de la temperatura ambiente media diaria mensual.

Los valores necesarios para calcular la demanda de energía se obtienen de acuerdo con el apartado 5.3 de este capítulo.

Todos estos datos se pueden incorporar a una tabla como la indicada a continuación que recogerá los valores mensuales necesarios para el cálculo:

	CLIMÁTICOS		DEMANDA				
	RAD (MJ/m ² .d)	TA (°C)	TAF (°C)	TAC (°C)	OCU (%)	CONSUMO (litros/día)	DEMANDA (MJ/día)
ENE							
FEB							
MAR							
ABR							
MAY							
JUN							
JUL							
AGO							
SEP							
OCT							
NOV							
DIC							
MED							

TABLA 5-4. PARÁMETROS CLIMÁTICOS Y DE DEMANDA

B) Parámetros de la instalación:

Los parámetros de la instalación necesarios para realizar los cálculos son los siguientes:

- Superficie útil de captación, definida por:
 - Número de colectores.
 - Área útil del colector solar.
- Rendimiento del colector:
 - Factor de eficiencia del colector.
 - Coeficiente global de pérdida [W/(m²·°C)].
- Volumen específico de acumulación [L/m²].
- Caudales e intercambio:
 - Caudal en circuito primario [L/h_m²] - [Kg/h_m²].
 - Caudal en circuito secundario [L/h_m²] - [Kg/h_m²].
 - Calor específico en circuito primario [Kcal/Kg·°C].
 - Calor específico en circuito secundario [Kcal/Kg·°C].
 - Efectividad del intercambiador.

C) Procedimiento

Se determinan los parámetros adimensionales X e Y que son representativos, respectivamente, de las pérdidas y las ganancias de la instalación:

$$X = \left(\frac{A_C F_R U_L F_{IC} (T_{ref} - \bar{T}_{amb}) \Delta t}{L} \right)$$

$$Y = \left(\frac{A_C F_R (\tau\alpha) F_{IC} \bar{H} T N}{L} \right)$$

Los factores que intervienen son:

- A_C : Área de captación total de colectores (m^2).
- $F_R U_L$: Factor de pérdidas térmicas del colector (W/m^2K).
- \bar{T}_{amb} : Temperatura ambiente media mensual ($^{\circ}C$).
- T_{ref} : Temperatura de referencia empírica ($100^{\circ}C$).
- Δt : Número de segundos en el mes (s).
- $F_R(\tau\alpha)$: Factor de pérdidas ópticas del colector.
- L : Carga de calentamiento mensual, Q_{dda} (J).
- $\bar{H} T$: Irradiación solar incidente diaria media mensual (J/m^2).
- F_{IC} : Factor de corrección intercambiador de calor.
- N : Número de días en el mes.

Existen dos factores de corrección que modifican el factor X anteriormente calculado:

- Corrección por volumen de acumulación:

$$C_V = ((V/A) / 75)^{-0.25}$$

- Corrección por temperatura de agua caliente:

$$C_t = (11,6 + 1,18 \cdot T_c + 3,86 \cdot T_f - 2,32 \cdot T_a) / (100 - T_a)$$

Y el nuevo factor X corregido es: $X_c = C_t \cdot C_v \cdot X$

Con los valores de X corregido y de Y se determina el factor f:

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3$$

El factor f que resulta de la expresión anterior es el valor de la fracción solar en tanto por uno del mes considerado y siempre será $f \leq 1$. El aporte solar, para ese mes, se determinará mediante la expresión:

$$AE_{SOL} = f * L$$

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la fracción solar anual del sistema:

$$F = \frac{\sum_{(i=1)}^{12} f_i L_i}{\sum_{(i=1)}^{12} L_i}$$

D) Rango de validez del método f-chart

Hay que tener en cuenta los valores límites de X e Y , establecidos como rango de validez de la función f , que son:

$$0 < Y < 3 \text{ y } 0 < X < 18$$

Asimismo existen rangos de parámetros admisibles para f-Chart, que deberían cumplirse para dar validez al método o justificar que los rangos indicados pueden ampliarse sin perder precisión en el cálculo. Estos valores y su rango admisible se presentan en la siguiente tabla:

EFICIENCIA ÓPTICA	$0.6 < (\tau\alpha)_n < 0.9$
ÁREA CAPTACIÓN AJUSTADA	$5 < F_R A_c < 120 \text{ m}^2$
COEFICIENTE DE PÉRDIDAS TÉRMICAS	$2.1 < U_L < 8.3 \text{ W/m}^2\text{C}$
INCLINACIÓN	$30^\circ < \beta < 90^\circ$
RAZÓN DE ACUMULACIÓN	$37.5 < m_{st}/A_c < 300 \text{ L/m}^2$
PRODUCTO DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDAS TÉRMICAS Y DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL ACUMULADOR	$83 < (UA)_h < 667 \text{ W/C}$

TABLA 5-5
VALORES Y RANGOS ADMISIBLES
PARA F-CHAT

El método f-Chart fue diseñado, en 1977 por Klein y Beckman, para sistemas de circuito cerrado de instalaciones residenciales y se utilizaron un gran número de simulaciones para desarrollar la correlación; las configuraciones admisibles deberían ser similares a las que se utilizaron en las simulaciones.

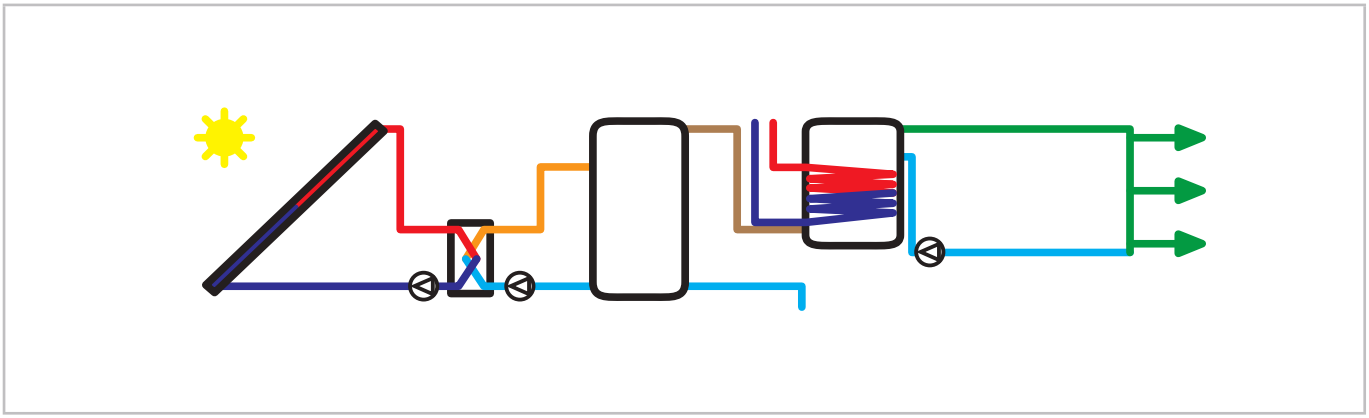


FIGURA 5-5
CONFIGURACIÓN UTILIZADA PARA
OBTENER LOS MODELOS DEL
MÉTODO F-CHART

Aunque las configuraciones inicialmente utilizadas fueron con intercambiador externo, en algunos países se han aplicado también para configuraciones con intercambiador interno sin ningún tipo de problemas, aunque no se ha justificado formalmente la ampliación de su aplicabilidad a estos sistemas.

En instalaciones centralizadas de grandes edificios, el método f-Chart proporciona la energía solar aportada por la instalación solar, medida en la entrada y salida del acumulador solar, pero no tiene en cuenta las pérdidas térmicas asociadas a la demanda ni al sistema de apoyo.

Existen dudas sobre su aplicabilidad cuando se comparan instalaciones con importantes pérdidas térmicas que no están consideradas en el f-Chart:

- No es lo mismo una instalación que tiene los circuitos primarios de poca longitud (por ejemplo, acumuladores en cubierta cercanos al campo de colectores) que otra que tiene circuitos muy largos (por ejemplo, acumuladores en el sótano muy alejados del campo de colectores).
- A los efectos de las pérdidas térmicas en los acumuladores, no debería dar el mismo resultado si se compara un acumulador o varios y tampoco si se ubica en el exterior o en el interior del edificio.

El método requiere para su validez que la temperatura de entrada sea cercana a 20°C, luego sirve para el agua fría de red pero no sería aplicable a sistemas que tengan un sistema adicional de precalentamiento.

Por último, el método considera que el acumulador está completamente mezclado por lo que las prestaciones de los sistemas estratificados estarán, en principio, evaluadas por debajo de las reales.

5.7. Análisis de los programas de cálculo

La utilización de programas de cálculo para evaluar las prestaciones de una instalación solar puede tener varios objetivos:

- Que se puedan comparar soluciones diferentes.
- Que el mandante tenga una previsión de la energía solar térmica aportada y por tanto, del ahorro para compararlo con la inversión que realiza.
- Que el usuario que disponga de instalación pueda comparar las prestaciones con el funcionamiento real.
- Que el diseñador pueda optimizar parámetros de funcionamiento y diseño de instalaciones.

La utilización de distintos métodos de cálculo produce resultados en la evaluación del comportamiento y la determinación de las prestaciones de la instalación que no son comparables de una forma totalmente fiable. Si no se utiliza el mismo método de cálculo será difícil que los resultados del mismo sean valores totalmente coherentes porque los algoritmos, funciones, etc. que se utilizan pueden ser distintos y es imposible que los resultados sean comparables; todo ello, aunque los datos de partida puedan ser los mismos. Los resultados obtenidos por distintos programas de cálculo no son, a priori, comparables.

Existe una amplia gama de métodos de cálculo cuyos datos de entrada, datos de salida, propiedades, bases de cálculo, aplicaciones, etc. son muy diferentes. En principio, se pueden admitir como válidos los distintos métodos aceptados por el sector con las siguientes anotaciones:

- Que esté contrastado por entidades públicas y privadas.
- Que esté ampliamente difundido o sea utilizable por muchos.
- Que sea adaptable a las distintas configuraciones.
- Que tenga la posibilidad de seleccionar componentes distintos.

El método de cálculo que se utilice debería ser aceptado por las partes que intervienen o puede ser impuesto por el mandante. Naturalmente, debería ser requisito imprescindible la disponibilidad del método de cálculo para cualquier opción y se deberían descartar los métodos que impiden modificar parámetros de cálculo.

Los métodos de cálculo de instalaciones solares pueden clasificarse en simplificados o detallados:

- Los métodos simplificados, o de cálculo estático, aportan información sobre el comportamiento energético global de la instalación, no requieren gran nivel de detalle para la definición de las bases de cálculo. Por lo tanto, no necesitan disponer de información detallada en los datos de entrada siendo relativamente fáciles de utilizar. Los parámetros de salida generalmente se refieren a variables globales de la instalación (cantidad de energía aportada, etc.).
- Los métodos detallados utilizan modelos físicos y matemáticos que caracterizan los distintos sistemas y/o componentes, permiten realizar estudios paramétricos para determinar el efecto provocado en la instalación solar, por distintas variables, y simulan el comportamiento energético de la instalación. Son métodos capaces de aportar gran cantidad de información detallada, pero que han de estar adecuadamente contrastados con datos experimentales medidos en las instalaciones para reproducir convenientemente el comportamiento de éstas. Una ventaja importante que ofrecen estos métodos es que se pueden utilizar para contrastar los datos medidos de funcionamiento real con los resultados obtenidos en la simulación. En cualquier caso, siempre ha de tenerse en cuenta que estos métodos, normalmente, sólo modelan los procesos térmicos que tienen lugar en las instalaciones y no incluyen otros aspectos que sí pueden darse en la realidad (fugas de líquido, fallos en el sistema de control, etc.). Pueden ser programas de simulación estática o dinámica.

En lo que sigue se hace referencia a los distintos métodos de cálculo existentes y aplicables a los sistemas solares de producción de ACS.

5.7.1. Usos

Antes de que un sistema de energía solar térmica sea construido en estos días, una oficina de planificación de buena reputación o de una compañía de instalación, primero llevará a cabo una simulación del sistema. Además de la presentación de los resultados para el cliente (el impacto del marketing), este proceso también se utiliza cada vez más para apoyar la labor de planificación.

Durante más de 15 años, en promedio, los programas se han desarrollado a partir de simples ayudas en herramientas versátiles. Mientras tanto, no sólo los cálculos de las características individuales de los principales componentes del sistema solar térmico recaen en los hombros del usuario, hoy, incluso elaboran estimaciones de la eficiencia, ayudan a seleccionar los componentes óptimos y crean informes de proyectos similares en forma y alcance a ponencias universitarias. Las bases de datos de productos cada vez más globales se mantienen actualizadas automáticamente a través de Internet.

Más y más programas también operan a través de distintas áreas tecnológicas, entregando los cálculos combinados de varios sistemas diferentes de la generación de energías renovables, por ejemplo las combinaciones de energía térmica y geotérmica o solar fotovoltaica con bombas de calor. Esto es de importancia decisiva, ya que sólo una combinación energética adecuada traerá consigo el cambio de paradigma final, y debe ser de tal naturaleza que pueden ser simulados en las herramientas de dimensionamiento. Mientras tanto, todos los programas se ofrecen en numerosas versiones para satisfacer las demandas más variadas de todos los grupos de usuarios, desde el recién llegado a la parte antigua y del técnico para el científico.

Existen varias aplicaciones para la energía solar, así como también hay muchos programas de simulación. No importa si se utiliza para la calefacción de agua doméstica, de apoyo a la calefacción, temperado de piscinas u otro tipo de tecnología, cualquier sistema de energía solar térmica se puede simular en un ordenador. Sin embargo, la mayoría de los programas tienen que ver con el calentamiento solar de agua doméstica y de apoyo a la calefacción. Para resumir el mercado, los programas de simulación pueden ser clasificados de acuerdo a su proceso de programación en:

- Programas de cálculo estático
- Programas de simulación estáticos
- Programas en base a sistemas de simulación dinámicos

El enfoque de simulación utilizado en el programa determina la exactitud, el esfuerzo de funcionamiento, la flexibilidad, el ámbito de aplicación y cálculo del tiempo, aunque este último es menos importante por el rendimiento considerablemente mejorado de los ordenadores modernos.

Estas propiedades aumentan a medida que avanzamos en los programas de cálculo sencillo a los sistemas de simulación dinámica: entre más flexible un programa pueda ser utilizado, más exigencias se le plantean al usuario.

La última categoría incluye los programas con adiciones sensibles, las especificaciones detalladas para los problemas o para el diseño de los componentes individuales de los sistemas solares. Para la selección de un programa de simulación la aplicación también es importante, además del proceso de simulación en sí. Esto plantea la cuestión del desempeño y las opciones de aplicación para el programa. Por lo tanto, el tipo de sistema o la configuración del sistema para el que se requiera una simulación son fundamentales.

5.7.2. Ventajas y desventajas

Cuando se requiera precisión en los cálculos, para incluso comprometer el rendimiento solar previsto y el nivel de aporte energético de la instalación solar, serán esenciales los programas de simulación. Estos permitirán, además, la optimización de las distintas variantes del sistema y la mejor selección de los componentes sobre la base de los criterios de energía, economía y ecología que se decidan.

Sin embargo, los resultados de la simulación no sustituyen la disponibilidad inmediata de una aproximación del dimensionado, de una estimación del rendimiento global o la determinación fiable de los primeros datos que son necesarios para la planificación. Los resultados realistas procedentes de la simulación y optimización de los sistemas grandes y complejos requieren, además del programa de simulación dinámica, del conocimiento de la ingeniería técnica del planificador.

Los resultados de la simulación son sólo tan buenos como la selección realista de los valores de entrada y el método de simulación. Muchos creadores de programas, por lo tanto, han empezado a integrar los controles de plausibilidad en la fase de entrada de datos. Esto es útil cuando se cometen errores de dimensionamiento bruto. La optimización puede tener lugar cuando el planificador sabe que los parámetros o dimensiones se pueden mejorar del sistema a planificar, y si el programa ofrece las funciones de optimización o comparaciones entre variantes.

Sin embargo, se recomienda para cada planificador una evaluación crítica de los resultados de la simulación, ya que, al final, el programa de simulación siempre asume las condiciones óptimas artificiales, que en realidad no pueden existir.

El tiempo y el ahorro de costos en el uso de programas de simulación para el dimensionamiento y la planificación han conducido a un mayor uso de estos programas. Las empresas de instalación también están incrementando su uso para sus presentaciones a clientes. Algunos programas son especialmente útiles porque se pueden extraer fácilmente gráficos atractivos desde la interfaz de usuario para mostrar las ventajas de los sistemas solares, como por ejemplo, la determinación de la rentabilidad, los cálculos de viabilidad económica y los detalles del ahorro de las emisiones contaminantes. Algunos programas combinan el diseño y los datos del sistema junto con los resultados; todo esto en un informe listo para impresión.

Algunos programas de simulación son apropiados para el control de los cálculos de los sistemas existentes si permiten la importación de datos, por ejemplo, la radiación solar y los de consumo. Estos programas son indispensables durante el manejo diario de los contratos de energía solar o cotizaciones. ¿Qué programa es el más adecuado para la aplicación general?, esto puede establecerse según la clasificación del programa, pero son finalmente los usuarios quienes pueden averiguar esto por sí mismos, a través de un análisis detallado de las versiones de demostración de los programas que se encuentran fácilmente en Internet.

Tradicionalmente, en las áreas de investigación y desarrollo o entre los fabricantes de componentes de los distintos programas de simulación, se han convertido en indispensables. Cada vez más, los fabricantes de componentes de SST también ofrecen programas que están hechos a medida para sus productos.

En sistemas solares térmicos, los sistemas de cálculo son esenciales para determinar las bases del diseño, como el consumo de agua caliente y las necesidades de calor. Si los consumos o demandas de calor que se encuentran en la práctica son diferentes, a continuación, los resultados de operación variarán inevitablemente y también los resultados de la simulación. La selección de los sistemas más adecuados y de los componentes es importante, pero no tiene una influencia significativa global en, por ejemplo, el rendimiento solar.

Cuanto más complejo es el sistema solar, más extensas son las pantallas de entrada y la cantidad de datos requeridos en los programas. Los usuarios inexpertos deben asegurarse de que están claros acerca del significado de un parámetro antes de ingresarlo. La mayoría de los programas ofrecen directrices razonables para este fin cuando se abren las pantallas.

A pesar de ello, las entradas de datos incorrectas nunca pueden ser totalmente excluidas y esto puede conducir a resultados y a una simulación incorrecta. Las funciones de ayuda también ofrecen apoyo, aunque en algunos programas esto podría ser mejorado. Un sistema solar sólo puede ser notablemente optimizado por medio de simulaciones de variación, si el usuario sabe lo que cualquier efecto de "ajustar" tendrá.

5.7.3. Descripción de programas

A) Programas simplificados de cálculo

Son programas de cálculo estático que normalmente utilizan valores medios mensuales de los parámetros climáticos y de demanda. Para una orientación e inclinación determinada, requieren unos pocos parámetros de la instalación (la cantidad y el tipo de colector, el volumen de acumulación, los caudales y la efectividad del intercambiador) que permiten determinar el aporte solar a la demanda y el rendimiento global del sistema. No pueden ser considerados el comportamiento de un sistema en condiciones específicas, determinadas configuraciones de instalaciones y el uso de intervalos de tiempo más pequeños.

Un ejemplo es el programa **f-Chart** (ver su aplicación en apartado 5.7.2), que es un método de cálculo de uso muy generalizado y de fácil implantación informática. El programa ofrece una sencilla interfaz de dimensionamiento de un SST para calefacción y ACS con acumulación. Las entradas se realizan a través de una pantalla, que organiza de forma significativa los valores de entrada desde el inicio del cálculo. La función de ayuda también incluye el asesoramiento sobre los límites y el tamaño de los parámetros a ser ingresados. Cerca de 100 registros meteorológicos de datos europeos están integrados en el programa (promedio mensual), junto con 98 registros de datos de colección. La precisión del proceso de f-Chart con respecto al resultado de una simulación anual es suficiente, incluso en comparación con otros programas de simulación estática. El grado de cobertura solar, de energía y la reducción de emisiones, como son el gasto promedio mensual durante todo el año, lo entrega en forma de gráficos o tablas en un informe de tres páginas. Debido a su diseño claro y facilidad de uso es una herramienta básica para las empresas de instalación, consultores energéticos y técnicos.

B) Programas de simulación estáticos

Los programas de simulación estáticos (llamados de time-step), permiten una evaluación más cercana a la dinámica sobre la base de parámetros climáticos y de demanda en una resolución por hora o menos. Algunos programas permiten una muestra instantánea y, por ejemplo, la determinación de la temperatura de almacenamiento en un momento dado. El usuario selecciona el tipo de sistema adecuado de opciones predefinidas y el colector correspondiente de la biblioteca del programa, y entra en los parámetros de la ubicación del sistema y del resto de los componentes.

La interfaz de usuario de cada programa está dispuesta para ser fácil de usar y normalmente no requieren un período de familiarización largo.

Dentro de estos programas se encuentra el **T*SOL**, con el que se pueden realizar simulaciones sobre cualquier período de tiempo. Tiene las configuraciones más utilizadas y su codificación está optimizada para éstas. De interfaz agradable y simple para el usuario, además en las nuevas versiones tienen estimaciones para determinar los efectos de sombras. Las temperaturas pueden ser observadas durante la simulación por medio de una pantalla de color. Los resultados del cálculo (temperaturas, energías y el grado de cobertura) pueden obtenerse con una resolución tan corta de tiempo como una hora en la forma de tablas o gráficos. Además, está integrada la función de viabilidad de uso y el cálculo de las emisiones contaminantes evitadas. Una característica muy útil es la función de copia simple o la exportación e importación, hacia o desde otros programas, como las hojas de cálculo de los datos de consumo, así como de los resultados para un análisis más preciso. No es posible crear ni usar sistemas distintos a los preconfigurados, pero sí es posible reproducir componentes específicos que difieren de las opciones del programa. Está disponible en inglés, alemán, italiano, francés y español.

Debido a su flexibilidad, casi cualquier tipo de configuración del sistema y condiciones de funcionamiento pueden ser simuladas. Esta versatilidad, sin embargo, va acompañada de una mayor demanda en el usuario. Se deben esperar para estos sistemas de simulación tiempos más largos de familiarización (meses). Los programas permiten la solución de ecuaciones diferenciales pertinentes, contienen a menudo un multi-modelo de construcción de la zona. Se pueden utilizar en el caso de la compleja relación entre la calefacción y activos y pasivos de ventilación o refrigeración.

El programa **TRNSYS** es el clásico y el líder del mercado entre los sistemas de simulación. Las más variadas edificaciones térmicas y simulación de sistemas técnicos de energía se pueden realizar con este programa. La flexibilidad y los numerosos sistemas y componentes estándar predefinidos son las características principales del programa. TRNSYS ha

sido desarrollado por la Universidad de Wiconsin (donde Klein y Beckman son profesores eméritos) y está disponible comercialmente desde 1975.

TRNSYS actualmente cuenta con una interfaz gráfica, una colección de 80 componentes estándar, con bibliotecas que ofrecen más de 300 componentes adicionales, además de instalaciones solares, bombas de calor, etc. Programado en Fortran, incluye módulos añadibles y programables; fuentes de datos meteorológicos en formato de ancho fijo ASCII como *.Dat, *.tm² y *.Tmy², entre otros. Es un programa basado en componentes, es decir, que cuando se necesite, se ejecuta el módulo respectivo. El idioma del programa es el inglés o francés. El programa tiene una interfaz gráfica de usuario y diversas presentaciones de resultados. Interfaces con otros programas (CAD y varios programas de simulación) también se proporcionan. Para el usuario experimentado el código fuente (Fortran y C++) del programa se pueden editar y la descripción matemática es accesible. Aparte de las capacidades de equipo superior, el usuario también debe tener conocimiento en el ámbito de las estructuras de la energía solar, la tecnología del sistema y tener una comprensión profunda de los modelos de simulación. Un conocimiento básico de programación es útil, sin que los usuarios tengan dificultades para familiarizarse con el programa. El uso con muchos edificios terminados ha demostrado el rendimiento y la precisión de las simulaciones de TRNSYS. Los grupos destinatarios del programa son las grandes oficinas de diseño y la investigación docente.

Basados en TRNSYS se han desarrollado herramientas informáticas que trabajan sobre determinadas configuraciones predefinidas para eliminar el complejo proceso de definición que se requiere en TRNSYS. Adicionalmente, simplifican el procedimiento de definición de los datos de entradas e incorporan modelos predefinidos de salida para emitir los informes con los resultados del cálculo.

Dentro de este grupo se encuentran los programas **SIMSOL** y **TRANSOL**, desarrollados por CSTB y AIGUASOL, que disponen de las configuraciones de instalaciones solares térmicas más habituales y un formato de introducción de todos los parámetros de la instalación sencillo y amigable. Los resultados del cálculo pueden ser exportables a hojas de cálculo.

Asimismo, dentro de este grupo se encuentra el programa **ACSOL**, desarrollado por la Universidad de Málaga (España) para la Junta de Andalucía (España). Dispone de cinco configuraciones predefinidas para instalaciones de producción de ACS y una para aplicación mixta de calentamiento de piscinas y ACS. La gran ventaja de este programa, además del uso de la simulación dinámica, es que es de difusión gratuita y descargable en agenciaandaluzadelaenergía.com.

También se dispone del programa suizo **Polysun**, que es comparable al T*SOL en su ámbito de actuación. Los datos meteorológicos de más de 300 lugares de Europa se integran en el programa con una resolución por hora. Pueden ser seleccionadas once diferentes variantes de sistemas, incluyendo uno con un acumulador combinado. El programa es capaz de simular los acumuladores grandes de mejor manera. Un problema que surge al inicio de la simulación es que se da una situación poco realista en el acumulador: si las condiciones en el acumulador difieren en más de un 5% de los valores iniciales después de la evaluación anual, otra simulación de un año se añade automáticamente (en la versión 3.3, de diciembre de 2000).

La biblioteca de SPF Rapperswil ahora incluye más de 170 tipos de colectores. Las actualizaciones pueden ser obtenidas de las respectivas oficinas de ventas o en Internet. El consumo de agua caliente se puede editar en la misma forma que en T*SOL, pero de una manera algo más restringida ya que sólo cuatro tipos de perfiles diarios típicos pueden ser seleccionados; por el contrario, los períodos de vacaciones en los que no se necesita agua caliente, pueden ser libremente elegidos. Una indicación del valor instantáneo de la simulación no es posible con Polysun. El tiempo de simulación es relativamente corto. Los tiempos de liberación de la caldera y el circuito de circulación se pueden dar en una resolución por hora. La situación de la entrada, las alturas de las conexiones del acumulador estratificado, la calefacción auxiliar y el sensor de temperatura se pueden configurar individualmente. El programa tiene un editor de sombreado y un simulador de construcción térmica con una base de datos de 20 ejemplos de tipos de construcción. La salida de datos del sistema y los resultados (las energías, el grado de cobertura, la viabilidad de equilibrio económico, etc.) es en la forma de una presentación, detalle o informe de ingeniero.

Una expansión de la versión 3.3 es el cálculo de la reducción de emisiones. En este caso, los ahorros se consideran con respecto a los ocho gases de efecto invernadero más importantes. Cifras específicas para los precios de la energía, las tasas de interés, etc. pueden ser editadas por separado. El dimensionamiento de ayuda para el usuario también se ha ampliado e incorpora textos de ayuda totalmente revisados. Secuencias de temperatura, por ejemplo en el acumulador, no se pueden mostrar ya sea en el programa o en los resultados. Otra desventaja es que los resultados solo pueden ser emitidos como los valores mensuales. Los grupos a los cuales está diseñado el programa son las empresas de instalación e ingeniería; oficinas de planificación y formación; y las instituciones de educación. El programa puede obtenerse en alemán, inglés y francés. El idioma puede cambiarse sin ningún problema de compatibilidad entre versiones del programa, de modo que el tratamiento puede tener lugar en la lengua materna del diseñador, pero, en caso necesario, el informe puede ser impreso en la lengua propia del cliente.

Además en esta categoría se cuenta con el programa GetSolar para la simulación de sistemas solares térmicos, bien conocido como un programa DOS, ha estado disponible desde 2000 en una versión compatible con Windows. Además de los datos meteorológicos existentes para los diversos lugares, los conjuntos de datos METEONORM también pueden ser importados. Una función cíclica de tiempo permite la observación detallada del sistema en momentos críticos. Los errores del programa en la primera versión de Windows se han corregido. GetSolar lleva a cabo una simulación rápida de sistemas de colectores solares, donde el exceso de calor solar para apoyo al cuarto de calefacción también se puede calcular si se desea. Entre otras cosas, contiene una biblioteca de los datos de 120 colectores y un editor de sombreado. El cálculo del nivel del sol, la insolación, el rendimiento, el grado de cobertura y la utilización son posibles en distintas bases de tiempo. Pueden mostrarse valores instantáneos. Los resultados se pueden copiar en un almacenamiento intermedio para luego ser procesados en otros programas. Sus características especiales son el diseño del estanque de expansión, el cálculo de la temperatura de estancamiento del colector, el examen de uno o dos ejes de posicionamiento y de diversas inclinaciones de los absorbentes de los colectores de tubos al vacío. El perfil de consumo se puede definir para un día normal. El programa no puede llevar a cabo la viabilidad económica y los cálculos de emisiones. Sin embargo, es ciertamente de interés debido a su atractivo precio y a los resultados respetables de la simulación.

Por último, cabe destacar el programa **RetScreen**. Desarrollado en Canadá, RETScreen es un programa de análisis de proyectos de energías renovables estandarizado que ayuda a identificar y evaluar las oportunidades más viables para la aplicación rentable de las tecnologías de energías renovables disponibles. RETScreen utiliza hojas de cálculo de MS Excel para los estudios de prefactibilidad en una fracción del tiempo y el dinero requerido por los métodos convencionales. El programa puede ser descargado de forma gratuita en www.retscreen.net/es/home.php.

C) Programas de simulación dinámica

Cuando los límites de los programas de simulación estática, y su interfaz de usuario relativamente rígida, se alcancen, se vuelve necesaria la utilización de sistemas de simulación dinámica; tal como ocurre en el caso de los sistemas solares de gran escala o de sistemas más complejos.



- *Introducción a la Energía Solar Térmica · Configuraciones del SST ·*
- *Componentes de un SST para ACS · Diseño y dimensionado ·*
- *Cálculo de prestaciones energéticas · Instalación · Operación y mantenimiento ·*
- *Incorporación del SST en el edificio ·*

Capítulo 6

Instalación

6.1. Consideraciones Generales

Este capítulo se enfoca a definir los procedimientos y las mejores prácticas asociadas a la correcta instalación y el adecuado montaje de todos los componentes de los sistemas solares térmicos. El objetivo es mejorar las condiciones del proyecto de detalle y, finalmente, aumentar la eficiencia y la durabilidad de la instalación. Al término del capítulo se analizan aspectos relativos a la organización y a la seguridad del personal para ejecutar la instalación.

En líneas generales, se debe observar que la instalación de sistemas solares no es igual que la de otros sistemas de agua caliente y, aunque el montaje de determinados componentes (cañerías, bombas, válvulas, etc.) puede ser bastante similar, hay otros aspectos que son distintos, fundamentalmente derivados del montaje de los colectores solares y del sistema de control.

En cualquier caso, siempre se deberá tener en cuenta el cumplimiento de las normativas vigentes en el país.

6.1.1. Del proyecto a la instalación

Desde un punto de vista técnico, el proyecto conceptual como el de detalle representa el acuerdo entre el mandante y la empresa instaladora, y debe incorporar la definición completa de la instalación. Las condiciones de montaje pueden estar expresamente indicadas en el proyecto o bien, indirectamente, haciendo referencias a un Pliego de Condiciones, a Normas u otros documentos. Todo lo que no esté referenciado ni especificado, estará sometido a la buena práctica y a los procedimientos de montaje, de supervisión y de control de calidad de la propia empresa instaladora.

Asimismo, toda la información sobre el proyecto disponible previamente podrá complementarse, a lo largo de la ejecución de la instalación, con las instrucciones que dicte un director de obra y que se deberán ir documentando para recoger tanto las decisiones adoptadas como los motivos de los cambios.

6.1.2. Replanteo de la instalación

Antes de empezar a ejecutar la instalación, el instalador con el visto bueno del mandante debe realizar el replanteo de la instalación, para comprobar, verificar y dar conformidad a que se puede realizar todo el montaje de la instalación recogida en el proyecto de detalle.

Este proceso requiere que se revise, en la obra, todo el contenido del proyecto de detalle y en particular:

- Espacios disponibles para ubicación de colectores, acumuladores y el 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
- Accesibilidad a toda la instalación, tanto para el montaje como para operaciones posteriores de mantenimiento

6.1.3. Consideraciones sobre los componentes

Todos los componentes y materiales que vayan a ser utilizados deben tener una calidad y durabilidad acorde al proyecto, de manera que resistan las condiciones a las que serán expuestos y sobre todo, a las condiciones exteriores (lluvia, humedad, radiación UV, etc.). Cualquier cambio de componentes, sobre lo previsto en el proyecto, debería ser previamente aprobado.

Todos los componentes del sistema deben ser posicionados correctamente de acuerdo a lo indicado en los planos y especificaciones del proyecto. Una vez realizada la instalación, las placas de características de los equipos deberían quedar perfectamente visibles.

Para todo el equipamiento instalado, es de suma importancia contar con una buena accesibilidad y espacio, de modo que su mantención, reparación o desmontaje sea lo más sencilla posible. A su vez, se debe tener presente que el equipamiento instalado no afecte la accesibilidad ni el espacio requerido para la mantención de otros equipos existentes en el lugar.

Cuando se prevean condiciones de humedad y eventual presencia de agua, se aconseja que todos los elementos queden elevados del nivel del suelo para protegerlos de estas situaciones.

Durante el montaje, se recomienda tener siempre a mano las instrucciones de instalación que entregan los fabricantes de los componentes, para el caso de que sea necesaria su consulta.

Antes de que los componentes sean instalados en su ubicación definitiva, y salvo acuerdo contrario, la empresa instaladora es responsable de proteger y vigilar los materiales durante el transporte, almacenaje y montaje.

Las aberturas de todos los aparatos y equipos deberían estar protegidas con el fin de evitar la entrada de cuerpos extraños y suciedades.

Todos los elementos metálicos que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por el fabricante, serán recubiertos con el tratamiento antioxidante que se defina.

6.2. Sistema de captación

Se recomienda tener presente el manejo de los componentes que van instalados en el techo, como las estructuras y los colectores solares, de modo que previamente se decida si van a ser movidos a mano o se debería contar con algún sistema de movimiento de materiales, como una grúa.

En el caso de usar grúas para llevar las estructuras y los colectores al techo, se debe chequear que el acceso para ésta sea el adecuado. Por otro lado, el tamaño de la grúa dependerá de factores como el alto al que deben llegar los componentes y su distancia al borde del edificio. Además, es preferible tener listos todos los componentes que deben ser levantados antes de llamar a la grúa. La grúa también se puede aprovechar para levantar cañerías, aislaciones y herramientas pesadas que sean necesarias en el montaje.

Para las zonas del techo que tengan un alto tráfico de personal, se recomienda el uso de planchas de madera como pasillo, de esta forma se protege el techo.

También es importante verificar la distribución de los pesos en cubierta durante el montaje, sobre todo si se utilizan colectores paletizados.

En edificios existentes y cuando sea necesario realizar agujeros en el techo para fijar las estructuras de los colectores, debe requerirse la asistencia de personal especialista en impermeabilizaciones para tener total garantía del perfecto acabado de la tela asfáltica. También se recomienda realizar el trabajo en el techo por secciones en vez de abrir todo el techo de una vez. Para estos trabajos es muy importante evitar los periodos de lluvia.

Es preferible que el manejo e instalación de los colectores se realice después que se haya terminado la instalación de las estructuras que los soportan. Además, antes de montar los colectores, asegurarse que la estructura cumple con las condiciones necesarias para soportarlos.

Debido a las elevadas temperaturas que pueden alcanzar los componentes del campo de colectores, se debe dejar espacio para la dilatación térmica de los materiales. Se recomienda, además, evitar que los perfiles queden tapados y, cuando sea necesario, agregar perforaciones para evitar las retenciones de agua.

Las conexiones del colector no deben ser forzadas ya que en algunos casos se podrían dañar los componentes internos. La conexión entre colectores podrá realizarse con accesorios metálicos, coplas o cañerías flexibles que estén autorizados por el fabricante. Al utilizar cañerías flexibles, se debe evitar que la tubería quede retorcida y que se produzcan radios de curvatura superiores a los especificados por el fabricante.

Se habrá previsto el acceso a los colectores de forma que su desmontaje sea posible con el mínimo efecto sobre los demás.

Si los colectores van a permanecer montados por algunos días y sin agua circulando a través de ellos, se deberá tener en cuenta las recomendaciones del fabricante para este periodo y la forma de mantener el conexionado para que no entre suciedad en los circuitos.

Los pares galvánicos deben ser evitados para impedir la oxidación por corrientes galvánicas. Se recomienda el uso de conexiones del mismo material o la utilización de sistemas que las anulen. Estas corrientes se pueden producir al conectar metales ferrosos con no ferrosos, por ejemplo, hierro con bronce.

En el caso de utilización de zapata aislada (poyos de hormigón) como elemento de apoyo y soporte sobre el techo, se debe evitar el estancamiento de agua disponiendo de pasos de evacuación adecuados.

En algunos casos será más efectivo prefabricar ciertas secciones de las estructuras de soporte fuera del techo, donde se debe tener en cuenta que el ensamble de la estructura completa aumenta la dificultad y el costo del transporte.

6.3. Sistema de acumulación

Debido a las dimensiones que podrán alcanzar los acumuladores, se deberá tener en cuenta su traslado y posicionamiento. El uso de una grúa para su instalación es usualmente el método más seguro y efectivo.

Muchas veces se prefiere colocar la aislación del acumulador después de su instalación. De esta forma se simplifica la instalación ya que se facilita el manejo del acumulador, la instalación de cañerías y el desarrollo de la prueba de presión. Se debe tener en cuenta el espacio adicional necesario para colocar la aislación.

No se debe soldar en acumuladores terminados porque se puede dañar tanto el tratamiento interno del acumulador como la aislación instalada, debido a las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso de soldadura. Si el acumulador queda a la intemperie se debe utilizar un sistema de protección de la aislación que preferiblemente se instalará al final del montaje para evitar su deterioro.

Como el acumulador podrá ser vaciado durante la vida útil del proyecto, debe preverse el procedimiento para su eventual desagüe, dejando previstas las cañerías, válvulas y arquetas que se consideren necesarias.

Se recomienda tapar todas las aberturas que posea el acumulador hasta que las cañerías queden instaladas.

Si el acumulador es instalado bajo el suelo, se recomienda que todas las cañerías y cableado de sensores vaya por arriba del acumulador.

Si el acumulador se ubica cercano a un lugar de estacionamiento de vehículos, se recomienda instalar barreras de protección.

6.4. Red hidráulica

6.4.1. Cañerías

Es recomendable llevar todas las cañerías hacia el techo de la misma forma que los colectores. Al momento de levantarlas, tomar todas las precauciones para que ninguna tubería pueda deslizarse y caer.

Durante la instalación hay tener en cuenta la dirección y el grado de pendiente requerido en cada tubería, así como tomar las medidas necesarias, mediante dilatadores axiales o cambios de dirección, para facilitar la dilatación de cañerías.

En el circuito primario se debe utilizar soldadura compuesta por 95% estaño y 5% plomo o el uso de soldadura de plata. Además, la alta temperatura requerida en este tipo de soldadura puede dañar asientos de válvulas u otros materiales cercanos al lugar de soldadura, por lo que se recomienda que éstos sean removidos o protegidos durante este proceso. El uso de soldadura de estaño 50/50 no es apropiado para los sistemas solares. No se recomienda llevar este tipo de soldadura al lugar de instalación pues puede ser utilizado por error.

Se aconseja instalar las cañerías cercanas a las murallas, el techo o el suelo, teniendo en cuenta el espacio necesario para instalar la aislación. Se recomienda que la distancia a elementos estructurales sea mayor a 5 cm.

Se recomienda que las cañerías vayan siempre por debajo de los cableados eléctricos que las crucen o que corran paralelamente. La distancia apropiada a mantener con el cableado eléctrico será:

- 5 cm para cables con tubo protector y tensión bajo 1.000 V
- 30 cm para cables sin protección y con tensión bajo 1.000 V
- 30 cm para cables con tensión sobre 1.000 V

No se aconseja la instalación de cañerías sobre equipos eléctricos como motores, bombas o el sistema de control.

Las cañerías y las conexiones podrán ir soldadas o roscadas. En el caso de cañerías o conexiones con diámetro mayor a 4" se recomienda la unión por flanges.

La instalación de cañerías debe ser en lugares habilitados para ello (shaft para cañerías), y no se deben utilizar nichos para ascensores, chimeneas, climatización o ventilación, entre otros.

Al cortar tubos, éstos deben quedar libres de escoria, salientes o reborde.

En el caso de haber ramificaciones en la red hidráulica, las ramificaciones soldadas no deben proyectarse dentro del tubo principal.

6.4.2. Intercambiador de calor

Las buenas prácticas de instalación de intercambiadores serán las mismas que las utilizadas en otros trabajos donde los intercambiadores sean utilizados comúnmente. Es necesario dejar espacio suficiente para que la mantención sea realizada de forma sencilla.

Se debe considerar que intercambiadores demasiado grandes no podrán ser movidos a mano, incluso para bajarlos del camión de entrega, por lo que el uso de equipamiento para mover materiales pesados puede ser necesario.

Se aconseja chequear las conexiones de entrada y salida de agua, tanto en el lado caliente como en el lado frío, para asegurar que estén puestas en los lugares adecuados.

El intercambiador de calor debe quedar soportado adecuadamente. Las cañerías conectadas a él, deben ir soportadas de forma independiente, para no transmitir esfuerzos adicionales que puedan afectar las uniones.

6.4.3. Bombas

Se debe tener en cuenta que bombas demasiado grandes no podrán ser movidas a mano, incluso para bajarlas del camión de entrega, por lo que el uso de equipamiento para mover materiales pesados puede ser necesario.

Bombas de hierro fundido son más susceptibles a roturas que las de bronce, por lo que deben ser manejadas con más cuidado.

Por lo general, las bombas no deberán quedar en áreas de libre acceso y se recomienda ponerlas dentro de una caseta cerrada.

Se recomienda instalar las bombas en un lugar fresco, alejadas de intercambiadores u otras fuentes de calor. En general, no se deben exponer a temperaturas que excedan el rango adecuado para su operación.

Se recomienda que las bombas se instalen de modo que las cañerías que entran y salen de ellas vayan lo más rectas posibles. No es recomendable colocar las bombas en lugares donde puedan ser mojadas por filtraciones de agua o por descargas de válvulas de seguridad.

Las bombas se instalarán con espacio suficiente para que puedan ser desmontadas con facilidad y sin necesidad de desarmar cañerías adyacentes. Estas cañerías por su lado, deberán ir soportadas de manera independiente, de forma que la bomba no reciba esfuerzos adicionales que puedan dañar las uniones.

Se debe fijar de manera segura ambos lados de las bombas. Si la potencia de accionamiento de la bomba es superior a 700 W se recomienda utilizar algún sistema anti-vibratorio como soportes bajo la bomba y el uso de conexiones flexibles a ambos lados de ésta. Esto evita la transferencia de vibraciones y el ruido propios de estos componentes.

El diámetro de las cañerías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba. Evitar accesorios que produzcan caídas de presión altas en ambos lados de la bomba.

6.4.4. Estanque de expansión

Se recomienda revisar el tamaño del estanque de expansión para las condiciones finales en las que vaya a quedar la instalación, por si hubieran modificaciones que afecten su funcionamiento.

La conexión del estanque de expansión debe seguir las indicaciones del fabricante y, cuando sean de pequeño tamaño, deben conectarse por arriba para que el fluido que esté en contacto con la membrana sea el más frío y así aumente la durabilidad de la membrana elástica.

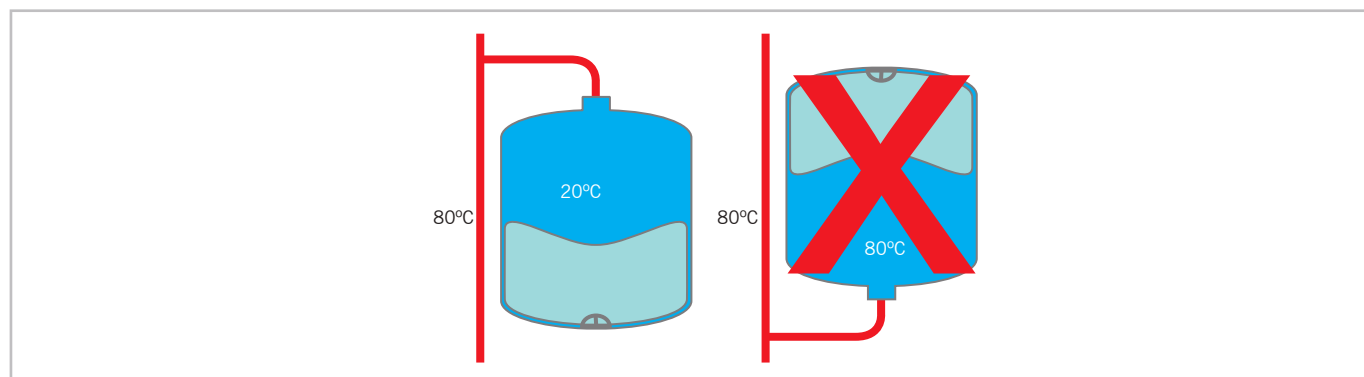


FIGURA 6-1
CONEXIÓN DEL ESTANQUE DE
EXPANSIÓN

Los estanques de expansión se ubicarán preferentemente en zonas protegidas de la radiación solar. Los que sean instalados a la intemperie deben estar expresamente diseñados para esa condición.

La prueba de presión del sistema se deberá realizar sin que el estanque de expansión se vea afectado. Para esto, el estanque se deberá instalar posteriormente a la prueba de presión, o en el caso de existir una válvula de corte, ésta deberá estar cerrada durante la prueba.

Para el circuito primario se debe asegurar que nunca se aisle el estanque de expansión del resto del circuito. Para evitarlo, se debe evitar el instalar una válvula de corte. En el caso de hacerlo, quitar la manilla de accionamiento.

6.4.5. Válvulas

Se recomienda que las válvulas de accionamiento manual, expuestas a personal no autorizado, queden en casetas cerradas o sus manillas sean removidas y guardadas en un lugar seguro después de dejar el sistema en funcionamiento.

Se debe cuidar que el largo del hilo de las cañerías no sea demasiado extenso de forma que golpee el mecanismo interno de las válvulas, ya que se puede limitar su correcto funcionamiento.

Se recomienda que las manillas de las válvulas sean instaladas hacia arriba o de manera horizontal. La instalación de manillas hacia abajo no es recomendable pues facilita la acumulación de suciedad y al ser accionadas se pueden producir daños en ellas.

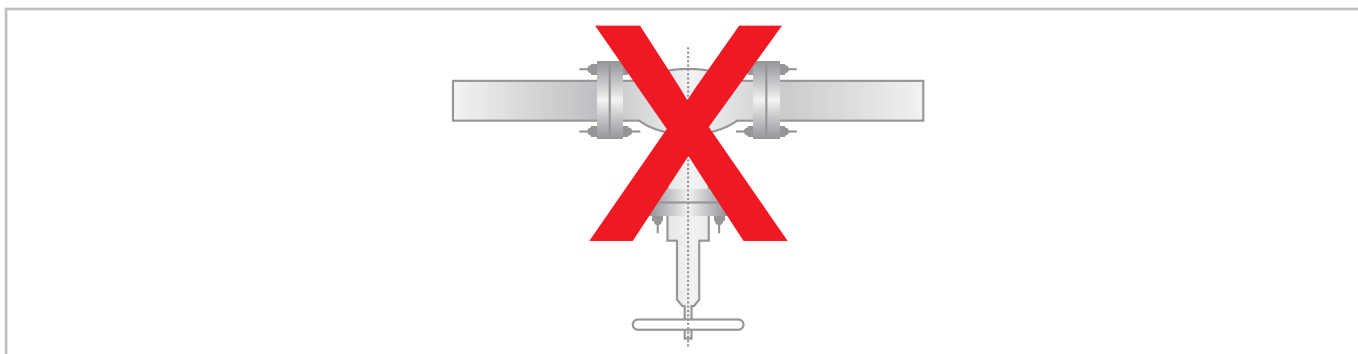


FIGURA 6-2
RECOMENDACIÓN DE NO INSTALAR
VÁLVULAS HACIA ABAJO

Para válvulas anti-retorno y de tres vías, verificar el flujo y orientación de la válvula. Existen válvulas anti-retorno que tienen restricciones en su posicionamiento, como algunas con resorte que no pueden ser instaladas con la dirección del flujo de agua hacia abajo.

Se recomienda que las válvulas de seguridad queden en un lugar no accesible a personas ajenas a la mantención. Las válvulas de seguridad deberán ser inutilizadas durante la prueba de presión o ser instaladas después de ésta, para que no se produzca un accionamiento involuntario que perjudique la prueba.

En caso que el campo de colectores esté instalado en un lugar con acceso a personal no autorizado, la descarga de la válvula de seguridad deberá ser en un lugar seguro, donde no pueda dañar a alguna persona que transite cerca del sistema. La descarga de la válvula de seguridad se debe realizar de modo que los colectores no se vean afectados. Es preferible que la descarga sea vertical hacia abajo, sobre algún elemento que pueda soportar varias descargas continuas.

6.4.6. Sistemas de purga

En el caso de instalar purgadores manuales, se debe asegurar que el acceso y operación de éstos sea sencillo de forma que el aire y el fluido que salgan durante su actuación no afecten a la persona que los manipula.

La instalación de purgadores automáticos se realiza en forma vertical. Sus tapas no deben quedar apretadas, sino sueltas, pero con algo de hilo pasado.

6.5. Sistemas de control

Los sistemas solares usan procedimientos estándar para la instalación y cableado de componentes eléctricos y se debe seguir cuidadosamente todas las instrucciones entregadas por los fabricantes.

Se recomienda que el sistema de control y los componentes eléctricos queden en un lugar bajo llave. El acceso a este lugar debe ser fácil para que la operación y la mantención sean sencillas. Además, el lugar debe estar alejado de posibles fugas de agua.

Al instalar el controlador se debe minimizar el cableado de alto voltaje. Lo contrario rige para el cableado de bajo voltaje como el cableado de los sensores.

Los sensores deben ser colocados en los lugares de diseño, no se debe cambiar el lugar, aunque sea una distancia corta, a menos que el cambio haya sido aprobado por el diseñador.

El posicionamiento del sensor de temperatura en el campo de colectores deberá hacerse en el último colector de la batería que sea más representativa del funcionamiento de la instalación, precisamente el de salida de fluido a mayor temperatura. Ésta se seleccionará de forma que estén completamente libres de sombras que puedan afectar la medida de los sensores. También se deben evitar que fuentes de calor como chimeneas influyan sobre los sensores.

El posicionamiento del sensor de temperatura en el acumulador deberá hacerse, siempre que sea posible, en el interior del acumulador en un lugar cercano y por encima de la tubería de salida, que siempre estará en la parte baja del acumulador. Si no es posible la colocación en el interior, se instalará en la tubería o conexión más próxima. Si el sensor se sitúa demasiado alto en el acumulador, la actuación de la bomba se realizará a mayor temperatura y se perderá parte de la energía durante el arranque como en la parada.

Los sensores no deben ser nunca expuestos al fuego o la soldadura y deben estar protegidos de la lluvia. Por otro lado, es aconsejable que se utilicen vainas de protección y que no sean sumergidos directamente en el flujo.

Es recomendable también dejar cierto cableado extra, de modo que si falla el sensor, éste pueda ser reemplazado sin tener que añadir trozos de cable. También se recomienda dejar instalado un segundo sensor, pero sin que éste sea conectado al controlador, de modo que si falla el sensor en uso, se pueda cambiar al de reemplazo fácilmente.

Fijar el cableado de los sensores de manera cuidadosa para no romper la aislación ni el cableado interno. Si el cableado va a través de un conducto, se debe tener cuidado con bordes afilados que puedan cortarlo. En general, todo el cableado deberá quedar protegido contra daños y roturas, además de entregar protección contra altas temperaturas y radiación ultra violeta.

Se debe verificar el funcionamiento de los sensores directamente conectados al sistema de control y antes de que éstos sean instalados. Una alternativa es simular su funcionamiento calentando el sensor con las manos o con agua caliente y enfriándolo en el ambiente o en agua fría.

Tener cuidado con doblar los sensores e impedir o restringir el flujo del fluido de trabajo. También se debe prestar atención al buen contacto térmico del sensor con el absorbedor o, en el interior de la vaina de protección, con el fluido en el tubo de salida del colector.

Antes de conectar el controlador a la corriente se debe asegurar que el voltaje sea el adecuado. Para el caso de controladores que no posean protección contra cortes de electricidad se recomienda instalar una desconexión con fusibles.

Las lecturas de los sensores pueden ser utilizadas para verificar el correcto funcionamiento de la instalación, analizando las temperaturas de entrada y salida de los distintos componentes.

6.6. Equipos de medida

Para la instalación de caudalímetros y contadores de energía, se tendrán en cuenta las especificaciones de los fabricantes y, sobre todo, se tendrá especial precaución en la selección del lugar de ubicación. Esto para que las medidas no estén afectadas por accesorios hidráulicos cercanos, así como para poder visualizarlas fácilmente.

La instalación de termómetros bimetálicos se realizará en vainas de protección sumergidas en las tuberías o en el acumulador de forma que se garantice la correcta medida de las temperaturas.

6.7. Organización de la instalación

6.7.1. Pedido y almacenamiento de materiales

El pedido de materiales no se debe realizar hasta la aprobación de la ingeniería de detalle por parte del mandante y, en algunos casos, será necesario haber realizado el replanteo completo de la instalación.

En la planificación general de los pedidos se tendrán en cuenta los plazos de entrega de los distintos componentes ya que, en algunos casos como acumuladores y colectores, pueden ser mayores que para otros componentes y pueden definir el camino crítico para programar la ejecución.

Los componentes que pueden causar mayores problemas de transporte y manejo son los colectores y el acumulador, ya que son grandes, pesados y por lo general, requieren de equipamiento especial para transportarlos, sacarlos del camión de entrega y moverlos en el lugar de instalación.

Es importante conocer las condiciones del lugar donde llegarán los materiales, la cantidad de tráfico en la vecindad del edificio, y en el caso de utilización de una grúa, es importante conocer los accesos al edificio considerando las horas aceptadas para la entrega de materiales y las horas que causan menos inconvenientes a los ocupantes, así como los espacios disponibles para recibir y almacenar pedidos hasta que sean requeridos en la obra.

Se recomienda que los colectores se manejen en pallets y que sean llevados al techo por una grúa. Si se desea minimizar el tiempo de uso de la grúa, se aconseja hacer coincidir la fecha de entrega de los colectores, estructuras, tuberías, acumuladores y otros componentes pesados, para poder realizar todo el trabajo de una sola vez.

El uso de pallets en los colectores ayuda a proteger el vidrio de roturas; además del viento, ya que en algunas zonas incluso se podrían volar si se mantienen individualmente y sin protección. Al dejar los pallets en el techo se debe asegurar que éste tenga una estructura adecuada para soportarlos. Se recomienda almacenar los colectores lejos de los lugares de descarga de material o lugares con mucho tráfico.

Para el acumulador y cañerías que deban ser almacenadas en lugares abiertos se recomienda tapar todas sus aberturas de modo que no entren en ellos materiales no deseados o suciedad. Se deben proteger de la lluvia, luz solar directa y daños por aplastamiento.

6.7.2. Programación de la instalación

La programación de la instalación se realizará de forma que se haga una previsión de los plazos y tiempos de montaje de los mayores componentes y sistemas. Se debe organizar por áreas de trabajo:

- **Techo/Suelo:** Instalación de las estructuras de los colectores, colectores y las cañerías relacionadas a este sector.
- **Cuarto de máquinas:** Instalación de acumulador de almacenamiento, bombas, intercambiadores de calor y las cañerías relacionadas a este sector, interconexión con el sistema auxiliar y la instalación del sistema de control.
- Dependiendo de la distancia entre el techo y el cuarto de máquinas, la instalación de cañerías también podrá ser considerada un área principal.

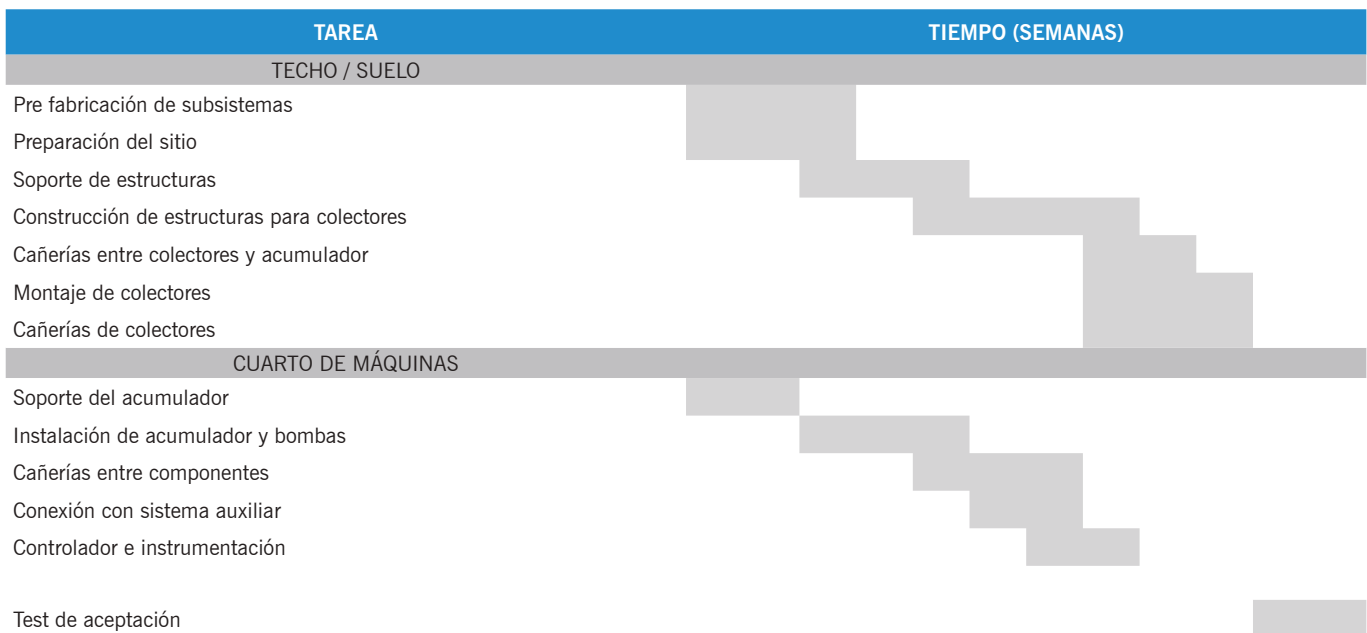


TABLA 6-1
EJEMPLO DE PROGRAMA DE
INSTALACIÓN

Se recomienda tener bien formados tres grupos de trabajadores:

- Estructuristas, encargados de trabajos con fierros cuando sea necesario la construcción de estructuras para los colectores; deberán tener conocimientos de soldadura al arco.
- Gásfiter, encargados de la instalación de cañerías; deberán tener conocimientos de soldadura de estaño, plata y termo fusionado.
- Eléctricos, encargados de la instalación eléctrica; deberán tener conocimientos con líneas de fuerza y de control.

El trabajo de un ingeniero estructural puede ser necesario para el desarrollo de las estructuras o los cimientos del acumulador. Por otro lado, si el proyecto es muy grande, se recomienda tener un supervisor en cada una de las tres áreas mencionadas anteriormente.

En instalaciones sobre edificios con ocupantes, la instalación requerirá del corte de algunos suministros importantes como agua o electricidad, como también podrá ser una fuente de molestias para los ocupantes, especialmente en lugares como hospitales y hoteles. Es por ello que se recomienda que los cortes de suministros sean advertidos anticipadamente. En algunos casos no se podrá realizar algunas tareas en ciertos horarios.

Para las instalaciones en edificios nuevos, el punto anterior no será relevante. Sin embargo, el avance del proyecto podrá estar muy vinculado con el avance de otros trabajos en el edificio que están a cargo de la empresa constructora. Esto se debe a que algunos componentes del sistema solar térmico no pueden ser instalados “en el aire”. Por ejemplo, las estructuras de los colectores no se pueden instalar hasta que el techo del edificio esté listo para ello. Para no tener problemas, se recomienda comunicar los requerimientos de progreso de obras a la constructora a cargo, de modo que no se vea afectada la programación del SST.

6.8. Seguridad del personal instalador

Durante toda la instalación del sistema solar se debe considerar la seguridad del personal. A continuación se detallan algunas de las consideraciones generales de seguridad, pero también se debe tener presente aquellos requisitos adicionales que pueden ser exigidos en el lugar específico de la instalación, como faenas mineras donde los estándares de seguridad son más estrictos.

Dentro de los elementos generales de seguridad, el personal debe contar con cascos, zapatos, lentes y guantes de seguridad. Aquel personal que trabaje en las tareas de soldadura, deberá contar con: cascos, guantes y pecheras específicos para este tipo de tarea. En caso de ser necesario, como en lugares de baja ventilación, se recomienda el uso de una máscara de respiración.

En la mayoría de los casos, las IST se instalan sobre los techos de las edificaciones a alturas elevadas. En estos casos, se recomienda el uso de arnés y cabo de vida en los trabajos en altura y el uso de cintas o barandas para el trabajo sobre techos planos. Se debe implementar rodapiés en trabajos en altura para evitar la caída de herramientas. Además, cuando el acceso al techo se haga por medio de escaleras externas a la edificación, se recomienda el uso de escaleras tipo jaula.

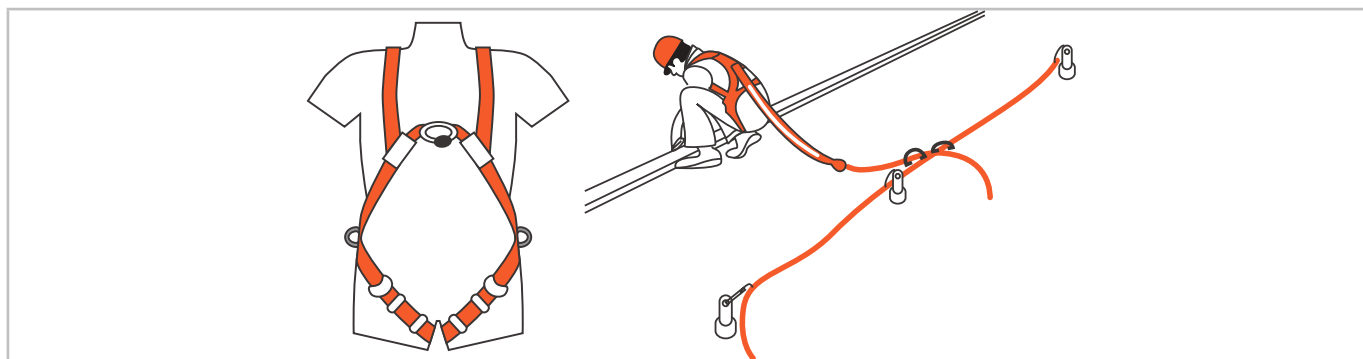


FIGURA 6-3
EJEMPLO DE ARNÉS DE
SEGURIDAD DE PERSONAL

Los trabajos de soldadura en zonas de riesgo de inflamación, como aquellos cercanos a cañerías de gas, se deberán realizar con un debido sistema de aislación, como mallas a prueba de fuego de modo que se garantice la seguridad de todo el personal. Estos sistemas deberán tener la capacidad de proteger contra el calor, chispas y escoria producto de la soldadura. También se deberá contar con extinguidores.



- *Introducción a la Energía Solar Térmica · Configuraciones del SST ·*
- *Componentes de un SST para ACS · Diseño y dimensionado ·*
- *Cálculo de prestaciones energéticas · Instalación · **Operación y mantención** ·*
- *Incorporación del SST en el edificio ·*

Capítulo 7

Operación y Mantenimiento

7.1. Operación

Una vez terminada la instalación y antes de entregarla al mandante es necesario realizar una serie de pruebas mecánicas para verificar que la instalación está bien realizada y una serie de pruebas de funcionamiento para ajustar los valores de proyecto y comprobar que funciona de la forma prevista.

En este capítulo se describen, además, los procedimientos de llenado y puesta en marcha de la instalación así como los de operación y mantenimiento necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación y la mayor durabilidad de la misma.

7.2. Pruebas y llenado de circuitos

Después de terminar el montaje de la instalación y antes de hacer las pruebas necesarias para asegurar que la instalación se realizó correctamente, es necesario limpiar todos los circuitos hidráulicos. Después de limpiar los circuitos se podrán realizar las siguientes pruebas a todo el sistema instalado:

- Prueba de estanqueidad
- Prueba de libre dilatación

Una vez realizadas las pruebas, los circuitos están listos para llenarlos de fluido, purgarlos de aire y dejarlos a la presión de trabajo, preparados para empezar a funcionar.

7.2.1. Limpieza de la red hidráulica

La limpieza de la red hidráulica sirve para eliminar los residuos que puedan haber quedado dentro de la red de cañerías durante el proceso de instalación. Se recomienda que la limpieza se realice antes de la prueba de estanqueidad.

La limpieza se efectúa llenando y vaciando el sistema hasta que no se obtenga

basura proveniente de la red de cañerías. Este llenado puede ser realizado con agua de la red o con alguna solución detergente que sea compatible con los materiales del sistema. No se debe usar detergente en la limpieza de las redes de cañerías de consumo y de distribución de agua sanitaria.

7.2.2. Pruebas de estanqueidad

Se debe comprobar que todos los elementos que se encuentran dentro de la red que se le va a realizar la prueba de estanqueidad puedan soportar la presión de la prueba. En el caso que haya algunos que no soporten la presión, éstos se deben aislar por medio de una válvula de corte o deben ser retirados durante la prueba y ser reemplazados por tapones.

Durante las pruebas de estanqueidad se podrá usar agua de la red o el mismo fluido de trabajo que será utilizado durante la operación normal del sistema.

Para detectar los mayores fallos de la red, primero se efectúa la prueba de estanqueidad a la presión de red, esta prueba debe durar lo necesario para verificar todas las uniones del sistema. De esta forma se evitan posibles daños que se pueden producir a una presión mayor.

Luego de la prueba inicial de estanqueidad se realiza la prueba de estanqueidad a una presión mayor, dependiendo del tipo de circuito.

- **Circuito primario:** prueba a 1,5 veces la presión máxima de trabajo, con un mínimo de 3 bar.
- **Circuitos de agua caliente sanitaria:** prueba a 1,5 veces la presión máxima de trabajo.

La prueba deberá durar lo suficiente para poder verificar la estanqueidad de todas las uniones del sistema. En cualquier caso, se cumplirán los requisitos establecidos de las normas vigentes.

En el caso de encontrar fugas, las secciones afectadas deberán ser reparadas con material nuevo. Luego de realizar todas las reparaciones pertinentes se volverá a realizar la prueba de estanqueidad, repitiendo este proceso las veces que sea necesario para que la red no presente ninguna fuga.

7.2.3. Pruebas de libre dilatación

Después de la prueba de estanqueidad se llevará el circuito primario a la temperatura de estancamiento comprobando que el sistema de expansión funcione correctamente. Luego, durante el enfriamiento se debe verificar que no se hayan producido deformaciones apreciables a la red de cañerías. Se recomienda que las pruebas de libre dilatación se hagan en un día soleado y sin demanda.

Las demás redes también pueden ser verificadas al hacerles circular agua a temperatura normal de funcionamiento.

7.2.4. Procedimiento de llenado

A continuación se detalla el proceso de llenado para una instalación típica. El orden general para el llenado de las partes del sistema podrá ser el siguiente:

- 1º Acumulador
- 2º Circuito secundario
- 3º Circuito primario
- 4º Circuito de consumo

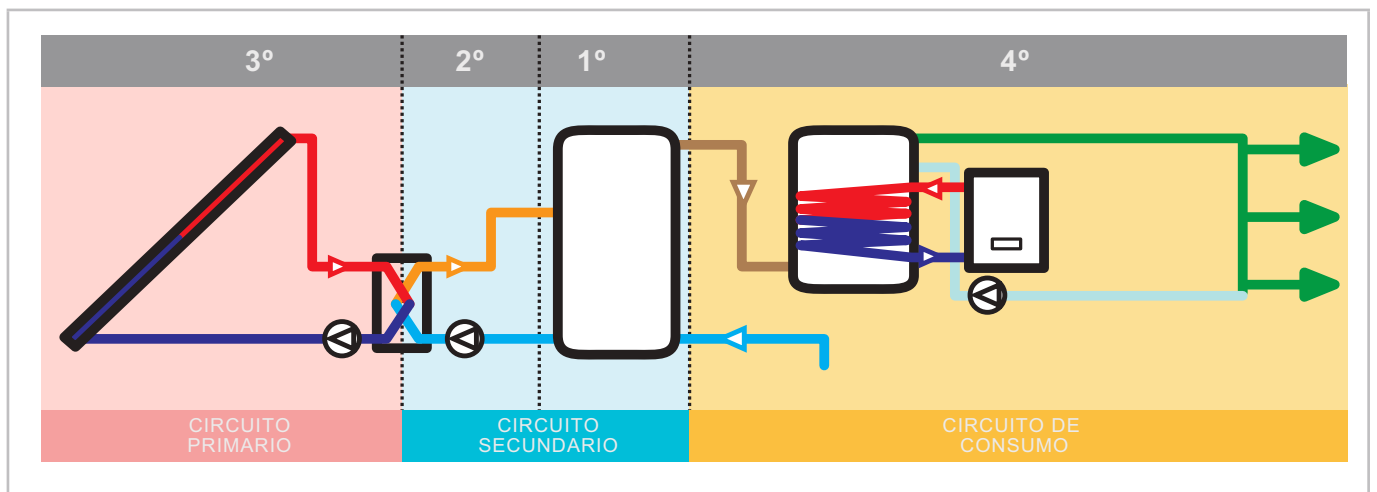


FIGURA 7-1
ESQUEMA DESCRIPTIVO DEL
PROCEDIMIENTO DE LLENADO DE
UNA INSTALACIÓN

1º Acumulador

Se debe aislar el acumulador del circuito secundario y del circuito de consumo y para ello:

- Cerrar las válvulas de ida y retorno entre el acumulador y el circuito secundario.
- Cerrar las válvulas entre el acumulador y el sistema de apoyo.

Con la válvula de venteo del acumulador abierta, 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. Todos los sensores inmersos en el acumulador deberán estar instalados antes del llenado.

2º Circuito secundario

Luego de que el acumulador este lleno se realiza el llenado del circuito secundario, para esto abrir la válvula que alimenta el circuito secundario.

Permitir que la presión de la red llene la red de cañerías. El aire debe ser purgado por el punto más alto a través del purgador de aire, del circuito o del propio acumulador, hasta que salga agua a través de él.

3º Circuito primario

Se recomienda llenar el circuito primario por la mañana temprano o cuando no haya sol:

- Para evitar choques térmicos,
- Para impedir que el fluido se caliente y facilitar la purga, y
- Para poder dejar el circuito a la presión mínima de llenado en frío.

Si el sistema de llenado es con bomba de presión, preparar el fluido en el depósito y realizar el llenado del circuito primario utilizando las dos conexiones instaladas a ambos lados de la válvula de corte, cerrando la válvula de corte, alimentando por la conexión que va hacia los colectores y abriendo la otra válvula para dar salida al aire; también saldrá fluido que deberá verterse en el mismo depósito para ser nuevamente bombeado. Antes de hacer la operación debe calcularse el volumen del circuito para tener preparado el volumen completo que va a ser necesario.

Esta operación se mantiene hasta que se purgue todo el aire del circuito y para finalizarla cerrar las 2 válvulas de conexión exterior y abrir la válvula de corte intermedia. El circuito estará listo para ser presurizado.

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.

D) Circuito de consumo

Finalmente se debe conectar el SST al sistema de apoyo y a la red de agua caliente del edificio.

Si el sistema de apoyo está en funcionamiento simplemente hay que abrir las válvulas de entrada y salida a la instalación solar y cerrar la válvula del by-pass de entrada.

Si el sistema de apoyo y la red de distribución de agua caliente no están operativas, deben llenarse ambos abriendo las válvulas correspondientes y abriendo los grifos de los puntos de consumo para dar salida al aire. Con la presión de la red se llena la red de cañerías y se purga el aire.

7.2.5. 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.

7.2.6. 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.

A) Circuitos secundarios y de consumo

Esta será la presión de la red de alimentación de agua fría. Deberá comprobarse que se alcanza la presión prevista y se traslada hasta los grifos de consumo.

En edificios en uso, una vez realizado el llenado del sistema de apoyo y de la red de distribución interior, se debe aislar el SST de nuevo cerrando la válvula de la alimentación de agua fría cerrada y dejando abierta la que alimenta directamente al sistema de apoyo (válvula intermedia del by-pass) con el fin de hacer las pruebas del SST.

B) Circuito primario

Se procederá de la siguiente forma:

- Antes de realizar el llenado, se habrá comprobado la presión del lado aire del estanque 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.

El fluido del circuito primario, sobre todo si pueda quedar expuesto a heladas debe cumplir con las especificaciones del proyecto, verificar que su pH se encuentra en los márgenes indicados por el fabricante de los colectores y, por último, verificar también que la presión de cada circuito cerrado se encuentra dentro de lo especificado.

7.3. Puesta en marcha

Antes de dejar funcionando el sistema en su modo normal de operación se deben realizar la puesta en marcha utilizando el encendido manual que permitan ajustar el sistema de distribución de agua, calibrar el sistema de control y realizar las verificaciones finales que se indican.

7.3.1. Encendido manual

Una vez llenos y presurizados todos los circuitos y antes de realizar la puesta en marcha se recomienda verificar los siguientes aspectos:

1. Las válvulas de seguridad se encuentran instaladas, funcionan correctamente y no se encuentran obstruidas para su descarga.
2. Las válvulas de corte, de llenado y de vaciado funcionan correctamente.
3. La posición de todas las válvulas, ya sean abiertas o cerradas según el caso, es la adecuada para que el sistema opere correctamente.
4. Los dispositivos de medida se encuentran instalados y con los valores esperados.

Cuando lo anterior se encuentre verificado se procede al encendido de las bombas utilizando la opción encendido manual del controlador o del cuadro eléctrico. A continuación se comprobará que:

5. 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 instalados a cada lado de la bomba.
6. Se ha iniciado la circulación del fluido en los circuitos correspondientes y, si es un día soleado, se empezarán a calentar los circuitos primario y secundario.
7. 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.
8. Los medidores de flujo se encuentran funcionando así como cualquier medidor de energía que disponga el sistema.

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 el aire hasta los sistemas de purga. Para purgar correctamente, interesa apagar las bombas y volver a actuar sobre los purgadores de la instalación como se indicó anteriormente.

Se recomienda hacer un registro, con datos del día y la hora, de todos los datos disponibles de caudal, presión, temperaturas y consumo eléctrico de las bombas. 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 colectores
- 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

7.3.2. Ajuste del sistema de distribución de agua

Una vez que el sistema se encuentra funcionando, se deben establecer los flujos de diseño en los circuitos cerrados, en los ramales de colectores y en los acumuladores.

Se inicia estableciendo el flujo en los circuitos cerrados. Para esto se debe dejar completamente abiertas las válvulas de balanceo tanto en los ramales para el circuito primario, como las válvulas de balanceo de los acumuladores para el circuito secundario cuando existan.

Las bombas de los circuitos se deberán ajustar al caudal de diseño y luego se debe ajustar las válvulas de balanceo de los circuitos cerrados hasta alcanzar el flujo definido para el sistema.

En el caso de usar válvulas de control de presión diferencial, el punto de control deberá ser ajustado a la caída de presión estimada para el circuito controlado.

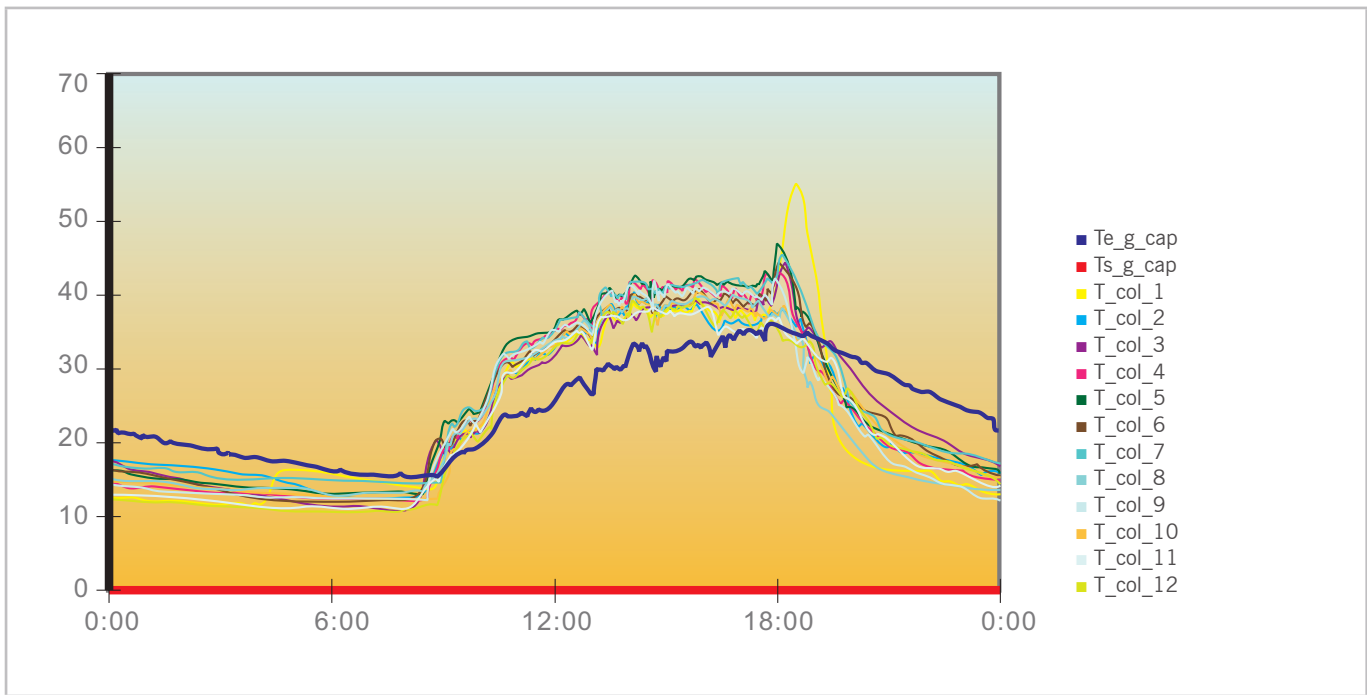


FIGURA 7-2
MONITORIZACIÓN DE LAS
TEMPERATURAS DE GRUPOS DE
COLECTORES EN PARALELO

Para el balanceo de los ramales de colectores, se pueden utilizar dos procedimientos distintos:

- **Por medio de niveladores de flujo:** establecer el flujo deseado por cada ramal siguiendo las indicaciones del fabricante de los niveladores.
- **Por medio de la temperatura al final de cada ramal:** este procedimiento busca que la temperatura del fluido que sale de cada ramal sea la misma. Cuanto mayor es el flujo por un ramal, menor es la temperatura a la salida de éste. Por lo tanto, cerrando las válvulas de balanceo aumenta la temperatura del ramal, y abriéndolas se disminuye. Durante el balanceo se debe procurar que al manipular las válvulas se espere el tiempo adecuado hasta que la temperatura del ramal alcance un equilibrio.

Al inicio del procedimiento de equilibrado, las válvulas de balanceo deben estar completamente abiertas, registrando la temperatura del agua a la salida de cada ramal. Comenzar el balanceo cerrando la válvula del ramal con la menor temperatura de salida, hasta que la temperatura del ramal sea 1°C menor que la del ramal de mayor temperatura. Repetir el procedimiento con el siguiente ramal más frío y continuar hasta que la mitad de los ramales se hayan ajustado. Nuevamente medir la temperatura de todos los ramales y continuar balanceando hasta que la temperatura de todos los ramales no difiera en más de 1°C. Tener en cuenta que este procedimiento sólo puede ser llevado a cabo en un día soleado y con un aumento de la temperatura del agua de al menos 6°C y será más preciso cuanto mayor sea el salto de temperaturas en los colectores.

Se recomienda dejar una marca en los componentes para establecer el punto de ajuste y, cuando sea preciso, remover las manillas de las válvulas convencionales.

7.3.3. Calibración del sistema de control

Se deberán ajustar todos los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados en el proyecto y, a su vez, se debe comprobar el funcionamiento de todos los componentes que configuran el sistema de control.

Se recomienda realizar el ajuste de acuerdo a lo siguiente:

- Ajuste de todos los equipos que están en el sistema como elementos de medida, sondas, termostatos, indicadores de estado, alarmas
- Ajuste del equipo que controla los elementos del sistema
- Ajuste de todos los sistemas de comunicación del control.
- Ajuste del nivel de gestión y tele gestión.

Específicamente para el ajuste de los parámetros del controlador se debe seguir la estructura de ajustes propios de éste, donde se puede observar:

- Verificación de todas las señales de entrada
- Selección de las salidas actuadas por el sistema de control
- Ajuste del diferencial de temperatura para el encendido y apagado de las bombas
- Ajuste de la temperatura máxima en colectores y acumulador
- Ajuste de la temperatura mínima para el sistema de protección contra heladas si es por recirculación.

En la tabla siguiente, y a modo de ejemplo, se resumen algunos valores habituales

	MÍN	MÁX
CONTROL DIFERENCIAL DE TEMPERATURAS	3	7
TEMPERATURA MÁXIMA DE ACUMULADORES (*)	75	80
TEMPERATURA MÁXIMA DEL CIRCUITO PRIMARIO (*)	90	100
TEMPERATURA SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA HELADAS	3	5

TABLA 7-1
VALORES HABITUALES PARA
PARÁMETROS DEL CONTROLADOR

(*) Depende de las temperaturas máximas que se soportan

Para los sistemas de control por medio de PC se recomienda que la mantención y actualización de las versiones de los programas se realicen por personal cualificado.

7.3.4. 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:

1. La corriente utilizada por las bombas se encuentra dentro de los márgenes establecidos por el fabricante. Para esto utilizar un amperímetro para medir el amperaje de cada bomba.
2. No hay signos de cavitación u otros funcionamientos inapropiados de las bombas.
3. Los interruptores de flujo y sensores de temperatura se encuentran funcionando correctamente. Para esto se debe verificar que las lecturas de los sensores son adecuadas a las condiciones ambiente y de operación del sistema.

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.

7.4. Pruebas de operación

Después de que el sistema se encuentra en modo automático se procede a realizar las pruebas de operación para verificar que el sistema funciona correctamente bajo las distintas condiciones de operación.

Dentro de estas pruebas se encuentran:

1. Encendido y apagado diario, es decir, las actuaciones principales del controlador para iniciar y finalizar el calentamiento diario.
2. Evolución diaria de temperaturas.
3. Entrega de agua caliente.
4. Sistemas de protección de la instalación.
 - A) Temperatura máxima del acumulador
 - B) Temperatura máxima del circuito primario
 - C) Sistema de protección contra heladas

Además se recomienda que se haga una comprobación final del sistema para asegurar que se hayan alcanzado los parámetros de funcionamiento previstos para el proyecto.

7.4.1. 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:

1. Verificar que el controlador se encuentra encendido y en el modo automático.
2. Esperar, durante la mañana, hasta que la bomba comience a funcionar debido a la diferencia de temperatura entre el fluido de los colectores y el agua del acumulador.
3. Anotar las temperaturas a las que las bombas comienzan a funcionar. Comparar estas temperaturas con el diferencial de temperatura establecido en el controlador.
4. Comprobar que, si el día es completamente soleado, las bombas de circulación están funcionando continuamente. Solamente deberían pararse si actúa alguna de las protecciones de seguridad previstas.
5. Esperar, durante la tarde, hasta que la bomba se detenga debido a la diferencia de temperatura entre el agua en los colectores y el acumulador.
6. Anotar las temperaturas a las que las bombas dejan de funcionar. Comparar esta temperatura con el diferencial de temperatura establecido en el controlador.

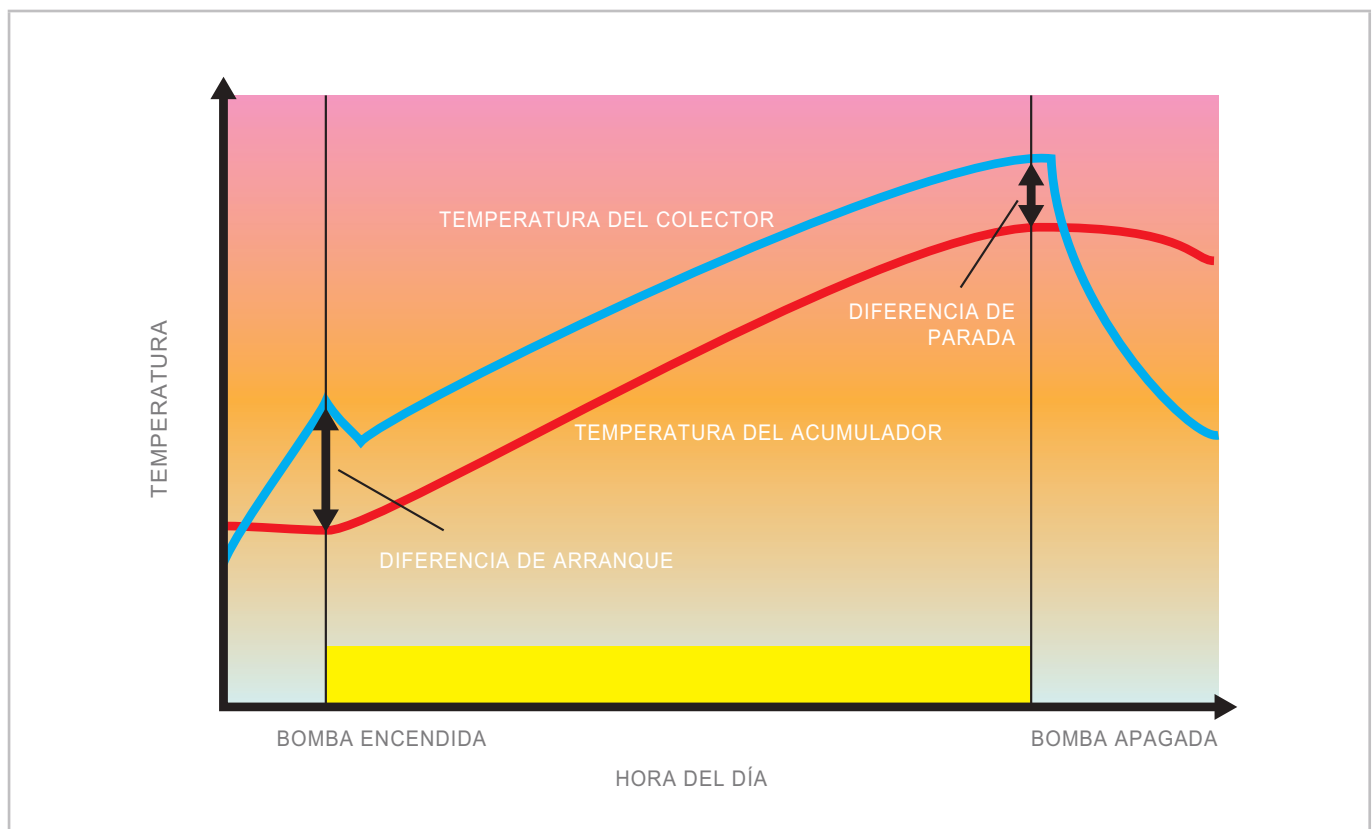


FIGURA 7-3
PRUEBA DE ENCENDIDO Y
APAGADO DIARIO

7.4.2. 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 comprobando que la temperatura del acumulador va subiendo a lo largo del día. En función de las condiciones meteorológicas se podrán hacer, o no, las comprobaciones de protección indicadas al final.

Comprobar la evolución de las temperaturas de entrada y salida de colectores, y de entrada y salida de intercambiador, verificando que van subiendo a lo largo del día y van disminuyendo al finalizar el día.

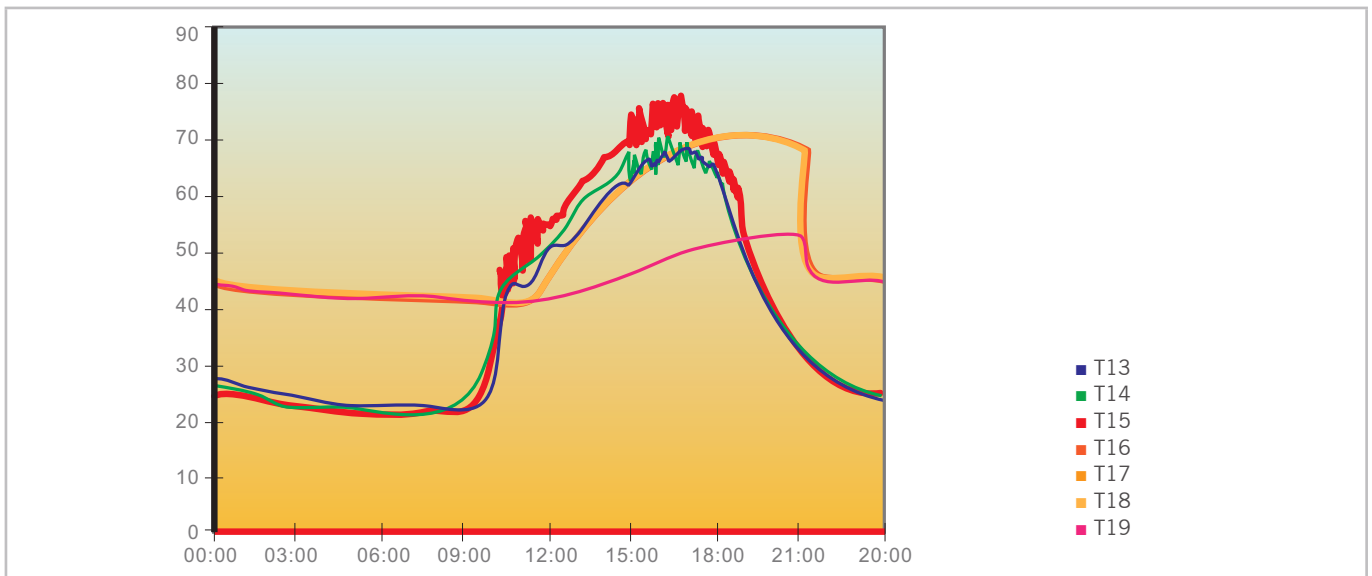


FIGURA 7-4
EVOLUCIÓN DIARIA DE
TEMPERATURAS SIN CONSUMO

En otro día distinto, se podrán realizar las pruebas de funcionamiento con consumo y se harán las mismas comprobaciones anteriores pero, en este caso, las temperaturas del acumulador no subirán tanto.

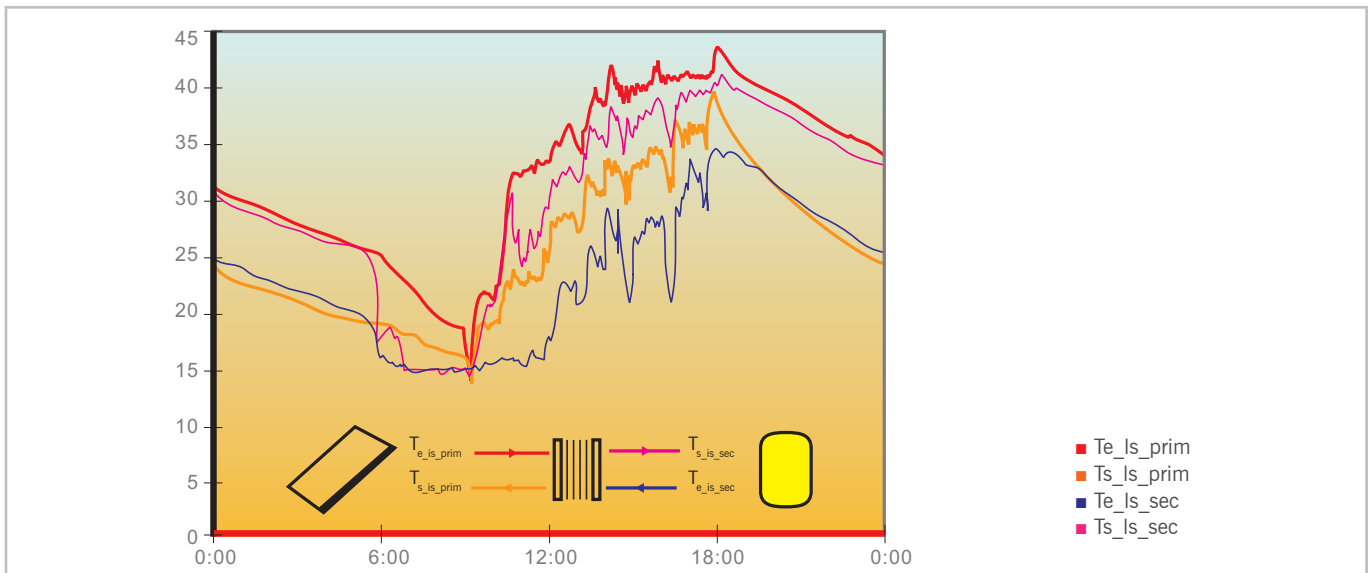


FIGURA 7-5
EVOLUCIÓN DIARIA DE
TEMPERATURAS CON CONSUMO

7.4.3. Entrega de agua caliente

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 así como también que, cuando se abre cualquier grifo de agua caliente, el agua del SST fluya desde el sistema de acumulación solar al de 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) y comprobando que las temperaturas sean las relacionadas con cada sistema.

7.4.4. Sistemas de protección de la instalación

Estas pruebas 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:

- Modificando la temperatura de consigna del controlador correspondiente.
- Sacando el sensor de temperatura de su posición normal y modificando su temperatura artificialmente.

A) 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 (parada de bombas) cuando la temperatura de consigna baja hasta la temperatura del acumulador.

B) Temperatura máxima del circuito primario

Se puede alcanzar la temperatura máxima del circuito primario después de realizar las pruebas 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 deberá comprobar que el sistema actúa bajando la temperatura de consigna del sistema de protección hasta la temperatura disponible en el circuito primario. Habrá que cuidar que no existan otras temperaturas o enclavamientos que impidan la actuación.

C) Sistema de protección contra heladas

Se podrá comprobar que el sistema actúa subiendo la temperatura de consigna hasta la temperatura disponible en el circuito primario o sumergiendo el sensor de temperatura en un recipiente con agua-hielo.

7.4.5. 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:

1. Rendimiento energético de los colectores solares. Para ello sería necesario que la instalación disponga de una medida de la radicación solar mediante piranómetro o célula calibrada.
2. Equilibrado del campo de colectores midiendo las temperaturas y los saltos térmicos de todos los circuitos y ramales.
3. Efectividad y rendimiento del intercambiador de calor.
4. Rendimiento y aportación energética de la instalación solar.
5. Consumo eléctrico de la instalación.

7.5. Operación automática

El sistema solar térmico está diseñado para operar de manera automática, por lo que el arranque, parada y las funciones de protección se realizarán en los momentos adecuados dependiendo de las condiciones meteorológicas y de consumo. En algunas ocasiones, sin embargo, se necesitará operar el sistema de manera manual, por ejemplo, cuando se produzcan fallas (ver apartados 7.6 y 7.7) o para realizar determinadas operaciones de mantenimiento (ver apartado 7.8).

7.5.1. Plan de vigilancia

Debido a la existencia del sistema de apoyo siempre habrá agua caliente disponible y, muchas veces, no se verán directamente los problemas de funcionamiento ni las fallas del sistema. Por lo tanto, es necesario hacer un seguimiento específico del correcto funcionamiento de la instalación, para lo que se debe establecer un plan de vigilancia.

Durante el funcionamiento en el modo automático únicamente se recomienda vigilar el sistema para comprobar que todo funciona correctamente. Esta vigilancia puede ser realizada por el operador o, en algunos casos, por el mismo usuario de la instalación:

- Con una observación simple de los principales parámetros de funcionamiento.
- Con un sistema electromecánico de avisos que actúe cuando alguno de los parámetros rebasan los límites establecidos.

Adicionalmente, si se dispone de un sistema de telemonitorización que proporciona información instantánea de los distintos parámetros, se pueden hacer tanto las operaciones anteriores como la evaluación continua y permanente de las prestaciones de la instalación.

Normalmente la vigilancia debería hacerse a diario, aunque deberá acortarse a ciclos horarios cuando la instalación se vuelve a poner en marcha después de solucionar una falla o podrá desfasarse varios días, hasta una semana, cuando se tenga seguridad del correcto funcionamiento.

En cualquier caso, cuando se detecte algún problema durante el proceso de vigilancia se deberán revisar los procedimientos ante fallas para encontrar la posible causa y su solución. Cuando se presenten estos casos se deberá actuar lo más pronto posible para evitar daños mayores.

En función del nivel de preparación del operador de la instalación y de los elementos de medida que se dispongan, se podrá establecer un plan de vigilancia básico de simple control de funcionamiento, hasta un plan de vigilancia completo que supervise constantemente los parámetros fundamentales; hasta realizar instantáneamente la evaluación completa del rendimiento de la misma.

A) Observación simple de parámetros

El principal indicador del buen funcionamiento es que la temperatura de agua del acumulador esté lo suficientemente caliente en días soleados. De todas formas, este dato al estar muy influenciado por el consumo de agua caliente sanitaria, no es lo suficientemente descriptivo del correcto funcionamiento.

En lo que sigue se hace referencia a condiciones de funcionamiento en las que el acumulador solar no ha alcanzado su temperatura máxima y está, por tanto, en condiciones de recibir más energía.

1. El mejor indicador del buen funcionamiento de la instalación es la diferencia entre la temperatura de colectores y la del acumulador que debe estar comprendido entre 2 y 10 K. Por encima de este valor la energía de los colectores ya no se está aprovechando adecuadamente y se puede considerar que existe una falla.
Durante la operación en el modo automático el fluido de trabajo deberá ir aumentando su temperatura durante la mañana y el medio día. En la tarde, el colector recibirá menor cantidad de radiación y el fluido de trabajo podrá aumentar su temperatura, pero de manera más lenta que al medio día.
2. Asociado al dato anterior, otro indicador de funcionamiento es el control de los tiempos de marcha y paro de las bombas de circulación ya que durante el modo automático, y en días soleados, el sistema deberá encender las bombas durante la mañana y apagarse durante la tarde cuando el baje el nivel de radiación solar. En general, en días totalmente soleados el sistema debería realizar solamente un ciclo durante el día.
En algunas ocasiones, cuando la radiación solar no es muy elevada y el acumulador solar no está muy frío, puede haber 2 ó 3 ciclos durante el tiempo de arranque por la mañana y de forma similar por la tarde.
En días parcialmente nublados, es posible que se puedan producir varios ciclos de marcha y paro durante el día, pero el número de ciclos de encendido y apagado no debería ser mayor a diez durante un día completo.
3. Cuando las bombas están paradas y el sistema frío se debe registrar la presión del manómetro para verificar que no se ha modificado. Es decir, lo mejor es hacerlo a primera hora de la mañana. Si la presión en frío se reduce puede significar que ha habido una fuga de fluido que hay que detectar por lo que se debe dar un aviso de falla.
4. Cuando las bombas están arrancadas, aunque el control de temperaturas permite saber si existe circulación, se puede verificar adicionalmente por las diferencias de presiones a cada lado de las bombas y comparar el diferencial con el inicial.
5. Si el sistema lleva varios días con la temperatura máxima mientras el edificio se encuentra ocupado y con consumo, podría significar que existe una falla en la entrega de agua caliente desde el acumulador hacia el edificio.
6. Si el acumulador está a su temperatura máxima (80°C) y las bombas de circulación están en marcha, hay una falla del sistema.

A los efectos de sistematizar el plan de vigilancia se debería realizar, para cada instalación, una pauta de chequeo que puede ser utilizada como formato de seguimiento y registro de las observaciones realizadas.

B) Sistema electromecánico de avisos

Se indican las estrategias de control que pueden ser utilizadas para dar una señal de aviso al operador:

1. Un control diferencial que detecte la diferencia entre la temperatura de colectores y la de referencia del acumulador puede dar una señal de aviso si la diferencia es superior a 15-20K.
2. Un contador de arranques, o un contador de horas, para las bombas de circulación permite avisar al finalizar un periodo de tiempo de las veces que las bombas han arrancado o las horas que han funcionado.
3. Un presostato que detecte una bajada de presión por debajo de la presión mínima de llenado o una presión cercana a la de tarado de las válvulas de seguridad puede avisar con antelación que puede haber una falla por baja o alta presión.
4. El termostato a la temperatura máxima del acumulador puede avisar de que se ha alcanzado este valor y, aunque realmente éste no es un fallo, puede ser interesante su control ya que puede justificar un deficiente rendimiento de la instalación por bajo consumo. También puede utilizarse este contacto para conectar un contador de horas que contabiliza el tiempo que el acumulador está por encima de la temperatura máxima.
5. De forma similar al anterior, el termostato de la temperatura máxima de los colectores puede avisar de que se han superado los valores de consigna.

En la actualidad, estos sistemas de avisos se suelen integrar en determinados autómatas de control o en el programa informático de monitorización de la instalación.

7.5.2. Monitorización

El mejor y más completo procedimiento para controlar, supervisar y evaluar el funcionamiento de una instalación es un sistema de telemonitorización de las características descritas en el capítulo 4.

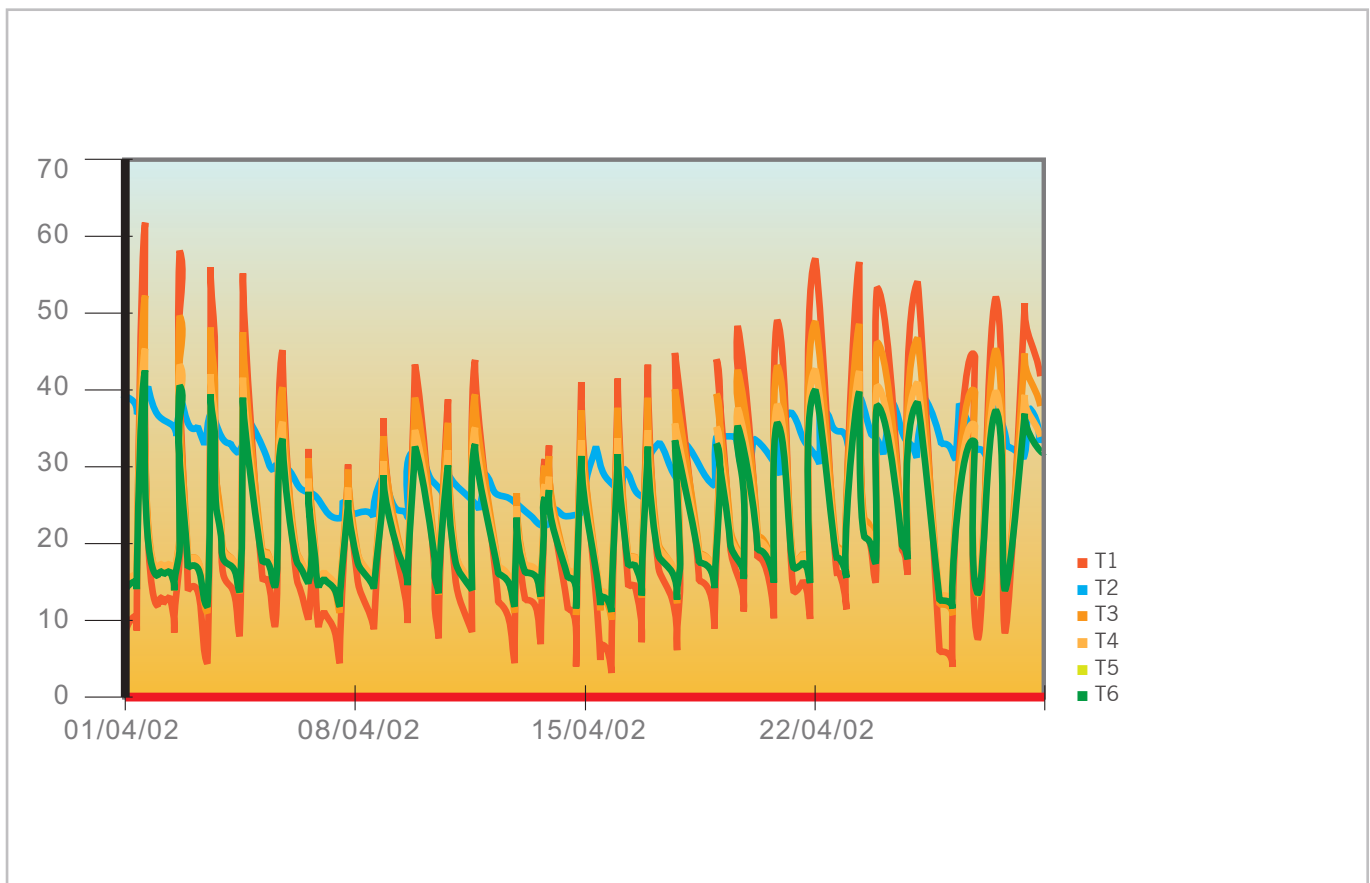


FIGURA 7-6
GRÁFICA DE TEMPERATURAS
DE UNA INSTALACIÓN
TELEMONITORIZADA

7.6. Operación manual

La operación manual del sistema únicamente se puede utilizar cuando se produzcan fallas del sistema o por razones de mantenimiento y, normalmente, sólo lo utilizará el personal de operación o de mantenimiento. Durante estos periodos se debe tener cuidado ya que los procedimientos automáticos de protección del sistema se pueden encontrar deshabilitados.

7.6.1. Detención de operación

Para apagar el sistema se debe cambiar la posición del controlador desde automático (o encendido según sea el caso) a apagado tomando en consideración las siguientes observaciones:

1. Si el apagado del sistema se realiza para operaciones cortas de mantención, se recomienda hacerlo por la mañana a primera hora o por la tarde al finalizar el día. En días nublados tampoco tiene efectos significativos la detención de la operación.
2. En días soleados, los colectores podrán alcanzar su máxima temperatura y habrá que vigilar que el aumento de presión originado por el aumento de temperatura en el circuito primario es absorbido por el sistema de expansión y que no salta la válvula de seguridad ni se producen fallas en el material o fugas en las cañerías.
3. En el caso de detención durante una temporada larga, habrá que evaluar si es menos costoso vaciar y guardar el fluido de trabajo para poder reutilizarlo en lugar de someterlo a las temperaturas extremas.
4. Si existe posibilidad de que se produzcan heladas, en los sistemas con protección por recirculación no conviene que se vacíen los colectores ya que en grandes instalaciones no es seguro el completo vaciado de la instalación.

7.6.2. Encendido de operación

Para encender el sistema se debe cambiar la posición del controlador desde automático (o apagado según sea el caso) a encendido tomando en consideración las siguientes observaciones:

1. Hay que verificar que el sistema no se encuentre apagado debido a una operación automática de seguridad. Por ejemplo, si se enciende un sistema que se encuentra detenido debido a la protección por temperatura máxima del acumulador, se podrían causar daños en el mismo.
2. Verificar que los colectores no se encuentren demasiado calientes de modo que se produzca un choque térmico cuando se encienda el sistema. Si el sistema se enciende manualmente, el fluido pasará a vapor de manera instantánea produciendo un aumento de presión a través del circuito. Los sistemas con colectores de tubos al vacío son más susceptibles a este daño que los colectores de placa plana, tener especial cuidado con esos sistemas. Se recomienda que el encendido se haga temprano en la mañana antes que los colectores se encuentren a una temperatura elevada.
3. Verificar que haya líquido en el sistema de cañerías de modo que las bombas no operen sin agua.
4. Verificar que las válvulas manuales se encuentren en sus posiciones adecuadas para la operación normal del sistema.
5. Verificar que las válvulas automáticas que no son controladas por el encendido manual se encuentren o vayan a estar en la posición correcta cuando el sistema comience a funcionar.
6. Verificar que no haya personal cercano a válvulas de seguridad cuando se encienda el sistema. Estas válvulas son las más afectadas por los aumentos de presión en el encendido.

7.7. Procedimiento ante fallas

De acuerdo con todo lo anterior, si en condiciones normales de operación se detectan valores de funcionamiento fuera del rango establecido debe considerarse que existe alguna falla de la instalación y debe procederse a su subsanación.

Es fundamental tener certeza de los datos proporcionados por el sistema de medida ya que, 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 importante, por ejemplo, contrastar las medidas de temperaturas entre los distintos termómetros digitales y bimetalicos que pueda disponer la instalación y asegurarse de que la medida es correcta.

Inicialmente se debe verificar que no existen fallas en los sistemas externos a el SST que pudieran inducir los problemas de funcionamiento de la instalación solar. Habría que comprobar que son correctas:

- La alimentación eléctrica
- La alimentación de agua fría

En general, los problemas que se podrían presentar estarán relacionados con la presurización de circuitos, el sistema de control, la circulación de fluido o las pérdidas térmicas.

7.7.1. Presurización de circuitos

Si se detecta que las presiones de los circuitos están en algún momento fuera del rango establecido, normalmente ocurre porque se ha perdido fluido del circuito y pueden haberse dado algunas de las siguientes fallas:

- Ha actuado de manera descontrolada alguna válvula de vaciado
- El circuito tiene alguna fuga y ha dejado de ser estanco
- Las válvulas de seguridad han actuado y expulsado fluido al exterior

Para solucionar estas fallas se deberán verificar la estanqueidad del circuito y el funcionamiento de las válvulas de seguridad.

A) La estanqueidad del circuito

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 indicado en el apartado 7.2. Antes de buscar fugas en las tuberías y sus conexiones deben revisarse todas las válvulas de la instalación.

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.

Si la fuga es en el circuito del acumulador, cerrar la alimentación de agua fría para disminuir la presión del circuito. Aislar el componente que produce la fuga con las válvulas de corte más cercanas y proceder a su reparación.

B) Las válvulas de seguridad

Aunque la actuación de una válvula de seguridad está prevista en el procedimiento normal de una IST, como última medida de protección de los circuitos cerrados, su funcionamiento debe estar asociado a un incorrecto comportamiento de algún componente o sistema del SST:

- La propia válvula de seguridad que puede estar defectuosa 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. También, puede estar mal dimensionado.
- El sistema de llenado puede haber fallado: si aumenta la presión mínima del circuito por encima de la adecuada o si se reduce por pérdida de fluido a través del mismo (mal funcionamiento de la válvula de retención o similar).

7.7.2. 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 el apartado 4.9; los que se resumen a continuación:

	MÍN	MÁX
CONTROL DIFERENCIAL DE TEMPERATURAS	DTmín	DTmáx
TEMPERATURA MÁXIMA DE ACUMULADORES	ACUmín	ACUmáx
TEMPERATURA MÁXIMA DEL CIRCUITO PRIMARIO	COLmín	COLmáx
TEMPERATURA SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA HELADAS	HELmín	HELmáx

TABLA 7-2
VALORES DE CONSIGNA PARA
SISTEMA DE CONTROL

Los valores de consigna y las actuaciones a revisar serían:

- **DTmín:** Cuando la diferencia de temperatura entre colectores y depósito sea inferior a este valor, las bombas de circulación deben estar paradas.
- **DTmáx:** Cuando la diferencia de temperatura entre colectores y depósito sea superior a este valor, las bombas de circulación deben estar en marcha.
- **ACUmín:** Cuando la temperatura en el depósito sea inferior a este valor, el sistema de protección del depósito se desactiva.

- **ACUmáx:** Cuando la temperatura en el depósito sea superior a este valor, el sistema de protección del depósito se activa y la bomba del secundario deberá estar parada.
- **COLmín:** Cuando la temperatura en los colectores sea inferior a este valor, el sistema de protección de colectores se desactiva.
- **COLmáx:** Cuando la temperatura en los colectores sea superior a este valor, el sistema de protección del depósito se activa y se realizará la actuación prevista.
- **HELmín:** Cuando la temperatura de colectores sea inferior a este valor, el sistema antiheladas se activa y las bombas deberán estar en marcha.
- **HELmáx:** Cuando la temperatura de colectores sea superior a este valor, el sistema antiheladas se desactiva.

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, las fallas pueden estar producidas por:

- El estado y la colocación de los sensores, que deberán revisarse individualmente.
- La conexión de los sensores, deberán revisarse los cables y las conexiones de éstos tanto en tramos intermedios como en los extremos finales en la regleta de conexiones.
- Por la centralita de control.

7.7.3. Circulación de fluido

Si se detecta que la temperatura de los colectores es muy superior a la de referencia del acumulador, es señal de que no hay transferencia de calor desde los colectores al acumulador y estará producido por falla en la circulación de fluido.

Antes de analizar otras causas, debe 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.

Si no existe circulación de fluido, las temperaturas en el intercambiador son muy similares entre si y, en función de ellas 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 la de los colectores, hay circulación en el primario pero no en el secundario.
- Si son parecidas a la 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:

- Porque hidráulicamente estén cambiadas las posiciones de entrada y salida con el sentido del flujo contrario al previsto en el circuito, o
- Porque eléctricamente, en bombas trifásicas, estén mal conectadas las fases correspondientes.

Después de comprobar que la bomba no está conectada al revés, si la bomba de circulación no funciona, debe revisarse si el rotor de la bomba no se mueve: al desmontar el tornillo de inspección de la bomba se comprueba que el rotor no gira y que la bomba se calienta más de lo normal, puede ocurrir que:

- El rotor esté bloqueado. A veces se puede desbloquear girándolo manualmente pero, otras veces, hay que desmontarlo y ver la posible obstrucción.
- La bobina está derivada. Se debe sustituir la bomba por otra nueva.

7.7.4. Pérdidas térmicas

Si, una vez que se ha comprobado todo lo anterior y verificado que existe circulación, se detecta que hay mucho salto de temperaturas en los circuitos o que no hay transferencia de calor entre sistemas, puede ocurrir 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 cañerías. 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 colectores solares, verificando que todos están a temperaturas similares y un poco más alta que la de referencia del acumulador.
- Las tuberías y accesorios, comprobando que no haya tramos a los que se les haya podido desprender el aislamiento.
- Los acumuladores, revisando que no haya elementos propios del acumulador o de las tuberías de conexión que estén sin aislar.

En general, 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 aislación.

7.8. Mantenimiento

La mantención del sistema solar térmico es necesaria para que el sistema siempre funcione correctamente y conseguir una vida útil de los equipos lo más larga posible; por ello se recomienda disponer de un plan de mantención preventiva y un procedimiento de actuación correctivo si hubiera fallas.

7.8.1. Mantenimiento preventiva

La mantención preventiva implicará operaciones de inspección visual (IV), control de funcionamiento (CF) de cada uno de los elementos 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.

La mantención preventiva implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación completa para sistemas solares térmicos con área de apertura de captación inferior a 20m² y una revisión cada seis meses para instalaciones superiores a 20m².

A continuación se definen las operaciones de mantención preventiva que deben realizarse, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

EQUIPO	PERIODO	DESCRIPCIÓN
COLECTOR	6 M	IV SOBRE DIFERENCIAS ENTRE EL ORIGINAL Y ENTRE COLECTORES
CRISTALES	6 M	IV DE CONDENSACIONES Y HUMEDAD
JUNTAS	6 M	IV DE AGRIETAMIENTOS Y DEFORMACIONES
ABSORBEDOR	6 M	IV DE CORROSIÓN Y DEFORMACIONES
CARCASA	6 M	IV DE DEFORMACIÓN, OSCILACIONES Y VENTANAS DE RESPIRACIÓN
CONEXIONES	6 M	IV DE APARICIÓN DE FUGAS
ESTRUCTURA	6 M	IV DE DEGRADACIÓN, INDICIOS DE CORROSIÓN Y APRIETE DE TORNILLOS

TABLA 7-3
OPERACIONES DE MANTENCIÓN
REFERENTES AL COLECTOR.

EQUIPO	PERIODO	DESCRIPCIÓN
AISLAMIENTO HACIA EL EXTERIOR	6 M	IV DE LAS PROTECCIONES DE UNIONES, DEGRADACIÓN Y AUSENCIA DE HUMEDAD
BOMBA	6 M	CF Y ESTANQUEIDAD
PURGADOR MANUAL	6 M	VACIAR AIRE DEL BOTELLÍN
SISTEMA DE LLENADO	6 M	CF EFECTIVO
ESTANQUE DE EXPANSIÓN ABIERTO	6 M	COMPROBACIÓN DEL NIVEL
ESTANQUE DE EXPANSIÓN ABIERTO	6 M	COMPROBACIÓN DE LA PRESIÓN
VÁLVULA DE CORTE	12 M	CF EFECTIVO (ABRIR Y CERRAR) PARA EVITAR AGARROTAMIENTO
AISLAMIENTO DEL ACUMULADOR	12 M	COMPROBAR QUE NO HAY HUMEDAD
AISLAMIENTO HACIA EL INTERIOR	12 M	IV DE UNIONES Y AUSENCIA DE HUMEDAD
ÁNODOS DE SACRIFICIO	12 M	COMPROBACIÓN DEL DESGASTE
DEPÓSITO DE ACUMULACIÓN	12 M	PRESENCIA DE LODOS EN EL FONDO
FLUIDO DE TRABAJO	12 M	COMPROBAR DENSIDAD Y PH
INTERCAMBIADOR DE CALOR	12 M	CF EFECTIVIDAD Y PRESTACIONES
PROTECCIÓN CATÓDICA	12 M	CF EFECTIVO
PURGADOR AUTOMÁTICO	12 M	CF Y LIMPIEZA
SISTEMA DE APOYO	12 M	CF EFECTIVO Y OPORTUNO
SISTEMA DE CONTROL	12 M	CF EFECTIVO
TABLERO ELÉCTRICO	12 M	COMPROBAR QUE ESTE SIEMPRE BIEN CERRADO, PARA EVITAR ACUMULACIÓN DE POLVO
TERMOPARES	12 M	CF EFECTIVO
TERMOSTATO	12 M	CF EFECTIVO
VÁLVULA DE SEGURIDAD	12 M	CF EFECTIVO
ESTANQUEIDAD	24 M	EFFECTUAR PRUEBA DE PRESIÓN
INTERCAMBIADOR DE CALOR	60 M	LIMPIEZA

TABLA 7-4
OPERACIONES DE MANTENCIÓN
REFERENTES AL SST EN
GENERAL¹³.

13 Fuente: ASIT, Guía de la Energía Solar Térmica.

Una vez detectado un problema leve, hay que evaluar el reemplazo o reparación del componente; además de la holgura de tiempo con que se cuenta para que falle definitivamente e impida el correcto funcionamiento del SST.

Para facilitar la mantención preventiva se recomienda crear dos documentos de protocolos de chequeo; el de fechas y el de actividades. En el protocolo de chequeo de fechas, se busca controlar cuando se debe realizar cada chequeo respectivo y si es que éste se efectuó. En el protocolo de chequeo de actividades se enumeran las distintas actividades a realizar de inspección visual y el control de funcionamiento de los distintos elementos del SST; se debe elaborar un documento para todas las actividades que tienen la misma periodicidad de revisión. A continuación se presenta un ejemplo breve de ambos documentos.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
COLECTOR	IV sobre diferencias entre el original y entre colectores			24			25			23			26
CRISTALES	IV de condensaciones y humedad			4PM			11AM			10AM			6PM
JUNTAS	IV de agretamientos y deformaciones			OK			OK			OK			OK
ABSORBEDOR	IV de corrosión y deformaciones			OK			1			OK			OK
CARCASA	IV de deformación, oscilaciones y ventanas de respiración			OK						OK			
CONEXIONES	IV de aparición de fugas			OK						OK			
ESTRUCTURAS	IV de degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos			OK						2			
IIINICIALES INSPECTOR				SER			REM			SER			REM

NOTAS:

1. Cristales con humedad acumulada.
2. Aparición de corrosión en las bases de las estructuras de la batería 4

TABLA 7-5
PROTOCOLO DE CHEQUEO
DE FECHAS EN EL GRUPO DE
COLECTORES

PROTOCOLO DE CHEQUEO DE FECHAS

FECHA : 23 DE SEPTIEMBRE
HORA : 10:12 AM
DURACIÓN : 2 HORAS

JUNTAS	IV de agretamientos y deformaciones	OK
ABSORVEDOR	IV de corrosión y deformaciones	OK
CARCASA	IV de deformación, oscilaciones y ventanas de respiración	OK
CONEXIONES	IV de aparición de fugas	OK
ESTRUCTURA	IV de degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos	A

IIINICIALES INSPECTOR

NOTAS:

1. Aparición de corrosión en las bases de las estructuras de la batería 4

TABLA 7-6
PROTOCOLO DE CHEQUEO DE
ACTIVIDADES DE PERIODICIDAD DE
6 MESES

7.8.2. Mantenimiento correctiva

El plan de mantenimiento correctiva contempla todas las operaciones necesarias para resolver fallas y problemas que entorpecen el adecuado funcionamiento del SST, generalmente detectadas durante el plan de vigilancia o la mantención preventiva cuando se efectúan adecuadamente.

Las fallas más habituales están relacionadas, como ya se indicó, con la presurización de circuitos, el sistema de control, la circulación de fluido o las pérdidas térmicas. En el apartado 7.7 se han indicado las fallas más frecuentes y las soluciones a adoptar.

Los problemas que pueden existir por mal dimensionamiento y diseño de sistemas o componentes se manifiestan con cualquiera de las fallas anteriormente relacionadas por lo que, en caso de que sean recurrentes, deben verificarse las condiciones de diseño y de funcionamiento del SST.

Se recomienda que, para cada instalación, se realice un manual de mantención que incorpore, completamente detallado, un plan de detección de fallas y un procedimiento para solucionarlas de acuerdo con los criterios expuestos anteriormente.

Las decisiones sobre reparar o sustituir componentes defectuosos de la instalación se adoptarán tomando en consideración el costo de ésta y del componente nuevo, los plazos de disponibilidad y el grado de importancia del componente.

A) Reparación de componentes

La reparación de componentes se recomienda cuando es equivalente como máximo a un 30% del costo de reemplazo y que el elemento con problemas al ser reparado asegure una extensión de su vida útil, que por lo menos permita amortizar el costo del reemplazo más adelante.

También se recomienda la reparación para los casos en que el reemplazo tome demasiado tiempo en efectuarse y deba mantenerse el SST funcionando.

B) Reemplazo de componentes

El reemplazo de componentes se recomienda cuando éste sea menor al 1% del costo de todos los componentes del SST.

El reemplazo debe efectuarse cuando la reparación no sea factible o dure muy poco el elemento en condiciones de seguir trabajando.

7.9. Instrucciones de operación y uso del SST

7.9.1. Entrenamiento del operador

Se recomienda que después de la entrega del proyecto, la empresa instaladora cuente con un periodo transitorio para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

El entrenamiento de los operadores es necesario para asegurar la buena operación y mantención del sistema solar térmico.

Se recomienda que el diseñador u otra persona bien instruida esté presente durante el entrenamiento para poder responder adecuadamente las preguntas de los futuros operarios.

Al entrenamiento deben asistir todas las personas que vayan a ser responsables por cualquier fase de operación o mantención del sistema solar térmico. La tarea del operador es ser capaz de realizar tareas simples de mantención para que el sistema siga funcionando y se prevengan posibles emergencias. El personal de mantención por su lado debe comprender la forma de operación del sistema a modo de evitar daños a éste durante el proceso de mantención o reparación.

Se recomienda que el entrenamiento del operador abarque al menos los siguientes puntos:

- Entregar información básica de cómo funciona el sistema solar térmico. Para explicar el sistema se recomienda entregar a cada asistente un diagrama del sistema con una explicación escrita.

- Realizar un recorrido por el sistema mostrando cuáles son los mayores componentes y cómo funcionan. Incluir en estas descripciones los sistemas de control y las válvulas de corte.
- Revisar las especificaciones técnicas de los componentes de modo que en el futuro los operadores puedan encontrar información específica de cada componente si fuese necesario.
- Describir los modos de operación del sistema así como el procedimiento ante emergencias.
- Realizar la pauta de evaluación del sistema el día del entrenamiento, asegurar que la información del clima también quede registrada en esta pauta.
- Realizar un chequeo de las principales precauciones de seguridad específicas de los sistemas solares térmicos.

Se recomienda entregar una copia de los procedimientos utilizados durante la puesta en marcha, incluyendo el ajuste de todos los componentes, válvulas y controles de modo que el operador los pueda seguir paso a paso si el sistema debe ser vaciado para la mantención.

Si bien el vaciado y rellenado del sistema no es un procedimiento común, se recomienda realizar un recorrido por la instalación explicando la puesta en marcha del sistema y donde están ubicadas todas las válvulas y controles utilizados durante el procedimiento. Enfatizar que lo importante es la mantención preventiva de modo que nunca se tenga que apagar el sistema.

7.9.2. Información al usuario

El correcto funcionamiento de la instalación solar exige que el usuario de la misma conozca de su existencia y de las condiciones en las que trabaja para su mejor aprovechamiento.

Por ello es recomendable disponer de una información de uso (a veces recogido en un manual y otras veces en un sencillo folleto) que, además de ser entretenido, deberá contener la filosofía del consumo sostenible de agua caliente, con el detalle necesario y que, en forma de recomendaciones, informe sobre:

- El consumo racional del agua caliente está asociado a un determinado nivel de cultura y lleva implícito un ahorro tanto de agua como de energía.
- Las formas de consumo que ahorran agua y energía, así como las temperaturas más apropiadas.
- La disponibilidad de la instalación solar no significa que el agua caliente se pueda despilfarrar porque sea “gratis”.
- El correcto funcionamiento de la instalación solar y del sistema de apoyo, explicando lo que aporta cada parte a las necesidades totales.

7.9.3. Manual de uso y mantenimiento

El manual de uso y mantenimiento forma parte del suministro de la instalación y será entregado por la empresa instaladora al mandante en el momento de la recepción. Recogerá todas aquellas descripciones, instrucciones y recomendaciones necesarias para que el operador conozca el correcto uso y funcionamiento de la instalación y para asegurar 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.

Incluirá, al menos, la definición de los siguientes contenidos:

- Proyecto de la instalación incluyendo la memoria de cálculo y diseño actualizada, con las modificaciones o adaptaciones realizadas durante el montaje de la instalación, y todos los esquemas y planos constructivos de la misma.
- Características de funcionamiento.
- Instrucciones de operación. Para que el operador pueda efectuar todas las operaciones previstas: arranque y parada de la instalación, actuaciones de las válvulas que puedan ser necesarias, etc.
- Medidas de seguridad. Para reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios u operadores sufran daños inmediatos durante el uso de la instalación.
- Programa de vigilancia y mantenimiento.
- Condiciones de la garantía.

Dentro de las características de funcionamiento, se debe incluir un diagrama de la instalación con la identificación de los equipos, los dispositivos de control y medición y el sentido de flujo. Se debe explicar claramente el funcionamiento de la instalación:

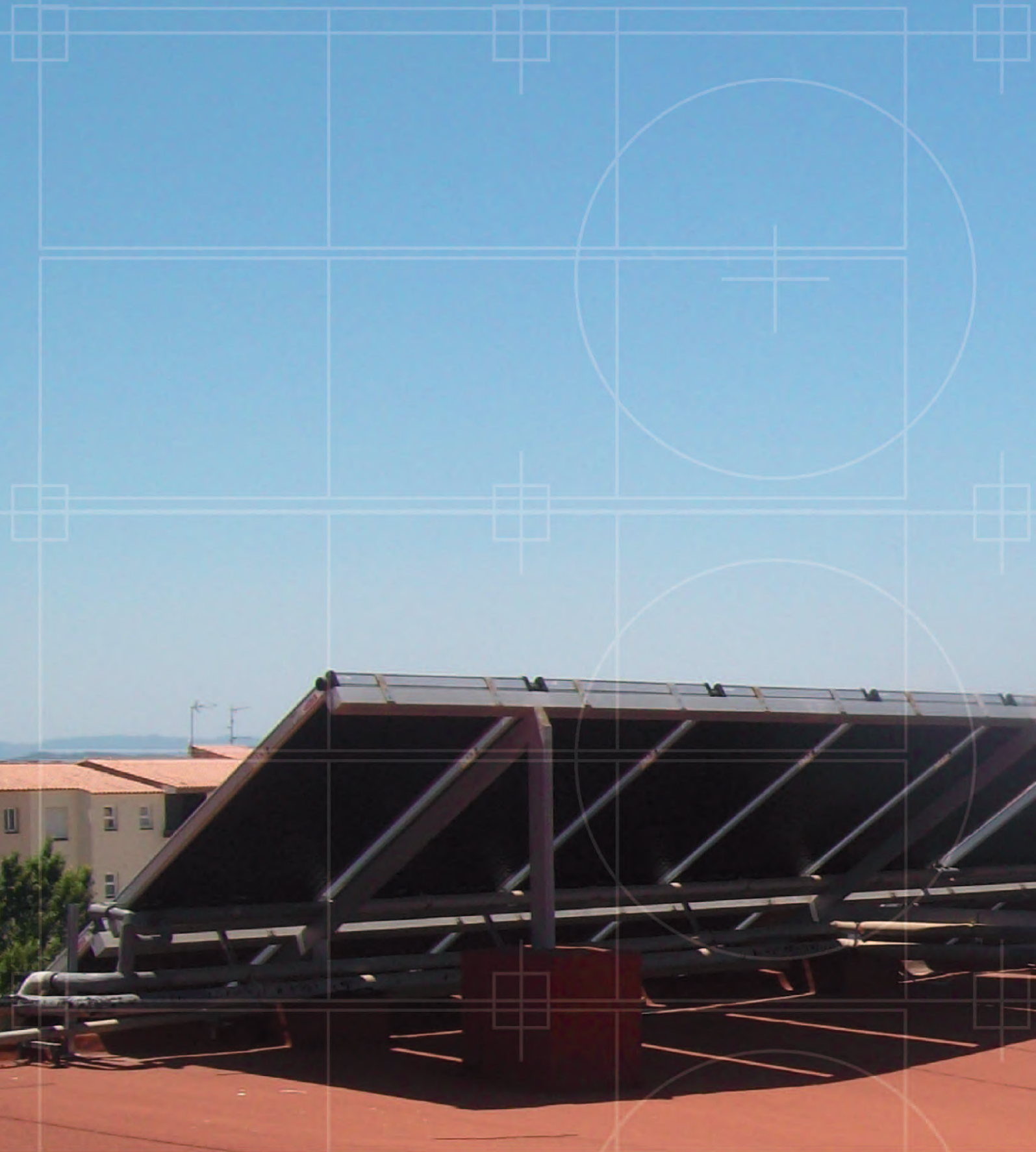
- Proceso de calentamiento del agua del acumulador y circulaciones de fluido.
- Proceso de extracción o consumo de agua caliente.
- Funcionamiento del sistema de energía de apoyo.

Asimismo se incluirán los datos relativos a:

- **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.

Por último, se aportará la información necesaria para conocer las prestaciones de la instalación, entendidas como la cantidad de energía solar que aporta a un consumo determinado y con unas condiciones climáticas definidas. Se incluirán, al menos, las prestaciones previstas para varios tipos de cargas de consumo y se indicará el procedimiento seguido para obtener los resultados.



- *Introducción a la Energía Solar Térmica · Configuraciones del SST ·*
- *Componentes de un SST para ACS · Diseño y dimensionado ·*
- *Cálculo de prestaciones energéticas · Instalación · Operación y mantenimiento ·*
- *Incorporación del SST en el edificio ·*

Capítulo 8

Incorporación del SST en el edificio

8.1. Incorporación del SST en el edificio.

Las experiencias de las nuevas instalaciones proyectadas simultáneamente con el edificio, están demostrando que no suele ser un problema su integración. Siempre que se planteen desde el principio del proyecto, se pueden buscar las mejores soluciones de compromiso entre la estética y la funcionalidad del diseño arquitectónico, con el objetivo de que el edificio sea sostenible en correlación a la producción de ACS. La problemática de una deficiente integración arquitectónica de las instalaciones solares ha surgido, normalmente, de las instalaciones incorporadas en edificios ya existentes, con escasas posibilidades de integración y forzando las soluciones técnicas a adoptar.

Para la incorporación de la instalación de energía solar en el edificio, este capítulo analiza los aspectos que, desde el punto de vista del proyecto arquitectónico, nuevo o existente, son necesarios considerar para la mejor integración de la instalación solar en el mismo.

Los factores que afectan a la incorporación del SST a la edificación son:

- El nivel de centralización de la instalación solar
- La ubicación y disposición del campo de colectores solares
- La ubicación y organización de los acumuladores o la central térmica
- Los trazados de los circuitos hidráulicos

Se hace especial énfasis en la descripción de los espacios ocupados por los componentes del SST y la relación del mismo con otras instalaciones. Por último, se desarrolla al final del capítulo un apartado específico sobre integración arquitectónica.

Además de las implicaciones con el resto del edificio, para el diseño y la ejecución de las instalaciones de energía solar, deben tenerse en cuenta:

- Los requisitos legislativos y normativos tanto arquitectónicos del edificio como de las instalaciones del mismo
- Las exigencias específicas establecidas por la inmobiliaria del edificio y el proyectista
- Los costos de inversión y de explotación del SST

8.2. Nivel de centralización

Uno de los primeros aspectos a considerar al proyectar una instalación es el grado de centralización de la misma aunque, casi siempre, vendrá definida por otros criterios del programa de necesidades y del uso previsto para el edificio. En cualquier caso, siempre es importante analizar las ventajas e inconvenientes de las distintas opciones que se pueden adoptar para la instalación solar:

- En nueva edificación, estudiando soluciones centralizadas por manzanas, por edificios, por escaleras o portales, o por cualquier otro criterio.
- En edificios e instalaciones existentes, analizando si se acopla una instalación solar a cada sistema de energía de apoyo o si se centraliza en una única instalación solar que alimenta a varios sistemas de apoyo.

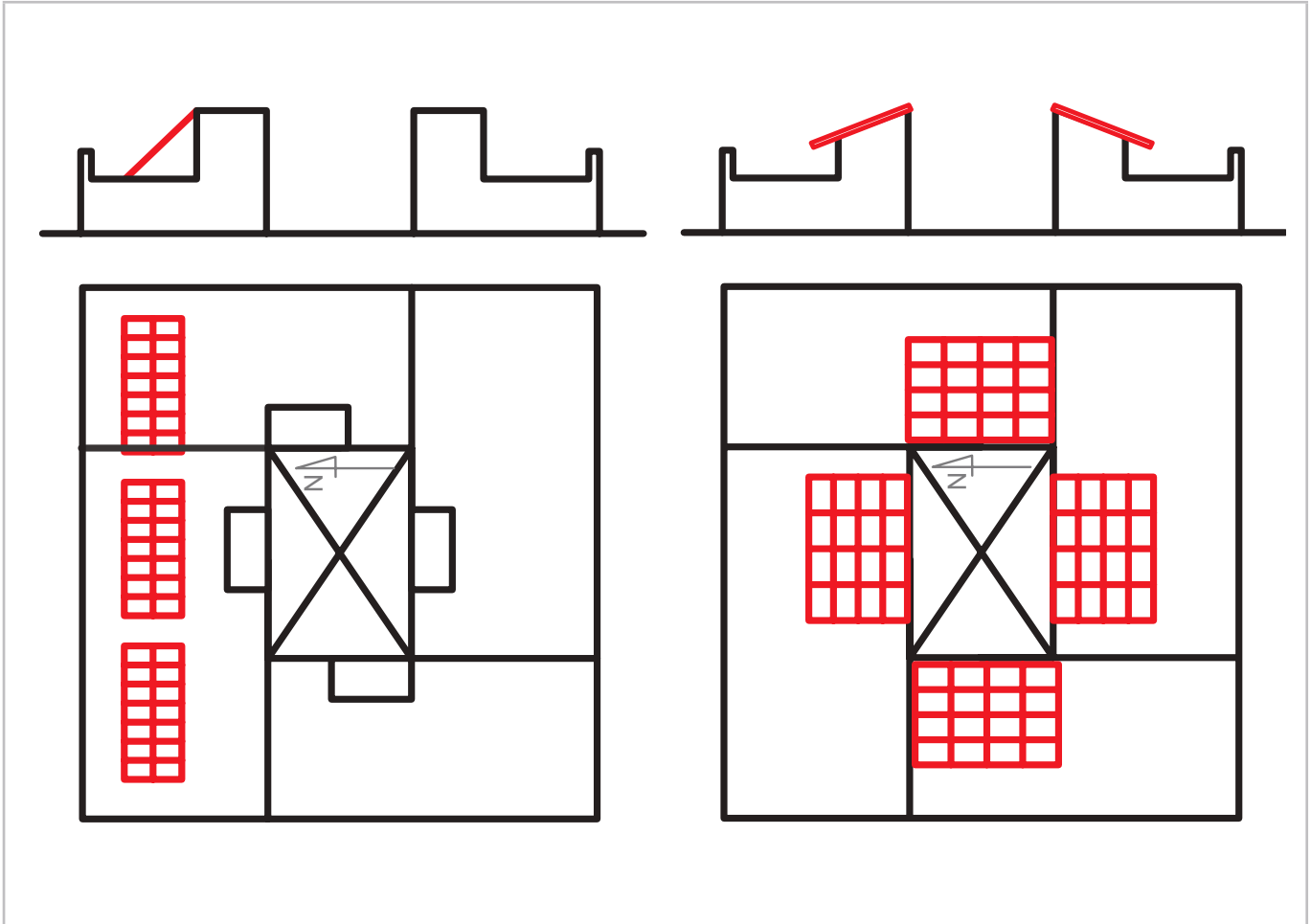


FIGURA 8-1
ESTUDIO DEL NIVEL DE
CENTRALIZACIÓN DE
INSTALACIONES SOLARES

Aunque no se puede generalizar a todas las situaciones, normalmente se puede afirmar que los sistemas más centralizados:

- Permiten un mejor aprovechamiento de la simultaneidad de uso por variaciones de los consumos.
- Reducen los costos de inversión y de mantención del sistema solar, aunque aumenta los costos del sistema hidráulico de distribución de calor y las pérdidas térmicas asociadas a la red de cañerías.

8.3. La ubicación del sistema de captación

El sistema de captación debe ubicarse en un lugar soleado, accesible e integrado con el resto de elementos constructivos. Cuando no hay una opción clara, debe buscarse una solución de compromiso. La ubicación del campo de colectores debe decidirse, después de seleccionar el modelo de colector solar, una vez se ha determinado, por lo menos de forma aproximada, el número de colectores solares de forma que se pueda organizar un campo de colectores con una distribución homogénea, equilibrada y coherente con el resto del edificio.

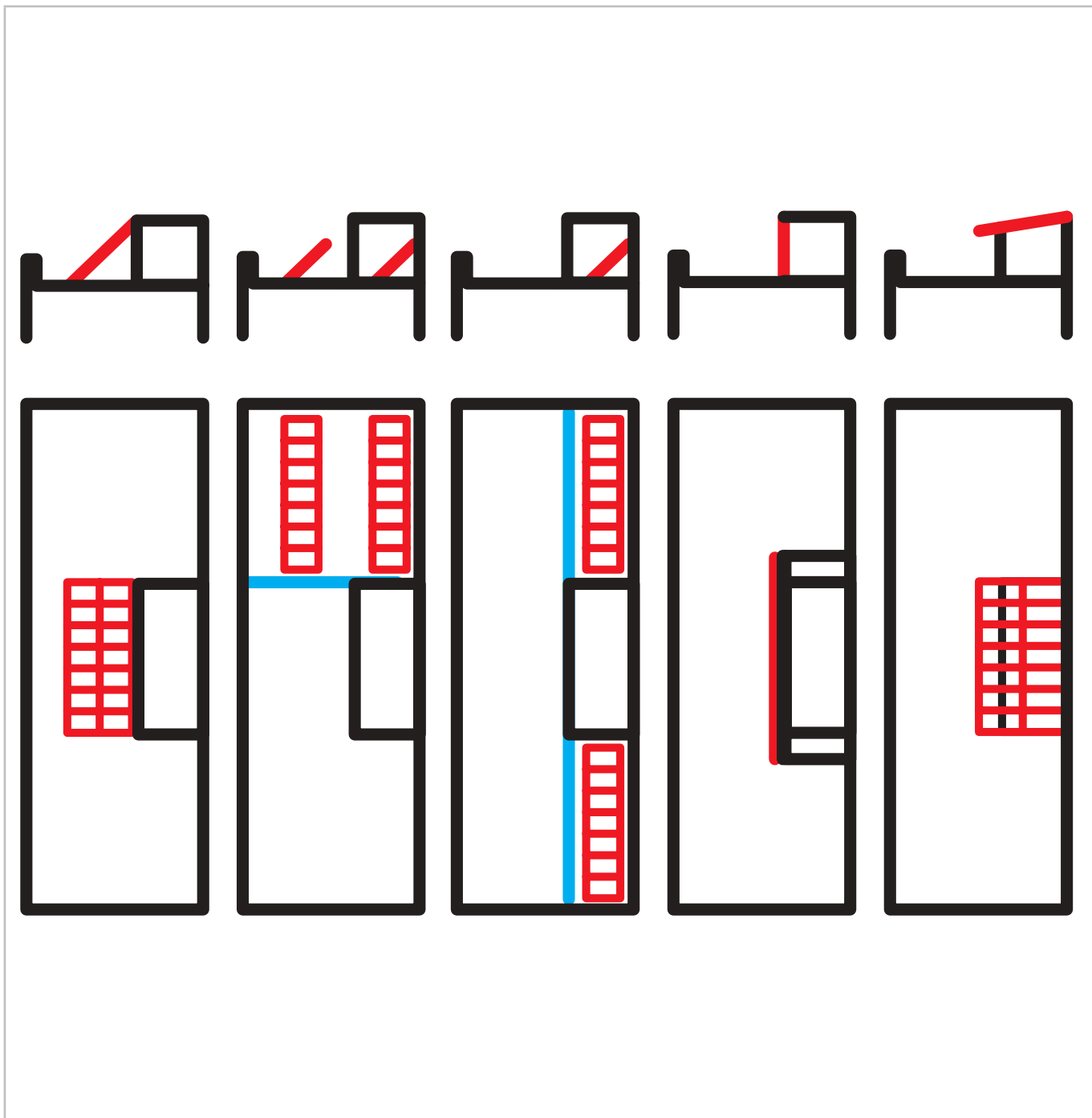


FIGURA 8-2
ESTUDIO DE SOLUCIONES
ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA
DE CAPTACION

Las soluciones constructivas que se definan deben ser compatibles con el resto de usos (sistemas de aire acondicionado, antenas, etc.) y deben dejar resueltas el resto de condicionantes de diseño. Es importante analizar las condiciones de protección y seguridad así como los requisitos de mantención que debe reunir el sistema de captación.

Se analizan, a continuación, los condicionantes de la ubicación en cubierta que son las más habituales, así como los relativos a ubicación en fachada o en otros elementos cercanos al edificio.

8.3.1. En cubierta

Las soluciones en cubierta son las más utilizadas dadas las condiciones de insolación que habitualmente ofrecen. En muchos casos las cubiertas no tienen otro uso que cerrar la epidermis para proteger de las condiciones exteriores al resto del edificio pero, en otras ocasiones, pueden tener diversos usos que hay que compatibilizar.

A) Cubierta plana

Desde el punto de vista del campo de colectores, las soluciones más sencillas, accesibles, fáciles de instalar y de mantener son las que se realizan en cubiertas planas y visitables. En estos casos las soluciones constructivas casi siempre deben ser de configuración horizontal para no crear nuevos volúmenes al edificio.



FIGURA 8-3
EJEMPLOS DE COLECTORES
SOLARES EN CUBIERTA PLANA
VISITABLE

En algunos casos las exigencias arquitectónicas, relativas a no superar determinadas alturas, requieren el uso de colectores de diseño horizontal o utilizar sistemas con muy poca inclinación.

Cuando se quiere evitar que los colectores solares ocupen espacios en la planta del nivel de cubierta, para que queden liberados para otros usos, se pueden utilizar las pérgolas como elementos soportes de los colectores; en este caso el acceso para mantenimiento puede ser más complicado y habrá que tomar en consideración el problema de las condensaciones de colectores y estructura que puede producir goteos de agua indeseados.

La ubicación y distribución del campo de colectores debe tener siempre en cuenta el resto de elementos de cubierta con los que puede interferir (condensadores de climatización, shunts de ventilación, chimeneas, antenas, etc.) así como compatibilizarlo con otros posibles usos de la cubierta.

Cuando la cubierta disponga de elementos constructivos (castilletes o similares) que permitan acoplar fácilmente el sistema de captación al volumen del edificio, se deben intentar utilizar para que las soluciones estén más integradas.

B) Cubierta inclinada

En el caso de cubiertas inclinadas, las soluciones constructivas son más complicadas por los requisitos mutuos que se le requieren a la cubierta y a la instalación. Desde el punto de vista de impacto visual son soluciones más comprometidas porque todos los elementos están más expuestos y visibles.

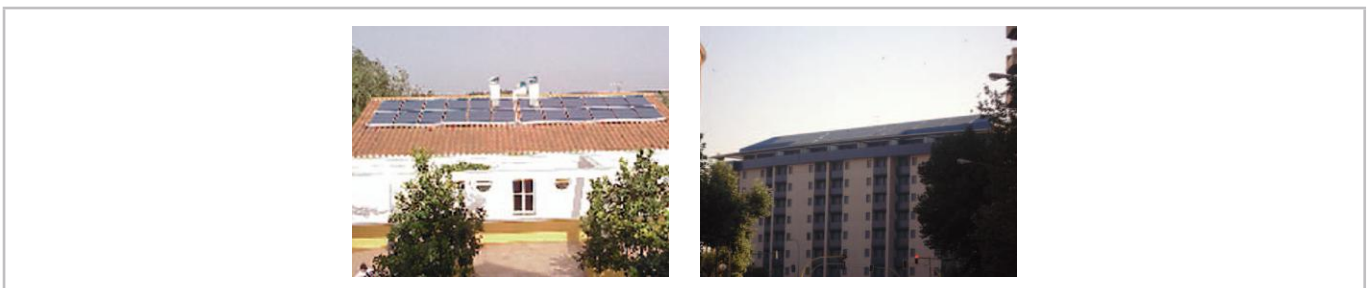


FIGURA 8-4
EJEMPLOS DE COLECTORES EN
CUBIERTAS INCLINADAS

Los sistemas de captación sobre cubiertas inclinadas normalmente son menos accesibles que los de cubierta plana y deben diseñarse de forma que se faciliten las condiciones de mantenimiento más habituales: con las actuaciones de los sistemas de purga prolongadas hasta lugares de más fácil acceso y las válvulas de seguridad de baterías eliminadas en la cubierta o sus desagües conducidos a sitios donde se puedan controlar.

8.3.2. En fachada

Las fachadas de los edificios tienen que ofrecer en primer lugar, las condiciones de orientación y de exposición al sol mínimas que permitan garantizar unas condiciones de funcionamiento adecuadas para la instalación. En tramas urbanas suele ser más complicado encontrar estos condicionantes resueltos y por ello las soluciones en fachada son menos numerosas.

Por otro lado, el diseño del edificio suele imponer márgenes muy restrictivos a la inclinación de los colectores solares ya que las soluciones de fachada siempre son visibles y, por tanto, requieren una cuidadosa solución estética.

Por último, es importante tener en cuenta los límites de inclinación que tienen los colectores solares planos, normalmente impuestos por el fabricante, para garantizar el correcto funcionamiento mecánico y la durabilidad de los mismos.

8.3.3. En otros elementos

En algunas ocasiones se encuentran soluciones distintas a la cubierta o a las fachadas como pueden ser construcciones anejas destinadas a espacios comunes u otros usos del edificio o incluso sobre el terreno en zonas no urbanas.



FIGURA 8-5
EJEMPLOS DE COLECTORES
SOLARES EN EL TERRENO

En otros casos se pueden realizar estructuras exentas que pueden utilizarse como cubiertas de aparcamientos o usos similares.

8.4. El campo de colectores

Desde el punto de vista de integración en el edificio, los aspectos que más afectan al diseño del campo de colectores son:

- La orientación e inclinación de los colectores que serán utilizados como datos de partida para estimar las prestaciones energéticas de la instalación, después de seleccionar el modelo de colector y el número de ellos.
- Los efectos de las sombras sobre el sistema de captación producidos tanto por los edificios del entorno, como por los elementos del propio edificio y por las filas de colectores entre sí.
- La estructura soporte de colectores y su sujeción a la estructura del edificio.

El diseño del campo de colectores se completará, según se indica en el capítulo 4, con un circuito hidráulico optimizado que asegure los mismos caudales por todos los colectores, que minimice las pérdidas térmicas y que permita ser sectorizado adecuadamente.

8.4.1. Orientación y la inclinación

La orientación e inclinación de los colectores solares se debe definir como solución de compromiso entre las máximas prestaciones energéticas y la mejor integración arquitectónica:

- Las mayores prestaciones energéticas se consiguen, para cada instalación, en unas condiciones determinadas de orientación e inclinación con los criterios que se indican a continuación y que deben ser contratados en cada caso.

- La mejor integración arquitectónica se consigue cuando se incorpora el sistema de captación como parte del edificio con los criterios establecidos por el diseñador

En relación con la ponderación de los criterios arquitectónicos y energéticos, debería tenerse en cuenta que:

- Si los criterios de integración arquitectónica permiten cualquier solución para el sistema de captación, se debería utilizar el criterio de conseguir las máximas prestaciones energéticas.
- En algunas ocasiones las máximas prestaciones y la integración arquitectónica no son criterios opuestos y es relativamente sencillo adoptar soluciones energéticamente optimizadas.
- En otras ocasiones, por el contrario, las máximas prestaciones no son compatibles con la mejor integración y deberían buscarse soluciones específicas de compromiso.

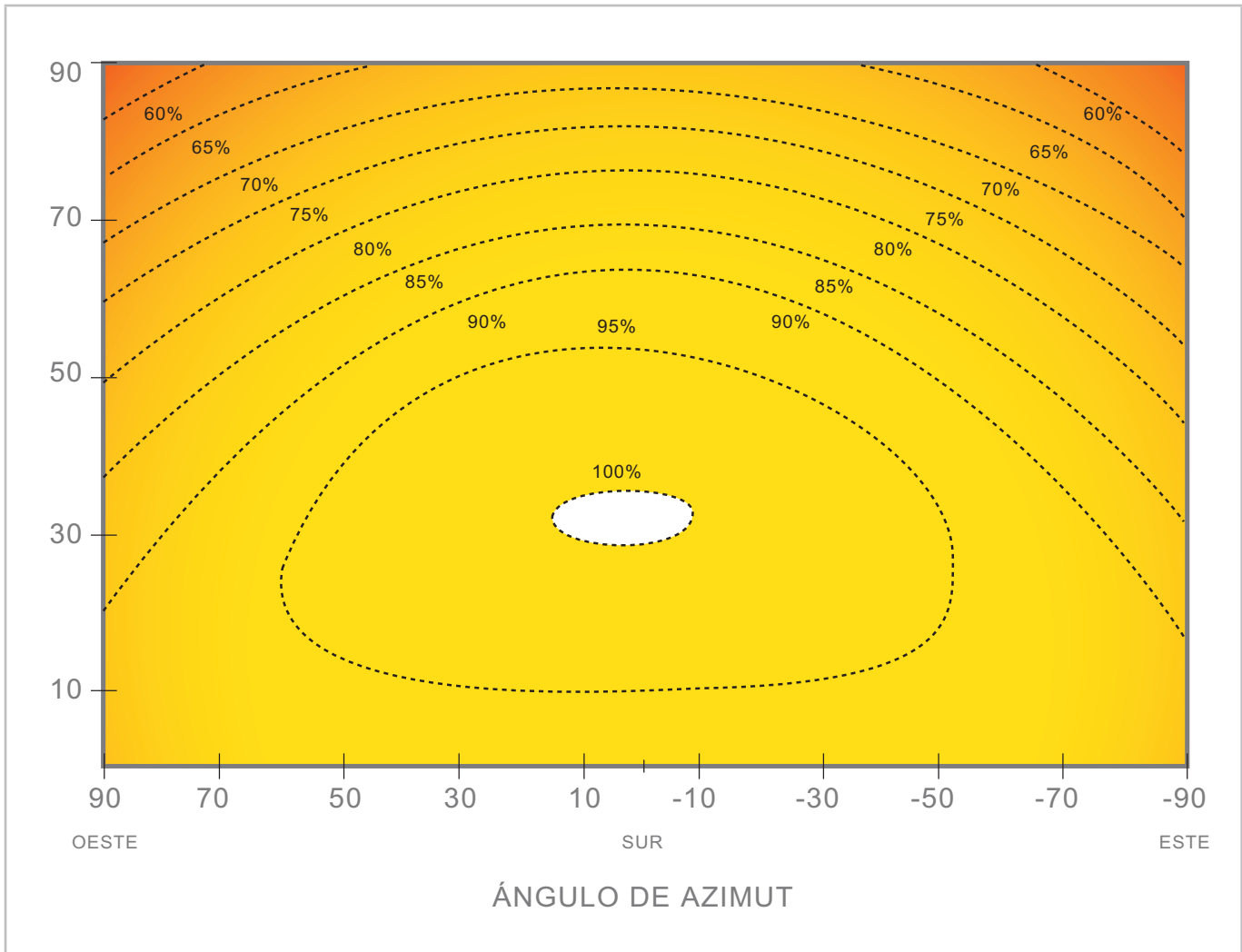


FIGURA 8-6
INFLUENCIA DE LAS DESVIACIONES
EN ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN
SOBRE LA RADIACIÓN MÁXIMA
DISPONIBLE

Como criterio general, la mejor orientación para los colectores solares es el norte geográfico. Sin embargo, las desviaciones, incluso hasta $\pm 45^\circ$, respecto del norte geográfico no afectan significativamente a las prestaciones de la instalación aunque debería evaluarse la disminución de prestaciones en cada caso y, siempre, analizar cómo afecta esa disminución estacionalmente. Aunque depende de la localización geográfica, la evaluación de la radiación disponible para distintas orientaciones e inclinaciones, tiene la representación de la figura adjunta en la que puede observarse cómo afectan ambas desviaciones sobre el máximo.

Para analizar la inclinación óptima es necesario definir, previamente, cómo es la variación, a lo largo del año, del consumo de agua caliente. Éste puede clasificarse como anual constante, preferentemente estival o preferentemente invernal:

- El consumo es anual constante cuando no cambia a lo largo del año o cuando los valores medios diarios mensuales de consumo varíen menos de $\pm 25\%$ respecto del valor medio diario anual.

- Se define una instalación solar de uso estival como aquella en la que el consumo de agua caliente durante al menos cuatro 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 cuatro meses de invierno es superior en un 50% al valor medio anual.

Para cada caso debería estudiarse y justificarse la inclinación óptima de los colectores aunque, en primera aproximación, la inclinación de colectores respecto al plano horizontal se puede estimar con los siguientes criterios:

- En instalaciones de uso anual constante: la latitud geográfica
- En instalaciones de uso estival: la latitud geográfica -10°
- En instalaciones de uso invernal: la latitud geográfica $+10^\circ$.

Sobre los valores anteriores, en relación con la inclinación, se pueden admitir desviaciones de $\pm 15^\circ$.

En cualquier caso y con cualquier distribución del consumo, la optimización de las prestaciones energéticas debería realizarse examinando la sensibilidad de las mismas a variaciones de la orientación e inclinación.

8.4.2. Estudio de sombras sobre colectores

Se puede estimar la reducción de radiación solar sobre el campo de colectores, producida por las sombras, utilizando los procedimientos establecidos en la Norma Técnica aprobada en la ResEx N° 502, del 30 de septiembre de 2010, del Ministerio de Energía, la cual se adjunta en el anexo 3 de esta Guía.

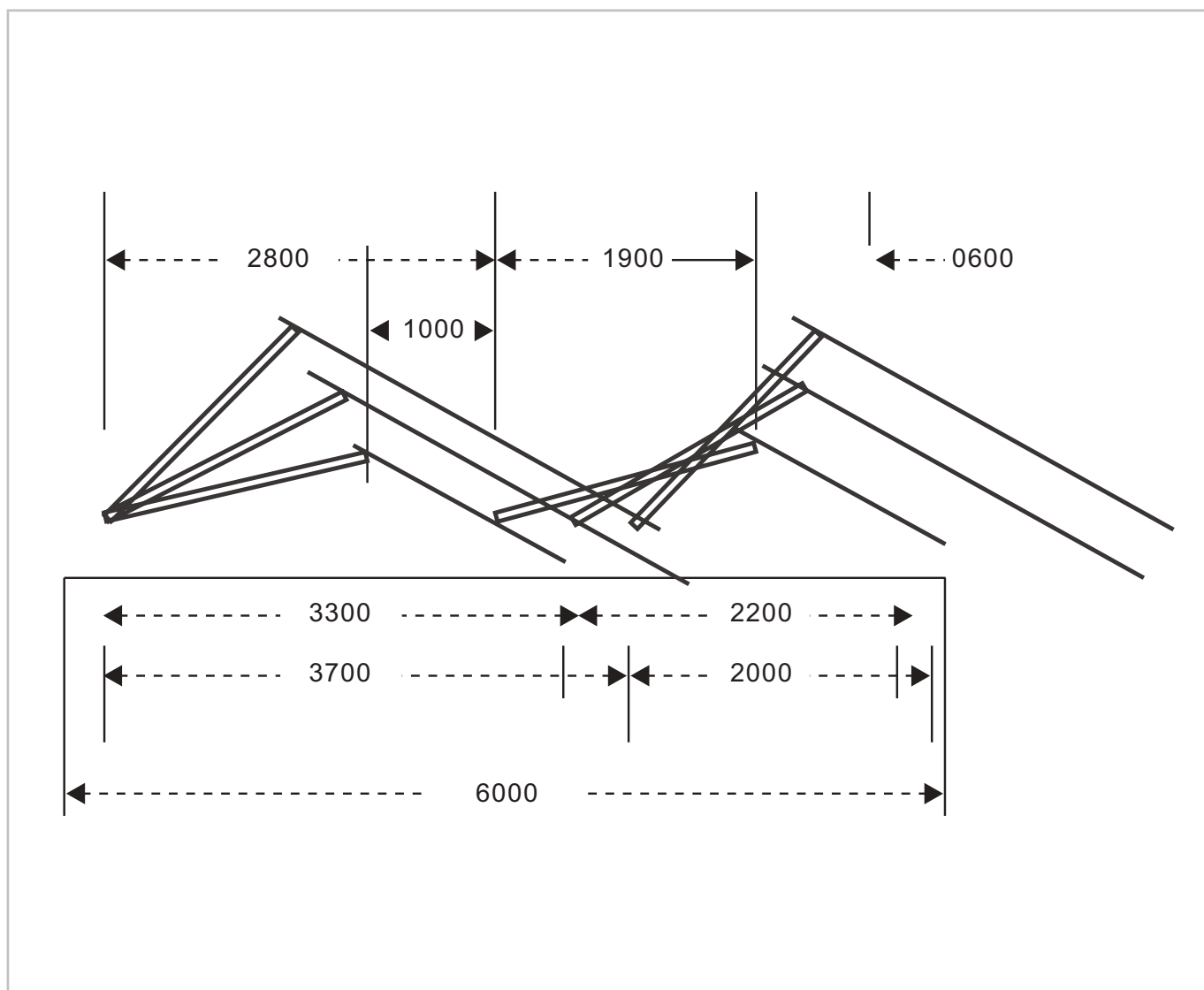


FIGURA 8-7
ESTUDIO DE INCLINACIÓN,
SEPARACIÓN Y SOMBRAS ENTRE
COLECTORES

No obstante, antes de realizar dichos cálculos se pueden utilizar una serie de criterios que facilitan el proceso de diseño del campo de colectores teniendo en cuenta que el primer objetivo, en relación con las sombras, es intentar que todo el campo de colectores esté soleado durante las horas de sol. Si esto no fuera posible, hay que buscar soluciones prácticas que faciliten el diseño del campo determinado del efecto de las sombras en la disminución de prestaciones.

Este criterio puede seguirse con el mismo procedimiento establecido en la Norma Técnica referida para la separación a obstáculos y entre filas de colectores.

En cualquier caso siempre hay que cuidar y analizar tanto las sombras alejadas (de edificios y obstáculos en otras manzanas) como las cercanas (en el mismo edificio o anexos). Y es importante tomar en consideración la posible evolución de las sombras con el tiempo como sucede, por ejemplo, con los nuevos edificios que se puedan construir en parcelas vacías o con el crecimiento de árboles.

Deben analizarse, con mayor detalle si fuera necesario, las sombras proyectadas por obstáculos puntuales (extractores, chimeneas, etc.) de forma que todos los colectores de la instalación sean energéticamente útiles.

8.4.3. Estructura soporte de colectores

Normalmente, cada fabricante de colectores solares tiene un diseño de estructura que facilita el apoyo y la sujeción del colector al edificio. En algunos casos es necesario diseñar una estructura base que sujeta la estructura del colector a la estructura del edificio.

En cualquier caso, la estructura soporte cumplirá todos los requisitos establecidos en la normativa vigente y tendrá en cuenta todas las acciones (peso, viento, nieve, sismicidad, etc.) a las que pueda estar sometida. Cuando se utilice la estructura del fabricante se le deberá requerir la justificación documental de las acciones que soporta.

Todos los materiales de la estructura soporte se deben proteger contra la acción de los agentes ambientales, especialmente contra el efecto de la radiación solar y la acción combinada del aire y el agua. En particular, deberán ser materiales compatibles con las partes del colector solar con las que esté en contacto.

Las estructuras de acero deben protegerse mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes. La realización de taladros en la estructura se deberá llevar a cabo antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura. La tornillería y piezas auxiliares deberían estar protegidas por galvanizado o zincado, o bien serán de acero inoxidable.



FIGURA 8-8
EJEMPLOS DE SOLUCIONES A LA ESTRUCTURA
SOPORTE DE COLECTORES

8.5. El sistema de acumulación

8.5.1. Ubicación

Si su tamaño lo permite, los acumuladores centralizados se pueden ubicar en el edificio, bien en cubierta o en las plantas baja o sótano, y otras veces se sitúan al exterior, normalmente, en los niveles de planta baja.

Como suele ser significativo el peso de los acumuladores, su toma en consideración, muchas veces y sobre todo en edificios existentes, condiciona o define la ubicación de los mismos.

La ubicación del sistema de acumulación es la que directamente decide la forma de realizar el trazado de cañerías, ya que es un sistema que siempre se encuentra intercalado en los circuitos entre la forma de captación y de apoyo.



FIGURA 8-9
EJEMPLOS DE SISTEMAS DE
ACUMULACIÓN EN ESPACIOS
INTERIORES

A) En cubierta

Si los sistemas de captación y de apoyo van en cubierta, lo más sencillo, aunque no siempre posible, es buscar la implantación de la acumulación en cubierta. De esta forma, se reducen los circuitos hidráulicos ya que evitan los trazados verticales. Por el contrario, exige prever espacio para todos los equipos y resolver la sobrecarga del acumulador en cubierta.

Para resolver esta situación en edificios existentes, si el tamaño de los acumuladores lo permite, procede una descomposición del volumen total para distribuir las cargas sobre cubiertas o realizar una estructura que reparta las cargas sobre forjados o, mejor, que las transmita directamente a pilares.

En nuevos edificios, siempre que haya previsión de zonas para instalaciones, no suele ser problema constituir un espacio, mejor interior, para ubicar los acumuladores.

B) En plantas bajas

La mayor ventaja de la ubicación del sistema de acumulación en plantas bajas es que, normalmente, simplifica el reparto de cargas en el edificio o directamente al terreno.

Si se ubican en el interior del edificio, tanto los acumuladores como el resto de equipos y circuitos tienen menos pérdidas térmicas y quedan protegidos de las condiciones ambientales exteriores.

Cuando no es posible ubicar los acumuladores en el edificio, si el entorno del mismo lo permite, se puede ubicar el sistema de acumulación en el exterior del mismo apoyándolo sobre el terreno o en cualquier edificación anexa. En estos casos, el problema del peso habrá que solucionarlo realizando una bancada, normalmente de hormigón, que distribuya las cargas sobre el terreno.



FIGURA 8-10
EJEMPLOS DE ACUMULADORES
SITUADOS EN EL EXTERIOR DE
EDIFICIOS

8.5.2. Organización y distribución

Cuando los acumuladores se ubican en el interior del edificio, suele ser crítica la altura libre disponible para la selección de los acumuladores teniendo en cuenta, además, que hay que dejar los espacios necesarios para su conexionado y mantenimiento.

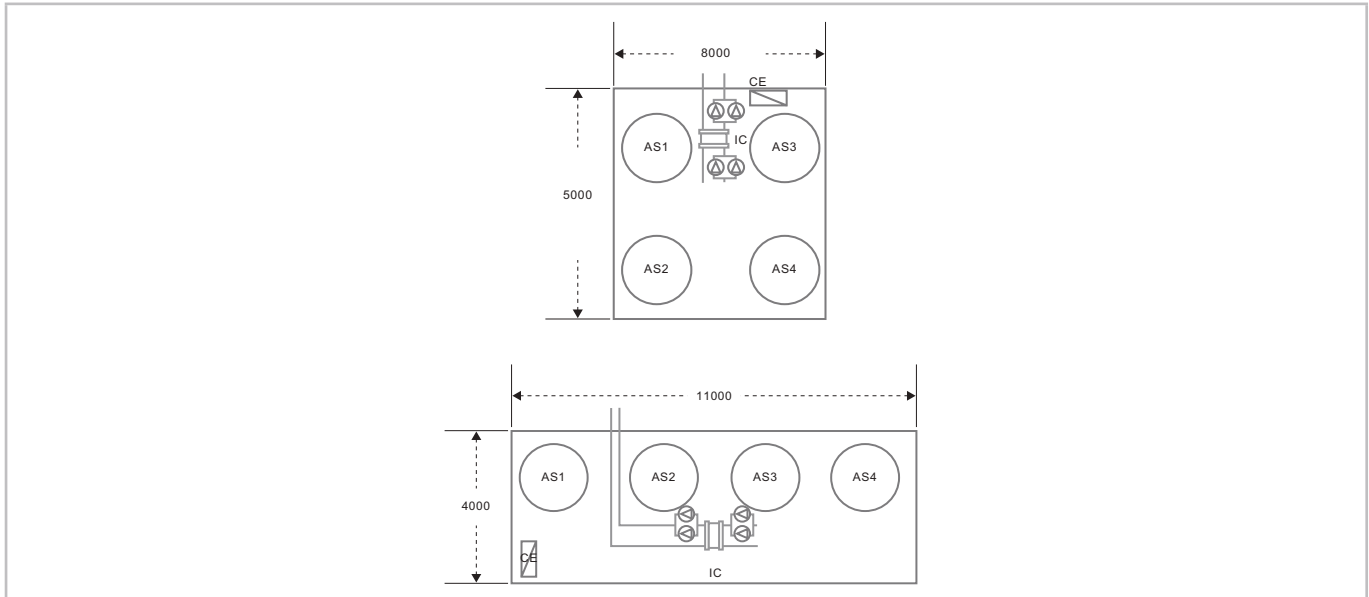


FIGURA 8-11
ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA
ORGANIZAR Y DISTRIBUIR SALA DE
ACUMULADORES

Para organizar la distribución del espacio disponible, se deben atender a los siguientes criterios:

- Dimensiones de acumuladores y distancias mínimas necesarias.
- Previsiones sobre la forma de traslado tanto para montaje como para un eventual desmontaje o sustitución, así como los accesos disponibles para las personas.
- Espacios necesarios para sistemas y componentes accesorios que puedan ir en la misma sala (intercambiador, bombas, expansión, cuadro eléctrico, etc).

8.6. Trazados de canalizaciones

Independientemente de la configuración utilizada, siempre es necesario conectar el sistema de captación, a través de los sistemas de intercambio y de acumulación, con los sistemas de apoyo y éstos con las instalaciones consumidoras.

Para la organización de los trazados desde colectores solares a cada uno de los puntos de consumo, hay que resolver tanto los circuitos horizontales de cubierta como los circuitos verticales en el edificio.

El circuito hidráulico de cubierta que conecta todas las baterías de colectores, como ya se describió en el capítulo 4, debe respetar los ejes principales del edificio y del campo de colectores y tendrá un diseño que garantice una distribución equilibrada de los caudales por todos los colectores del campo y la minimización de las pérdidas térmicas asociadas a la circulación del fluido.

Los circuitos verticales normalmente discurren por los huecos de espacios comunes destinados a todos los tipos de instalaciones mecánicas (acometidas de agua fría, calefacción, contra incendios, etc.) o por verticales específicas.

En el caso de que las verticales vayan a ser circuitos ocultos y no fácilmente registrables, es importante establecer los criterios de control de calidad de la ejecución, incluyendo pruebas de estanqueidad, revisión acabados, etc. para garantizar su correcto funcionamiento posterior.

A los efectos de disminuir los costos de instalación y reducir las pérdidas térmicas, es importante buscar los recorridos más cortos. También es destacable las previsiones de espacios y los procedimientos de trabajo que se deben prever para la correcta mantención de las instalaciones.

8.7. Espacios ocupados

8.7.1. El recinto de colectores

Los colectores solares y determinados componentes del circuito primario pueden alcanzar temperaturas muy elevadas y, por tanto, se debe proteger a cualquier persona no especialista para que no pueda acceder con facilidad a ellos; podría haber un accidente por quemaduras. Además suele haber válvulas de seguridad, de corte, etc. que se debe evitar sea manipulada por terceros no autorizados.

Es necesario, por tanto, que esas partes no estén accesibles y lo mejor es confinar el campo de colectores en un recinto no accesible al público en general, sino solo al servicio de mantenimiento especializado.

En muchas ocasiones, esto es evidente como en el caso de los colectores instalados en una cubierta inaccesible o en una cubierta plana con acceso restringido.

En otros casos, es necesario incorporar como elemento de seguridad y protección de las personas una valla o protección que separe el campo de colectores de las zonas de libre circulación.

8.7.2. La sala de acumulación

La gran variedad de salas de acumulación que se pueden configurar en una instalación solar van desde simples espacios para ubicar los acumuladores pasando por salas donde, además de los acumuladores, están los intercambiadores, bombas, cuadro eléctrico, etc. y hasta centrales térmicas donde se instalan las calderas de apoyo. Siempre deben ser consideradas como zonas técnicas sólo accesibles a personal especializado.

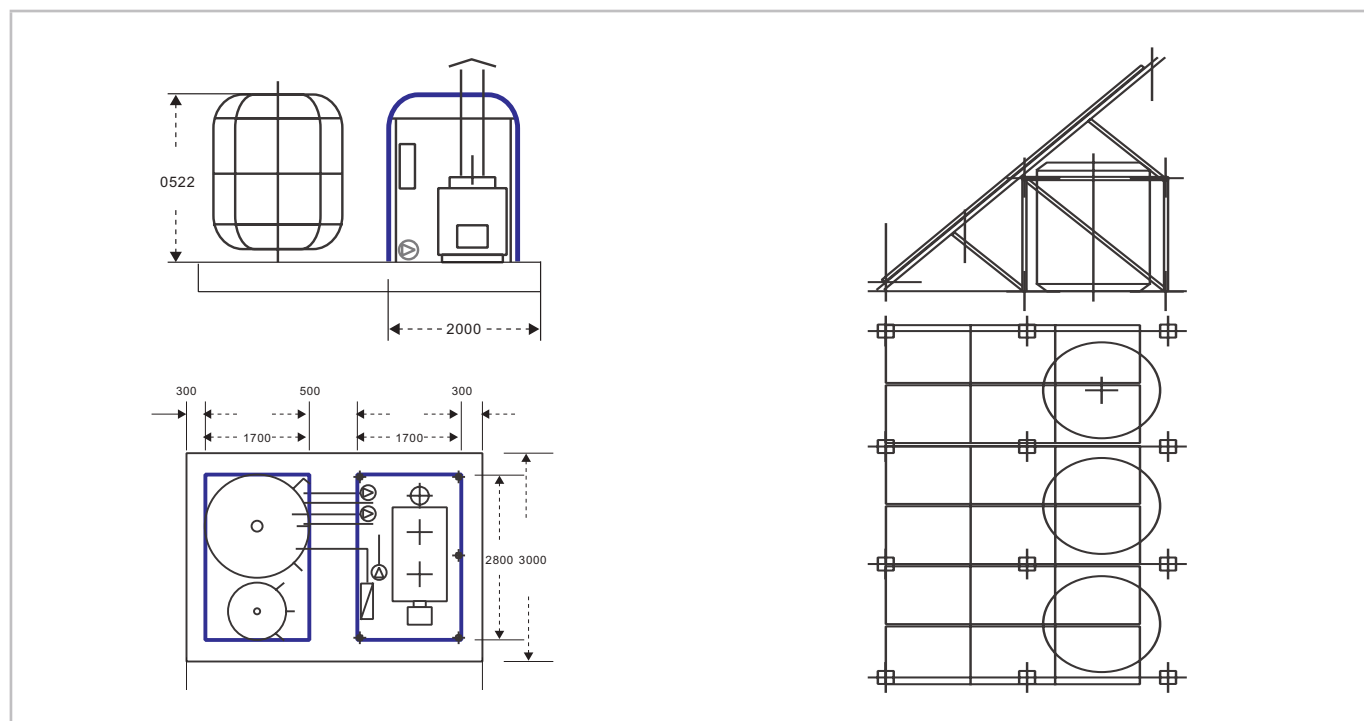


FIGURA 8-12
DISTINTAS SOLUCIONES DE
SISTEMAS DE ACUMULACIÓN

8.8. Relación con otras instalaciones

Es importante determinar las implicaciones entre instalaciones del edificio con el fin de coordinar perfectamente las relaciones entre ellas. Entre otras cosas, son muy importantes estos aspectos para definir el alcance de la instalación

solar, es decir, para determinar exactamente todo lo que está incluido y excluido en la ejecución de la instalación por parte del instalador.

8.8.1. Acometidas de agua

Hay que distinguir las necesidades de acometidas de agua para consumo y las necesidades de agua para llenado o reposición de circuitos cerrados en los casos que se utilice agua de red para los mismos.

Para las necesidades de consumo en el caso de las instalaciones centralizadas, es necesario prever una acometida de agua fría a la instalación solar, para luego realizar el acoplamiento al sistema de apoyo y al circuito de distribución que realiza el abastecimiento de agua caliente a los puntos de consumo. En el caso de viviendas, este abastecimiento, como ya se ha comentado, se realiza a través de contadores de caudal para que el propietario del edificio o la comunidad de propietarios realice la distribución del gasto entre los usuarios.

En edificios e instalaciones centralizadas existentes que se vayan a utilizar como sistema de apoyo, se dispondrá un bypass en la alimentación de agua fría de forma que se pueda independizar totalmente la instalación solar de la existente. Para no introducir pérdidas de carga significativa en el circuito de consumo, se deben utilizar los mismos diámetros de tubería, verificar que las bocas para conexión del acumulador no introducen estrechamiento y utilizar válvulas de tipo esfera.

En los casos en que el agua de red se utilice para llenado del circuito primario, puede conectarse un sistema de llenado desde el circuito secundario de la instalación solar o, si existe, utilizar la alimentación para servicios generales del edificio (que se utiliza para riego, baldeo, limpieza de zonas comunes, etc.). Se tendrán en cuenta el diseño de los sistemas de llenado indicados en el capítulo 4 y se recomienda que, para cualquier tamaño de instalación, se disponga un contador del caudal de agua de llenado, que permitirá vigilar la posible aparición de fugas.

8.8.2. Acometidas eléctricas

Para la alimentación eléctrica de la instalación centralizada se debe prever una línea de acometida, normalmente desde el cuadro eléctrico de servicios generales del edificio para alimentar el cuadro eléctrico de la instalación solar, que la mayoría de las veces estará situado en el espacio más cercano a las bombas de circulación.

Las necesidades de potencia eléctrica serán definidas por el instalador una vez que se han determinado todos los componentes eléctricos y su potencia máxima simultánea.

8.8.3. Desagües y red de saneamiento

Tanto para la purga y vaciado de circuitos como para la conducción de las válvulas de seguridad, deben disponerse desagües en los lugares adecuados. Nunca se realizarán las conexiones directamente de forma que se pueda ver el paso del fluido.

En las salas de acumuladores, para el eventual vaciado de éstos, deben realizarse los desagües necesarios y con la capacidad de evacuación adecuada para realizar el vaciado en un tiempo razonable.

Para los sistemas de purga, válvulas de seguridad y vaciado del campo de colectores en cubierta, cuando son muchos elementos y distribuidos, el drenaje se habitualmente se realiza sobre el mismo suelo de cubierta y con los elementos (sumideros y bajantes) de la red de aguas pluviales.

En todos los casos, hay que adoptar precauciones especiales para evitar que ningún fluido a elevada temperatura pueda alcanzar una red de evacuación que no soporte dicha temperatura. Por ejemplo, los escapes de la válvula de seguridad que no deben ser conducidos directamente a cañerías de PVC.

8.9. Integración arquitectónica

El concepto de integración arquitectónica está definido en el Reglamento de la Ley 20.365 como “un tipo de instalación de un SST donde los CST que lo conforman sustituyen elementos constructivos convencionales o bien son elementos

constituyentes de la envolvente del edificio y de su composición arquitectónica”. Básicamente plantea que el colector solar sea un componente constructivo de la envolvente del edificio y no un elemento independiente.

La integración arquitectónica se debe plantear como objetivo desde las primeras fases del diseño y, para ello se describen en este apartado, aspectos prácticos cuyo conocimiento facilita la incorporación del SST al edificio y su toma en consideración permite realizar la mejor integración posible.

8.9.1. Condiciones urbanísticas

La capacidad de realizar una instalación integrada está muy condicionada por el entorno urbano en el que se construye, o está construido el edificio. Los factores más importantes a considerar son la orientación de parcelas y del edificio, así como las previsiones de sombras por elementos circundantes.

Sobre edificios existentes, las soluciones integradas suelen ser más complicadas de implantar, salvo que coincida que exista una superficie disponible y orientada al norte que admita la instalación de colectores.

No siempre se ha dado la debida importancia a la orientación de la parcela y del edificio debiendo ser definidos con la fiabilidad y el nivel de precisión suficientes.

Afortunadamente, con los medios actuales, este ha pasado a ser un factor más fácilmente controlable.

A los efectos de estudiar las proyecciones de sombras de edificios y elementos circundantes, tanto los presentes como los futuros, además de tener en cuenta los criterios descritos, es necesario estudiar las condiciones urbanísticas del entorno, sobre todo al norte, para prever lo que se pueda configurar a largo plazo.

8.9.2. Condiciones del edificio

Las instalaciones de energía solar estarán integradas arquitectónicamente en el edificio cuando se proyecten con la intervención de competentes profesionales de la edificación.

Aunque la mayor problemática de la integración arquitectónica suele estar referida a los colectores solares, no hay que olvidar otras partes importantes de la instalación como son los acumuladores y, a veces, el trazado de redes. La problemática del resto de componentes puede considerarse prácticamente de segundo orden a estos efectos, aunque habrá que verificarlos en cada caso.

Desde el punto de vista de la integración arquitectónica, el primer análisis y decisión debería ser si las partes más significativas de la instalación solar deben quedar ocultas o vistas y, en este caso, los medios para conseguir un diseño estético. Deberán evitarse las instalaciones solares con impacto visual negativo desde el exterior y que no estén integradas con el edificio.

En relación con la integración que cabe hacer con las instalaciones solares, 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 del área de captación y, con ello, decidir si una instalación debe desviarse de su óptimo desde el punto de vista energético.

Otro aspecto importante en la integración es buscar la continuidad de la construcción resolviendo la unión de la instalación con el edificio con elementos constructivos que proporcionen la continuidad deseada. En este sentido, debería evitarse que la instalación solar pueda generar un volumen importante que sobresalga en exceso del volumen del edificio sin estar integrado en el mismo.

Cabe plantearse, siempre que sea posible, si la integración debe buscarse en el propio edificio o en una construcción anexa y constructivamente independiente de la edificación principal.

8.9.3. Ejemplos de integración

Aunque hay muchos ejemplos de integración arquitectónica de instalaciones solares sin ningún impacto visual, los más llamativos y ejemplarizantes son aquellos en los que el esfuerzo del diseñador se ha centrado en resolver positivamente el impacto visual del conjunto.



FIGURA 8-13
EJEMPLOS DE INTEGRACIÓN DE
COLECTORES SOLARES