

Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial

Análisis comparativo de la Normativa aplicable a Sistemas de Energía Solar a Baja Temperatura

Autor: Luis Jesús Román Terrón

Tutor: José Julio Guerra Macho

Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería Industrial

Análisis comparativo de la Normativa aplicable a Sistemas de Energía Solar a Baja Temperatura

Autor:

Luis Jesús Román Terrón

Tutor:

José Julio Guerra Macho

Catedrático de la Universidad de Sevilla

Departamento de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Carrera: Análisis comparativo de la Normativa aplicable a Sistemas de Energía Solar a Baja Temperatura

Autor: Luis Jesús Román Terrón

Tutor: José Julio Guerra Macho

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mi familia
A mis maestros

Resumen

Este trabajo pretende ofrecer una aproximación a la cuestión de la normalización técnica para sistemas de energía solar a baja temperatura. Más concretamente, y por razones que se justificarán, focalizaremos nuestra atención en los sistemas solares para agua caliente sanitaria que podemos encontrar en cualquier vivienda unifamiliar. La normativa técnica aplicable es muy amplia y diversa. Por ellos, aquí nos centraremos en la normativa aplicable a sistemas para preparación de ACS que podemos encontrar en viviendas unifamiliares. Además, nos focalizaremos en las normas dirigidas a sistemas, dado la homogeneidad que cada vez va presentándose con más fuerza en la dirigida a captadores, tras la aparición de la ISO 9806, que domina claramente en los mercados más fuertes y emergentes. Los métodos para caracterización y predicción del comportamiento de los sistemas serán objeto especial de nuestra atención. Eso se justifica teniendo en cuenta que constituyen una herramienta necesaria a la hora de valorar la eficiencia y bondad de los sistemas, lo que será de interés para los esquemas de certificación, entre cuyos objetivos encontramos el nada desdeñable de obtener subvenciones y bonificaciones por parte de la administración pública. Se analizará también el panorama certificativo, habida cuenta de la estrechísima relación entre normalización y certificación en este campo, conformando como binomio inseparable la dupla normalización + certificación que influirán fuertemente en el devenir del estado de la cuestión. Por último, y en virtud del análisis efectuado, se ofrecerán recomendaciones a la hora de desarrollar nuevas infraestructuras de calidad así como consolidar las que ya disponemos.

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Índice	xi
Índice de Figuras	xiii
1 Introducción	1
1.1 <i>Introducción</i>	1
1.2 <i>Contenido , alcance y objeto del proyecto</i>	5
1.2.1 Objeto	5
1.2.2 Contenido	5
1.3 <i>Energía solar. Sistemas para la obtención de energía a partir del sol.</i>	6
1.3.1 <i>Introducción</i>	6
1.3.2 <i>Sistemas solares térmicos de baja temperatura para ACS</i>	7
1.4 <i>Análisis bibliográfico</i>	40
2 Normas técnicas	44
2.1 <i>Introducción</i>	44
2.1.1 Origen y antecedentes de la normalización	44
2.1.2 Conceptos de Norma y Normalización	46
2.2 <i>Normas y Entidades de Normalización</i>	47
2.2.1 Europa	47
2.2.2 Estados Unidos	52
2.2.3 Australia	53
2.2.4 China	54
2.3 <i>Descripción de algunas normas aplicables a sistemas solares</i>	54
2.3.1 <i>UNE-EN 12976: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados</i>	55
2.3.2 <i>Norma ISO 9459-2</i>	79
2.3.3 <i>Norma ISO 9459-5</i>	92
2.3.4 <i>Norma ISO 9459 4</i>	101
2.4 <i>Certificación</i>	106
2.4.1 <i>Introducción</i>	106
2.4.2 <i>Algunos antecedentes y aclaración de conceptos</i>	106
2.4.3 <i>Esquemas y entidades de certificación relativos a sistemas solares de ACS</i>	108
3 Análisis, Tendencias y Nuevos escenarios	113
3.1 <i>Sobre los métodos para caracterización y predicción del rendimiento</i>	113
3.1.1 <i>Características deseables</i>	113
3.1.2 <i>Análisis comparativo de las metodologías recogidas por la ISO 9459</i>	114
3.1.3 <i>Enfoques y aproximaciones metodológicas</i>	123
3.2 <i>La norma ISO 9459 como norma de referencia global para caracterización y predicción del</i>	

<i>rendimiento. El objetivo de la armonización</i>	123
3.2.1 Algunas definiciones necesarias	123
3.2.2 Algunas preguntas que requieren respuestas: aproximándonos a la casuística de la armonización	124
3.2.3 Nuevos escenarios para la infraestructura de calidad: Global Solar Certification Network	127
3.3 <i>La barrera cultural: obstáculo hacia la armonización</i>	128
3.3.1 El idioma	128
3.3.2 Diferencias entre las QIs	129
4 Conclusiones y recomendaciones	131
4.1 <i>Resumen del panorama metodológico y posible escenario de futuro</i>	131
4.1.1 Características más importantes del panorama actual	132
4.1.2 Predicción sobre el estado de la cuestión	134
4.2 <i>Recomendaciones</i>	135
4.2.1 Caminar hacia una armonización colaborativa prioritariamente	135
4.2.2 Desarrollo de QIs	135
4.2.3 Elegir el enfoque adecuado a nuestras pretensiones	136
5 Bibliografía	138
ANEXO A	140

Índice de Figuras

Figura 1.1: Irradiación solar anual en la superficie terrestre frente a otros recursos de energía disponibles (Fuente: <i>Solar Energy Perspectives</i> , IEA. 2011)	2
Figura 1.2: Estructura del consumo energético total (%) en una vivienda según servicios. (Fuente: IDAE, 2014)	3
Figura 1.3: Evolución del mercado de la energía solar térmica de baja temperatura en España. En azul m ² acumulados y en verde m ² instalados durante el año. Fuente: (ASIT, 2015)	4
Figura 1.4 Esquema de la caja caliente de Saussure mejorada.	8
Figura 1.5 Anuncio del sistema Climax de Kemp	9
Figura 1.6 Ilustración sistema Day and Night	10
Figura 1.7 Primeros paneles solares instalados en la Casa Blanca por Carter en el 79. Reagan los retiraría posteriormente.	10
Figura 1.8 Esquema básico	12
Figura 1.9 Pérdidas térmicas en un captador	13
Figura 1.10 Captadores planos para ACS en una vivienda	13
Figura 1.11 Captadores planos sin cubierta. Obsérvese cómo el absorbedor está directamente montado sobre el tejado sin ningún tipo de carcasa o aislamiento.	14
Figura 1.12 Componentes principales de un captador plano.	15
Figura 1.13 Detalle de la parte posterior de un absorbedor tipo serpentín	15
Figura 1.14 Parte posterior absorbedor Al-Cu tipo parrilla	16
Figura 1.15 En la izquierda podemos apreciar en detalle un tubo de Cu con aleta también de Cu. En la derecha podemos ver el detalle de la unión entre dos aletas empleando aluminio.	16
Figura 1.16 Esquema constructivo de un absorbedor con circulación sobre el área completa. Fuente: (Morrison, 2001)	17
Figura 1.17 Lana de roca para aislamiento térmico	18
Figura 1.18 Captador con carcasa de aluminio anodizado	19
Figura 1.19 Tubos de vacío de flujo directo sobre una cubierta horizontal.	19
Figura 1.20 A la izquierda esquema que explica el funcionamiento del tubo de vacío con tubo de calor. A la derecha detalle de la parte superior del tubo, donde se puede apreciar el bulbo que hace de cámara de condensación	20
Figura 1.21 A la derecha, esquema de un tubo del captador CPC que está a la izquierda.	21
Figura 1.22 Acumulador de ACS de 1500 litros para instalación solar en un hotel en Cantabria.(Fuente: "Icarus Solar. Energías renovables,")	22
Figura 1.23 Acumulador de inercia para calefacción por suelo radiante. ("Icarus Solar. Energías renovables,")	23
Figura 1.24 Acumuladores combinados. A la izquierda, "al baño maría". A la derecha, instantáneo	24

Figura 1.25 Conexión en serie invertida en el circuito de consumo	26
Figura 1.26 Conexión en paralelo con circuitos equilibrados.	26
Figura 1.27 A la izquierda, interacumulador de doble pared. A la derecha, interacumulador de serpentín.	27
Figura 1.28 Intercambiador de carcasa y tubo para piscina.	28
Figura 1.29 Intercambiador de placas. A la derecha, esquema de funcionamiento.	28
Figura 1.30 Tuberías y accesorios de cobre.	29
Figura 1.32 Válvula de seguridad.	30
Figura 1.31 Válvulas de bola (izqda.) y asiento.	30
Figura 1.33 Válvula antirretorno.	31
Figura 1.35 Válvula termostática.	31
Figura 1.34 Válvulas de equilibrado manual (izqda.) y automático.	31
Figura 1.37 Reductor de presión.	32
Figura 1.36 Purgador de aire manual (izqda.) y separador de burbujas.	32
Figura 1.38 Vasos de expansión. Abierto (izqda.) y cerrado.	33
Figura 1.39 Bombas de rotor húmedo (izqda.) y rotor seco.	34
Figura 1.40 Esquema de sistema auxiliar instantáneo en serie con acumulador solar.	35
Figura 1.41 Esquema de sistema auxiliar con acumulador en serie con acumulador solar.	36
Figura 1.42 Sistema auxiliar en paralelo con el acumulador solar.	36
Figura 1.43 Esquema sistema por termosifón	39
Figura 2.1 Logo oficial del CEN	48
Figura 2.2. Izqda.: Equipo termosifón. Dcha: Instalación de ACS de un hotel en Madrid.	57
Figura 2.3 Sistema compacto por termosifón	64
Figura 2.4 Balance energético para sistemas únicamente solares	72
Figura 2.5 Balance energético para sistemas solares de precalentamiento	73
Figura 2.6 Equipos experimentales para ensayo del rendimiento diario	82
Figura 2.7 Perfil de temperatura de extracción de los ensayos de un día.	84
Figura 2.8 Curvas de rendimiento del sistema para distintos valores de $[t_a(\text{day}) - t_{\text{main}}]$	86
Figura 2.9 Perfil de extracción de mezcla	87
Figura 2.10 Metodología empleada en ISO 9459 4	101
Figura 2.11: Sellos de los programas OG-100 y OG-300	109
Figura 2.12 Sello de conformidad del USEC	110
Figura 2.13 Sello de conformidad con el esquema Golden Sun.	110
Figura 2.14: Sello del esquema Solar Keymark	111
Figura 3.1: Representación esquemática del concepto Quality Infrastructure para calentamiento solar de agua sanitaria. Fuente: IRENA (2015)	124
Figura 3.2: Listado de miembros de la GSCN	128

Figura 3.3 Distribución por tipologías de captadores según la capacidad total instalada de captadores a finales de 2015 (Fuente: Solar Heating and Cooling Programme (2017)) 129

Figura 4.1: Distribución de sistemas solares térmicos de baja temperatura por aplicaciones en cada país/región. Datos referidos a la capacidad total instalada de captadores. Fuente: Solar Heating and Cooling Programme (2017). 133

Figura 4.2: Modelo simplificado de una Red Neuronal Artificial. 134

1 INTRODUCCIÓN

El tiempo parece que se estuviera agotando; no alcanzó el pelearnos entre nosotros, sino que hasta nos ensañamos con nuestra casa. Hoy la comunidad científica acepta lo que desde hace ya mucho tiempo denuncian los humildes: se están produciendo daños tal vez irreversibles en el ecosistema. Se está castigando a la Tierra, a los pueblos y a las personas de un modo casi salvaje.

Francisco¹

1.1 Introducción

El Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2014) no deja lugar a dudas:

El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado. [...] La influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropógenas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados en los sistemas humanos y naturales.

Se hace urgente, pues, una transición energética hacia un modelo sostenible y respetuoso con el medio ambiente, que logre atenuar, si no frenar, la evolución dramática de los indicadores de la "salud" de nuestro planeta y sus ecosistemas.

Pero esta ansiada transición no es únicamente impulsada y exigida por las consecuencias devastadoras del Cambio Climático en el planeta. Hay argumentos mucho más evidentes, basados en datos que requieren menos explicaciones, que apoyan la necesidad de esta transición energética. Basta con echar un vistazo a las reservas energéticas disponibles para darse cuenta de ello.

En la Figura 1.1 podemos apreciar, cualitativamente, la irradiación solar anual en la superficie terrestre frente a la demanda anual de energía (arriba en azul) y los recursos de energía disponibles en forma de petróleo, gas natural, carbón y uranio, así como el potencial anual de energía renovable derivada del sol: fotosíntesis (biomasa), energía eólica y energía hidráulica. El gráfico no deja lugar

¹ Del discurso de S.S. Francisco en el II Encuentro Mundial de los Movimientos Populares. Expo Feria, Santa Cruz de la Sierra (Bolivia). 9 de Julio de 2015

a dudas: la energía que nos llega del disco solar en un solo año supera con creces a las reservas energéticas mundiales de los recursos convencionales y a la energía que podríamos extraer anualmente de otras fuentes renovables. Para más precisión, consideremos los siguientes datos (International Energy Agency IEA, 2011):

- En menos de 5 horas el sol nos hace llegar a la tierra, en forma de radiación, el equivalente energético que consumimos en un año.
- Mientras que las reservas energéticas fósiles se estiman en unos 46 años para el petróleo, 58 años para el gas natural y 150 años para el carbón, si fuésemos capaces de capturar y almacenar toda la energía que nos llega del sol en un solo año, tendríamos reservas suficientes para satisfacer la demanda de energía durante unos 6000 años.

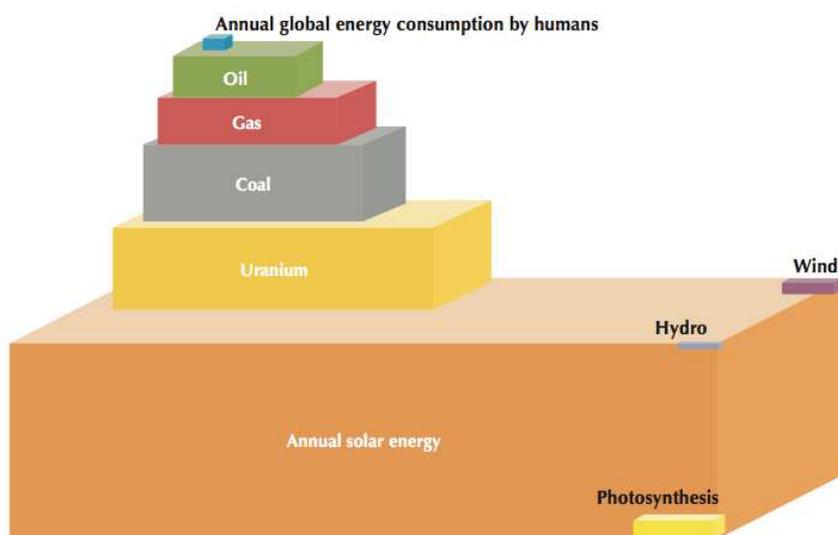


Figura 1.1: Irradiación solar anual en la superficie terrestre frente a otros recursos de energía disponibles (Fuente: *Solar Energy Perspectives*, IEA. 2011)

A la vista de estos datos, es más que evidente el potencial que tiene la energía solar en el escenario energético actual en que vivimos.

Concretamente en el sector residencial, esta fuente de energía tiene aún mucho por delante. Como bien apunta la IEA(2014), aproximadamente el 40% de la energía total que se consume en países de la OECD tiene como destino satisfacer la demanda energética de los edificios. Teniendo además en cuenta que la construcción de más del 50 % de los edificios existentes es anterior a 1970, y que más del 50 % de los edificios existentes actualmente seguirán en uso en 2050, el Parlamento Europeo aprobó en 2009 una recomendación dirigida a los estados miembros: que estableciesen como objetivo el alcanzar, entre los años 2015-2020, un porcentaje mínimo de edificios de energía cero para las edificaciones existentes. Como vemos aún hay mucho potencial y mucho trabajo por hacer en lo que a eficiencia energética se refiere.

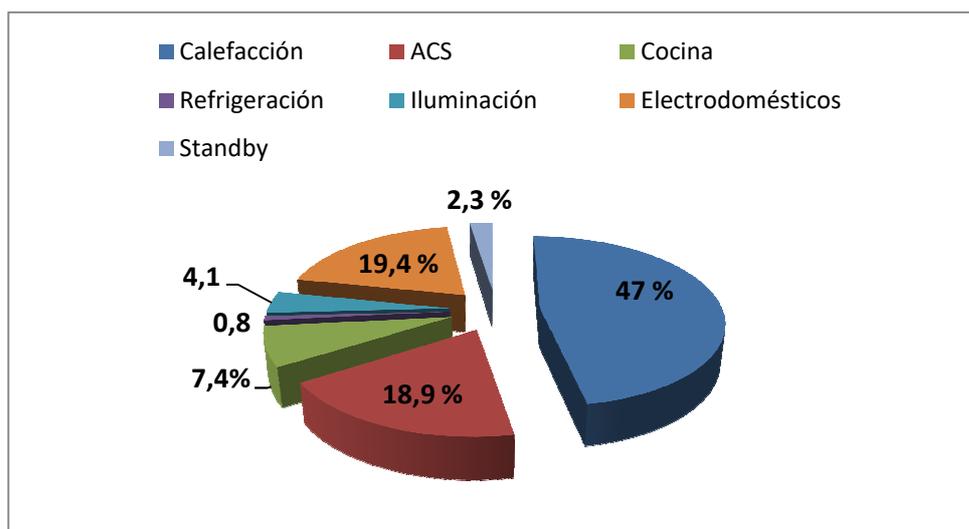


Figura 1.2: Estructura del consumo energético total (%) en una vivienda según servicios. (Fuente: IDAE, 2014)

Siguiendo esta línea, los sistemas de energía solar de baja temperatura suscitan un gran interés y ofrecen una buena oportunidad para engrosar las cifras de ahorro energético. Según publicaciones del Ministerio de Industria (IDAE, 2014), el consumo de agua caliente sanitaria (ACS) en una vivienda en España ronda aproximadamente el 20% (ver Figura 1.2). Porcentaje nada despreciable en un escenario de agotamiento y encarecimiento de los recursos fósiles convencionales. Así lo entendió el Real Decreto 314/2006 por el que se aprobó el Código Técnico de la Edificación (CTE), en concreto nos referimos al Documento Básico HE de ahorro de Energía, que responde a la Directiva 2002/91/CE de Eficiencia Energética de Edificios del Parlamento Europeo. En este documento, siguiendo las indicaciones de la directiva europea, se establecen unos requisitos mínimos o exigencias de obligado cumplimiento para edificios de nueva planta en lo relativo a eficiencia y ahorro energético. Así mismo, también se indican criterios de aplicación para edificios ya existentes antes de la publicación del Decreto.

En la sección HE 4 del citado Documento, se establece una exigencia mínima para los distintos tipos de edificios de cubrir una parte de la demanda de ACS con energía solar de baja temperatura. El impacto que ha tenido esta normativa en España ha sido considerable, como observamos en la Figura 1.3. Si nos fijamos, se aprecia el efecto que tuvo la publicación del CTE en 2006, pues para el siguiente año los m² instalados (por año) de superficie de captación casi triplican los del año anterior (2005) teniendo lugar un aumento sin precedentes. Podemos fijarnos también en la caída que se produce en la instalación de m² a partir del 2008, consecuencia de la crisis económica que golpeó de manera especial al sector de la construcción, si bien en la actualidad nos hallamos en un escenario más estable. Lo que no deja lugar a dudas es la tendencia al alza del mercado de la energía solar de baja temperatura en España, cuadruplicándose la superficie de captación instalada que teníamos en 2006.

Hemos comentado uno de los pilares básicos sobre los que descansa la promoción del ahorro, eficiencia y calidad de los productos y servicios de un país, que sería el que conforman las exigencias mínimas de obligado cumplimiento. El siguiente pilar lo constituye la Certificación, que en palabras

de AENOR²: "es la acción llevada a cabo por una entidad independiente de las partes interesadas mediante la que se manifiesta que una organización, producto, proceso o servicio, cumple los requisitos definidos en unas normas o especificaciones técnicas."

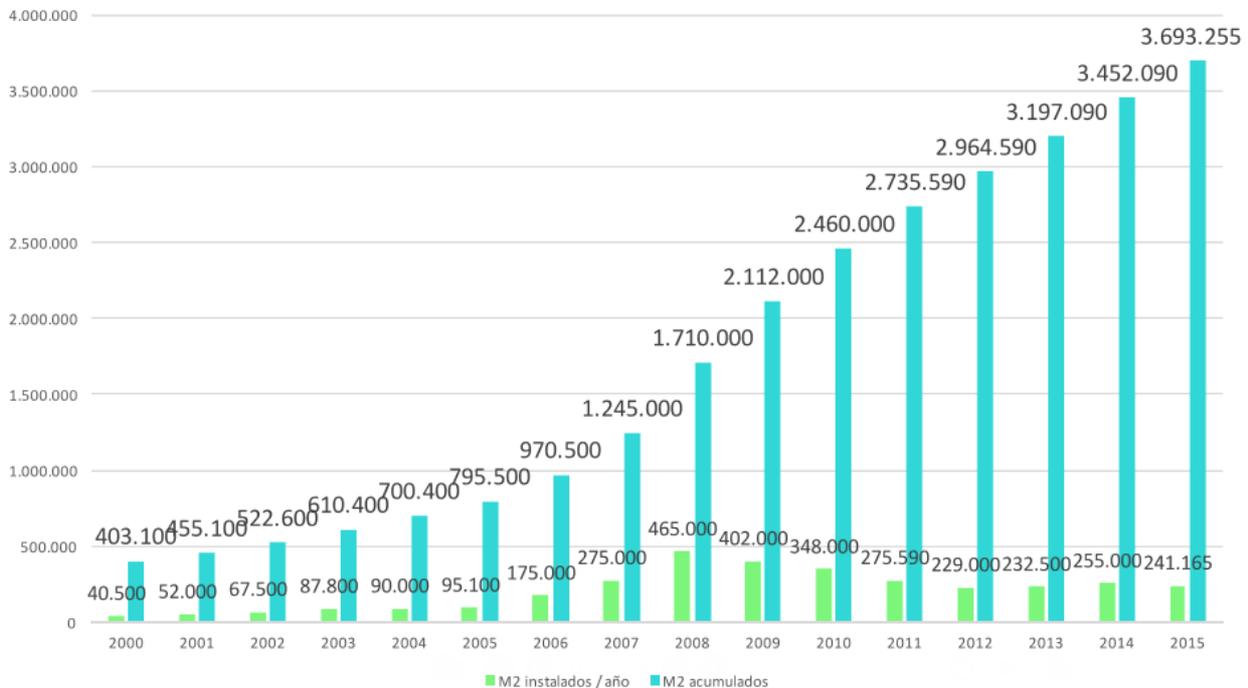


Figura 1.3: Evolución del mercado de la energía solar térmica de baja temperatura en España. En azul m² acumulados y en verde m² instalados durante el año. Fuente: (ASIT, 2015)

Algunos certificados tienen un carácter de obligado cumplimiento (como el marcado CE del Espacio Económico Europeo) y muchos otros tienen carácter voluntario. Generalmente, mediante la certificación voluntaria obtendremos un sello o certificado de alguna institución acreditada que probará que nuestro producto no sólo cumple con la exigencia mínima obligatoria, sino que la sobrepasa en algún nivel, que naturalmente será objeto de evaluación y clasificación por parte del proceso de certificación. Este sello nos puede reportar beneficios de diversa naturaleza, entre los que se encuentran subvenciones y bonificaciones.

Volviendo al campo de la energía solar que nos ocupa, nos podemos encontrar con un amplio abanico de Normas Técnicas aplicables a sistemas solares de baja temperatura, publicadas por cada uno de los organismos nacionales e internacionales de normalización y certificación. Estas normas, cuya aplicación será generalmente voluntaria, jugarán un papel crucial en lo que respecta a la calidad, eficiencia, seguridad, fiabilidad, etc. de las instalaciones solares térmicas que serán objeto de estudio en este trabajo. Serán por tanto determinantes en todo lo referido a la certificación de estas instalaciones.

² http://www.aenor.es/aenor/certificacion/procesos/proceso_certificacion_aenor.asp#.V2iJhbiLS01

1.2 Contenido , alcance y objeto del proyecto

1.2.1 Objeto

En este trabajo se abordan varios objetivos muy estrechamente relacionados entre sí relativos a normalización en sistemas solares térmicos de baja temperatura, centrándonos especialmente en los sistemas solares para ACS.

En primer lugar, se buscará facilitar la comprensión del fenómeno de la normalización y del panorama normativo actual en lo referente a sistemas solares para ACS. Esto se hará desde un punto de vista conceptual (definiciones referentes al campo de la normalización técnica) y desde un punto de vista práctico, lo que se hará guiando al lector en un recorrido por la normalización (en el campo que nos ocupa) en diversos países. Se analizarán mayoritariamente documentos normativos aplicables a sistemas prefabricados, para viviendas unifamiliares, aunque algunos de los procedimientos que señalan los documentos normativos tendrán un campo de aplicación más amplio. Hemos optado por esta tecnología (sistemas prefabricados) por ser la doméstica unifamiliar la aplicación mayoritaria, a nivel mundial, en términos de área de captación instalada

En segundo lugar, focalizaremos nuestra atención de manera especial en los documentos que ofrecen procedimientos y ensayos para caracterización y predicción del comportamiento de sistemas, expresándose el comportamiento del sistema en términos de indicadores de rendimiento, aunque comúnmente y en muchas ocasiones diremos únicamente "rendimiento" para referirnos al grupo completo de indicadores que se especifiquen en cada norma. Esta variable ("rendimiento") será fundamental a la hora de estimar y calcular la energía solar que un sistema dado puede aportarnos, lo que tendrá un gran interés para el usuario (por ejemplo a la hora de recibir bonificaciones y subvenciones que las administraciones conceden por utilizar estos sistemas) así como para el fabricante (indicativo del buen o mal funcionamiento del sistema).

No podremos no hablar de certificación en este ámbito de los sistemas para viviendas unifamiliares, fenómeno que ha ido adquiriendo gran relevancia en la normalización de esta tecnología hasta el punto de liderar y condicionar la evolución de dicha normalización, lo que será tratado en dosis razonables en este trabajo.

Todo lo anterior nos posibilitará realizar un análisis cualitativo del estado de la cuestión, lo que nos servirá a su vez para comparar entre sí los procedimientos y enfoques más relevantes. Lo anterior, unido al análisis a nivel global del binomio normalización + certificación, nos permitirá apuntar las tendencias que se adivinan en la evolución de la cuestión así como realizar recomendaciones de cara a las líneas de trabajo a seguir y de cara a desarrollar un tejido normativo y certificativo sólido. Todo ello, no lo olvidemos, con el objetivo de procurar una mayor integración de la tecnología que nos ocupa en el día a día de cada hogar.

1.2.2 Contenido

En este primer capítulo introductorio, comenzaremos con una breve presentación general sobre las distintas tecnologías para obtener energía a partir de la radiación del sol, entrando en detalle a describir los destinados a producción de ACS, su clasificación atendiendo a diversos criterios; sus características, bondades y limitaciones. Describiremos sus componentes y sus tipologías así como sus usos. A continuación, en este mismo capítulo, expondremos a modo de análisis bibliográfico reseñas para cada uno de los artículos más interesantes que hemos encontrado, artículos que en su mayoría se basan en análisis comparativos de varias normas realizados mediante aplicación de estas normas a sistemas concretos, con el posterior análisis de los resultados y extracción de conclusiones.

En el segundo capítulo describiremos todo lo referente a Normas Técnicas en general.

Comenzaremos hablando de las distintas entidades de normalización y pasaremos a hacer un recorrido por normas técnicas para Sistemas Solares de Calentamiento de Agua Sanitaria, en el que hablaremos de las distintas normas aplicables a estos sistemas en diversos aspectos. Posteriormente, pasaremos a hablar de normas técnicas para predicción de rendimiento de estos sistemas, aterrizando así en la tipología de normas que nos ocupa en este trabajo. Haremos una selección de entre todas las existentes y las describiremos detalladamente.

En el tercer capítulo pasaremos a realizar un análisis comparativo entre la selección de normas explicitada en el capítulo segundo. Este análisis contrastará aspectos como: datos de partida, facilidad de ejecución de la norma, coste de llevarla a cabo, tipo de instalación a la que se puede aplicar, duración, etc. Nos basaremos especialmente en las conclusiones extraídas en los distintos artículos reseñados en el primer capítulo.

Finalmente, en el cuarto y último capítulo, expondremos algunas conclusiones que la realización de este trabajo nos ha sugerido y comentaremos algunas líneas de trabajo abiertas en este campo de la normalización en sistemas solares de baja temperatura para ACS.

En cuanto a la metodología empleada para la elaboración de este trabajo, hemos de añadir que nos hemos basado en un análisis exhaustivo de la bibliografía señalada en primer lugar. En segundo lugar un análisis de los documentos normativos descritos en el capítulo 2. Por último hemos utilizado como otras fuentes de información la que nos ha sido remitida por algunas entidades de normalización, instituciones y asociaciones previo requerimiento, como es el caso de la Standards Australia, la ASHRAE, el secretariado de la marca Solar Keymark. A todos ellos les estoy muy agradecido.

1.3 Energía solar. Sistemas para la obtención de energía a partir del sol.

1.3.1 Introducción

Disponemos de distintos tipos de sistemas para obtener energía de la radiación solar. En primer lugar debemos distinguir entre sistemas pasivos y sistemas activos.

- **Sistemas pasivos:** basados en la utilización directa de la radiación solar, mediante incorporación de elementos arquitectónicos como acristalamientos, muros que actúen como acumuladores de calor, ventanas para la circulación del aire, tubos enterrados para el precalentamiento de aire, etc. Elementos, en definitiva, sin necesidad de sistemas mecánicos ni aporte externo de energía. Es la conocida como arquitectura pasiva, que nos reporta importantes ahorros energéticos, sobre todo en lo que respecta a calefacción de espacios.

- **Sistemas activos:** basados en la captación de la radiación solar mediante algunos dispositivos para su posterior transformación en calor y/o electricidad. Es necesario un aporte de energía en algunos de

estos sistemas.

Dentro de estos segundos sistemas, los activos, debemos diferenciar a su vez entre distintas tipologías de uso de la energía solar. Las dos más importantes sin duda son la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica.

Mediante los sistemas de energía solar fotovoltaica, producimos directamente energía eléctrica a partir de la radiación solar gracias al efecto fotovoltaico. Merced a este principio físico, parte de la energía lumínica incidente en un material semiconductor cristalino se transforma en energía eléctrica.

Mediante los sistemas de energía solar térmica, captamos radiación solar mediante colectores para transformarla en calor. Estos a su vez se clasifican en sistemas de alta, media o baja temperatura en función de la temperatura de trabajo necesaria.

-Alta temperatura: trabajan con temperaturas a partir de unos 400 °C hasta 1000 °C. Para alcanzar este nivel de temperatura no basta con captar la radiación. Necesitamos concentrarla previamente. Estos sistemas, por tanto, se basan en el uso de dispositivos que consiguen altas relaciones de concentración, razón por la cual sólo trabajan con la componente directa de la radiación solar, la radiación que llega directamente del disco solar, que tiene una dirección determinada. Son los llamados Sistemas Termosolares de Concentración (STSC), siendo su aplicación fundamental la generación de electricidad a gran escala a partir de la producción de vapor. Como ejemplos de estas tecnologías, cabe citar: los receptores centrales y los discos parabólicos.

....-Media temperatura: trabajan con temperaturas a partir de los 100 °C aproximadamente. El principio físico es igual que en el caso de Alta Temperatura, tecnologías, pues, pertenecientes a los STSC. Sus aplicaciones son más diversas que en el caso de Alta temperatura: producción de calor para procesos industriales, refrigeración solar, desalinización y generación de electricidad a pequeña escala. Las tecnologías de Canales Parabólicos y Concentrador Lineal de Fresnel son las representativas en este caso.

....-Baja temperatura: la temperatura de trabajo no sobrepasará los 100 °C. Este tipo de sistemas trabaja tanto con la radiación directa como con la difusa, por lo que no necesitan mecanismos de seguimiento del sol. Entre sus aplicaciones encontramos: producción de ACS, calefacción de edificios (especialmente apoyo y suelo radiante), climatización de piscinas, secado, climatización solar. Las tecnologías de captación en las que se apoya esta tipología de sistemas son, fundamentalmente, el captador plano y el captador de tubos de vacío. Estos sistemas serán objeto de estudio de este trabajo (concretamente los sistemas para producción de ACS) por lo que pasaremos a describirlos a continuación con más detalle.

1.3.2 Sistemas solares térmicos de baja temperatura para ACS

Como apuntábamos en apartados anteriores, en torno a un 20% del consumo energético de un hogar se debe al uso de agua caliente sanitaria. No sólo usamos agua caliente para higiene personal, de ahí el calificativo "sanitaria", también la usamos para actividades tan cotidianas y que forman ya parte de nuestro día a día doméstico como la colada o poner el lavavajillas. Podría decirse que el empleo de agua caliente en un hogar hoy día es tan indispensable, o incluso más según a quien le preguntemos, como el disponer de luz eléctrica.

Introducir en el hogar sistemas de calentamiento solar para el agua consumida puede suponer ahorros entre el 50 y el 80% anual en la factura de gas o electricidad, pudiendo llegar a tener un 60% del agua caliente de forma gratuita (Romero Tous, 2009). Estas tecnologías son de las más respetuosas

con el medio ambiente que existen, siendo el único impacto ambiental que conllevan de tipo visual. La legislación vigente las promueve y ha experimentado una rápida expansión en unos pocos años, como comentábamos en apartados anteriores. Podría decirse sin mucho temor que esta tecnología ha llegado para quedarse.

1.3.2.1 Un poco de historia

Este tipo de tecnología solar es de las más antiguas de que disponemos, Su origen se remonta a finales del siglo XIX, aunque se basan en experiencias previas de siglos atrás.

Hacia la segunda mitad del siglo XVIII un naturalista suizo, Horace de Saussure, experimenta con un artilugio que él denominó "caja caliente" y que se basaba en el ya conocido efecto invernadero. La caja tiene una de sus caras acristaladas y al exponerla al sol consigue en su interior temperaturas de 85 °C. Saussure experimentó con modificaciones del diseño para mejorarlo, empleando corcho negro para el interior y aislando mejor la caja, intercalando para ello lana entre las paredes no acristaladas. Consiguió alcanzar así temperaturas de hasta 110 °C. Estas cajas supusieron el germen del colector solar, si bien lo que se buscaba conseguir con ellas era la cocción de alimentos. Su diseño se basa en principios físicos en los que también se basan los colectores actuales.

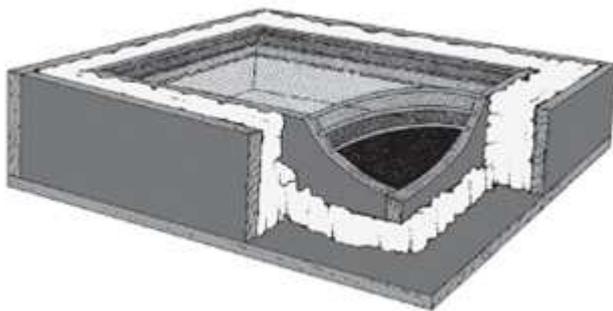


Figura 1.4 Esquema de la caja caliente de Saussure mejorada.

Otra experiencia previa al nacimiento de los colectores solares actuales aparece a lo largo del siglo XIX en Estados Unidos para obtener agua caliente. Como alternativa a calentadores de gas y carbón, costosos y en ocasiones peligrosos, surge la idea de disponer unos contenedores pintados de negro y expuestos al sol almacenando agua. El inconveniente para este sistema surge cuando los días no son muy soleados. Además, al llegar la noche el agua se enfriaba muy rápidamente.

El primer sistema solar de ACS propiamente dicho llegó en la década de 1890, en Estados Unidos, de la mano de Clarence Kemp, fabricante de tuberías y calefactores, quien patentó el calentador solar "Climax". Este sistema aún las dos experiencias que hemos mencionado anteriormente: tanques de agua pintados de negro metidos a su vez en una especie de "caja caliente" como la de Saussure, con una pared de vidrio. Así se consiguieron mayores temperaturas para el agua caliente, y esta estaba disponible durante más tiempo en la noche. Para el año 1900 ya había instalados en California más de 1600 sistemas de esta tipología (Romero Tous, 2009)



Figura 1.5 Anuncio del sistema Climax de Kemp

El siguiente paso en el desarrollo de los sistemas de ACS tiene lugar a principios de siglo XX. W. J. Bailey patenta su modelo de calentador solar para agua "Day and Night" en 1909 en Estados Unidos (Romero Tous, 2009). Supuso un avance muy importante para la tecnología solar de ACS, al separar el sistema de captación del de acumulación. El sistema de captación consistía en un colector constituido por tuberías de cobre situadas sobre una placa metálica pintada de negro. Esta, a su vez, se encerraba dentro de una caja de vidrio aislada. Se trata del primer captador solar plano. El sistema de acumulación consistía en un depósito, que estaba encerrado en una caja de madera aislada mediante caliza en polvo, para retener mejor el calor. El depósito estaba situado por encima del colector, y el agua se movía por el efecto de termosifón.

Este sistema mejoraba considerablemente al Climax en disponibilidad de agua caliente por la noche, pudiendo incluso tenerla a la mañana siguiente. El "Day and Night" desbancó rápidamente al Climax y se expandió por los estados del sur en pocos años. Podemos decir que este es el primer sistema solar de ACS como lo conocemos hoy, en él se basarán los diseños posteriores. A finales de la Primera Guerra Mundial, ya había más de 4000 calentadores "Day and Night" instalados. Bailey, además, recomendaba a sus clientes añadir un calentador auxiliar para satisfacer las necesidades en días con mal tiempo o mucho uso. Así, el "Day and Night" podía conectarse a una cocina de leña, un calentador de gas o uno de carbón.

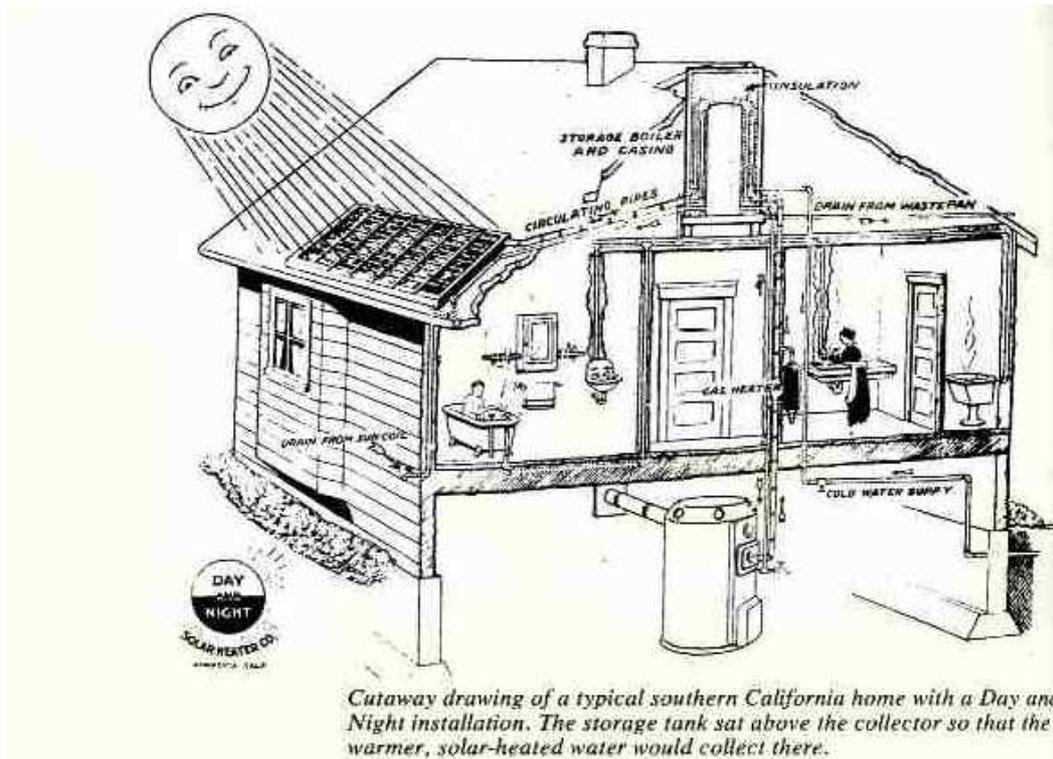


Figura 1.6 Ilustración sistema Day and Night

La expansión de estos sistemas estaba condicionado por la competencia directa con los calentadores de combustibles fósiles y los calentadores eléctricos que posteriormente aparecerían. Hay constancia a lo largo del siglo XX de este hecho. Cuando tenía lugar alguna crisis política que hacía subir los precios de los combustibles fósiles, se disparaba la compra de calentadores solares. El descubrimiento local de recursos de gas o petróleo hacía disminuir por contra la compra de estos. A finales de los años 70 tuvo lugar un impulso importante de los sistemas solares como consecuencia de la gran crisis del petróleo que acaeció. Aparecieron así numerosas empresas de fabricación e instalación, lo que a su vez conllevó una bajada en la calidad de los productos y el estancamiento de la demanda y la quiebra de las empresas más débiles. A finales de los 80, la considerable bajada de los precios de los combustibles fósiles provocó un desplome de la demanda de sistemas solares. Las empresas más fuertes y más dependientes de la energía solar invirtieron en la mejora de la calidad de sus productos, para así poder soportar esta situación. Los resultados fueron la estabilización de la demanda y una mejora de los sistemas.



Figura 1.7 Primeros paneles solares instalados en la Casa Blanca por Carter en el 79. Reagan los retiraría posteriormente.

Es a partir de la década de los 90, y de manera especial en la década de los 2000, cuando la energía solar recibe el impulso definitivo para su implantación. El precio de los combustibles fósiles, en alza continua a partir de estos años, unido a una mayor conciencia ecológica, como consecuencia de la problemática ambiental que tratábamos en la introducción de este primer capítulo, han derivado en el apoyo social y legal para la energía solar sin los cuales no sería viable el escenario de desarrollo y expansión que experimenta el sector actualmente y que no tiene visos de revertirse, más bien todo lo contrario.

1.3.2.2 Esquema básico y subsistemas

Cualquier sistema solar moderno de ACS cuenta con los elementos de aquél primer sistema "Day and Night" comercializado por William J. Bailey a principios de siglo XX. En efecto, contará con un captador solar, componente principal, cuyo funcionamiento se basará en los mismos principios físicos de los captadores de Bailey, si bien con algunas modificaciones que mejorarán el funcionamiento. Contará también con un sistema de acumulación para ajustar los desfases entre radiación solar y demanda de ACS. Y, por supuesto, con un sistema hidráulico de tuberías, válvulas y accesorios para transportar el agua caliente entre los distintos dispositivos y para llevarla a los puntos de consumo. Este esquema básico puede apreciarse bien en la Figura 1.6.

Los sistemas actuales contienen algunos elementos o subsistemas adicionales al anterior, fruto de la investigación y experiencia durante las décadas posteriores, como es natural. El documento básico HE del CTE establece cuáles son los subsistemas de los que consta un sistema solar de ACS:

- Subsistema de captación, formado por los captadores solares, encargados de recoger la radiación solar incidente y transformarla en calor para calentar el fluido que circula por ellos.
- Subsistema de acumulación, formado por uno o más depósitos que acumulan el agua caliente hasta su demanda.
- Circuito hidráulico, constituido por tuberías, válvulas, bombas, purgadores, vasos de expansión, etc., cuya función es transportar el fluido caliente hasta el sistema de acumulación. Algunos autores dan una definición más amplia de este subsistema, incluyendo adicionalmente dentro de él todos los elementos y accesorios necesarios para transportar el agua hasta los puntos de consumo (Rufes Martínez, 2010)
- Subsistema de intercambio, que realiza la función de transferencia de energía térmica entre el circuito de captadores, o circuito primario, y el agua que va a consumo. Nótese como en la Figura 1.8, donde se recoge el esquema básico de todo sistema de ACS, el subsistema de intercambio representado por un serpentín se ha incluido dentro del subsistema de acumulación representado por un depósito, práctica muy común. Especialmente en pequeñas instalaciones.
- Subsistema de regulación y control. Tiene dos funciones. Por un lado garantizar el correcto funcionamiento del sistema para proporcionar la máxima energía térmica posible. Por otro, proteger el sistema frente a factores como sobrecalentamientos, congelación, etc.
- Subsistema auxiliar. Se trata de un equipo de energía auxiliar convencional, instalado para que en todo momento la continuidad del servicio esté garantizada, ya que esta puede interrumpirse como consecuencia de una demanda fuera de lo previsto o condiciones meteorológicas tales que la radiación solar captada no sea suficiente.
- Adicionalmente, y aunque el CTE no lo incluye, podríamos considerar también como parte del sistema de ACS lo que en la literatura se denomina subsistema de consumo. Se trata de las unidades

terminales necesarias para combatir la carga, llevar el agua caliente desde la acumulación a los puntos de consumo. Algunos autores lo incluyen dentro del circuito hidráulico.

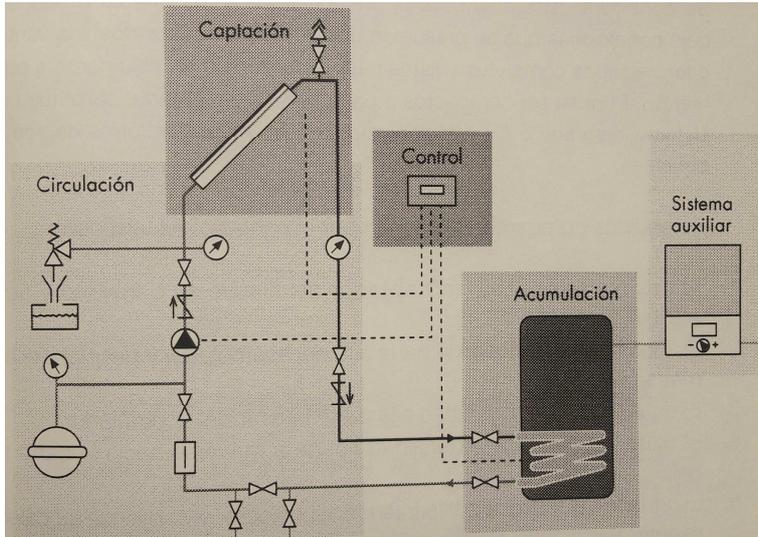


Figura 1.8 Esquema básico

Naturalmente, los elementos que configuran cada subsistema no son de una única tipología, sino que en función de las prestaciones que se requiera se podrán escoger entre una amplia gama. A continuación pasamos a describir cada elemento con las distintas variantes que podemos encontrar en el mercado.

1.3.2.3 Descripción y clasificación de los captadores solares

El captador es la "fuerza motriz" de estos sistemas (A. Peuser, Remmers, & Schnauss, 2005). En efecto, es en el captador donde se introduce la energía necesaria para cumplir el objetivo de una instalación de ACS. Un sistema ideal estaría formado únicamente por un captador capaz de proporcionar energía solar de tal manera que se cubra la demanda en todo el año. Como esto no es posible por la variabilidad del recurso solar, por las pérdidas inherentes a todo sistema material, y porque tenemos que conducir el agua caliente hasta los diversos puntos de consumo del edificio, se introducen el resto de elementos.

Los captadores se diseñan con el objetivo de poder transformar eficientemente la mayor cantidad posible de radiación solar en calor, minimizando las pérdidas. Los diseños de las distintas tipologías varían en cuanto a parámetros tan importantes para el diseño de una instalación como el rendimiento o el coste. Para seleccionarlos habrá que prestar especial atención a los valores característicos de cada captador, establecidos de acuerdo con normas de referencia, como la UNE-EN ISO 9806.

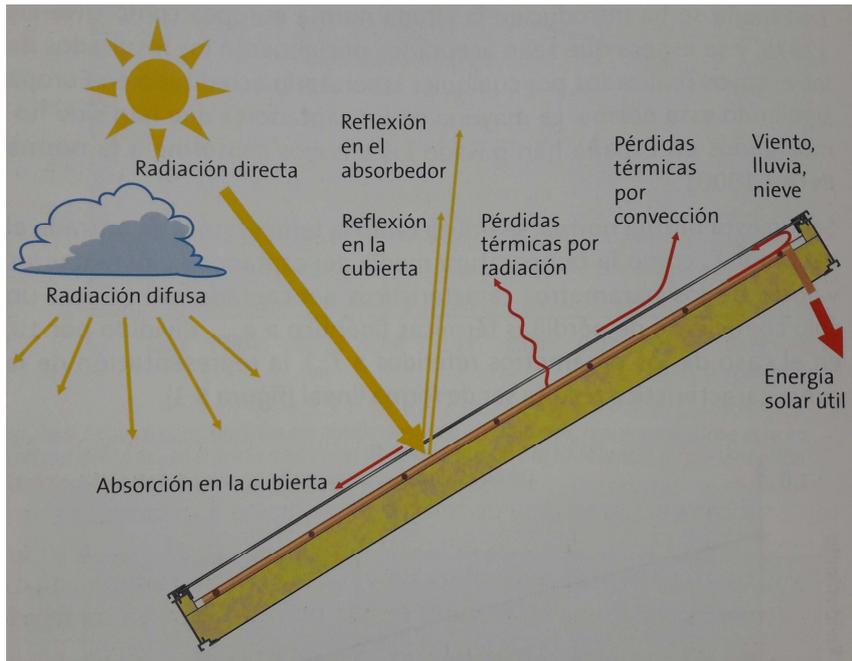


Figura 1.9 Pérdidas térmicas en un captador

1.3.2.3.1 Captador plano

El captador solar plano es el tipo de captador con más años de recorrido y el más usado. Este captador es el que dispone de la mayor área de absorción de calor, pero por esto mismo es también el que sufre de mayores pérdidas. Por este motivo, se emplea en aplicaciones que requieren temperaturas bajas, hasta los 80 °C aproximadamente. No obstante, con algunas modificaciones como la introducción de doble cubierta se pueden alcanzar temperaturas algo mayores.



Figura 1.10 Captadores planos para ACS en una vivienda

Podemos dividir estos captadores en dos grandes categorías : con o sin cubierta.

Los captadores sin cubierta representan una solución barata y eficaz para aplicaciones que requieren temperaturas muy bajas, como en el caso de calentamiento de piscinas, lavado de vehículos o piscicultura. Con estos captadores podemos conseguir unas temperaturas de no más de 40 °C. Básicamente consisten en un absorbedor de caucho o polipropileno montados directamente sobre el tejado (ver Figura 1.11). Su mantenimiento es muy sencillo y resultan muy económicos como hemos

comentado.

La otra gran categoría de captadores, disponen de una cubierta con el objetivo de minimizar las pérdidas térmicas haciendo uso del efecto invernadero. Son de uso generalizado en sistemas de calefacción y, especialmente, de ACS. Los captadores con cubierta representan ,quizás, la idea de captador solar que hay en el imaginario público. Lo que está perfectamente justificado, pues ocupan prácticamente la totalidad del mercado de ACS. En España un 95% de los captadores destinados a esta aplicación son de este tipo (A. Peuser et al., 2005).



Figura 1.11 Captadores planos sin cubierta. Obsérvese cómo el absorbedor está directamente montado sobre el tejado sin ningún tipo de carcasa o aislamiento.

Entre las ventajas que presentan estos captadores encontramos: una buena relación precio-calidad (entendiendo "calidad" en términos de eficiencia, rendimiento), el hecho de ser una tecnología muy conocida y contrastada, disponer de una estructura muy sencilla y segura y presentar una buena integración arquitectónica.

Los componentes principales de un captador plano son (ver Figura 1.12):

- Cubierta
- Aislamiento
- Carcasa
- Absorbedor (donde podemos distinguir entre tubos distribuidores, tubos finos y placa absorbente)

Pasamos a continuación a describirlos por separado, señalando las distintas tipologías que podemos encontrar.

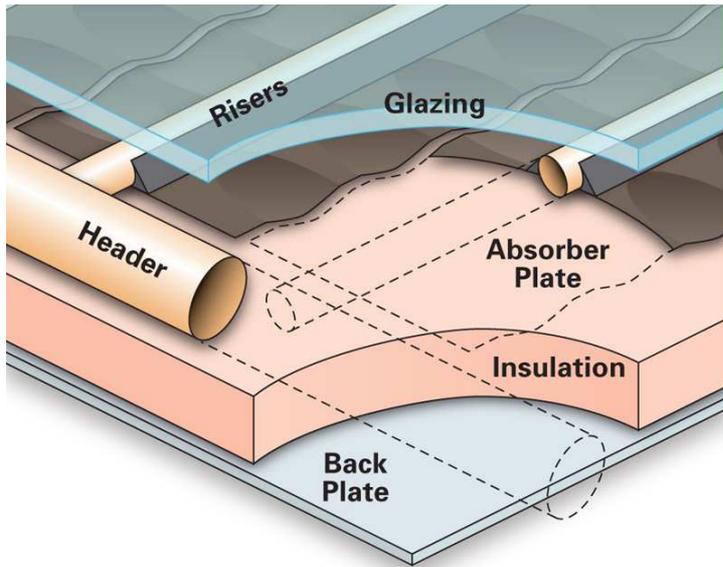


Figura 1.12 Componentes principales de un captador plano.

1.3.2.3.1.1 Absorbedores

Es en este elemento donde la radiación del sol se transforma en calor, que es recogido por el fluido de trabajo que circula por los tubos que forman parte del absorbedor. Encontramos diversas soluciones constructivas empleando distintos materiales. En la actualidad el aluminio y el cobre son los dos materiales más usados para la fabricación de los absorbedores, siendo el cobre el material predilecto para construir los tubos. La placa absorbente se puede encontrar de aluminio o también de cobre.

Los diseños actuales más populares son : absorbedores tipo parrilla, tipo serpentín y absorbedores con circulación sobre el área completa.

En los absorbedores tipo serpentín, un gran tubo con forma de serpentín conduce el fluido. Este tubo está sujeto con abrazaderas o pegadas mediante gran presión o soldadura a una placa absorbente. Entre sus ventajas encontramos la facilidad para ser fabricados o la posibilidad de conexionado en paralelo de muchos captadores. Como inconvenientes, presentan mayores pérdidas de carga que otras tipologías.



Figura 1.13 Detalle de la parte posterior de un absorbedor tipo serpentín

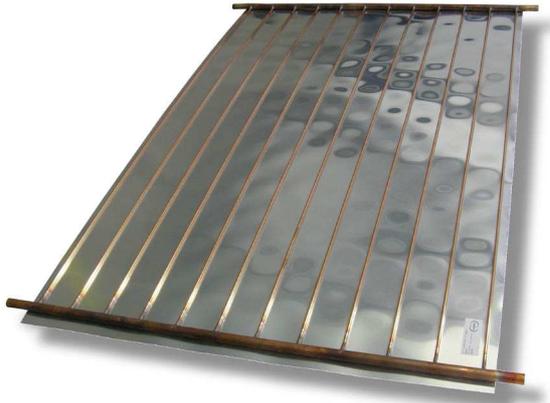


Figura 1.14 Parte posterior absorbedor Al-Cu tipo parrilla

En los absorbedores tipo parrilla, tenemos un conjunto de tubos finos dispuestos en paralelo unidos a los tubos distribuidores, formando así una parrilla. Sobre los tubos se dispone la placa absorbedora. Esta placa puede estar formada por una única lámina metálica (ver Figura 1.14) como en el caso del absorbedor tipo serpentín (solución que ha ido ganando fuerza y es la más popular actualmente) o por aletas absorbedoras que se disponen sobre cada tubo y que luego se unen entre sí (ver Figura 1.15). A pesar de ser más difícil de fabricar que el tipo serpentín, esta tipología de absorbedor presenta la ventaja de tener una menor pérdida de carga, por lo que son muy usados para sistemas por termosifón (ver apartado 1.3.2.8.2, pág. 38). Presentan además una gran versatilidad a la hora de conectar el campo de captadores.



Figura 1.15 En la izquierda podemos apreciar en detalle un tubo de Cu con aleta también de Cu. En la derecha podemos ver el detalle de la unión entre dos aletas empleando aluminio.

Los absorbedores con circulación sobre el área completa no están tan extendidos como los anteriores. En esta tipología el fluido pasa por una gran parte del área del absorbedor, estando los conductos muy cercanos entre sí. Se fabrican con uniones extensas a partir de dos placas que se pegan por presión o soldadura. Esto presenta el inconveniente de que la presión del fluido en el absorbedor no puede ser muy alta para garantizar la estabilidad de la unión, estando limitada a unos 3 bares aproximadamente. Por contra, es posible alcanzar rendimientos mayores que con tipologías anteriores, pues el calor debe recorrer menos material hasta llegar al fluido. La manipulación y fabricación de estos exigen más delicadeza también.

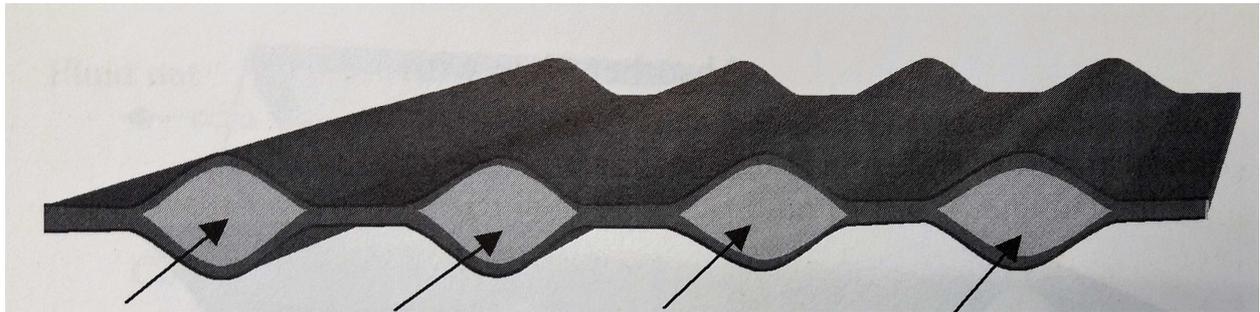


Figura 1.16 Esquema constructivo de un absorbedor con circulación sobre el área completa. Fuente: (Morrison, 2001)

La superficie de los absorbedores suele someterse a tratamientos de recubrimiento para mejorar sus propiedades ópticas. En concreto, se persiguen absorptancias altas para longitudes de onda corta y baja emisividad para longitudes de onda larga. De esta manera conseguimos que la radiación que nos llega del sol (donde la mayor fracción es de onda corta) se absorba lo máximo posible y la radiación térmica que emite el absorbedor al calentarse (de onda larga) se minimice. Es lo que se conoce como una superficie selectiva. Entre los tratamientos actuales encontramos: Cromo negro, cristal negro, óxido de titanio, deposición física en fase vapor (PVD), bombardeo catódico (sputtering), etc. Así conseguimos absorptancias superiores a 0.95 y emisividades comprendidas entre 0.05 y 0.02. (A. Peuser et al., 2005).

1.3.2.3.1.2 Cubierta

La cubierta del captador cumple las siguientes funciones:

Por un lado es un elemento protector, contra agentes nocivos del medio ambiente, del absorbedor y del aislamiento térmico que se incluye en la parte posterior del mismo, dentro de la carcasa. Para ello debe tener un coeficiente de dilatación pequeño, con objeto de asegurar la estanqueidad del colector al calentarse. Y debe ser un elemento robusto y mecánicamente resistente a agentes como lluvia, granizo, viento, radiación ultravioleta, etc.

Forma parte del aislamiento térmico del captador, provocando el efecto invernadero que posibilita que llegue al absorbedor radiación de onda corta, mientras se dificulta la salida de radiación de onda larga que emite el absorbedor como consecuencia de su calentamiento. Debe ser por tanto un elemento lo más transparente posible a la radiación de corta y lo más opaco posible a la radiación de larga. Con objeto de rebajar las pérdidas térmicas en climas muy fríos se desarrolló la doble cubierta. No obstante, este diseño, si bien consigue reducir las pérdidas a través de la cubierta, provoca la disminución de la transparencia a la radiación solar, disminuyendo así la transmitancia. Con el desarrollo de los recubrimientos selectivos, esta solución de doble cubierta ha ido perdiendo fuerza.

Los dos materiales empleados con más frecuencia para las cubiertas son el vidrio con bajo contenido en hierro y el plástico, concretamente metacrilato (polimetilmetacrilato PMMA). La transparencia del vidrio a la radiación solar depende en gran medida de su contenido en hierro. A menor contenido en hierro mayor será la transmitancia del vidrio. Este tipo de vidrio, denominado vidrio blanco o vidrio solar, puede alcanzar valores de transmitancia de hasta 0.95. En las cubiertas de metacrilato actuales los valores de transmitancia rondan unos 0.90. Ambos materiales se comportan ópticamente sin muchas diferencias, por tanto. En lo que difieren es en sus propiedades mecánicas, siendo el vidrio mucho mejor. Las cubiertas de metacrilato, más comunes hace unos años, están siendo

dejadas a un lado .

1.3.2.3.1.3 Aislamiento

El aislamiento térmico en un captador plano es fundamental. Con ello se consigue reducir las pérdidas térmicas por la parte posterior y lateral del absorbedor. deben estar constituidos por materiales capaces de soportar las altas temperaturas de estancamiento³ de los colectores, entorno a unos 150 °C en verano. Así mismo, deben ser materiales que al calentarse no emitan gases o vapores. Esto podría provocar deposiciones en la cubierta transparente que deteriore su funcionamiento.

Entre los materiales que se pueden encontrar están: lana de vidrio, lana mineral, resina de melamina, espuma de poliuretano, etc.



Figura 1.17 Lana de roca para aislamiento térmico

1.3.2.3.1.4 Carcasa

La carcasa, junto con la cubierta transparente, encierran al absorbedor y al aislamiento dentro del captador. Su función es servir de protección a estos elementos frente a agresiones externas como la humedad o daños mecánicos.

³ Temperatura de estancamiento: temperatura que puede alcanzar el captador en periodos sin extracción de calor útil con radiación solar y temperatura ambiente circundante al captador altas.



Figura 1.18 Captador con carcasa de aluminio anodizado

El material que actualmente se emplea con mayor frecuencia para la carcasa es el aluminio. Si el captador se monta integrado en una cubierta, se usan también unos marcos de madera. En este caso debe protegerse la madera con algunos tratamientos para que resistan las altas temperaturas y para que se impida la penetración de la humedad.

1.3.2.3.2 Captadores de tubos de vacío

En esta tipología de captadores se elimina el aire que hay entre cubierta y absorbedor. Esto se hace para reducir las pérdidas térmicas, fundamentalmente las causadas por convección. Por razones constructivas (fuerza que tendría que soportar la cubierta como consecuencia de la diferencia de presiones entre cubierta y exterior, problemas para el sellado entre cubierta y carcasa, etc.) estos captadores se hacen con forma tubular.



Figura 1.19 Tubos de vacío de flujo directo sobre una cubierta horizontal.

Existen varias tipologías, siendo los más populares los de flujo directo y los de tubo de calor.

En el primer caso, el fluido de trabajo fluye directamente a través del tubo. Pueden alcanzarse así rendimientos muy altos por las altas temperaturas que se consiguen. Además, estos captadores

pueden montarse directamente en las cubiertas planas, sin necesidad de una inclinación, por lo que pueden integrarse mejor arquitectónicamente y reducir costes de la estructura soporte.

Los tubos de vacío del tipo tubo de calor se introducen para disminuir esas temperaturas elevadas que se dan en los de flujo directo. Por dentro de los tubos, donde está situado el absorbedor, circula un fluido distinto del que circula por el circuito primario, y que se evapora en un rango de temperaturas deseado. Al evaporarse asciende por los tubos hasta una cámara de condensación, donde cede el calor al fluido del circuito primario y al condensar baja hasta el extremo inferior del tubo (ver Figura 1.20). Las temperaturas de trabajo en estos captadores serán inferiores a los de flujo directo. Principalmente por el hecho de introducirse una "resistencia" adicional a la transferencia de calor entre absorbedor y circuito primario, la que supone el condensador o cámara de condensación. Estos captadores requieren de una inclinación mínima para su buen funcionamiento, al contrario que los de flujo directo, por lo que su integración arquitectónica y las estructura soporte serán más complejas.

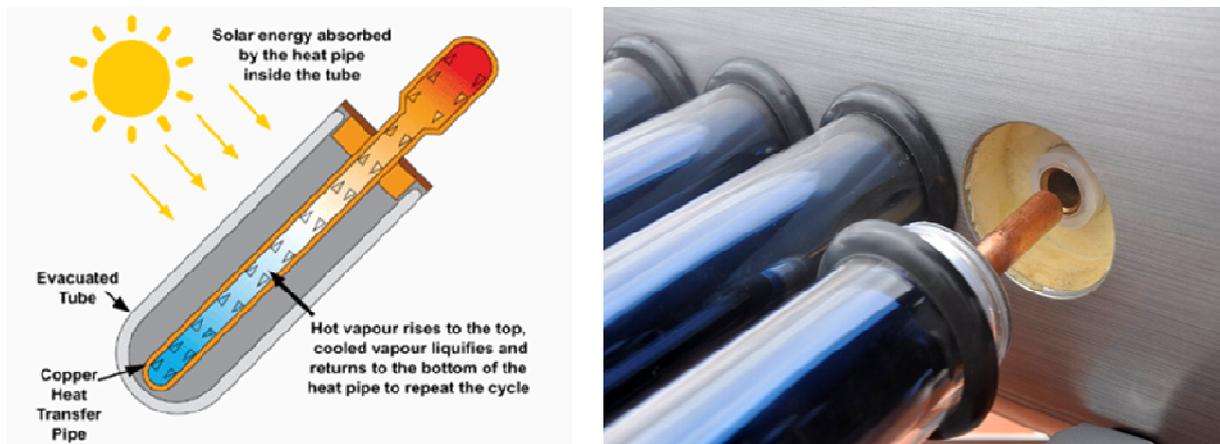


Figura 1.20 A la izquierda esquema que explica el funcionamiento del tubo de vacío con tubo de calor. A la derecha detalle de la parte superior del tubo, donde se puede apreciar el bulbo que hace de cámara de condensación

Los captadores de tubo de vacío pueden, por tanto, alcanzar temperaturas superiores a los captadores planos. Además, sus pérdidas serán menores como consecuencia de su mejor aislamiento térmico. Por contra, estos captadores conllevarán mayores temperaturas de estancamiento, con lo que los materiales empleados deberán ser más resistentes a altas cargas térmicas en estos captadores, incrementando el coste. Así mismo, el vacío necesario en el interior de los tubos también repercutirá en los costes.

Estos captadores son especialmente útiles para aplicaciones que requieran temperaturas medias, como sistemas de climatización o procesos industriales. Su uso se verá recompensando en lugares especialmente fríos, donde las bajas temperaturas del ambiente tenderán a incrementar las pérdidas.

Por último, para cerrar este apartado sobre captadores, cabe destacar algún diseño novedoso que se ha desarrollado combinando principios de captadores comentados anteriormente con las ventajas que ofrece la reflexión. En particular podemos encontrar diseños basado en la tecnología de tubos de vacío, a los que se le añade una superficie reflectora aumentando la incidencia de radiación en el absorbedor. Una de estas tecnologías de reflexión es conocida con las siglas CPC (reflector cilindro-

parabólico compuesto), que toma su nombre del perfil de doble parábola que los caracteriza. Existen diversos diseños. En la Figura 1.21 presentamos uno de ellos, donde el reflector está fuera del tubo de vacío. Existen diseño que incluyen el reflector dentro del tubo de vacío.

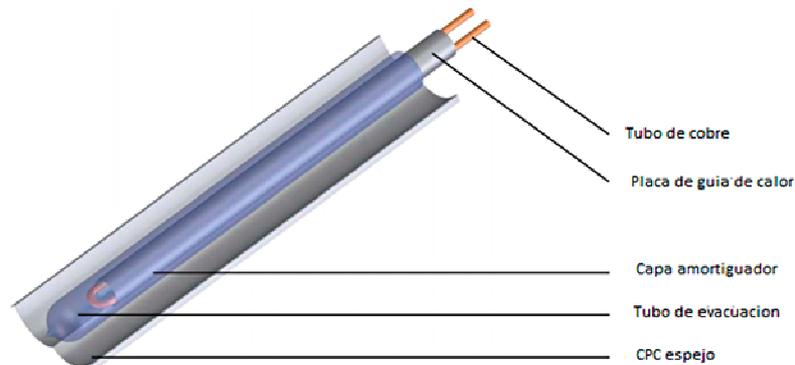
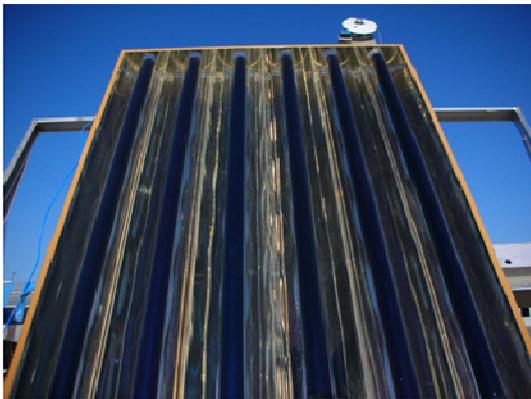


Figura 1.21 A la derecha, esquema de un tubo del captador CPC que está a la izquierda.

Estos captadores se justifican por el hecho de que, al aprovechar más fracción de la energía solar que llega a la apertura del mismo, pueden colocarse menos tubos de vacío y así el coste se reduce. En el diseño donde el reflector está fuera del tubo, como en el de la Figura 1.21, es importante mantener el reflector limpio en todo momento.

1.3.2.4 Acumuladores e intercambiadores de calor

En este apartado pasamos a describir los dispositivos que configuran los subsistemas de acumulación e intercambio, las distintas variantes y posibilidades constructivas que encontramos con más frecuencia en las instalaciones. Lo hacemos en un mismo apartado porque, con frecuencia, se integran juntos en la instalación, con soluciones que ofrecen una mayor compacidad y mejor resultado estético.

1.3.2.4.1 Justificación de la acumulación y el intercambio de calor

Si dispusiéramos de radiación solar de forma ininterrumpida el agua caliente podría servirse directamente al consumo, y no sería necesario acumularla. Para ajustar el desfase que se produce entre demanda y máxima aportación de energía solar se hace necesario acumular una gran masa de agua caliente, para así tener disponible siempre agua lista para el consumo.

Son varias las razones que motivan la introducción de un sistema de intercambio entre el circuito de captadores y el resto de la instalación. En primer lugar debemos considerar que los captadores son los elementos más delicados de todo el sistema. Los pequeños tubos y conductos por los que circula el fluido de trabajo en ellos dificulta enormemente su limpieza o reparación en caso de daño. En este sentido, el agua de consumo puede tener una dureza más o menos elevada dependiendo de la zona, lo que puede dañar los captadores si se producen precipitaciones en sus conductos. Así mismo, el agua de consumo lleva siempre un alto contenido de oxígeno disuelto, lo que podría provocar daños por corrosión. Por último, en algunas zonas las bajas temperaturas nocturnas pueden provocar que el fluido que circule por los captadores se congele. Si circula agua de consumo no podríamos utilizar aditivos como anticongelante, y la operación de los captadores al día siguiente se vería dificultada.

1.3.2.4.2 Tipos de acumuladores

1.3.2.4.2.1 Acumuladores de ACS

Estos acumuladores son los más habituales. Toda pequeña instalación doméstica dispone de uno de ellos. Almacenan agua caliente de consumo, por lo que se deberá prestar especial atención a los efectos corrosivos debido a la presencia de oxígeno en el agua potable. Podemos encontrar acumuladores de ACS en distintas partes de la instalación.

El caso más común es el de almacenamiento de la energía solar que captan los colectores, pero también podemos encontrar acumuladores en otros puntos del circuito. Uno de estos casos lo encontramos en grandes instalaciones, especialmente en instalaciones destinadas a ACS y calefacción. En estas instalaciones es habitual la existencia de acumuladores de precalentamiento antes de pasar al sistema auxiliar. Estos acumuladores suelen estar situados a la salida de acumuladores de inercia (que describiremos más adelante), y contienen agua de consumo que se calentará mediante un intercambiador con agua que no es de consumo y que está almacenada en el acumulador de inercia. También podemos encontrar acumuladores de ACS en el circuito de consumo, concretamente en el sistema auxiliar o convencional. Así, el sistema convencional (de ser necesaria su actuación) calentará mediante un intercambiador el agua de consumo de estos acumuladores para ser servida a la temperatura de consigna (ver apartado 1.3.2.6.1.2, pág. 35)

En cuanto a los materiales empleados, el requisito más importante sin duda es que presenten una buena resistencia a la corrosión. Encontramos acumuladores de acero vitrificado, de acero revestidos de plástico, de acerero inoxidable o acero galvanizado.



Figura 1.22 Acumulador de ACS de 1500 litros para instalación solar en un hotel en Cantabria.(Fuente: “Icarus Solar. Energías renovables,”))

1.3.2.4.2.2 Acumuladores de inercia



Figura 1.23 Acumulador de inercia para calefacción por suelo radiante. (“Icarus Solar. Energías renovables,”)

Estos grandes acumuladores suelen usarse en sistemas que combinan producción de calefacción y ACS. El circuito primario transfiere la energía solar captada al acumulador de inercia por medio de un intercambiador. En el acumulador de inercia no se almacena ACS, sino agua de calefacción. Por lo tanto ahorramos en costes debido a que podemos relajar las protecciones contra la corrosión. Así mismo, también podemos relajar las medidas higiénicas y de desinfección. Además, la presión de diseño del acumulador de inercia es mucho más reducida que en el caso de un acumulador de ACS. Mediante un intercambiador conectado al acumulador de inercia se calentará el agua de consumo.

Un variante de estos se denomina acumuladores combinados. En ellos el calentamiento de ACS se hace de una manera más compacta. En la tipología "tank in tank" o "al baño maría", tenemos un pequeño acumulador de ACS sumergido en el acumulador de inercia, y el calor se transmite al agua de consumo a través de la pared del pequeño acumulador, mientras que la energía captada en los colectores se transferirá al acumulador de inercia por un serpentín dispuesto en la parte inferior. Otra tipología son los acumuladores instantáneos, donde un serpentín recorre el interior del acumulador de inercia. Por este serpentín circulará el ACS para su calentamiento.



Figura 1.24 Acumuladores combinados. A la izquierda, "al baño maría".
A la derecha, instantáneo

1.3.2.4.3 Aspectos a considerar para el diseño y mantenimiento de acumuladores

1.3.2.4.3.1 Higiene

La acumulación de grandes volúmenes de ACS es una medida que contradice los requisitos de higiene, que se ven favorecidos por menores volúmenes y reducidos tiempos de retención del agua. Si se alcanzan temperaturas entre 30 y 50 °C bacterias como la legionella ven favorecido su crecimiento de manera veloz, representando un riesgo para la salud pública, especialmente para poblaciones en riesgo, como ancianos y enfermos. Este rango de temperaturas suele presentarse con frecuencia en acumuladores de instalaciones solares, por lo que tendremos que poner especial atención en las medidas higiénicas que estipulan las diversas normativas nacionales a la hora de diseñar el sistema de acumulación de una instalación de ACS. Estas medidas van encaminadas a garantizar la desinfección térmica del agua que se consume, estableciendo mecanismos para someter el agua de consumo a temperaturas de unos 60°C como mínimo, temperatura suficiente para conseguir que el agua esté en condiciones para el consumo.

1.3.2.4.3.2 Aislamiento

Los acumuladores de agua caliente pueden sufrir pérdidas considerables si no se diseñan adecuadamente. Deben de tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

- Relación área/volumen debe ser reducida.
- Todas las conexiones del acumulador con tuberías y otros accesorios deben de estar convenientemente aisladas.
- Todo el acumulador debe de aislarse, incluyendo superficies superior e inferior.
- Las tuberías deben de llevarse hasta el interior del acumulador.

1.3.2.4.3.3 Estratificación

Una masa de agua acumulada tenderá a estratificarse por temperaturas, como todo fluido. Las capas más calientes al ser menos densas se situarán por encima, mientras que las más frías se dispondrán en el fondo. Esta disposición, que se produce de forma natural, es deseable desde el punto de vista de la eficiencia energética. Así, en la parte superior del acumulador tendremos las máximas temperaturas, y comenzaremos a extraer el agua de consumo por ahí. Por otro lado, en la parte inferior del acumulador tendremos las temperaturas más reducidas, temperaturas que serán aproximadamente las del líquido que mandaremos al circuito de captadores (sabemos que a menor temperatura de entrada en los captadores, mejor será el rendimiento de estos). Sin estratificación, las temperaturas máximas disponibles serían menores y las mínimas mayores. El sistema convencional tendría que operar con mayor frecuencia y los captadores verían disminuido su rendimiento, reduciéndose la fracción solar del sistema como resultado.

En este sentido, la estratificación se ve favorecida por acumuladores verticales altos y esbeltos, aunque esto no sea lo más óptimo desde el punto de vista de las pérdidas térmicas. No obstante, en muchas ocasiones se prefieren acumuladores horizontales. Es el caso de los equipos compactos por termosifón, pues presentan una mejor integración arquitectónica

Por último, la carga y descarga de los acumuladores debe de hacerse de tal manera que no se perturbe la estratificación. Algunos diseños incluyen deflectores a tal fin para la toma de entrada de agua fría.

1.3.2.4.3.4 Conexión de varios acumuladores

Aunque se debe de procurar que haya un solo volumen de acumulación (fundamentalmente por pérdidas térmicas) en algunas instalaciones grandes se hace necesario fraccionar el volumen en varios acumuladores, bien sea por motivos de espacio o de distribución de cargas. Tenemos dos posibilidades de conexión: serie o paralelo.

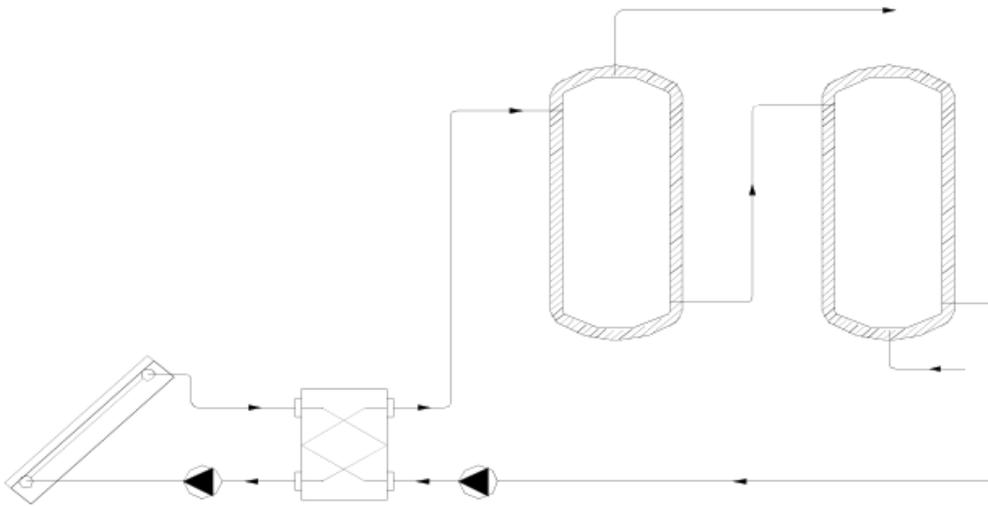


Figura 1.25 Conexión en serie invertida en el circuito de consumo

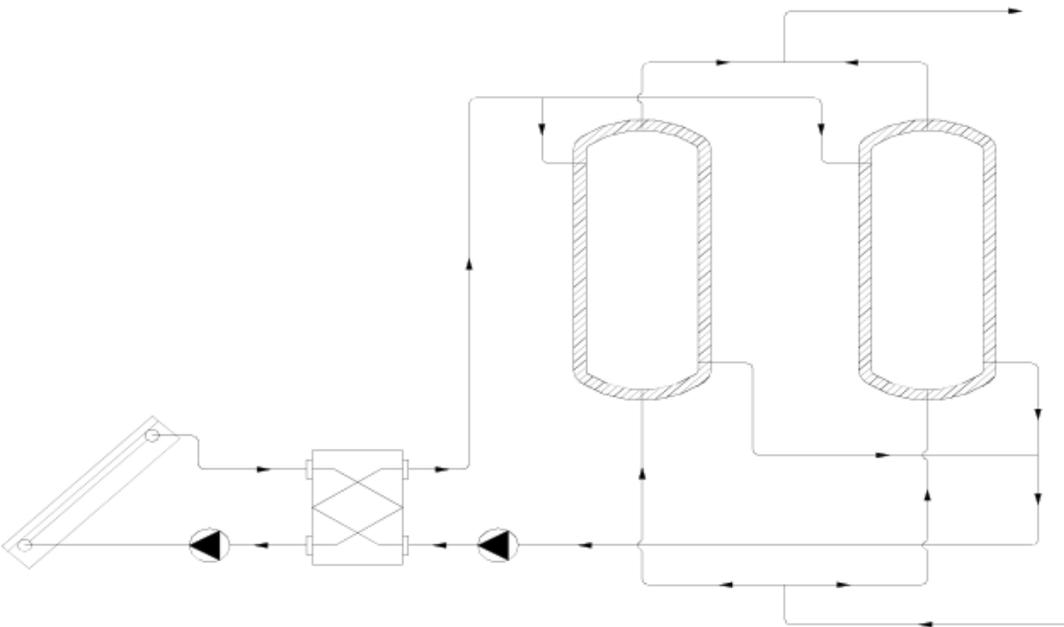


Figura 1.26 Conexión en paralelo con circuitos equilibrados.

1.3.2.4.4 Intercambiadores integrados en el sistema de acumulación

En la mayoría de instalaciones solares domésticas encontramos acumuladores con intercambiadores de calor integrados, formando lo que se denomina interacumuladores. Representan una solución económica, compacta y estética desde el punto de vista de la integración arquitectónica.

Son fundamentalmente dos las tipologías que podemos encontrar. Por un lado, los interacumuladores de doble pared o doble envolvente y por otro los interacumuladores de serpiente.

En los acumuladores de doble pared una doble capa concéntrica rodea al acumulador. Tenemos dos

circuitos independientes así. En el espacio comprendido por la pared interna y la pared externa circulará el fluido proveniente de los captadores, que calentará el agua que tenemos en el interior del interacumulador. Es una solución muy habitual en los sistemas por termosifón, en disposición horizontal.



Figura 1.27 A la izquierda, interacumulador de doble pared. A la derecha, interacumulador de serpentín.

En el caso de los interacumuladores de serpentín, el fluido de trabajo de los captadores circulará por dentro del tubo en serpentín calentando el agua que se almacenará en el interior del acumulador.

Este tipo de soluciones son adecuadas para tamaños pequeños de instalación. Aproximadamente, para volúmenes de acumulación de menos de 1000 litros resultan adecuados. Para volúmenes más grandes debemos recurrir a intercambiadores externos (Romero Tous, 2009)

1.3.2.4.5 Intercambiadores externos

En efecto, en instalaciones con volúmenes de acumulación mayores deberemos recurrir a intercambiadores externos. Estos permiten obtener potencias térmicas mayores que los anteriores, además de que para volúmenes de acumulación grandes los fabricantes nos ofrecen los acumuladores sin intercambiador incorporado.

Los intercambiadores externos más empleados en sistemas de ACS son los intercambiadores de haz de tubos y los intercambiadores de placas.

Los intercambiadores de haz de tubos, o intercambiadores de carcasa y tubo, o multitubulares, están constituidos por una carcasa en forma cilíndrica, generalmente, y un conjunto de tubos dispuestos de tal forma que el fluido que circula por ellos haga uno o varios recorridos (pasos) a lo largo de la carcasa. El otro fluido recorre el intercambiador a contracorriente con el primero por el espacio comprendido entre la carcasa y los tubos. Estos intercambiadores tienen poca pérdida de carga debido a secciones transversales relativamente anchas, además de ser más resistentes a los efectos de corrosión. Suelen emplearse en sistemas de calentamiento de piscinas normalmente. Por contra, ocupan más espacio.



Figura 1.28 Intercambiador de carcasa y tubo para piscina.

Los intercambiadores de placas están formados por un conjunto de placas paralelas. En el reducido espacio que se forma entre dos placas consecutivas circula el fluido, a contracorriente circulará el otro fluido por el otro lado de las placas. Son los intercambiadores más empleados, sobre todo en instalaciones de ACS. Son muy compactos, con peso muy reducido. Por contra conllevan mayores pérdidas de carga, debido a lo estrecho de los canales por los que circulan los fluidos. Están más expuestos a la corrosión. Suelen ser de acero inoxidable, en cuyo caso no deberán usarse para calentamiento de piscinas, debido a la presencia de cloro en el agua.

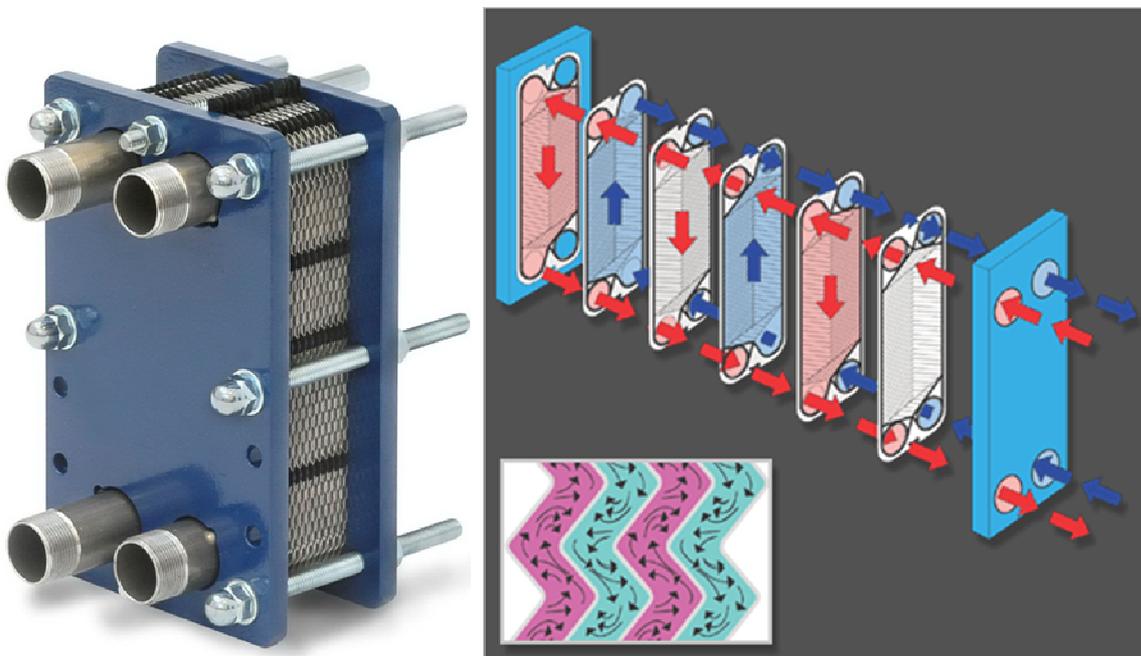


Figura 1.29 Intercambiador de placas. A la derecha, esquema de funcionamiento.

1.3.2.5 Circuito hidráulico

El subsistema hidráulico está constituido por elementos como tuberías, válvulas, bombas, vasos de expansión y demás accesorios necesarios para establecer el movimiento del fluido por los distintos elementos que forman parte del sistema. Un buen diseño del mismo será clave para que la instalación funcione correctamente.

1.3.2.5.1 Tuberías

La red de tuberías representa la estructura de la instalación, sus "cimientos". Es un elemento importante de la misma. Un mal diseño o montaje afectará negativamente al funcionamiento de la instalación.

Los materiales empleados más frecuentemente en el circuito primario son el cobre y el acero inoxidable. En el secundario, además de estos dos anteriores, se permite el uso de materiales plásticos. El cobre es el más habitual por sus propiedades: buenas propiedades mecánicas, resistencia al fuego, buen comportamiento frente a temperaturas y presiones extremas, impermeabilidad y resistencia frente a la mayoría de agentes externos, evita el desarrollo de gérmenes patógenos (en concreto no favorece la proliferación de la legionella), reciclable. Además, el cobre es un material tan usado en instalaciones de diversos usos (agua, gas, calefacción, etc.) que las dimensiones de tuberías y accesorios están normalizados, siendo fácil encontrarlos en cualquier parte.



Figura 1.30 Tuberías y accesorios de cobre.

Como buenas prácticas de diseño, se deberá procurar minimizar la longitud de tuberías y que la red sea lo más recta posible, con objeto de reducir pérdidas térmicas y de carga. Además, el circuito deberá diseñarse para que esté equilibrado en la medida de lo posible. Las tuberías a la intemperie deberán aislarse convenientemente con objeto de reducir las pérdidas térmicas.

1.3.2.5.2 Válvulas y otros accesorios

Las válvulas son elementos que permiten regular el paso del fluido. Encontramos válvulas de diversa tipología según sea el sistema de interrupción de flujo: válvulas de esfera, válvulas de asiento, de resorte, de clapeta, etc. Y según la función que realicen dentro del circuito: válvulas de paso, de seguridad, antirretorno, equilibrado o termostáticas.

Las válvulas de paso se emplean para interrumpir la circulación de fluido por las tuberías y elementos del circuito y así poder separar una parte de la instalación. Como válvulas de paso se emplean: válvulas de esfera o bola y de asiento.



Figura 1.31 Válvulas de bola (izqda.) y asiento.

Las válvulas de seguridad tienen como misión limitar la presión en un circuito. Son válvulas de resorte y, como tal, disponen de una rosca conectada a un muelle que se gira para establecer una mayor o menor presión de tara. Si se sobrepasa dicha presión, la válvula se abre permitiendo el paso de fluido para rebajar la presión en el circuito. La presión de tara debe de establecerse a partir del elemento que soporta una menor presión de trabajo.



Figura 1.32 Válvula de seguridad.

Las válvulas antirretorno se utilizan para asegurar que el fluido circula en el sentido deseado. Suelen ser válvulas de clapeta que permiten la circulación en un solo sentido. Cuando llega fluido en el sentido opuesto la clapeta impide el paso.



Figura 1.33 Válvula antirretorno.

Si un circuito no está equilibrado, circulará más caudal por las ramas donde se ofrezca menor resistencia, por lo que habrá zonas que recibirán menos caudal del esperado y otras donde se recibirá más. Las válvulas de equilibrado son elementos que se usan para añadir pérdidas de carga en el circuito, con objeto de garantizar el equilibrio del mismo. Pueden ser de equilibrado manual o equilibrado automático. Para trabajar con las de equilibrado manual, se requiere tiempo, pues el proceso es iterativo. Las de equilibrado automático trabajan manteniendo constante el caudal que circula por ellas. Para evitar trabajar con estas válvulas es una práctica recomendable diseñar el circuito de por sí equilibrado.



Figura 1.34 Válvulas de equilibrado manual (izqda.) y automático.

Como protección frente a las altas temperaturas que se pueden dar en ocasiones en las instalaciones solares, particularmente en el acumulador, bien sea por las variaciones debidas al consumo o a la radiación o por tratamientos de desinfección térmica, se deben instalar válvulas termostáticas para proteger al usuario. Estas válvulas trabajan mezclando agua fría con el agua caliente si se supera un cierto límite.



Figura 1.35 Válvula termostática.

La presencia de aire en el circuito es muy perjudicial para el correcto funcionamiento del sistema, pudiendo provocar corrosión, cavitación en las bombas, empeoramiento del rendimiento de los intercambiadores, etc. Los purgadores son los elementos que nos permiten eliminar este aire del circuito. Deberán colocarse en puntos estratégicos, como el punto más alto de la instalación o en cambios de nivel de tuberías. Adicionalmente, es interesante disponer separadores de burbujas, pues los purgadores no pueden eliminar las microburbujas que se encuentran en suspensión en el fluido.



Figura 1.36 Purgador de aire manual (izqda.) y separador de burbujas.

En algunos emplazamientos y localizaciones, la presión de la red de suministro puede ser demasiado alta para que la instalación funcione correctamente. En caso de que sea necesario, los reductores de presión consiguen estabilizarla según se desee.



Figura 1.37 Reductor de presión.

Por último, es muy útil disponer de elementos de medida como manómetros o termómetros en algunos puntos del circuito para poder visualizar el comportamiento de la instalación de un vistazo. Debemos colocar como mínimo dos manómetros, uno en el circuito primario y otro en el secundario. En cuanto a los termómetros, se suelen colar en los acumuladores y en las salidas de los intercambiadores de calor.

1.3.2.5.3 Vasos de expansión

En muchos momentos a lo largo del año, la energía recogida por los captadores será superior a la demandada. Esto se debe fundamentalmente a que demanda y disponibilidad de radiación solar están desfasadas, como bien sabemos. Como consecuencia, en el circuito primario se podrán alcanzar temperaturas que pueden llegar a provocar la evaporación de buena parte del fluido de trabajo, aumentando así la presión en el circuito por encima de lo establecido. Para proteger los elementos del circuito y evitar el disparo continuado de las válvulas de seguridad (con la consecuente pérdida de fluido de trabajo), se instala un vaso de expansión, que no deja de ser un recipiente para recoger el líquido desplazado como consecuencia de las variaciones de temperatura, y así mantener la presión en el circuito dentro del rango admisible.



Figura 1.38 Vasos de expansión. Abierto (izqda.) y cerrado.

Existen dos tipologías: abierto y cerrado. El abierto trabaja a presión atmosférica y está en desuso debido a sus muchos inconvenientes: hay fluido en contacto con el aire atmosférico, con el consecuente aumento de riesgo de corrosión, la suciedad se introduce fácilmente en el circuito, se producen pérdidas de calor y de fluido por evaporación y rebosamiento. Por contra, los vasos cerrados no presentan ninguna de estas desventajas y actualmente son bastante económicos.

1.3.2.5.4 Bombas de circulación

La función de las bombas en nuestra instalación es procurar la circulación del fluido por los distintos circuitos que conforman nuestro sistema, venciendo las resistencias que los elementos que forman parte del mismo ofrecen a la circulación de fluido. Excepto en el caso de una instalación por termosifón, el resto de instalaciones requerirán de una bomba al menos.

Las bombas empleadas son centrífugas. Disponen de un pequeño motor eléctrico que acciona el rodete. En función de la forma de conexión a la instalación, podemos distinguir entre bombas en línea y bombas de bancada. Las bombas en línea tienen las bridas de impulsión y aspiración alineadas, y se suelen emplear en pequeñas y medianas instalaciones. Las bombas de bancada se instalan sobre una bancada hasta la que se hacen llegar las tuberías. Son comunes en instalaciones grandes.

En función de la manera de unir el motor con la bomba, podemos distinguir entre bombas de rotor húmedo y de rotor seco. En las bombas de rotor húmedo, el fluido moja el rotor y los cojinetes, refrigerándolos y aportando lubricación. Son usuales en instalaciones pequeñas y apenas requieren mantenimiento. Por contra, en las bombas de rotor seco, un ventilador es el encargado de la refrigeración, teniendo que estar el eje engrasado para su lubricación. Se emplean en instalaciones grandes y sí requieren de mantenimiento.



Figura 1.39 Bombas de rotor húmedo (izqda.) y rotor seco.

En cuanto a las bombas que se instalan en el circuito primario, deben ser capaces de resistir las altas temperaturas que se pueden producir en el mismo, que pueden llegar hasta los 130 °C en la impulsión. Las bombas suelen instalarse en la tubería de retorno, pues las temperaturas suelen ser mínimas ahí, aunque pueden alcanzar perfectamente los 100 °C en períodos de trabajo tras un estancamiento a una irradiancia elevada, por lo que se deberá consultar con el fabricante a fin de confirmar la aptitud de la bomba para estas condiciones extremas.

Otros requisitos importantes que las bombas de nuestra instalación deben cumplir son: funcionamiento con alto rendimiento en el punto de operación, resistencia a la corrosión, compatibilidad de la bomba del circuito primario con el fluido de trabajo, coste asumible, larga vida útil.

1.3.2.6 Subsistema auxiliar

Debido a la falta de continuidad del recurso solar, se hace necesario contar con un sistema auxiliar de energía convencional que garantice la continuidad del servicio en todo momento, debiendo diseñarlo para cubrir el servicio como si no se dispusiera de aporte solar. El sistema auxiliar deberá entrar en funcionamiento únicamente cuando sea estrictamente necesario, dando prioridad a la energía solar.

Disponemos fundamentalmente de tres tecnologías: calderas convencionales o estándar, calderas de baja temperatura y calderas de condensación. Las calderas de baja temperatura pueden reducir la temperatura de impulsión a los emisores hasta valores de 35 y 40 °C aproximadamente. Las calderas de condensación, además de reducir la temperatura de impulsión, pueden aprovechar el calor latente de condensación del vapor de agua contenida en los humos, lo que no es posible en las calderas convencionales por los daños por corrosión que soportarían. Calderas de condensación y de baja temperatura son más caras que las convencionales, aunque necesitan menos energía para satisfacer las demandas energéticas.

En cuanto a las fuentes de energía convencionales, encontramos gasóleo, gas natural, gases licuados del petróleo, electricidad y biomasa. El gas natural suele usarse en zonas urbanas, debido a la existencia de redes de suministro, mientras que en zonas más rurales se optan por gasóleo y gases licuados del petróleo. La biomasa representa una alternativa más ecológica y respetuosa con el medio ambiente que las fuentes tradicionales citadas. Entre sus ventajas encontramos: un precio más económico que el resto de combustibles, balance nulo de CO₂, bajo contenido de azufre en comparación con las fuentes fósiles, y más seguridad en la fase de transporte del combustible en términos de contaminación y posibles vertidos. De esta manera, la combinación de un sistema de energía solar con una caldera de biomasa supone una opción deseable desde un punto de vista no sólo ecológico, sino también económico.

1.3.2.6.1 Integración del sistema auxiliar en la instalación

Existen varias configuraciones para conectar el sistema convencional con la instalación solar: en serie con el acumulador solar, acumulador convencional en serie con acumulador solar y en paralelo con acumulación solar.

1.3.2.6.1.1 Sistema auxiliar en serie con la acumulación solar.

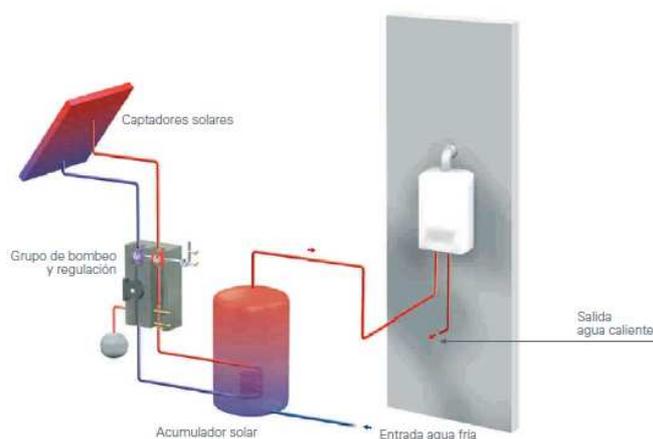


Figura 1.40 Esquema de sistema auxiliar instantáneo en serie con acumulador solar.

El acumulador solar está conectado en serie directamente a un equipo convencional instantáneo. Si el agua a la salida del acumulador solar está a la temperatura de consigna, el equipo no se activará. Si está a una temperatura menor, el equipo entrará en funcionamiento para llevar el agua hasta la temperatura deseada. Estos equipos auxiliares deberán de ser, por tanto, modulantes, es decir, capaces de regular su potencia para que se obtenga la temperatura de consigna a la salida del mismo. Además, estos equipos deberán llevar instalados un sistema automático de mezcla que limite la temperatura de suministro, con objeto de proteger frente a quemaduras a usuarios y a la propia caldera de temperaturas elevadas.

Este tipo de configuración es la más usada cuando la demanda es baja.

1.3.2.6.1.2 Sistema auxiliar con acumulador en serie con la acumulación solar

En este tipo de configuración, el acumulador solar está conectado en serie con el acumulador del equipo auxiliar. El equipo auxiliar actuará sobre su acumulador calentando el agua mediante un intercambiador hasta obtener la temperatura de consigna. Las pérdidas serán mayores, pues la

instalación solar no cubrirá las pérdidas térmicas del acumulador auxiliar, con lo que no deberá sobredimensionarse el sistema auxiliar, si bien dicho sistema deberá diseñarse para poder cubrir toda la demanda como si no existiese la instalación solar.

Esta configuración es habitual cuando la demanda es media o alta. También se usa cuando se quieren conservar acumuladores secundarios ya existentes en la instalación.

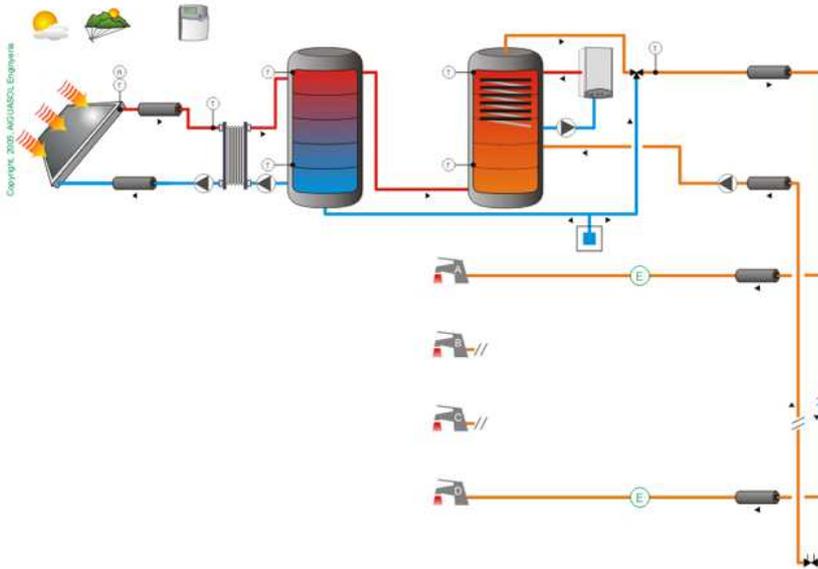


Figura 1.41 Esquema de sistema auxiliar con acumulador en serie con acumulador solar.

1.3.2.6.1.3 Sistema auxiliar en paralelo con acumulador solar

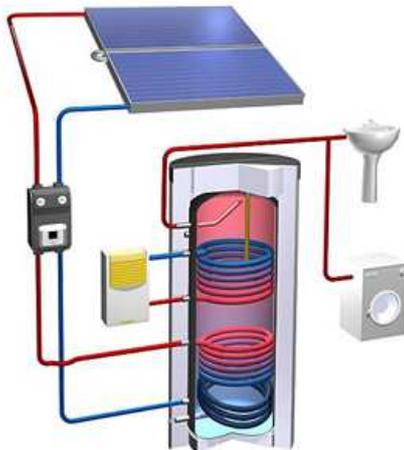


Figura 1.42 Sistema auxiliar en paralelo con el acumulador solar.

En esta configuración, el acumulador solar está dividido en dos partes. En la parte inferior, se entrega la energía tomada en los captadores. En la parte superior, un serpentín conectado al equipo auxiliar calienta el agua, si fuese necesario, para tener la temperatura de preparación deseada a la salida. Esta configuración está desaconsejada, e incluso prohibida, por muchas normativas nacionales. La razón es clara: un mal diseño del conjunto haría trabajar excesivamente al sistema convencional en

detrimento de la instalación solar, debido a que la caldera tendería a calentar todo el volumen de acumulación. Una configuración así requiere un diseño cuidadoso y un control exhaustivo. En primer lugar es necesaria una buena estratificación dentro del acumulador, de manera que se asegure que el sistema convencional sólo actúe sobre el agua más caliente del acumulador. Además, es necesario instalar dentro del acumulador dos sondas de inmersión para el control: en la parte superior, la sonda correspondiente al sistema auxiliar, en la parte inferior la sonda correspondiente al sistema de control solar.

1.3.2.7 Subsistema de control

Las instalaciones de energía solar requieren de un sistema de control para que su funcionamiento sea el esperado. En concreto, son dos las tareas que desempeña este subsistema:

- Asegurar el correcto funcionamiento de la instalación para proporcionar la máxima energía solar posible.
- Actuar como protección frente a diversos factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelación, etc.

Los principales elementos que lo componen son:

- Sensores.
- Termostato diferencial.
- Actuadores.

1.3.2.7.1 Sensores

Constituyen las entradas del sistema de control. Son los elementos que permiten recoger la información del estado de la instalación. Los sensores más habituales son: sensores de temperatura, sensores de irradiancia, sensores de flujo y sensores de presión.

-Sensores de temperatura

Son dispositivos que transforman cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas. Su objetivo es el de proporcionar medidas de la temperatura del punto deseado. Entre los más populares encontramos: termoresistencias, termistores y termopares. Los dos primeros se basan en variaciones de la resistencia eléctrica de algunos materiales (conductores y semiconductores) frente a variaciones de temperatura. Los termopares se basan en el efecto termoeléctrico.

Para una medida correcta, deberemos de seleccionar las sondas adecuadas y ubicarlas en los puntos que nos ofrezcan una medida fiel. Existen dos tipos de sondas: de contacto y de inmersión. Las de contacto se colocan en la tubería por la que circula el fluido del que deseamos obtener la medida. Las de inmersión se introducen en el seno del fluido mediante vainas y otros accesorios. Preferentemente se optará por las de inmersión por representar una medida más fiel.

- Sensores de irradiancia

Se utilizan para medir la radiación solar incidente

- Interruptores de flujo

Para controlar el flujo. Un conmutador magnético se cierra cuando se detecta la circulación de fluido.

- Transductores de presión

Emiten una señal eléctrica proporcional a la presión a la que están sometidos.

1.3.2.7.2 Termostato diferencial

Denominado "centralita" de forma genérica. Básicamente se trata de un dispositivo que abre o cierra un circuito eléctrico en base a una diferencia de temperaturas. Como mínimo disponen de dos entradas para sondas de temperatura y una salida para el arranque de la bomba. Una de las sondas se colocará a la salida de los captadores, en la parte superior de los mismos, y la otra en la parte inferior del acumulador, en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste estuviese incorporado. En función de la diferencia entre estas temperaturas se pondrá en marcha o se parará la bomba del circuito primario. Se trata del mínimo exigible en cuanto a sistemas de control para una instalación solar. Además de esta regulación básica, podemos adjudicarle otras funciones:

- Función de termostato para algún elemento, de tal forma que la centralita modifique su estado tras alcanzar alguna temperatura.
- Limitación de la temperatura de acumulación, así como de la temperatura en los captadores
- Protección contra heladas en los captadores, poniendo en marcha la bomba cuando la temperatura descienda a partir de un cierto valor.

Otras funciones puede desempeñar dependiendo de la centralita. Si la instalación es demasiado compleja desde el punto de vista del control, deberemos recurrir a autómatas programables.

1.3.2.7.3 Actuadores

Son los elementos de la instalación gobernados por la centralita como respuesta a alguna medida aportada por algún sensor. Modifican el funcionamiento de la instalación.

Los más habituales son las bombas de recirculación y las válvulas.

1.3.2.8 Tipos de instalaciones

1.3.2.8.1 Sistemas directos e indirectos

En lo referente a la forma de intercambio de calor entre circuito primario y secundario, las instalaciones pueden ser con intercambio directo o indirecto.

En las instalaciones con intercambio directo, no existe un subsistema de intercambio, y por tanto por los colectores circulará el agua de consumo que posteriormente será entregada a los usuarios. Como comentábamos en el apartado dedicado a los subsistemas de intercambio y acumulación, esta tipología de instalación presenta riesgos considerables (calidad del agua, heladas, corrosión, etc.) por lo que no son muy habituales, estando su uso desaconsejado e incluso prohibido por algunas normativas nacionales. En climatización de piscinas podemos encontrar esta variante.

En las instalaciones con intercambio indirecto, existe un circuito primario con un fluido de trabajo normalmente formado por una mezcla de agua y glicol, y un circuito secundario tras el intercambiador de calor por el que circulará el agua de consumo ya calentada. Es la tipología más usada y recomendada.

1.3.2.8.2 Sistemas con circulación natural y con circulación forzada

En las instalaciones donde el fluido circula de manera natural, bajo el efecto de termosifón, sin necesidad de bombas por tanto, es importante una buena disposición de los elementos del circuito así como un buen diseño del mismo, de manera que no se produzcan pérdidas de carga excesivas que

dificulten la circulación natural del fluido. En concreto, es importante que el depósito de acumulación se sitúe una mínima distancia por encima de los captadores, para favorecer la circulación del fluido caliente a la salida de los captadores hacia la parte superior del acumulador, y para promover el descenso del fluido frío del fondo del acumulador hacia la entrada a los captadores. Así mismo, se necesitarán tramos rectos de tuberías con secciones no muy reducidas, y escasos elementos accesorios que añadan pérdidas de carga adicionales.

Estas instalaciones funcionan por lo general sin consumo de electricidad, no habrá sistema de control por lo tanto. No obstante, dispondrán de válvulas termostáticas para poder limitar la temperatura del acumulador y, por supuesto, válvulas de seguridad. Son por lo general válidos para pequeñas instalaciones compactas de uno o dos captadores, que podemos encontrar en viviendas unifamiliares. Suelen disponer en la parte superior de los captadores de un depósito de acumulación horizontal de doble envoltente, ya que es la tipología que menos pérdida de carga conlleva. Su uso está extendido en países de zonas climáticas cálidas, por el bajo riesgo de heladas.

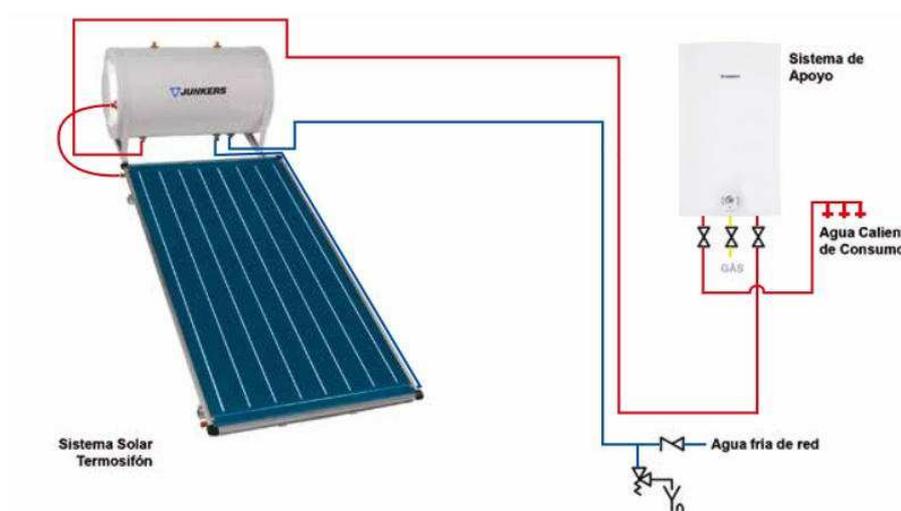


Figura 1.43 Esquema sistema por termosifón

En las instalaciones donde la circulación del fluido es forzada, tendremos como mínimo una bomba en el sistema, que estará instalada en el circuito primario, en la tubería por donde el fluido frío se mueve desde el fondo del acumulador hasta la entrada a los captadores. Los captadores pueden estar a una distancia mucho más grande del acumulador en comparación con las instalaciones por termosifón. Esta tipología de sistema se hace indispensable cuando la instalación es lo suficientemente grande como para impedir que las fuerzas ascensionales provoquen la circulación natural del fluido. Será por lo tanto el sistema predilecto en instalaciones de viviendas multifamiliares o grandes edificios (hoteles, hospitales, etc.). Este sistema tiene la ventaja de permitir el control preciso del sistema, además de evitar la aparición de flujo invertido y poder combatir las heladas, además de poderse integrar muy bien arquitectónicamente.

1.3.2.8.3 Instalaciones para edificios multivivienda o grandes edificios de usuario único

En edificios grandes o de varias viviendas, el esquema general de la instalación vendrá determinado por la elección del sistema de apoyo convencional: centralizados o individuales. La combinación del sistema auxiliar con la acumulación define los distintos tipos de esquemas de principio que podemos encontrar.

Los sistemas de energía convencional centralizados están destinados a grandes consumos

pertenecientes a usuarios únicos, como hoteles, residencias, hospitales, etc., o a uso residencial colectivo cuando se estipula en el proyecto. Existe un único sistema de generación de energía para todo el edificio que es compartido por todos los usuarios en el caso de varias viviendas. Presentan la ventaja de una mejor regulación del consumo de la energía y mayor eficiencia, si bien su mantenimiento es más complejo y costoso. Requieren además de un espacio para cuarto de calderas que puede ser de dimensiones considerables en función del tamaño de la instalación. Se trata de la mejor solución para un edificio de nueva construcción.

Los sistemas de energía convencional individuales están destinados a uso residencial de viviendas individuales y a uso residencial colectivo cuando así se estipula en el proyecto. Como ventajas tenemos una mayor flexibilidad en el uso y la disposición, y un control y gestión individualizado. Como desventaja tenemos una menor eficiencia.

En cuanto a la acumulación en edificios multivivienda, podemos encontrar acumulación centralizada, en el caso de que sólo exista un sistema de acumulación solar para todo el edificio, ó acumulación distribuida, en el caso de que la acumulación se dé en cada vivienda.

Así, combinando los distintos tipos de sistema convencional y acumulación encontramos una diversa gama de instalaciones, siendo los principales esquemas de principio:

- Instalaciones donde todo está centralizado (captación, acumulación y apoyo)
- Instalaciones con captación y acumulación centralizada y apoyo individual
- Instalaciones con captación centralizada, acumulación distribuida y apoyo individual
- Instalaciones con todo individual.

1.4 Análisis bibliográfico

Con el objetivo de fundamentar el análisis comparativo de la normativa existente para predicción del rendimiento de sistemas solares de ACS, hemos procedido a recopilar distintos artículos en revistas, informes y reviews que analizan las diversas normativas que organismos nacionales e internacionales han publicado sobre el tema. La mayoría de estos artículos basan su análisis en estudios donde se aplican los procedimientos detallados en las normas a varios sistemas de ACS, para posteriormente analizar los resultados en términos de precisión de los resultados, funcionalidad y aplicabilidad de los ensayos.

Pasamos a realizar una reseña de cada artículo usado a tal efecto:

Wood & Rogers, 1987

Este trabajo, es un informe técnico elaborado para la Agencia Internacional de la Energía. Concretamente, el informe fue realizado dentro del Programa de Climatización y Refrigeración Solar (SHC, Solar Heating and Cooling Programme), para el Proyecto III: *Performance Testing of Solar Collectors*, subproyecto E: *Development of a Capability to Evaluate Domestic Hot Water System Performance Using Short-Term Test Methods*.

En este informe, se establecen las distintas aproximaciones para abordar el desarrollo de ensayos para sistemas solares de ACS con objeto de evaluar y predecir el rendimiento, se analizan varias normas y proyectos de norma, como la americana ASHRAE 95 o las normas australianas, describiendo sus principios básicos fundamentales, el estado de desarrollo que tienen los proyectos

de norma y resaltando ventajas e inconvenientes de cada una.

Es un trabajo que pretende ofrecer una visión general sobre las distintas normas y ensayos que existían así como sus características más importantes y la aproximación con que se aborda la cuestión en cada una de ellas para, posteriormente, evaluar cada una en relación a las demás.

Morris, Dutkiewicz, Eberhard, & Venter, 1991

Artículo publicado en la Journal of Energy R&D in Southern Africa. Se trata de un artículo que presenta el resultado de la primera fase de un trabajo de investigación llevado a cabo por la Energy for Development Research Centre (EDRC) con apoyo del National Energy Council (NEC), ambas instituciones sudafricanas, naturalmente. El objetivo de este trabajo era el de dotar a Sudáfrica de unas normas para sistemas solares de ACS consistentes y con una base científica rigurosa que las respalde. En este artículo, se realiza un análisis de normas ya existentes a nivel nacional e internacional y de proyectos de normas con objeto de detectar características deseables para las futuras normas sudafricanas, así como para estudiar la posibilidad de adaptar a las particularidades de Sudáfrica algunas características y procedimientos de estas normas ya existentes. Se analizan normas como la promulgada por ASHRAE, las normas australianas (AS 2813-1985; AS 2984-1987), el proyecto de norma europeo del grupo CSTG (que desembocaría en la parte 2 de la norma ISO 9459) y el proyecto de norma ISO (que se concretaría en las 5 partes de la ISO 9459 más adelante).

Proctor & James, 1986

Este artículo trata sobre la norma australiana AS 2813-1985. Describe sus fundamentos racionales y los principios que hay en ella. Es un artículo que explica cómo la norma fue concebida y cómo se desarrolló, detallando las características de las herramientas con las que se ideó, como el simulador solar CSIRO o el modelado informático de los sistemas empleados para los ensayos. Se valora así mismo la precisión de los resultados y cómo deben usarse los mismos para predecir el rendimiento del sistema bajo distintas condiciones ambientales.

*Nota importante: en el transcurso de nuestra investigación a cerca del estado de la cuestión, y tras contactar con Standards Australia, se confirmó que la referida norma ha sido recientemente retirada

Joshi, Bokil, & Nayak, 2005

Este artículo presenta una revisión de tests y ensayos de normas aplicables a sistemas solares de ACS por termosifón. En primer lugar, se realiza una revisión de diversas normativas aplicables para sistemas por termosifón, comparando aspectos teóricos y procedimentales de las mismas. En segundo lugar, se procede a aplicar tres ensayos correspondientes a tres de estas normas (la norma japonesa JIS A 4111:1997, la norma china CNS B 7277: No.12558-1989, y la norma internacional ISO 9459-2) a dos sistemas por termosifón diferentes (con la particularidad añadida de que la tecnología de colectores en uno de ellos es de colector plano y en el otro de tubos de vacío). Los ensayos fueron realizados en la misma localización y con condiciones ambientales similares, obteniéndose los parámetros característicos de ambos sistemas según las normas. Posteriormente se realizó unos análisis de sensibilidad con objeto de estimar los efectos por errores de medida introducidos en los valores de los parámetros estimados según cada norma.

Kaloudis, Caouris, Mathioulakis, & Belessiotis, 2010

En este artículo, se realiza una comparación de las partes 2 y 5 de la ISO 9459 (métodos CSTG y DST para predicción del comportamiento y rendimiento de sistemas solares de ACS). En primer lugar, se explican los fundamentos teóricos y procedimentales del método que implementa cada norma. Posteriormente, se aplican los ensayos de cada norma a un mismo sistema solar de ACS bajo condiciones climáticas similares, de acuerdo a las respectivas normas naturalmente. Finalmente, se establece una comparación cuantitativa de ambos métodos en base a los resultados experimentales, y una comparación cualitativa en términos de funcionalidad y aplicabilidad de estos métodos.

Carvalho & Naron, 2001

Este artículo se basa en el trabajo realizado en el proyecto "*Bridging the gap: research and experimental validation on the DST performance test method for sola domestic water heaters*", enmarcado en el Programa Europeo SM&T (Standards, Measurements and Testing). En este proyecto se procedió a la comparación experimental de los métodos DST y CSTG de la norma ISO 9459 para estimar y predecir el comportamiento y rendimiento de sistemas solares de ACS. Los ensayos de ambos métodos se aplicaron a una serie de sistemas representativos del mercado europeo. En base a los experimentos del proyecto, en este trabajo se presentan los resultados de esa comparación y se proponen factores de conversión entre ambos métodos.

Guthrie, Huggins, Zinian, & Chandrasekare, 2012

En este artículo se describen normas y proyectos de norma internacionales elaboradas por el comité ISO TC180. En concreto se presenta a este grupo, explicando la función y composición que tiene. Posteriormente, se describe el proyecto de norma internacional sobre colectores solares y posteriormente el conjunto ensayos internacionales aplicables a sistemas completos, aglutinados en las distintas partes de la norma ISO 9459.

García-Valladares, Pilatowsky, & Ruíz, 2008

En este artículo se presenta una revisión de algunas normas internacionales sobre el tema para, posteriormente, proponer un método de ensayo sencillo y económico, pensando especialmente en los países en vías de desarrollo, algunos de los cuales no disponen de una norma nacional ni de infraestructura suficiente para poder aplicar las normas internacionales.

Fischer & Drück, 2014

Este breve artículo se corresponde con una ponencia del 2013 ISES Solar World Congress. En él, se detallan avances y últimos desarrollos y novedades en el esquema normativo y certificativo internacional.

Morrison & Wood, 1995

En este trabajo presentado en el ISES 1995 Solar World Congress (Harare) se hace una descripción y presentación de las normas internacionales ISO 9459. Se describen y explican los distintos ensayos, aproximación desde la que se abordó la elaboración de cada uno de ellos, su aplicabilidad y sus requerimientos.

Bourges et al., 1991

Este artículo se divide en dos partes. En él se analiza el método de ensayo y predicción del rendimiento y comportamiento de los sistemas solares de ACS propuesto por el grupo CSTG europeo que desembocaría en la parte 2 de la norma ISO 9459. En la primera parte (Bourges et al. part 1, 1991), se estiman los errores y exactitud del procedimiento, concretamente de los parámetros que se estiman en los ensayos. En la segunda parte (Bourges et al. part 2, 1991) se derivan las consecuencias que estos errores en los parámetros tienen a la hora de predecir el rendimiento a largo plazo de los sistemas.

2 NORMAS TÉCNICAS



AENOR



SOLAR RATING
& CERTIFICATION
CORPORATION™



2.1 Introducción

2.1.1 Origen y antecedentes de la normalización

La normalización siempre ha formado parte de la vida del hombre, en mayor o menor grado de detalle. Más aún, podría decirse que la normalización es una característica o tendencia que presentan sistemas de diversa naturaleza gobernados por ciertas "leyes". Así, de acuerdo con la opinión de Sanders (1972), la normalización no supone ninguna novedad como sí lo fue la aparición de la Aeronáutica Espacial por ejemplo, pues *los sistemas planetarios, el nido de una golondrina o el panal que construyen las abejas son ya ejemplos extraordinariamente precisos de norma industrial*, siendo lo único novedoso a este respecto *la forma en que los hombres del siglo XX la han abordado*. Por tanto, si bien en muchos sistemas naturales, de manera especial en los organismos vivos, se produce una tendencia a la "normalización" de procesos, esto es, a la ordenación de estructuras y elementos con esquemas frecuentes, a la ejecución de determinadas tareas siguiendo un patrón común, etc., en el caso específico a que nos referimos en este trabajo (normalización técnica), se da un salto cualitativo. Y este "salto" tiene lugar cuando el hombre moderno contempla la naturaleza, contempla la propia actividad que él mismo realiza y descubre disparidades, formas de proceder obsoletas e imperfectas que se convierten en algo molesto y problemático para la consecución del objetivo común del bienestar social. Cuando el hombre da respuesta a esta situación, de tal manera

que se establecen formas de proceder colectivas más adecuadas, más ordenadas y consensuadas, comenzamos a acercarnos al concepto de normalización que se maneja hoy día.

La consecución de lo que hoy llamamos "normalización" o "estandarización", siguió un camino gradual y dilatado en el tiempo, como suele suceder en tantos ámbitos. Así, a lo largo de la historia, encontramos una serie de hitos y ejemplos que dan cuenta de este "salto cualitativo" del que hablábamos anteriormente y que constituyen precedentes de lo que hoy entendemos por normalización. Hemos de afirmar, en primer lugar, que una norma o recomendación técnica per se no tiene carácter jurídico. Y no lo es, ni pueden serlo, porque los autores que las elaboran no son Fuentes del Derecho. Efectivamente, la normalización técnica es un claro exponente de lo que en derecho se conoce como autorregulación social (Tarrés Vives, 2003). No obstante, la distancia entre jurisprudencia y normalización ha sido variable a lo largo de la historia. Si bien una norma no es ley, han existido y existen leyes que hacen referencias a normas técnicas, de tal manera que el ajuste o no de una actividad a una norma ha podido, puede y podrá tener consecuencias jurídicas. En esta línea, y para ilustrar lo dicho anteriormente, exponemos como un primer hito histórico en los antecedentes de la normalización un numeral del antiguo Código de Hammurabi (entorno al 1700 a.C.). En él encontramos: §233 *Si un albañil ha edificado una casa para un señor y no ha ejecutado su trabajo siguiendo las normas y un muro se ha inclinado, ese albañil a sus propias expensas reforzará el muro* (Lara Peinado, 1992) Otras traducciones sustituyen el término "normas" por "proyecto". Lo que está claro es que desde la legislación se ha prestado atención a la cuestión de la ordenación y estándares técnicos como algo externo a la propia legislación, pero no por ello menos útil o importante para la vida de las personas. Podemos dar ahora un salto hacia la Edad Media para encontrar en los Gremios otro hito más. Es clara en esa época la ausencia del Estado, no así de las asociaciones civiles que, como los Gremios, ordenarán buena parte de la vida de la sociedad. Así, en las Ordenanzas Gremiales, se explicitaban el qué, cómo y cuándo de una actividad artesanal, estando reconocidas estas ordenanzas por la autoridad. Así lo indica Tarrés Vives (2003):

En los estatutos gremiales no sólo se establecía un conjunto de valores religiosos [...], sino que también se contenían de modo detallado los requisitos y procedimientos técnicos en la obra artesana. Así, por ejemplo, en determinados oficios sólo podía trabajarse durante el día, pues el trabajo nocturno, al ser realizado con luz pobre, afectaba a la calidad del producto. También el uso de materias primas era objeto de control (p. ej. aleación de metales). [...], la fabricación se hallaba sometida a una minuciosa reglamentación que debía garantizar su "ley, arte y calidad" de un modo homogéneo para todos los artesanos integrantes de un gremio, de manera que en una misma ciudad fuese indiferente el origen de un mismo producto. (p. 25)

Estas ordenanzas, emanadas de asociaciones "ciudadanas", serían sustituidas paulatinamente por Ordenanzas Reales a medida que nos acercamos la Edad Moderna, de tal manera que con la entrada del absolutismo el Estado irá acaparando un control cada vez más exhaustivo de estas cuestiones, como era de esperar en un estado absoluto. Así pues, la aparición de las Academias en los Estados Ilustrados absolutistas constituye otro hito más de los antecedentes de la normalización. Especialmente relevante para esta temática que abordamos son las academias destinadas a favorecer la colaboración entre las ciencias experimentales y la técnica, siglos XVII y XVIII (Royal Society, Académie des Sciences, etc.). Estas academias surgirán, generalmente, como iniciativa del Monarca, esto es, del Estado. Estableciéndose así una unión muchísimo más estrecha entre el ejercicio de la regulación técnica y el estado en estos siglos que en otros precedentes. Esta nueva relación daría a la reglamentación técnica una categoría más jurídica, llegando a adquirir una rigidez tal que, en ocasiones, terminaría obstaculizando el desarrollo tecnológico. Estas reglamentaciones irían desplazándose a medida que el estado fue mutando de absolutista a liberal, siendo el estado liberal el caldo de cultivo donde nacería el siguiente gran hito para la normalización: la Revolución Industrial.

La Revolución Industrial fue el detonante que forzaría la aparición de la idea de normalización

industrial que tenemos hoy. Concretamente, a raíz de la expansión del ferrocarril y las vías férreas (1850 en adelante), tiene lugar un gran tráfico e intercambio de productos fabricados en la época. Este intercambio puso de relieve la gran disparidad que podía llegar a haber en bienes intermedios destinados a usos idénticos. Este es el caso, por ejemplo, del tipo de rosca de un tornillo o una tuerca, que llevaría a Whitworth en 1840 a plantear la primera estandarización de roscas, y que sería ampliamente usada en toda Europa (Woodward, 1972). Otro ejemplo lo encontramos también en el Reino Unido, en el caso de las secciones de vigas de acero e hierro. Cada arquitecto e ingeniero demandaba un tipo de sección de viga para su proyecto no habiendo secciones normalizadas, con el gran coste que ello suponía en un contexto de demanda creciente. Este caso concreto llevaría a la creación del Engineering Standards Committee en 1901, predecesor de la British Standards Institution. Así pues, observamos cómo la intercambiabilidad demandada a raíz de la Revolución Industrial empujó a la industria a la normalización, creándose instituciones de profesionales independientes a tal efecto. Las dos grandes guerras del siglo XX impulsarían decisivamente el establecimiento de estándares así como el apoyo del estado para la institucionalización de este hecho. Con la creación de estas instituciones ad hoc nace el concepto actual de normalización.

2.1.2 Conceptos de Norma y Normalización

Antonio González de Guzmán, pionero de la normalización en España, define éste término como sigue: "Normalizar es codificar un procedimiento para resolver un problema que se repite con frecuencia, ordenando sus datos con un criterio unificado lógico, y garantizando la solución" (González de Guzmán, 1952). Esta definición pone énfasis en los métodos y procedimientos.

Por su parte, Sanders nos dice que la normalización "es la forma de aplicar y establecer reglas con el fin de poner en orden un campo de actividad determinado, con el interés y concurso de todos los sectores afectados", introduciendo en esta definición, además, la idea de trabajo y consenso entre todas las partes afectadas. Sin duda un elemento clave que acompaña la elaboración de cualquier norma hoy día es precisamente ese, el necesario consenso con que deben ser elaboradas. González de Guzmán argumenta a favor de esta necesidad exponiendo que una norma debe ser útil, lo que está muy relacionado con que sea aceptada por los usuarios. De lo contrario, advierte, no serviría para nada. Así, aunque la propuesta de elaborar una norma concreta sea iniciativa del gobierno, de empresas o de un sector de los consumidores, su elaboración debe llevarla a cabo un organismo que canalice todos estos intereses, de tal manera que todos puedan aportar sus puntos de vista al documento. El protagonismo de los organismos y asociaciones de normalización juegan así un papel fundamental en el concepto de norma que manejamos en el presente.

La AENOR⁴ ofrece una definición poniendo énfasis no tanto en los procedimientos, sino en los resultados, en los efectos. Concretamente, nos dice que la normalización es una respuesta de la industria frente a la preocupación por mejorar la calidad de los productos y servicios como consecuencia de la globalización y el aumento de la demanda. Así, las normas no son más que una serie de especificaciones técnicas que son usadas por empresas e instituciones, de manera voluntaria, como una guía o referencia para probar la calidad y seguridad de sus productos y servicios, sirviendo así de garantía y estímulo para los clientes a la hora de promover el consumo. Además, AENOR afirma que las normas son una base para la enseñanza y la investigación, al aportar información sobre los avances tecnológicos.

⁴ http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/quees_norma.asp#.V-wX1vCLS02

La normalización hoy día se ha extendido de tal forma que si antes se hablaba de la necesidad de normalizar, hoy es un hecho tan extendido, necesario y demandado que "ya no podemos permitirnos no normalizar" (Sanders, 1972, p.1). La normalización ha probado ser tan efectiva en su empeño por organizar una actividad eficientemente que su empleo no se constriñe sólo al campo tecnológico, sino que se extiende a toda actividad humana (AENOR nos dice que existen normas UNE para casi todos los productos, servicios y procesos: Sistemas de gestión, productos y equipos industriales, construcción, productos de consumo, turismo y ocio, instalaciones y equipamiento deportivo, agroalimentación, sanidad, transporte, gestión de la energía, accesibilidad, I+D+i, tecnologías de la información, logística y responsabilidad social.).

Recapitulando, podemos decir que la normalización tiene como objetivo la elaboración de normas para el desarrollo de una actividad concreta. Las normas son documentos con especificaciones técnicas elaborados por organismos independientes, que aglutinan a los distintos actores implicados en dicha actividad. Las normas ordenarán la actividad buscando garantizar la calidad y seguridad de los productos y servicios que genera, sirviendo además de referencia para la investigación y la enseñanza sobre la actividad a que se refiere. Su cumplimiento tendrá carácter voluntario a priori, aunque adquirirán carácter obligatorio si una ley así lo exige.

2.2 Normas y Entidades de Normalización

En este apartado realizaremos un recorrido por distintas entidades de normalización y sus normas aplicables a sistemas solares de baja temperatura para ACS. Nos centraremos en las realidades de los distintos países/regiones: EEUU, Europa, Australia y China. Las razones son varias:

- En primer lugar, todos ellos se encuentran entre los 10 mercados con mayor ratio de capacidad instalada de captadores por habitante. (Capacidad en términos potencia térmica instalada de captadores por cada 1000 habitantes).(Ver *Solar Heating and Cooling Programme (SHC) (2017). Solar Heat Worldwide. IEA*, pág.39)
- En segundo lugar, por razones históricas. No en vano el desarrollo normativo en esta tecnología ha sido liderado por estos países y regiones, especialmente en el caso americano, australiano y europeo (Consultar la bibliografía analizada)

2.2.1 Europa

En Europa, cada país cuenta con un organismo independiente y autónomo que es legalmente responsable del desarrollo y difusión de normas técnicas. Así en España encontramos la Asociación Española de Normalización, UNE (recientemente desligada de AENOR, que pasa a dedicarse en exclusiva a las actividades de certificación), en Francia AFNOR, DIN en Alemania o BSI en el Reino Unido. Son entidades u organizaciones sin ánimo de lucro, privadas, esto es, independientes del poder político, y que aglutinan a las diferentes partes interesadas en el desarrollo de una norma técnica (empresarios, científicos y técnicos, consumidores, universidades, etc.). El estado les confiere legalmente la capacidad para coordinar y organizar la creación de las normas nacionales y la distribución de las mismas, no interviniendo en la entidad ni en sus actividades, garantizándose así su independencia.

La creación de un espacio económico europeo influyó inevitablemente a la normalización técnica. El

nuevo espacio económico posibilitaría e impulsaría el intercambio comercial de productos tecnológicos. Ahora bien, en este nuevo marco, ¿es razonable y coherente promover la movilidad de un producto tecnológico a lo largo de una región exigiéndole a ese producto adaptarse a todos los estándares técnicos de cada uno de los países de dicha región? El nuevo contexto exigía una armonización normativa entre los países participantes del mercado común, a lo que se daría respuesta con la creación de los organismos europeos de normalización: CEN (Comité Europeo de Normalización), CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) y ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación). El campo que nos ocupa, la energía solar térmica, es competencia del CEN en lo que a normalización se refiere. El Comité Europeo de Normalización es la entidad de normalización de referencia a nivel europeo. La conforman las distintas partes interesadas en la normalización europea (industria, investigación científica, federaciones comerciales, universidades, etc.) como es habitual en cualquier entidad de normalización. Lo que la diferencia de las entidades nacionales es que, además de estos actores citados, forman parte muy activa de ella la gran mayoría de las entidades nacionales de normalización del continente (UE y AELC además de otros). Más concretamente, los organismos nacionales de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza

Además, también tienen representación en el CEN entidades gubernamentales supranacionales, como la Comisión Europea y la AELC (Asociación Europea de Libre Comercio). El vínculo del CEN con la UE es muy sólido, pues la legislación europea hace mención directa a las normas europeas de la misma manera que la española lo hace con las normas UNE. Así mismo, es muy fuerte el vínculo de la normalización de los países miembros con el CEN. Esto se refleja en lo que se denomina "regla de *statu quo*": una vez que un proyecto de normalización ha sido adoptado, las entidades nacionales de normalización no pueden desarrollar una norma nacional nueva dentro del campo de aplicación del proyecto, o revisar una norma existente, sin permiso del CEN. Más aún, una vez que una norma europea es publicada, previa aprobación por parte de las entidades nacionales miembros, cada una de esas entidades nacionales está obligada a adoptar la nueva norma como norma nacional y anular todas aquellas normas nacionales que entren en conflicto con esta nueva. Todo ello en aras de la armonización normativa, objetivo primordial de la existencia del CEN.



Figura 2.1 Logo oficial del CEN

Los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos,

Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza

La Norma Europea, EN, es el producto final que obtenemos como resultado de la actividad del CEN. Dentro de la estructura organizativa del organismo, son los Comités Técnicos los responsables del desarrollo de las mismas, y están compuestos por delegaciones de las entidades nacionales de normalización miembros. En el caso de las normas relativas a la energía solar térmica, el comité responsable es el 312, formalmente denominado CEN/TC 312: Thermal Solar Systems and Components.

Las normas elaboradas por este comité son las siguientes:

Código	Título	Estatus
EN 12975-1:2006+A1:2010	Thermal solar systems and components - Solar collectors - Part 1: General requirements	Published
EN 12976-1:2017	Thermal solar systems and components - Factory made systems - Part 1: General requirements	Published
EN 12976-2:2017	Thermal solar systems and components - Factory made systems - Part 2: Test methods	Published
EN 12977-1:2012	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 1: General requirements for solar water heaters and combisystems	Published
EN 12977-2:2012	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 2: Test methods for solar water heaters and combisystems	Published
EN 12977-3:2012	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 3: Performance test methods for solar water heater stores	Published
EN 12977-4:2012	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 4: Performance test methods for solar combistores	Published
EN 12977-5:2012	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 5: Performance test methods for control equipment	Published
EN ISO 22975-1:2016	Solar energy - Collector components and materials - Part 1: Evacuated tubes - Durability and performance (ISO 22975-1:2016)	Published
EN ISO 22975-2:2016	Solar energy - Collector components and materials - Part 2: Heat-pipes for solar thermal application - Durability and performance (ISO 22975-2:2016)	Published
EN ISO 22975-3:2014	Solar energy - Collector components	Published

	and materials - Part 3: Absorber surface durability (ISO 22975-3:2014)	
EN ISO 9488:1999	Solar energy - Vocabulary (ISO 9488:1999)	Published
EN ISO 9806:2013	Solar energy - Solar thermal collectors - Test methods (ISO 9806:2013)	Published
FprEN 12977-1	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 1: General requirements for solar water heaters and combisystems	Under Approval
FprEN 12977-2	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 2: Test methods for solar water heaters and combisystems	Under Approval
FprEN 12977-3	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 3: Performance test methods for solar water heater stores	Under Approval
FprEN 12977-4	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 4: Performance test methods for solar combistores	Under Approval
FprEN 12977-5	Thermal solar systems and components - Custom built systems - Part 5: Performance test methods for control equipment	Under Approval
FprEN ISO 9806	Solar energy - Solar thermal collectors - Test methods (ISO/FDIS 9806:2017)	Approved
prEN 12975 rev	Thermal solar systems and components - Solar collectors - General requirements	Under Drafting

Tabla 2-1: Normas elaboradas por el comité CEN/TC 312

Pasaremos a realizar una breve reseña de cada una:

2.2.1.1 EN 12975-1

La norma tiene por objeto especificar los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad de captadores solares de calentamiento de líquido. Así mismo, ofrece indicaciones para la evaluación de conformidad de dichos requisitos. La norma no es aplicable para los captadores de los sistemas captador-depósito integrados (ICS). Con una modificación introducida recientemente, la norma es aplicable a la mayor parte de los diseños de captadores de concentración, desde concentradores estacionarios sin formación de imagen (non-imaging) como los CPCs hasta diseños de alta concentración con seguimiento.

Los captadores fabricados a medida no pueden ser ensayados bajo esta norma tal cual. No obstante, la norma permite que se ensaye un módulo con la misma estructura que el captador instalado, con al menos 2 m² de superficie total del módulo.

Actualmente se está trabajando en una nueva versión de este documento: **prEN 12975 rev**

Además, esta norma forma parte del esquema de certificación Solar Keymark, que tratamos más adelante en (2.4.3.3).

2.2.1.2 EN-12976

Esta norma es ampliamente descrita en 2.3.1 (pág.55)

Forma parte del esquema de certificación Solar Keymark, que tratamos más adelante.

2.2.1.3 EN-12977

Esta norma se compone de 5 partes. El objeto de la misma es análogo al de la norma EN-12976, pero aplicable a sistemas a medida. Ver Tabla 2-3 (pág.56).

La parte 1 especifica los requisitos de fiabilidad, durabilidad y seguridad de los sistemas objeto.

La parte 2 especifica ensayos para la evaluación de la conformidad de los requisitos apuntados en la parte 1. Además, contiene métodos para la caracterización y predicción del rendimiento de los sistemas.

La parte 3 contiene procedimientos para caracterizar y predecir el rendimiento de acumuladores de sistemas definidos como sistemas pequeños construidos a medida en la parte 1 de la norma.(volúmenes de acumulación entre 50 y 3000 L). Generalmente dirigida a sistemas de producción de agua caliente, pudiendo ser aplicado también en otras tipologías de sistemas a media siempre que no se trate de sistemas de combinación (agua caliente - calefacción).

La parte 4 contiene procedimientos para caracterizar y predecir el rendimiento de acumuladores de sistemas definidos como sistemas pequeños construidos a medida en la parte 1 de la norma.(volúmenes de acumulación menor que 3000 L). Generalmente dirigida a sistemas combinados, pudiendo ser aplicado también en otras tipologías como bomba de calor.

La parte 5 especifica ensayos de rendimiento de los sistemas de regulación para nuestros sistemas solares objeto. El documento también incorpora requisitos relativos a la exactitud, durabilidad y fiabilidad de dichos sistemas de regulación. La norma se dirige únicamente a los componentes que funcionan con electricidad.

Además, hemos de resaltar que actualmente existen sendas versiones actualizadas de cada una de las partes de esta norma con el estatus de aprobadas, en vías de ser publicadas por consiguiente.

2.2.1.4 EN-ISO 22975

Esta norma contiene especificaciones relativas a materiales y componentes de los captadores solares. Es un complemento a las normas de captadores generalistas como la EN 12975 o la ISO 9806.

La parte 1 de esta norma contiene definiciones y métodos de ensayo aplicables a todos los tipos de tubos de vacío así como a sus materiales. Mención explícita se hace de los ensayos para determinar la durabilidad

La parte 2 de esta norma contiene definiciones y métodos de ensayo aplicables a tubos de calor. en lo tocante a determinación de la durabilidad y rendimiento. Aplicable a tubos de calor para tubos de

vacío y para captador plano.

La parte 3 es aplicable para la determinación del comportamiento a largo plazo y vida útil de absorbedores selectivos para su uso en captadores planos ventilados trabajando en condiciones que corresponden a las de un típico sistema solar de ACS o sistema combinado. La norma especifica procedimientos de ensayo para determinar la durabilidad, como por ejemplo ensayo de resistencia a altas temperaturas o de condensación de agua en la superficie del absorbedor.

2.2.1.5 EN ISO 9488

Esta norma define términos básicos relativos a la energía solar. Suele ser muy nombrada en todos los demás documentos.

2.2.1.6 EN ISO 9806

Esta norma especifica métodos de ensayo para evaluar la durabilidad, fiabilidad y seguridad de captadores de calentamiento de fluido.

Esta norma incluye también métodos de ensayo para caracterización del rendimiento térmico de los captadores. Se ofrecen como enfoques: metodología en estado estacionario y metodología en estado cuasi-dinámico para estimar rendimiento de captadores solares de calentamiento de líquido con con y sin cubierta, y rendimiento térmico en estado estacionario de captadores solares de calentamiento de aire con y sin cubierta.

Es aplicable también la norma a captadores híbridos que generen calor y potencia eléctrica.

Esta norma internacional es aplicable también a captadores que utilicen fuentes de potencia externas para funcionamiento normal y/o propósitos de seguridad.

No es aplicable a aquellos captadores en los cuales la unidad de almacenamiento térmico es una parte integral del captador, de tal forma que hasta el punto que el proceso de captación no puede separarse del proceso de almacenamiento: captadores depósito integrado.

2.2.2 Estados Unidos

El mercado americano de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua apareció con fuerza a finales de los 70, durante la administración Carter, en gran parte gracias al apoyo institucional de instancias públicas. Apoyo que se concretó con bonificaciones y subvenciones por hasta el 90% de los costes. (IRENA, 2015). Dado la ausencia de normas y estándares técnicos en este campo, el incipiente y voluminoso mercado americano que teníamos al principio de esos primeros años estaba lleno de productos de baja calidad, que muy pronto comenzaron a minar la reputación del mercado. La administración siguiente retiró el apoyo federal al mercado y este colapsó.

Fue precisamente durante los 80 cuando apareció la Solar Rating & Certification Corporation SRCC

(de la que hablamos más adelante 2.4.3.3) con el objeto de paliar la situación de pobreza normativa y la mala imagen que adquirió el mercado tras el colapso del que hemos hablado. Las consecuencias del mismo aún se hacen notar según IRENA.

La SRCC es una organización sin ánimo de lucro cuyo objetivo primordial es el desarrollo y la implementación de normas nacionales de clasificación de sistemas en lo que al rendimiento se refiere (rating) y de programas de certificación aplicables a los sistemas de los que tratamos en este trabajo. La SRCC fue creada a instancias de diversos actores, partes interesadas, del mercado y la tecnología relativa que nos ocupa, tanto de carácter público como privado. Depende del trabajo voluntario de expertos en las diversas facetas que rodean al hecho normativo en esta tecnología e internamente funciona como cualquier entidad de normalización europea, no siendo exactamente lo mismo, por lo que no es posible realizar una analogía completa

Son dos las normas que ha desarrollado esta organización

- Por un lado, tenemos la **ICC 901/SRCC 100** para captadores solares.

Es una norma que viene a especificar requisitos mínimos de durabilidad, diseño y rendimiento para captadores solares, así como criterios para caracterizar el rendimiento.

- Por otro, encontramos la **ICC 900/SRCC 300 Solar Thermal System Standard**

Es una norma que especifica requisitos mínimos para diseño e instalación de sistemas. Además, detalla requisitos y metodología para realizar una evaluación estandarizada del diseño de sistemas, así como una evaluación analítica de los componentes.

Tenemos en EEUU otros dos grupos de normas nacionales para sistemas.

Siguiendo el mismo esquema de una norma para sistemas y otra para captadores, encontramos las antiguas normas ASHRAE 93 para captadores y ASHRAE 95 para sistemas. Estas normas están en desuso, han quedado obsoletas en comparación con las nuevas. No obstante son reseñables debido a que fueron de las primeras normas que se crearon para la tecnología que tratamos. Sobre ellas, junto con otras como la aún existente norma australiana (también obsoleta) AS 2984, descansó el desarrollo incipiente de las primeras QIs, y fueron base para el desarrollo de normas posteriores que actualmente gozan de gran prestigio, como las normas ISO 9459, de las que trataremos extensamente en este trabajo.

Por último, comentar la existencia de un código de la IAPMO (International Association of Plumbing and Mechanical Officials) el código USEC (Uniform Solar Energy Code) muy extendido y a la altura de las normas SRCC. A pesar de no ser estrictamente una norma, en el sentido definido extensamente en la introducción a este capítulo, el código USEC tiene la categoría de norma nacional americana. Como veremos en el capítulo 3, el panorama normativo americano es algo complejo y diferente al reglado escenario europeo. Para más consideraciones a cerca del escenario americano, consultar el apartado 3.3.2.

2.2.3 Australia

La entidad nacional de certificación es la Standards Australia (AS), en estrecha colaboración con la homóloga neozelandesa. Las normas que desarrollan conjuntamente se denominan con el código AS/NZS.

Encontramos en este país los siguientes documentos normativos:

- En primer lugar, la AS 2984, una de las normas más antiguas relativas a la tecnología de interés para este trabajo. Especifica ensayos al exterior para caracterización y predicción del rendimiento. Actualmente AS la califica con el estatus de obsoleta. Esta norma fue base para

el desarrollo de otras, como la ISO 9459-2.

- AS/NZS 4234. Es la norma referencia en el país para caracterización y predicción del rendimiento. Utiliza un enfoque muy parecido a la ISO 9459-4, donde TRNSYS tiene un papel importante que hacer.
- AS/NZS 4445.1 Es una norma idéntica a la ISO 9459-1. Ofrece procedimiento para clasificación de sistemas (rating)
- AS/NZS 2712 Esta norma especifica requisitos de diseño y construcción de sistemas.
- AS/NZS 2535.1 es una norma equivalente a la ISO 9806 -1 para captadores.
- A destacar también, por razones históricas, la norma ya retirada AS 2813, que contenía un ensayo interior para caracterización y predicción del rendimiento.

2.2.4 China

Dos grupos de normas podemos encontrar en China.

- Por una parte, las desarrolladas por la BSMI (Bureau of Standards, Metrology and Inspection) del Ministerio de Asuntos Económicos de Taiwán: las normas CNS (Chinese National Standards)
- Por otra las que elabora la SAC (Standardisation Administration of the People's Republic of China: normas GB (Guobiao Standards). La norma GB/T 18708 2002 ofrece un enfoque similar al de la parte 2 de la ISO 9459.

De China no ha sido posible acceder a información suficiente como para ofrecer una reseña de las normas que existen. Podemos transcribir una lista, muy grande por cierto, de normas GB, pero esto no aportaría mucho a este trabajo. Dicho listado se puede consultar en Fernández et al. Consideraciones a cerca de la falta de información respecto a estas normas nacionales se ofrecen en el apartado 3.3.1. Si nombramos el caso chino es porque no podíamos dejar de hacerlo, habida cuenta del tamaño tan considerable del mercado chino en esta tecnología, que condiciona fuertemente la tendencia global. En cualquier caso, la referencia al caso chino en este trabajo está más que justificada, pues se ha realizado un trabajo de investigación al respecto cuyos resultados son comentados en parte en el anteriormente referido apartado 3.3.1.

2.3 Descripción de algunas normas aplicables a sistemas solares

En este apartado se procederá a una descripción resumida de algunos documentos normativos de interés que nos pueden facilitar la comprensión del hecho normativo aplicable a los sistemas solares de calentamiento de agua sanitaria.

Se describirá la EN - 12976 como ejemplo de norma que especifica requisitos. Además, para este cometido seguiremos como estructura el esquema de norma que nos ofrece la Guía Para la Redacción de Documentos Normativos de UNE. Esto nos ayudará a comprender mejor el hecho normativo en lo que se refiere a la estructura de los documentos.

Posteriormente se pasará a describir las normas ISO 9459 como ejemplo accesible de normas para caracterización y predicción del rendimiento. No podrá hacerse lo propio con la parte 1 de este

documento al no haber podido tener acceso al mismo. Las normas de la ISO 9459, en cualquier caso, recogerán muy bien la variedad de enfoques metodológicos disponibles. No en vano su desarrollo fue motivado por un deseo de aglutinar, bajo un mismo grupo de normas, distintas opciones correspondientes a distintos enfoques de que se disponían (ver Morris et al., 1991), con objeto de dejar a elección de las distintas realidades nacionales y regionales si adoptar, adaptar o usar de referencia algunas de las partes de esta ISO 9459.

2.3.1 UNE-EN 12976: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados

El esquema general que seguirá una norma será como el desplegado en la siguiente tabla, que recoge los distintos elementos que conforman un documento normativo:

Tipos de elementos		Elemento	Apartado
Informativos preliminares		Portada (Obligatoria)	6.1.1
		Índice	6.1.2
		Introducción	6.1.3
Normativos	Generales	Código (Obligatorio)	6.2.1
	Elementos generales que describen el contenido técnico de la norma	Título (Obligatorio)	6.2.2
		Objeto y campo de aplicación (Obligatorio)	6.2.3
		Normas para consulta (Obligatorio si existen)	6.2.4
	Técnicos ^{a)} :	Términos y definiciones	6.3.1
	Elementos que constituyen el contenido técnico de la norma	Símbolos y abreviaturas	6.3.2
Requisitos		6.3.3	
Muestreo o toma de muestras		6.3.4	
Métodos de ensayo		6.3.5	
Clasificación y designación		6.3.6	
Marcado, etiquetado, embalaje, transporte y documentación		6.3.7	
Anexos normativos		6.3.8	
Informativos suplementarios		Correspondencia con otras normas	6.4.1
		Bibliografía	6.4.2
		Anexos informativos	6.4.3
		Notas a pie de página	6.4.4
		Notas y ejemplos insertados en el texto ^{b)}	6.4.5
		Notas en tablas y figuras	6.4.6
NOTA Las normas sobre terminología se subdividen con unos criterios diferentes (véase el Anexo B).			

- a) En la norma no tienen que estar incluidos todos los elementos normativos técnicos que aparezcan en esta tabla, pudiéndose por otra parte incluir otros elementos normativos técnicos diferentes a los descritos, dependiendo de la naturaleza de la misma.
- b) Una norma puede contener notas insertadas en las figuras y en las tablas y notas a pie de figura o de tabla (véase el apartado 6.4.6).

Tabla 2-2 Ordenación de los elementos en un documento normativo. Fuente: UNE.

2.3.1.1 Introducción

Este documento es aplicable a lo que en el mismo se define como "sistemas prefabricados", en contraposición con lo denominado como "sistemas a medida".

En palabras de la propia norma:

"**Sistemas solares de calentamiento prefabricados** son lotes de productos con una marca registrada, que son vendidos como equipos completos y listos para instalar, con configuraciones fijas. Los sistemas de esta categoría se consideran como un solo producto y se evalúan como un todo.[...]. **Sistemas solares de calentamiento a medida** son sistemas construidos de forma única, o montados eligiéndolos de una lista de componentes. Los sistemas de esta categoría son considerados como un conjunto de componentes. Los componentes se ensayan de forma separada y los resultados de los ensayos se integran en una evaluación del sistema completo."⁵

La norma va más allá al especificar qué tipos de sistemas pueden ser considerados como tales:

Sistemas solares prefabricados	Sistemas solares a medida
Sistemas con captador-depósito integrados para ACS	Sistemas de circulación forzada para agua caliente y/o calefacción/refrigeración, montados usando componentes y configuraciones descritos en un catálogo de componentes (principalmente sistemas pequeños)
Sistemas por termosifón para ACS	
Sistemas de circulación forzada como lote de productos con configuración fija para ACS	Sistemas únicos en el diseño y montaje, utilizados para calentamiento de agua y/o calefacción (principalmente sistemas grandes).

Tabla 2-3: Sistema prefabricados vs. Sistemas a medida

El ejemplo por antonomasia de sistema prefabricado es el modelo "X" de la marca "Y" por circulación natural o termosifón que nos puede vender un fabricante, y que podemos encontrar en muchas viviendas unifamiliares. Mientras que ejemplos claros de sistemas a medida lo constituyen las instalaciones que podemos encontrar en grandes edificios como hospitales u hoteles, que sin duda requieren de un diseño "a medida", valga la redundancia.

⁵ UNE 12976-1:2006, p.6



Figura 2.2. Izqda.: Equipo termosifón. Dcha: Instalación de ACS de un hotel en Madrid.

La norma se compone de dos partes. En la primera (EN 12976-1) se especifican requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad para sistemas prefabricados, mientras que en la segunda (EN 12976-2) se especifican métodos de ensayo para validar los requisitos apuntados en la primera. De manera más ilustrativa, podemos decir que con esta norma se persigue garantizar 3 objetivos:

1. Que nada ni, sobre todo, nadie resulte dañado.
2. Que el sistema tenga una vida útil lo más prolongada posible.
3. Que el equipo funcione lo mejor posible.

Una vez introducida la norma, pasamos a comentar su contenido. Lo haremos evitando entrar en detalles demasiado exhaustivos sobre los procedimientos que los distintos ensayos describen, pues no es objeto de este trabajo llegar a tal nivel. El texto extraído literalmente de la norma irá en cursiva, mientras que los comentarios y otros añadidos (si los hubiere) irán en la fuente habitual que venimos usando en este texto.

2.3.1.2 Elementos Normativos Generales

Código y Título

Parte 1

UNE-EN 12976-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 1: Requisitos generales

Parte 2

UNE-EN 12976-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.

Objeto y campo de aplicación

Parte 1

Esta norma europea especifica los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad de los sistemas solares térmicos de calentamiento prefabricados. También incluye los pasos para la evaluación de conformidad de estos requisitos. Los requisitos de esta normativa se aplican a los sistemas solares prefabricados como productos. No se considera la instalación de estos sistemas, pero sí se recogen los requisitos en la documentación para el instalador y el usuario final.

Efectivamente, este documento, en su cuerpo principal que lo constituye el capítulo 4, viene a especificar una serie de requisitos técnicos relativos a garantizar aquellos 3 objetivos señalados anteriormente en el apartado 2.3.1.1. A la hora de especificar los distintos requisitos, el documento lo podrá hacer de 3 formas distintas: los enunciará directamente, se remitirá a otros documentos normativos que los especifiquen o bien combinará estas dos últimas opciones, detallando las especificaciones y apoyándose parcialmente en resultados y conclusiones fruto de la aplicación de otras normas.

Como bien se declara en este elemento normativo (objeto y campo de aplicación), el documento irá más allá de la mera enunciación de requisitos, detallando la manera de evaluar la conformidad con los mismos si se requiere de un procedimiento más elaborado que la simple inspección. Esto se hará señalando a algún otro documento normativo que lo contenga (en gran parte estos procedimientos o ensayos estarán detallados en la parte 2 de esta norma UNE-EN 12976). En cuanto al producto al que se refieren dichos procedimientos, *los sistemas solares térmicos de calentamiento prefabricados*, en el apartado de definiciones se definirá formalmente a qué se refiere (ver pág.61) Por último, comentar que como bien se dice, los procedimientos se referirán únicamente al producto en sí, dejando a un lado el proceso de instalación. Si bien en el punto 4.6 de la norma se especificará qué documentación para el instalador deberá aportarse con el producto.

Parte 2

Esta norma europea especifica métodos de ensayo para validar los requisitos de los sistemas solares térmicos de calentamiento prefabricados especificados en la Norma EN 12976-1. La norma también incluye dos métodos de ensayo para la caracterización del rendimiento térmico mediante el ensayo del sistema completo.

Como se comentó anteriormente, en esta parte encontraremos métodos de ensayo y otros procedimientos para evaluar la conformidad de los sistemas con los requisitos apuntados en la parte primera de la norma. En cuanto a los métodos de ensayo para la caracterización del rendimiento térmico, la norma señala a las partes 2 y 5 de la norma ISO 9459, que se corresponden con dos métodos distintos y que describiremos más adelante (ver páginas 79 y 92).

Normas para consulta

Parte 1

El documento señala como indispensables para la aplicación de la norma los siguientes documentos normativos:

EN 806-1 Especificaciones para instalaciones de conducción de agua destinada al consumo humano en el interior de edificios. Parte 1: Generalidades.

EN 809 Bombas y grupos motobomba para líquidos. Requisitos comunes de seguridad.

EN 1151 Bombas. Bombas rotodinámicas. Bombas de circulación cuyo consumo de energía no excede de 200 W, destinadas a la calefacción central y a la distribución de agua caliente sanitaria doméstica. Requisitos, ensayos, marcado.

EN 1489 Válvulas para la edificación. Válvulas de seguridad. Ensayos y requisitos.

EN 1490 Válvulas para la edificación. Válvulas de alivio de presión y temperatura combinadas. Ensayos y requisitos.

EN 1991-1-3 Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-3: Acciones generales- Cargas de nieve.

EN 1991-1-4 Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones del viento

EN 1993-1-1 Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.

EN 1999-1-1 Eurocódigo 9: Diseño de estructuras de aluminio. Parte 1-1: Reglas generales.

EN 12975-1 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales.

EN 12975-2⁶ Sistemas solares térmicos y sus componentes. Captadores solares. Parte 2: Métodos de ensayo.

EN 12976-2 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo.

EN ISO 9488 Energía solar. Vocabulario (ISO 9488:1999).

⁶ Anulada y sustituida por la EN ISO 9806

ISO/TR 10217 Energía solar. Sistemas de calentamiento de agua. Guía para la selección del material en relación con la corrosión interna.

Parte 2

Para esta parte, el documento señala como normas indispensables las siguientes:

EN 12975-2 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Colectores solares. Parte 2: Métodos de ensayo. (ver nota 6)

EN 12976-1:2006 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 1: Requisitos generales.

EN 12977-2 Sistemas solares térmicos y sus componentes. Instalaciones a medida. Parte 2: Métodos de ensayo.

EN 60335-1 Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 1: Requisitos generales (IEC 60335-2-21:2001, modificada).

EN 60335-2-21 Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-21: Requisitos particulares para calentadores de agua de acumulación (IEC 60335-2-21:2002, modificada).

EN ISO 9488 Energía solar. Vocabulario.

ISO 9459-1 Calentamiento solar. Sistemas de agua caliente domésticos. Parte 1: Procedimiento de clasificación de rendimiento usando métodos de ensayos al interior.

ISO 9459-2 Calentamiento solar. Sistemas de agua caliente domésticos. Parte 2: Caracterización del rendimiento del sistema mediante métodos de ensayo al exterior y predicción del rendimiento anual de sistemas solamente solares.

ISO 9459-5 Calentamiento solar. Sistemas de agua caliente domésticos. Parte 5: Caracterización del rendimiento del sistema mediante ensayos de todo el sistema y simulación por ordenador.

2.3.1.3 Elementos normativos técnicos

Términos y definiciones

En ambas partes se cita como documento de referencia que contiene toda la terminología de interés a la norma *ISO 9488: Energía Solar. Vocabulario*.

Además, en la parte primera se definen los siguientes términos:

1. Línea de expansión:

Para sistemas con vasos de expansión cerrados, la línea que conecta los captadores y el vaso de expansión de presión.

Para sistemas con vasos de expansión abiertos, la línea que conecta el campo de captadores y el vaso de expansión abierto.

2. Línea de seguridad:

Para sistemas con vasos de expansión cerrados, la línea que conecta el campo de captadores y la válvula de seguridad.

Para sistemas con vasos de expansión abiertos, la línea que conecta el campo de captadores y el vaso de expansión abierto.

3. Línea de purga:

Línea que conecta la salida de la válvula de seguridad y el medio ambiente.

La definición que más nos interesa comentar es la que reproducimos a continuación, que es la última que aparece en la parte primera:

4. Sistema solar prefabricado:

Un sistema de energía solar para preparación sólo de agua caliente, bien sea como un sistema compacto o un sistema partido. El sistema consiste en un único componente o un conjunto uniforme de componentes. Se fabrica bajo condiciones que se presumen uniformes y ofrecidas a la venta bajo un sólo nombre comercial.

NOTA 1 Un solo sistema se puede ensayar como un todo en un laboratorio, dando lugar a resultados que representan sistemas con la misma marca comercial, configuración, componentes y dimensiones (véase también la introducción).

NOTA 2 Dispositivos de energía auxiliar para calentamiento de agua conectados en serie con el sistema solar prefabricado no se consideran partes del sistema. Las tuberías de la red de agua fría, así como las tuberías desde el sistema al sistema de energía auxiliar o a los puntos de consumo no se consideran partes del sistema. Las tuberías entre componentes del sistema solar prefabricado se consideran parte del sistema. Cualquier intercambiador de calor integrado o tuberías para calefacción no se consideran parte del sistema.

Con esta definición delimitamos el alcance de esta norma, en la línea de lo comentado en la pág.56. Esta norma será aplicable por tanto sólo a sistemas para ACS, representables bajo una marca comercial. Cada sistema se identificará con un modelo de dicha marca. Además, la nota 2 delimita aún más el alcance añadiendo que no se considerarán parte de lo que se denomina como "sistema solar prefabricado": ni los equipos auxiliares conectados en serie, ni las tuberías de la red de agua

fría, ni las que conectan el sistema al equipo auxiliar o a los puntos de consumo. Tampoco los elementos añadidos para proveer de energía a un sistema de calefacción (intercambiador de calor integrado a tal efecto o tuberías). Por lo tanto, estos elementos no serán objeto de ensayo o especificación en esta norma.

Símbolos y abreviaturas

Sólo en la parte 2 se especifican elementos de esta tipología. Serán usados extensamente en la norma además de en el esquema de certificación asociado, *Solar Keymark*.

$Q_{aux, net}$ *demanda neta de energía auxiliar de un sistema de calentamiento solar suministrada por el calentador auxiliar a la acumulación o directamente al sistema de distribución.*

Q_d *demanda de calor.*

Q_L *energía cedida por el sistema solar de calentamiento a la salida.*

Q_{par} *energía parásita (electricidad) para la bomba(s) del circuito de captadores y la unidad de control.*

H_c *radiación solar hemisférica en el plano del colector.*

Q_i *pérdida de calor del acumulador.*

Q_{ohp} *calor liberado por el acumulador como sistema de protección contra sobrecalentamientos, si existe.*

Q_{sol} *calor cedido por el circuito de captadores al acumulador.*

Cuerpo del documento

Los siguientes elementos normativos con que nos encontramos son, en el caso de la parte 1, *Requisitos (punto 4)*, y en el caso de la parte 2: *Ensayos (punto 5)*. Efectivamente, ambos elementos hacen referencia al núcleo normativo de ambas partes. Son los elementos para los que realmente se han elaborado ambas normas. Por eso lo hemos denominado "cuerpo del documento".

El listado de los distintos apartados que conforman dichos puntos, señalados anteriormente como los "cuerpos" de ambas partes de la norma se encuentran recogidos en el Anexo A.

Hay una clara correspondencia entre ambas partes, de tal manera que a puntos o apartados de la parte 1 (requisitos) les corresponden puntos o apartados en la parte 2, donde se especifican ensayos y

procedimientos para evaluar la conformidad con los requisitos.

A continuación adjuntamos una tabla (Tabla 2-4) donde se relacionan ambas partes de la norma. En la primera columna (Apartados), dividida en dos, aparecen los apartados de la primera parte a la izquierda y los correspondientes de la segunda parte a la derecha. En esos apartados correspondientes de la segunda es donde se especifican ensayos y procedimientos para evaluar la conformidad con los requisitos dados en la primera, requisitos cuyo campo de aplicación vienen especificados en la segunda columna (Título). La tercera columna (Otros documentos normativos) recoge otras normas que son citadas en los apartados correspondientes, bien porque se apunte hacia métodos de ensayo recogidos en estas o porque sea necesario la conformidad con ellas. Con la última columna (Evaluación conformidad) se pretende explicitar de qué manera la norma indica que se debe proceder para evaluar la conformidad de los sistemas con los requisitos dados en la parte 1. Con el término "inspección" nos referimos a que basta inspeccionar alguna documentación o el mismo sistema físico para evaluar la conformidad. Con el término "ensayo", nos referimos a que es necesario llevar acabo algún ensayo.

Apartados		Título	Otros documentos normativos	Evaluación conformidad
EN 12976-1	EN 12976-2			
4.1.1		Adecuación para agua potable	EN-806-1	Inspección
4.1.2	5.4	Contaminación de agua	EN-1717	Inspección
4.1.3	5.1	Resistencia a heladas		Inspección y/o ensayo
4.1.4	5.2	Protección contra el sobrecalentamiento	ISO 9459-1	Ensayo
4.1.5	5.10	Protección contra flujo invertido		Inspección
4.1.6	5.3	Resistencia a la presión	EN 12975-1; EN 1489; EN 1490	Ensayo
4.1.7	5.11	Seguridad eléctrica	EN 60335-1 y EN 60335-2-21	Ensayo si procede
4.2		Materiales	ISO/TR 10217	Inspección
4.3.1		Captador	EN 12975-1	Inspección y ensayo
4.3.2		Estructura soporte	EN 1993-1-1; EN 1999-1-1	Inspección
4.3.3		Tuberías	ISO/TR 10217; EN 809; EN 1151	Inspección
4.3.4		Intercambiadores de calor		Inspección
4.3.5		Sistema de control	EN ISO 9806	Inspección
4.4.1	5.6.1	Válvula de seguridad		Inspección
4.4.2	5.6.2	Líneas de seguridad y de expansión		Inspección
4.4.3	5.6.3	Líneas de purga		Inspección
4.5	5.5	Resistencia a influencias exteriores /Protección contra rayos	EN 61024-1	Inspección y ensayo
4.6		Documentación	EN 1991-1-3; EN 1991-1-4	Inspección

4.7	5.7	Etiquetado		Inspección
4.8	5.8	Rendimiento del sistema		Ensayo

Tabla 2-4 Evaluación de la conformidad y correspondencia entre partes

Con ayuda de la relación entre apartados que hemos hecho en la tabla anterior, comentaremos el alcance de cada apartado o par de apartados. Además, nos ayudaremos de un informe de ensayo real para ejemplificar cómo se efectúa la evaluación de la conformidad de cada requisito. Un informe de test/ensayo es un documento que una institución acreditada (generalmente un laboratorio) emite como resultado de aplicar una norma técnica. Generalmente es un paso previo para emitir un certificado de conformidad. La certificación será tratada en el apartado 2.4 (ver pág. 106).

El informe de ensayo⁷ (Institut für Solartechnik SPF, 2008) que usaremos, fue elaborado por el SPF Institute of Solar Technology, localizado en Rapperswil, Suiza. El laboratorio está acreditado para llevar a cabo este tipo de ensayos. El sistema ensayado se corresponde con un modelo A308 de Sammler, un sistema por termosifón convencional.

Apartado 4.1.1 Adecuación para agua potable



Figura 2.3 Sistema compacto por termosifón

⁷ http://www.sammler.gr/images/products/1327132845-A308_S113ENe.pdf

El requisito especificado es que el sistema sea conforme a la norma EN 806-1

Apartado 4.1.2 Contaminación de agua

Se pretende evitar que el agua de red se contamine por reflujos de los circuitos.

El apartado 5.4 de la parte 2 remite a la norma EN 1717.

En nuestro informe de ensayo (pág. 9) consta lo siguiente relativo a este punto:

Test in accordance with EN 12976-2, Chapter 5.4

<i>Test result</i>	<i>No major failure</i>
<i>Remarks</i>	<i>None</i>
<i>Date of test</i>	<i>03.07.2008</i>

Apartado 4.1.3 Resistencia a heladas

Se pretende asegurar que cualquier elemento crítico susceptible de estar sometido a la temperatura mínima permitida por el sistema (debe ser fijada por el fabricante) no se dañe. Además, se deben de tomar precauciones para evitar deterioro del fluido anticongelante como consecuencia de exposición a altas temperaturas.

El apartado 5.1 detalla tres procedimientos para cumplir con lo anterior, diferenciando entre sistemas con fluido anticongelante, sistemas de drenaje exterior y sistemas de drenaje con recuperación. Además, para los sistemas donde la protección contra heladas y las funciones de control estén combinadas, se da un procedimiento para comprobar que la unidad de control funciona correctamente a tal efecto.

En nuestro informe de ensayo, consta lo siguiente al respecto:

Test in accordance with EN 12976-2, Chapter 5.1

Specification:	Flat plate collector with anti-freeze fluid in the collector loop with the following specification: Water- / Propyleneglycol mixture MPG – Industrial, Shell Chemicals
Measured after the system test:	Glycol concentration: approx. 26 vol.%. Freeze resistance: approximately -10°C
Test result	No major failure
Remarks	The glycol concentration could not be exactly determined. No data is available for the refractive index of

	this product. The freeze resistance was estimated according to general physical properties of propylene glycol.
Date of test	22.10.2008

Se observa como en este caso cómo la concentración de glicol no pudo ser determinada exactamente. No obstante, la resistencia a heladas se pudo estimar de acuerdo con las propiedades generales del fluido. El sistema pasó el test sin grandes incidentes.

Apartado 4.1.4 Protección contra el sobrecalentamiento

Se pretende que el usuario no tenga necesidad de realizar ninguna acción especial para llevar al sistema al modo de operación normal como consecuencia de un escenario de altos niveles de radiación sin consumo de agua caliente, o de fallos en la corriente eléctrica. Naturalmente, también se desea garantizar que no haya daños en materiales y personas.

El apartado 5.2 describe un procedimiento a seguir, indicando equipos y condiciones necesarias para llevarlo a cabo (se indica que se puede realizar también en el interior mediante un simulador solar).

En nuestro informe consta lo siguiente:

Test in accordance with EN 12976-2, Chapter 5.2	
Inclination of collector plane:	40°
Type of over temperature protection: Combined pressure and temperature relief valve (6 bar / 93 °C).	
Number of days	3,
solar irradiation on the collector plane has exceeded 20 MJ/m ² per day.	
Test result	No major failure
Remarks	The maximal fluid temperature in the storage tank exceeded temperatures of 100°C. The manufacturer added a p,T-relief valve to solve the problem. The over temperature protection was retested successfully (see Appendix A).
Date of test	20.08. till 27.08.2007

Apartado 4.1.5 Protección contra flujo invertido

Se desea prevenir aumentos en pérdidas de calor como consecuencia de flujo invertido en cualquier circuito.

El apartado 5.10 indica una inspección visual para detectar protecciones al respecto, como válvulas antirretorno.

En el informe consta lo siguiente:

Test in accordance with EN 12976-2, Chapter 5.10

Test result	No major failure
Remarks	None
Date of test	03.07.2008

Apartado 4.1.6 Resistencia a la presión

Se especifican requisitos para componentes delicados del sistema en lo que a presiones se refiere: depósito de almacenamiento, intercambiador de calor; también para situaciones críticas, como cuando se usan materiales no metálicos en alguna parte del circuito. El objetivo es verificar que el sistema ha sido diseñado de tal forma que no se supere nunca la máxima presión permitida por cualquiera de los materiales.

En el apartado 5.3 de la parte 2 se detalla un procedimiento de ensayo que tiene como objeto evaluar la presión hidráulica tarada de todos los componentes e interconexiones del sistema.

En nuestro informe consta lo siguiente al respecto:

Test in accordance with EN 12976-2, Chapter 5.3

Draw-off loop

Date of test: 27.08.2008

Working pressure [bar]	6.0	
	Test pressure [bar]	Test duration [min]
Pressure at begin of test	9.0	21
Pressure at end of test	9.0	

Collector loop

Date of test: 02.07.2008

Working pressure [bar]	3.0	
	Test pressure [bar]	Test duration [min]
Pressure at begin of test	4.5	20
Pressure at end of test	4.5	

Test result failure	No major
Remarks	A retest was necessary. The gasket of the flange for an optional

	electrical heater failed. The redesigned storage tank (see Appendix A) was tested successfully after the high temperature test sequence.
Date of test	27.08.2008

Donde observamos resultados de ensayo para el circuito de captación y de extracción.

Apartado 4.1.7 Seguridad eléctrica

Este apartado y el correspondiente 5.11 de la parte 2 son idénticos. Indican que si el sistema posee dispositivos eléctricos se deben ensayar conforme a las normas correspondientes indicadas en la Tabla 2-4.

El informe de ensayo indica que el sistema no contiene ningún dispositivo eléctrico.

Apartado 4.2 Materiales

Se especifican requisitos generales para garantizar la durabilidad de los componentes del sistema en lo referente a los materiales usados.

Apartado 4.3 Componentes y tuberías

En este apartado se especifican requisitos relativos a los siguientes componentes: captadores, estructura soporte, tuberías, intercambiador de calor y sistema de control.

En el apartado relativo al captador, se remite directamente a la norma EN 12975-1, que contiene requisitos relativos a captadores.

En el apartado relativo a la estructura soporte, los requisitos son idénticos que en el apartado 4.6.2 apartado e) (documentos para el instalador)

Sobre los intercambiadores de calor se indican requisitos relativos a la hipotética formación de depósitos en localizaciones con aguas de alta dureza.

Los requisitos relativos al sistema de control se refieren a los sensores de temperatura, que deben ser capaces de soportar las condiciones señaladas e instalarse según se indica.

Apartado 4.4 Equipo de seguridad

En este apartado se detallan requisitos relativos a 3 tipos componentes:

Válvulas de seguridad, líneas de seguridad y de expansión y líneas de purga. Los requisitos especificados se refieren a la verificación de si existen estos elementos y sus localizaciones, de tal manera que no se ven afectados por situaciones como suciedad, heladas y otras que impidan su correcto funcionamiento. En el caso de las líneas de purga, un aspecto importante a verificar será que estén situadas de forma que el vapor o agua caliente que pueda salir por ellas no cause daños a las personas, materiales o medio ambiente.

Test in accordance with EN 12976-2, Chapter 5.6

Safety valves	Comply with the requirements according to EN 12976:2006
Safety and expansion lines required	Not
Blow-off lines	Comply with the requirements according to EN 12976:2006
Test result failure	No major
Remarks	The maximum temperature in the storage was not limited. A redesign and a retest was necessary.

Date of test 27.08.2008

Apartado 4.5 Resistencia a influencias exteriores

Se refiere a componentes que están expuestos a la intemperie, debiendo ser capaces de resistir el ambiente exterior, siendo diseñados a tal efecto. Mención especial a la protección contra descargas eléctricas, para lo que se remite a la norma EN 61024-1.

Apartado 4.6 Documentación

La norma especifica que con cada sistema el fabricante debe aportar documentos para el instalador (montaje) y para el usuario (operación). La finalidad es garantizar que los distintos actores que manejen el equipo tengan toda la información necesaria para su instalación, operación y mantenimiento.

En el informe se hace constar lo siguiente:

Documents for the installer: The system is accompanied by an installer manual according to the requirements of the EN 12976-1:2006 chapter 4.6. The following information is missing in the installation manual:

- Technical data:
 - working limits: admissible temperature, pressures etc. throughout the system
 - Type of corrosion protection
- Support frame:
 - Maximum values of s_K (snow load) and v_m (mean wind velocity) according to ENV 1991-1-3 and ENV 1991-1-4
- Safety equipment:
 - Type and size of the safety and security devices and their draining
 - The assembly instruction shall demand that any pressure relief valves from which steam can escape during normal or stagnation conditions shall be mounted, in such a way that no injuries, harm or damage can be caused by the escape of steam.
- Safety and control equipment:
 - For systems in which the temperature of the domestic hot water delivered to the user can exceed 60°C: The assembly instruction shall mention the need for a thermostatic mixing valve which limits the draw-off temperature to 60°C (scaldprotection).

Como vemos, existe información requerida por la norma que no ha sido proporcionada.

En el caso de documentación para el usuario:

Documents for the user: The system is accompanied by an owner's manual according to the requirements of the EN 12976-1:2006 chapter 4.6. The following information is missing in the owner's manual:

- Existing safety and security components and their thermostat adjustment
- The manner of avoiding failure when starting the system under frost or possible frost conditions.
- Decommissioning of the system.
- Performance data for the system:
 - The recommended load range for the system (l/day) at specified temperature.
 - The thermal performance and solar fraction of the system according to 5.9 of EN 12976-2:2006, of loads in the specified recommended load range.
- Warning that drinking water may be drained from the system during high irradiation (if applicable for overheatingprotection).

Existe también documentación que no se ha aportado.

Apartado 4.7 Etiquetado

En este apartado se enumeran una serie de datos identificativos del sistema que deben aparecer de forma duradera en una placa o etiqueta que sea visible en la instalación. Datos como el fabricante, el tipo de sistema, año de fabricación, área de apertura y del absorbedor del captador, etc.

Test in accordance with EN 12976-2, Chapter 5.7

Labelling of the Solar heating system

Place of label plate	Storage, collector
Labelling	The label contains all major information required in accordance with EN12976:2006
Test result failure	No major
Remarks	The manufacturer corrected the label during the test. The new labelling contains all necessary information according to requirements of the standard.
Date of test	06.10.2008

Apartado 4.8 Rendimiento del sistema

Este apartado de la parte 1 nos dice que el rendimiento térmico del sistema debe ensayarse conforme al apartado 5.8 de la parte 2. Así mismo, se especifica el formato en el que debe ser presentado para el usuario.

El apartado 5.8.2 nos da a elegir entre dos procedimientos para ensayar el rendimiento. Uno de ellos es el ensayo que viene desarrollado en la norma ISO 9459-2, apto para sistemas sólo solares o de precalentamiento. El otro es el desarrollado en la norma ISO 9459-5, apto para todo tipo de sistemas. La siguiente tabla recoge lo anterior:

Método de ensayo	Sistema solar + auxiliar	Sistema únicamente solar y de precalentamiento
ISO 9459-2 (CSTG)	No	Sí
ISO 9459-5 (DST)	Sí	Sí

Tabla 2-5 Métodos de ensayo. Aplicabilidad

Observamos cómo para aquellos sistemas con apoyo auxiliar que no sean de precalentamiento, sólo podrá usarse el método dado en la parte 5 de la norma ISO 9459.

El apartado indica cuáles son los indicadores de rendimiento que deben presentarse, distinguiendo entre sistemas sólo solares, sistemas de precalentamiento y sistemas con apoyo auxiliar.

En los dos primeros casos, sistemas sólo solares y sistemas de precalentamiento, los indicadores serán:

1. Calor producido por el sistema solar de calentamiento Q_L ;
2. Fracción solar f_{sol} ;
3. Energía parásita, Q_{par} , si existe.

En el último, sistemas con apoyo auxiliar, los indicadores a presentar serán:

1. Demanda neta de energía auxiliar $Q_{aux,net}$;
2. Energía parásita Q_{par} .

Además, se indica que las condiciones de referencia para el cálculo de los indicadores anteriores se encuentran dadas en el anexo B de la parte 2 de la norma. La base de cálculo será anual. El documento aporta además indicaciones adicionales para realizar los balances de energía en cada situación, representados en las siguientes figuras:

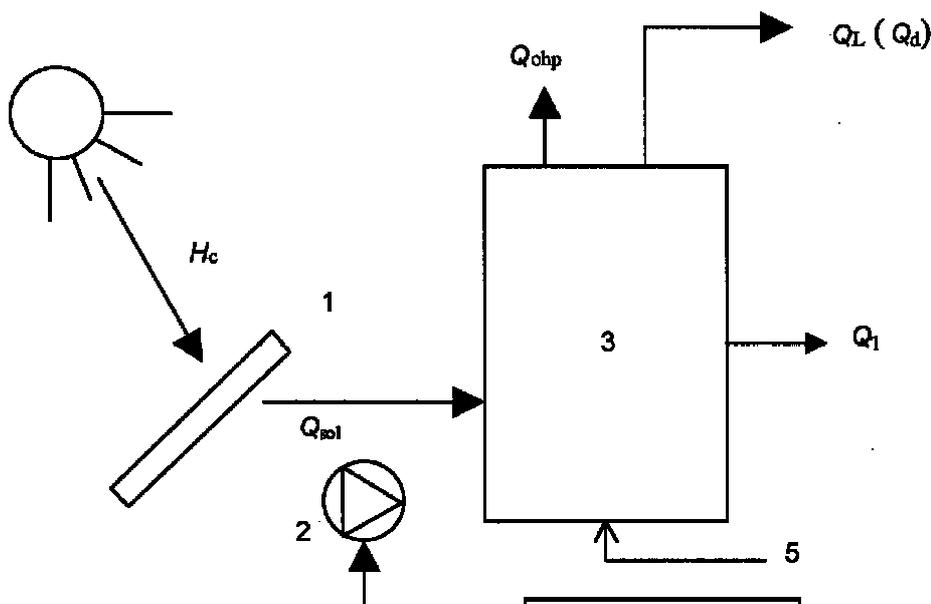


Figura 2.4 Balance energético para sistemas únicamente solares

Con la siguiente leyenda:

- 1 Captador
- 2 Bomba
- 3 Acumulador
- 4 Unidad de control
- 5 Agua fría

Se incluyen algunas notas aclaratorias que conviene mencionar para delimitar más el procedimiento de cálculo de los indicadores:

- Las condiciones de referencia para el cálculo de Q_L (carga) son las tomas del depósito o del lado de carga del intercambiador de calor si lo hay, siendo la temperatura de referencia para calcular la carga la temperatura de agua fría o de red.

- Para el cálculo de la demanda anual de calor (Q_d), se deben emplear los datos especificados en el anexo B (volumen de carga, temperatura de red o de agua fría y temperatura deseada de agua caliente).

En el caso de sistemas de precalentamiento, el balance se haría de acuerdo con la siguiente situación:

Con la siguiente leyenda:

- 1 Captador

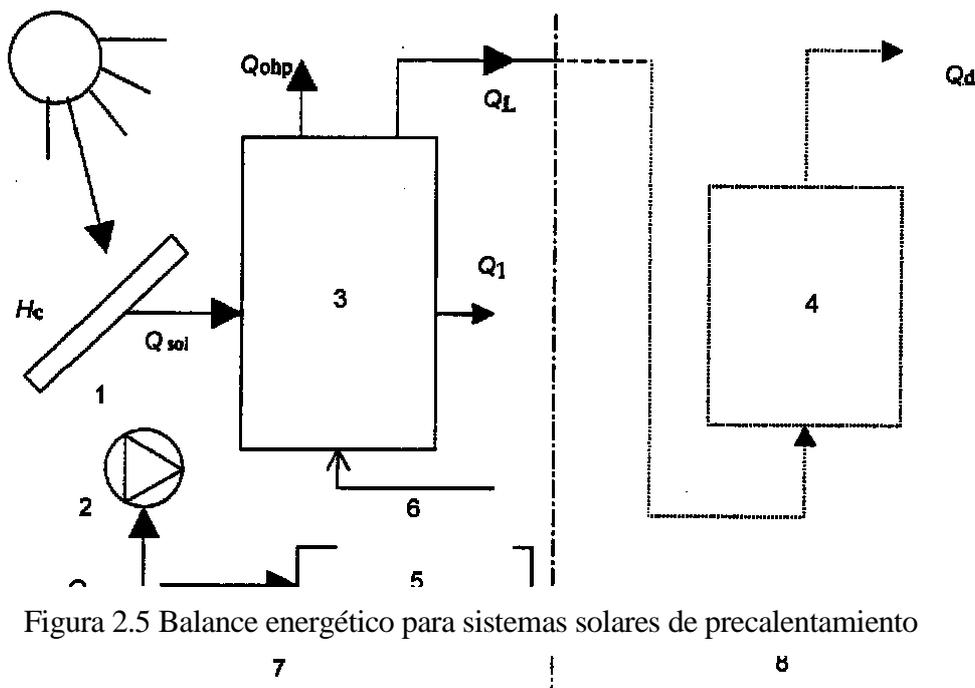


Figura 2.5 Balance energético para sistemas solares de precalentamiento

- 2 Bomba
- 3 Acumulador solar

- 4 Calentador auxiliar
- 5 Unidad de control
- 6 Agua fría
- 7 Sistema solar de precalentamiento
- 8 Sistema de calentamiento auxiliar conectado en serie

Las notas aclaratorias anteriores son de aplicación también en este caso. Además, se dan consideraciones adicionales para esta configuración:

En primer lugar, se aclara el concepto de sistema solar de precalentamiento con arreglo a la norma EN ISO 9488: " sistema solar para precalentar agua o aire previo a su entrada en cualquier otro tipo de calentador de agua o aire". De acuerdo con esta definición, el calentador auxiliar (4) no puede ser considerado dentro del sistema solar (7), por lo que la carga (Q_L) deberá calcularse a la salida del acumulador solar (3). Además, la pérdida de calor del depósito (Q_1) es sólo la pérdida de calor del acumulador solar (3). Estas consideraciones son necesarias tenerlas en cuenta si queremos evaluar sólo el rendimiento de la parte solar de la instalación, que es lo que pide la norma para este tipo de sistemas.

Para ambos tipos de sistemas (sólo solar y de precalentamiento) la fracción solar f_{sol} se calcula con arreglo a la definición dada por la norma EN ISO 9488

$$f_{sol} = \frac{Q_L}{Q_d}$$

Por último, para el cálculo de la energía parásita (Q_{par}) se nos remite al apartado 4.6.3 h) de la parte 1 de la norma (Documentación para el usuario), donde se nos dice que el fabricante debe de especificar en la documentación el consumo de electricidad anual de auxiliares como bombas, sistema de control o válvulas eléctricas bajo ciertas condiciones de referencia.

Capacidad del sistema solar + auxiliar para cubrir la carga

El apartado 4.6.3 de la parte primera (Documentos para el usuario), en el punto h.5, nos dice que como parte de la documentación para el usuario referida al rendimiento del sistema es necesario dar la máxima carga diaria de agua caliente que puede dar el sistema solar + auxiliar sin contribución solar. Es decir, nos pide que demos como dato el aporte máximo que podría dar el subsistema auxiliar sin ningún tipo de energía solar: la capacidad del sistema solar + auxiliar para cubrir la máxima carga diaria. Es necesario para determinar hasta qué punto podemos cubrir la demanda si no disponemos del aporte solar.

Se nos remite al apartado 5.9 de la parte 2 de la norma. En esta parte, se describen dos procedimientos para calcular esta capacidad. El primero consistirá en un ensayo y el otro en una simulación numérica (basada en el primero de los procedimientos), usando el método dado en la parte 5 de la ISO 9459. Previamente se dan unas condiciones de contorno para el calentamiento auxiliar y para la carga diaria, datos de entrada de los procedimientos de cálculo.

Anexos normativos

Los anexos normativos recogen requisitos adicionales a los incluidos en el cuerpo de la norma. Razones de tipo práctico justifican la inclusión de los mismos, que siempre van situados al final.

En la parte primera de la norma no tenemos anexos normativos, mientras que en la parte segunda nos encontramos con dos:

Anexo A

Anexo B

El Anexo A incluye la ficha de presentación del rendimiento térmico tanto para sistemas solar + auxiliar como para sistemas únicamente solar o de precalentamiento:

Indicadores de rendimiento del sistema solar + auxiliar sobre la base anual de un volumen de demanda de l d⁻¹			
Localidad (latitud)	Q _d MJ	Q _{aux, net} MJ	Q _{par} MJ
Stockholm (59,6° N)		
Würzburg (49,5° N)		
Davos (46,8° N)		
Athens (38,0° N)		
..... ^a			

^a Para una localidad de libre elección.

Tabla 2-6 Presentación de los indicadores de rendimiento de sistemas solar + auxiliar

Indicadores de rendimiento del sistema únicamente solar o de precalentamiento solar sobre la base anual de un volumen de demanda de l d ⁻¹				
Localidad (latitud)	Q _d MJ	Q _L MJ	f _{sol} %	Q _{par} MJ
Stockholm (59,6° N)			
Würzburg (49,5° N)			
Davos (46,8° N)			
Athens (38,0° N)			
..... ^a				

^a Para una localidad de libre elección.

Tabla 2-7 Presentación de los indicadores de rendimiento de los sistemas únicamente solares o de precalentamiento

Adjuntamos también las tablas del informe de ensayo con el que venimos ilustrando la comprensión de esta norma.

Performance indicators for solar-only and solar preheat systems on annual base for a demand volume of 80 l/d				
Location (latitude)	Q _d MJ	Q _L MJ	f _{sol} %	Q _{par} MJ
Stockholm (59.6° N)	4478	2942	65.7	0
Würzburg (49.5° N)	4289	3032	70.7	0
Davos (46.8° N)	4857	4497	92.6	0
Athens (38.0° N)	3343	2858	85.5	0

Tabla 2-8 Indicadores de rendimiento sistema Sammler A308 para un volumen de carga de 80 l/d

Performance indicators for solar-only and solar preheat systems on annual base for a demand volume of 110 l/d				
Location (latitude)	Q _d MJ	Q _L MJ	f _{sol} %	Q _{par} MJ
Stockholm (59.6° N)	6150	3813	62.0	0

Würzburg (49.5° N)	5897	3951	67.0	0
Davos (46.8° N)	6654	5896	88.6	0
Athens (38.0° N)	4573	3768	82.4	0

Tabla 2-9 Indicadores de rendimiento sistema Sammler A308 para un volumen de carga de 110 l/d

Performance indicators for solar-only and solar preheat systems on annual base for a demand volume of 140 l/d				
Location (latitude)	Q _d MJ	Q _L MJ	f _{sol} %	Q _{par} MJ
Stockholm (59.6° N)	7821	4552	58.2	0
Würzburg (49.5° N)	7506	4744	63.2	0
Davos (46.8° N)	8483	7100	83.7	0
Athens (38.0° N)	5834	4621	79.2	0

Tabla 2-10 Indicadores de rendimiento sistema Sammler A308 para un volumen de carga de 140 l/d

Performance indicators for solar-only and solar preheat systems on annual base for a demand volume of 170 l/d				
Location (latitude)	Q _d MJ	Q _L MJ	f _{sol} %	Q _{par} MJ
Stockholm (59.6° N)	9492	5183	54.6	0
Würzburg (49.5° N)	9114	5477	60.1	0
Davos (46.8° N)	10281	8122	79.0	0
Athens (38.0° N)	7064	5376	76.1	0

Tabla 2-11 Indicadores de rendimiento sistema Sammler A308 para un volumen de carga de 170 l/d

Performance indicators for solar-only and solar preheat systems on annual base for a demand volume of 200 l/d				
Location (latitude)	Q _d MJ	Q _L MJ	f _{sol} %	Q _{par} MJ
Stockholm (59.6° N)	11164	5727	51.3	0
Würzburg (49.5° N)	10691	6115	57.2	0

Davos (46.8° N)	12110	8985	74.0	0
Athens (38.0° N)	8326	6078	73.0	0

Tabla 2-12 Indicadores de rendimiento sistema Sammler A308 para un volumen de carga de 200 l/d

Performance indicators for solar-only and solar preheat systems on annual base for a demand volume of 250 l/d				
Location (latitude)	Q _d MJ	Q _L MJ	f _{sol} %	Q _{par} MJ
Stockholm (59.6° N)	13939	6412	46.0	0
Würzburg (49.5° N)	13371	6993	52.3	0
Davos (46.8° N)	15137	10021	66.2	0
Athens (38.0° N)	10407	7077	68.0	0

Tabla 2-13 Indicadores de rendimiento sistema Sammler A308 para un volumen de carga de 250 l/d

Performance indicators for solar-only and solar preheat systems on annual base for a demand volume of 300 l/d				
Location (latitude)	Q _d MJ	Q _L MJ	f _{sol} %	Q _{par} MJ
Stockholm (59.6° N)	16746	6849	40.9	0
Würzburg (49.5° N)	16052	7609	47.4	0
Davos (46.8° N)	18165	10645	58.6	0
Athens (38.0° N)	12488	7868	63.0	0

Tabla 2-14 Indicadores de rendimiento sistema Sammler A308 para un volumen de carga de 300 l/d

El Anexo B indica las condiciones de referencia para la presentación del rendimiento. El apartado 5.8 de la parte 2 (Caracterización del rendimiento) nos refiere a él profusamente. Se indican valores para determinados datos de entrada necesarios para poder realizar la predicción y presentación del rendimiento tras haberlo caracterizado mediante los ensayos. Por ejemplo, datos relativos al sistema como la temperatura de calentamiento auxiliar integrado, datos relativos al clima como las localidades de referencia donde se realizará el cálculo del rendimiento para presentarlo y datos

relativos a la carga como la temperatura deseada o el volumen de carga diaria.

Como curiosidad, para el volumen de carga diaria nos dan una serie de volúmenes y nos dan criterios para seleccionar valores de esa serie. Es por eso por lo que en el informe de ensayo tenemos calculados indicadores de rendimiento para varios volúmenes de carga diaria, correspondiendo cada tabla a uno de esos volúmenes.

Anexos informativos

Los anexos informativos se colocan a continuación de los anexos normativos. No deben contener ninguna especificación o requisito necesario para obtener la conformidad con la norma, sino información adicional, complementaria, con objeto de facilitar la comprensión de la norma.

La parte primera de la norma incluye un único anexo que además es informativo. Se trata de una tabla que pretende ser una guía para indicar si hay que realizar algún ensayo de nuevo en caso de que se haya cambiado algún componente del sistema, con objeto de garantizar que el producto siga siendo conforme a la norma.

En el caso de la segunda parte de la norma, encontramos tres anexos informativos.

El primero de ellos, Anexo C, contiene un procedimiento de ensayo para la evaluación de la resistencia a heladas de sistemas con el depósito al exterior bajo climas extremos.

El Anexo D, contiene un ensayo de envejecimiento de válvulas termostáticas. El Anexo E, contiene un ensayo de protección contra descargas eléctricas y el F una ficha de ensayos de protección eléctrica a la que se refiere el Anexo E.

Como decíamos, no contienen ensayos que deban realizarse para obtener la conformidad de la norma. Son anexos que pueden aportar información para ayudar al fabricante a cumplir con los requisitos dados en la norma o en otras normas (como es el caso de los anexos E y F), o también pueden contener algún ensayo que nos permite conocer algún aspecto de algún componente (como es el caso del anexo D) pero que no es objeto de la norma presente.

2.3.2 Norma ISO 9459-2

Objeto y campo de aplicación

La norma ofrece métodos de ensayo para caracterización y predicción anual del rendimiento de sistemas solares de calentamiento de ACS, bajo cualquier condición climática y de operación, con la única limitación de que el procedimiento sólo considera una única extracción nocturna.

En cuanto a los sistemas para los que la norma se puede aplicar, encontramos de todas las tipologías exceptuando aquellos que dispongan de refuerzo auxiliar integrado en el sistema. Para aclarar aún más, la norma especifica lo siguiente en el apartado 6.1.1 *Tipo de sistema*:

1. Para sistemas con calentamiento auxiliar separado del sistema solar, se deberán realizar los ensayos únicamente para la parte solar.
2. Para sistemas que dispongan de control de calentamiento auxiliar manual, se deberán realizar los ensayos con la resistencia auxiliar apagada.

3. Para sistemas con refuerzo auxiliar integrado, es decir, resistencia auxiliar continua o nocturna en el acumulador de calentamiento solar, esta norma no podrá ser de aplicación.

En el apartado 5 de la norma (*Clasificación del sistema*) se ofrece una clasificación de los tipos de sistemas según 7 atributos distintos, presentando cada atributo unas 2 o 3 variantes (*categorías*). La tabla siguiente muestra un esquema de esa clasificación, señalando en negrita todas las tipologías a las que se puede aplicar esta norma teniendo en cuenta lo que la propia norma establece en el apartado 1 (*Objeto y Campo de aplicación*):

Atributo	Categoría		
	a	b	c
1	Solamente solar	Pre calentamiento solar	Solar más apoyo
2	Directo	Indirecto	
3	Abierto	Ventilado	Cerrado
4	Lleno	Con drenaje interior	Con drenaje exterior
5	Termosifón	Forzado	
6	Con circulación	Conectado en serie	
7	Depósito separado	Captador-depósito compacto	Captador-depósito integrado

Tabla 2-15 Clasificación de sistemas de acuerdo al apdo. 5

Además, se nos indica que la norma será de aplicación en aquellos sistemas con volumen de acumulación solar de 0,6 m³ o menos y sistemas de uso doméstico, que trabajen con agua potable.

Por último se nos dice expresamente que la norma no es de aplicación para sistemas de concentración.

Símbolos

La norma establece los siguientes símbolos, usados extensamente para describir los ensayos y procedimientos:

a_1, a_2, a_3 coeficientes usados en la ecuación de rendimiento del sistema

b_1, b_2, b_3 coeficientes usados en la ecuación de incremento en la temperatura del agua

c_{pw} capacidad calorífica específica del agua, en julios por kilogramos kelvin $[J/(kg \cdot K)]$

$f(V)$ perfil de temperatura de extracción normalizado, adimensional

$g(V)$ perfil de temperatura de extracción del grado de mezcla normalizado, adimensional

H	<i>radiación solar diaria (exposición a la radiación) en la apertura del captador, en megajulios por metro cuadrado</i>
H_d	<i>radiación solar difusa diaria en la apertura del captador, en megajulios por metro cuadrado</i>
H_h	<i>radiación solar diaria media mensual sobre el plano horizontal, en megajulios por metro cuadrado</i>
H_{tilt}	<i>radiación solar diaria media mensual sobre un plano inclinado, en megajulios por metro cuadrado</i>
Q	<i>energía útil extraída del sistema, en megajulios</i>
Q_c	<i>energía contenida en un volumen de agua V_c, en megajulios</i>
Q_{LOS}	<i>pérdidas térmicas de los depósitos, en megajulios</i>
Q_R	<i>energía restante en el depósito, en megajulios</i>
t_a	<i>temperatura del aire ambiente o circundante, en grados Celsius</i>
$t_{a,s}$	<i>temperatura del aire ambiente adyacente al depósito, en grados Celsius</i>
t_d	<i>temperatura del agua de extracción, en grados Celsius</i>
t_f	<i>temperatura final del agua, en grados Celsius</i>
t_h	<i>temperatura del agua caliente requerida, en grados Celsius</i>
t_i	<i>temperatura inicial del agua, en grados Celsius</i>
t_{main}	<i>temperatura de suministro de agua fría, en grados Celsius</i>
t_n	<i>temperatura media del aire ambiente durante la noche, en grados Celsius</i>
t_s	<i>temperatura media del agua en el depósito, en grados Celsius</i>
u	<i>velocidad del aire circundante, en metros por segundo</i>
U_s	<i>coeficiente de pérdidas de calor en el acumulador, en vatios por kelvin</i>
V_c	<i>volumen de consumo de agua caliente diaria, en litros</i>
V_d	<i>volumen de agua extraída, en metros cúbicos</i>
V_s	<i>capacidad del fluido en el depósito, en litros</i>
Δt	<i>intervalo de tiempo, en segundos</i>
ρ_w	<i>densidad del agua, en kilogramos por metro cúbico</i>
<i>Sufijos</i>	
<i>(av)</i>	<i>valor medio del parámetro</i>

(day) valor medio del parámetro durante el periodo de 6 h antes del mediodía solar hasta 6 h después del mediodía solar

(máx.) valor máximo del parámetro

Cuerpo de la norma

El cuerpo técnico de la norma, que contiene el núcleo de las especificaciones técnicas encaminadas a establecer y definir los procedimientos de ensayo, está formado por los siguientes apartados:

6. Requisitos
7. Procedimiento de ensayo
8. Análisis y presentación de resultados
9. Predicción de rendimiento a largo plazo

El apartado 6 contiene una serie de requisitos a la hora de realizar los procedimientos de ensayo. En particular, el punto 6.1 trata sobre requisitos aplicables al sistema cuando se instala para ser ensayado. Detalla los criterios bajo los que debe instalarse el sistema de ensayo, cómo debe instalarse el captador y cómo debe ser el circuito de ensayo por el que circulará el fluido, explicando qué dispositivos experimentales deben usarse en el mismo y dónde. (ver Figura 2.6)

El punto 6.2 explicita los requisitos de medida para los ensayos. En concreto, se hacen consideraciones sobre medidas de radiación solar, de temperatura, de flujo de líquido, masa, tiempo y velocidad de aire circundante. Estas consideraciones versarán desde requisitos exigibles a los aparatos de medida y sensores hasta la incertidumbre de las medidas realizadas.

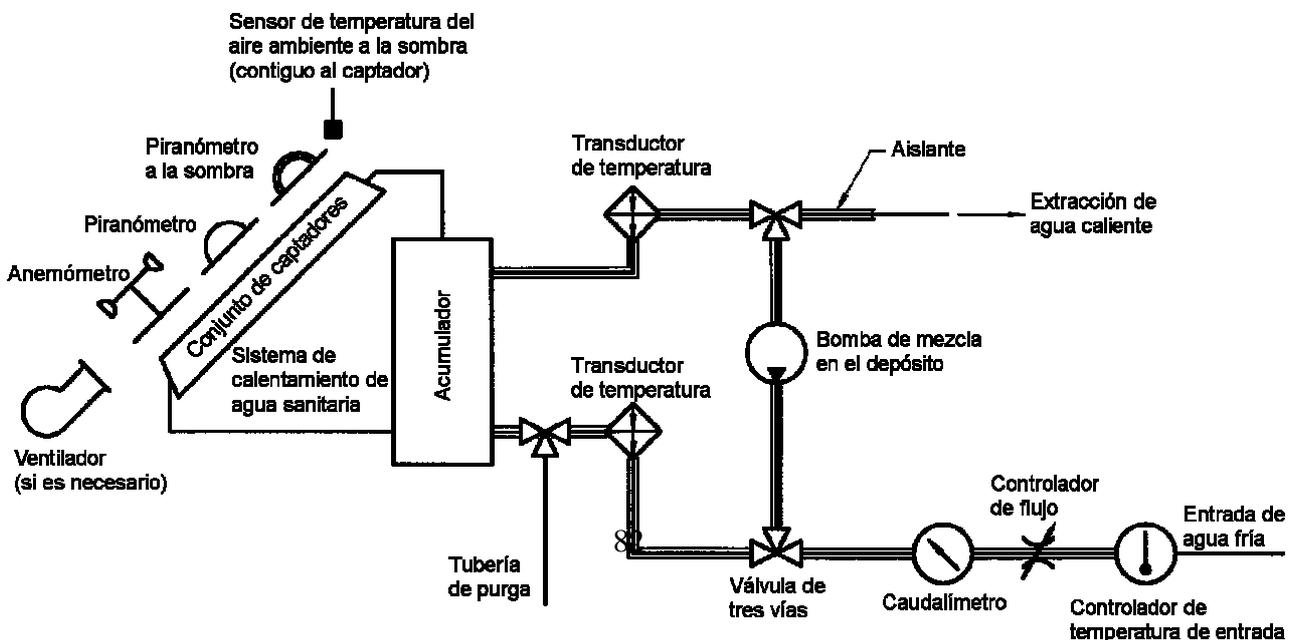


Figura 2.6 Equipos experimentales para ensayo del rendimiento diario

Nos centraremos más en los últimos 3 apartados, que contienen la información más interesante del documento a efectos de este trabajo.

2.3.2.1 Procedimiento de ensayo

El método que da esta norma se compone de unos 3 tipos de ensayos diferentes.

El primero de ellos será un ensayo exterior de un día. Este tipo de ensayo se repetirá al menos 6 veces (6 días distintos de ensayo, por tanto) . Los datos recogidos nos permitirán poder caracterizar el rendimiento diario del sistema.

El segundo tipo será un ensayo corto (solamente se realizará una vez). Los datos recogidos nos permitirán poder caracterizar el grado de mezcla en el acumulador durante las extracciones.

El tercer tipo de ensayo será un ensayo nocturno, y nos permitirá caracterizar las pérdidas de calor en el acumulador.

2.3.2.1.1 Primer ensayo: rendimiento diario del sistema

2.3.2.1.1.1 Descripción general

6 ensayos de un día, independientes unos de otros. Se deja operar el sistema al exterior. desde 6 h antes del mediodía solar hasta 6 h después, cuando se realiza una única extracción.

- Buscamos obtener: medidas de irradiación, temperatura de aire ambiente y temperatura de agua extraída en circunstancias de operación con amplio rango de los valores de entrada (irradiación, temperatura ambiente).

2.3.2.1.1.2 Medidas a registrar durante cada período de ensayo

Desde 6h antes del mediodía solar hasta 6h después, registraremos las siguientes medidas en una base media de cada hora:

- a) irradiancia global solar sobre la apertura del captador;
- b) irradiancia difusa solar sobre la apertura del captador;
- c) temperatura del aire ambiente contiguo a los captadores;
- d) velocidad del aire circundante;
- e) energía eléctrica consumida por la circulación y control de aparatos del sistema (bombas, controladores, válvulas solenoides, etc.).

También mediremos cada 15s la temperatura de la extracción, registrando el valor medio cada vez que se extraiga una décima parte del volumen de acumulación.

2.3.2.1.1.3 Condiciones para realizar los ensayos

Los ensayos deberán realizarse en días tales que:

- $[t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}]$ esté comprendido en un rango de -5 K y + 20 K. 4 días tomará valores aprox. iguales. 2 días tomará un valor 9 K superior.
- La irradiación diaria esté distribuida uniformemente de 8 MJ/m² a 25 MJ/m² entre los días.

t_{main} debe mantenerse constante para cada día mediante un controlador de temperatura tomando un valor de acuerdo con lo expuesto para $[t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}]$.

La velocidad media de aire que fluye sobre el captador deberá mantenerse entre 3 m/s a 5 m/s y controlarse según lo indicado en el apartado 7.4 de la norma.

2.3.2.1.1.4 Procedimiento de ensayo

Se sigue el siguiente procedimiento para cada uno de los 6 días teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente (condiciones de ensayo, medias a tomar):

- Para cada uno de los 6 días, se preconditiona el sistema según lo indicado en el apartado 7.3.
- Se deja operar el sistema desde 6h antes del mediodía solar hasta 6 h después. Transcurrido este tiempo, se cubre el captador y se comienza a extraer agua a 600 l/h manteniendo este caudal. Se debe extraer mínimo un volumen igual a 3 veces el de la acumulación. A partir de ahí, se seguirá extrayendo hasta que $[t_d - t_{\text{main}}] < 1\text{K}$
- El valor medio registrado de t_d debe utilizarse para construir un perfil de temperatura de agua extraída como el de la Figura 2.7
- El caudal debe mantenerse constante a 600 l/h \pm 50 l/h. Parámetro muy influyente.

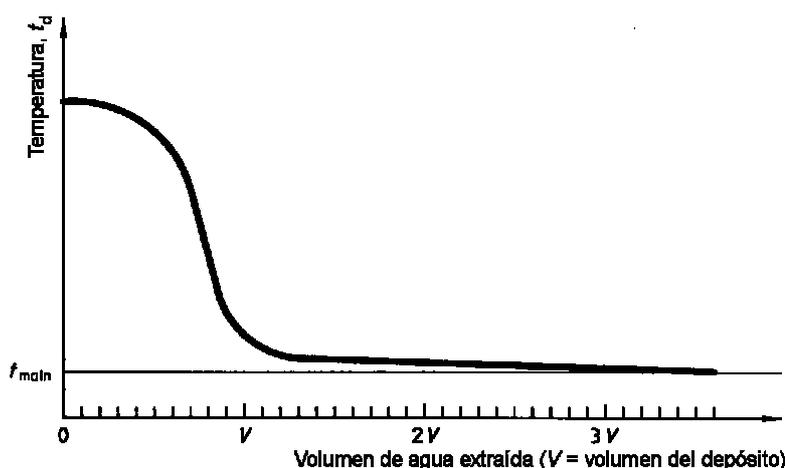


Figura 2.7 Perfil de temperatura de extracción de los ensayos de un día.

2.3.2.1.1.5 Presentación de resultados

Las medidas realizadas en los ensayos de este tipo serán procesadas para obtener las siguientes características:

1. Curvas de rendimiento del sistema:

$$Q = a_1 H + a_2 (t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}) + a_3$$

2. Curvas de incremento de temperatura:

$$t_{d(\text{máx.})} - t_{\text{main}} = b_1 H + b_2 (t_{a(\text{day})} - t_{\text{main}}) + b_3$$

3. Perfiles de temperatura de extracción normalizados:

$$f(V)$$

A continuación explicamos como la norma nos pide proceder para la obtención de las anteriores características.

Obtención de las curvas de rendimiento del sistema

1. Partimos del registro para cada día de ensayo de la temperatura de extracción (ver 2.3.2.1.1.2). Conocemos el promedio de la temperatura de extracción para cada décima parte de volumen de acumulación extraído (t_{di})
2. La energía contenida (Q_i) en cada décima parte de volumen de acumulación extraído (ΔV_i) se calcula como:

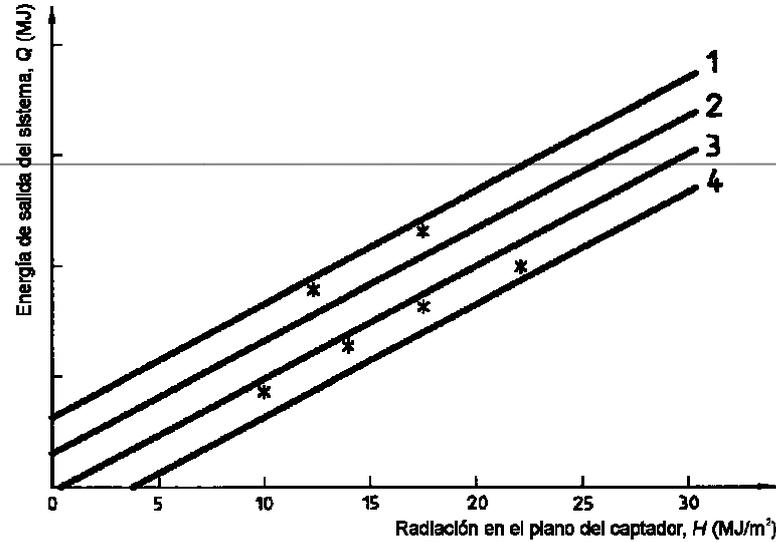
$$Q_i = \Delta V_i \rho_w c_{pw} [t_{di} - t_{\text{main}}]$$

3. La energía extraída total en cada día de ensayo (Q) se calcula sumando:

$$Q = \sum Q_i$$

4. Mediante un método de ajuste de mínimos cuadrados, y valiéndonos de las medidas tomadas en el ensayo, se obtienen los parámetros a_1 , a_2 y a_3

Estas curvas deberán de presentarse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 8.2, siguiendo el formato dado en el anexo A de la norma.



Obtención de las curvas de incremento de temperatura

1. Partimos del registro para cada día de ensayo de la temperatura de extracción (ver 2.3.2.1.1.2). Conocemos el promedio de la temperatura de extracción para cada décima parte de volumen de acumulación extraído (t_{di})

Figura 2.8 Curvas de rendimiento del sistema para distintos valores de $[t_{a(day)} - t_{main}]$

2. $t_{d(máx.)}$ se refiere al valor máximo que está siendo extraído, que lo obtenemos del registro.
3. Mediante un método de ajuste de mínimos cuadrados, y valiéndonos de las medidas tomadas en el ensayo, se obtienen los parámetros b_1 , b_2 y b_3 .

Estas curvas deberán de presentarse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 8.3, siguiendo el formato dado en el anexo A de la norma.

Obtención de los perfiles de temperatura de extracción normalizados

La norma nos indica en el apartado 8.4.1 el requisito de representar perfiles de extracción de temperatura t_d para ciertas condiciones, en concreto uno para $H < 16 \text{ MJ/m}^2$ y otro para $H \geq 16 \text{ MJ/m}^2$

1. Partimos de los perfiles anteriores.
2. El valor F_i del perfil de temperatura de extracción normalizado $f(V)$, que se asocia con cada volumen ΔV_i , se obtiene de la razón entre de la energía extraída Q_i en cada pequeño volumen de agua extraída y la energía total extraída Q :

$$F_i = \frac{Q_i}{Q}$$

Que es conocido para cada décima parte de volumen de acumulación extraído.

2.3.2.1.2 Segundo ensayo: grado de mezcla en el acumulador durante la extracción

2.3.2.1.2.1 Descripción general

Un ensayo corto, que puede realizarse en cualquier momento, sin requisitos climáticos, cuyo objetivo

será caracterizar el grado de mezcla en el acumulador entre el agua que sale del mismo y el agua fría que entra al mismo durante la extracción.

- Buscamos obtener el perfil de temperatura de la extracción habiendo calentado previamente el acumulador hasta una cierta temperatura uniforme.

2.3.2.1.2.2 Medidas a registrar durante cada período de ensayo

- Medimos la temperatura de extracción (t_d) cada 15 s y registramos el valor medio cada vez que se extrae la décima parte del volumen de acumulación.

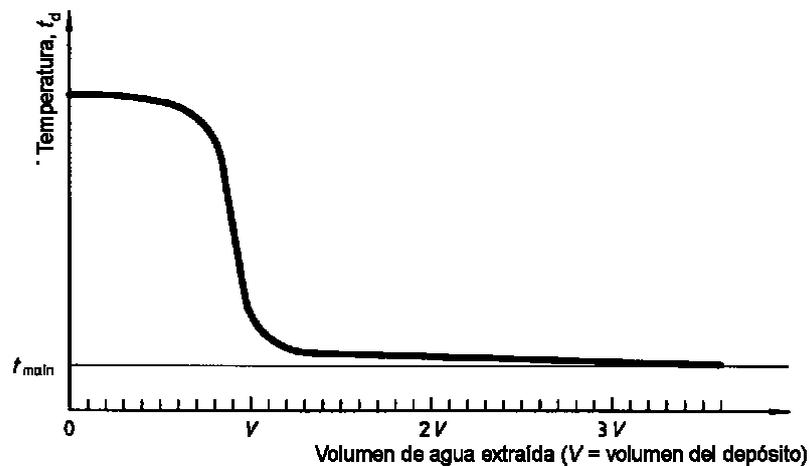


Figura 2.9 Perfil de extracción de mezcla

2.3.2.1.2.3 Condiciones para realizar el ensayo

- El agua fría que entra al acumulador debe estar a una temperatura constante menor de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- El ensayo puede realizarse al interior o al exterior (protegiendo el captador del sol en el último caso).

2.3.2.1.2.4 Procedimiento de ensayo

- Preacondicionamos el sistema como se indica en el apdo. 7.7.2, calentando el depósito uniformemente hasta los $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Extraemos agua del acumulador a un caudal constante de 600 l/h . Se debe extraer mínimo un volumen igual a 3 veces el de la acumulación. A partir de ahí, se seguirá extrayendo hasta que $[t_d - t_{min}] < 1\text{ K}$
- Registramos t_d según 2.3.2.1.2.2

2.3.2.1.2.5 *Presentación de resultados*

Las medidas realizadas en este tipo de ensayo serán procesadas para obtener la siguiente característica:

- Perfil de temperatura de extracción de mezcla normalizada

$$g(V)$$

Para obtenerlo se procede análogamente a lo prescrito para obtener $f(V)$ en el apdo. 2.3.2.1.1.5

2.3.2.1.3 Tercer ensayo: Pérdidas de calor en el acumulador

2.3.2.1.3.1 *Descripción general*

Este ensayo se llevará a cabo generalmente una noche, durante algo menos que un día, con el objeto de caracterizar las pérdidas de calor en el acumulador estimando el coeficiente de pérdidas. Se realizarán dos ensayos similares independientes: uno de ellos con el circuito del captador conectado y otro con el circuito del captador desconectado, obteniéndose dos coeficientes de pérdida de calor.

- Buscamos obtener medidas de temperatura ambiente en las inmediaciones del acumulador y las temperaturas del agua del acumulador al principio y al final del ensayo.

2.3.2.1.3.2 *Medidas a registrar durante cada período de ensayo*

- a) Temperatura ambiente en la localidad del acumulador cada hora
- b) Temperatura del agua a la salida del acumulador mientras se recircula en el preacondicionamiento.
- c) Temperatura del agua a la salida del acumulador mientras se recircula al final del ensayo

2.3.2.1.3.3 *Condiciones para realizar el ensayo*

- Si el ensayo se realiza al exterior, se deberá realizar por la noche con los captadores expuestos al cielo claro. También puede hacerse por la mañana temprano o por la tarde siempre que se proteja el sistema de la radiación solar
- Si el ensayo se realiza al interior, debe colocarse una pantalla radiativa en frente de los captadores a una temperatura 20K por debajo de la ambiente.
- El viento tiene que estar a una velocidad media comprendida entre 3 y 5 m/s

2.3.2.1.3.4 *Procedimiento de ensayo*

- Se preacondiciona el sistema, calentándose el agua en el acumulador hasta una temperatura uniforme superior a 60 °C.
- Se hace recircular el agua en el acumulador mediante una bomba hasta que se alcance una temperatura uniforme según el criterio del apartado 7.8.2. Se tomará como t_i (temperatura inicial del acumulador) el valor medio de la temperatura a la salida del acumulador según el

criterio dado en el apdo. 7.8.2.

- Se deja enfriar el acumulador un período Δt entre 12 y 24 h.
- Medimos la temperatura ambiente en las inmediaciones del acumulador cada hora durante el período. Registramos el valor medio: $t_{as(av)}$
- Al finalizar el período, volvemos a recircular el agua en el acumulador hasta alcanzar una temperatura uniforme t_f según criterio del apdo. 7.8.2.

2.3.2.1.3.5 Presentación de resultados

El coeficiente de pérdidas de calor del acumulador se calcula como sigue:

$$U_s = \frac{\rho_w c_{pw} V_s}{\Delta t} \ln \left[\frac{t_i - t_{as(av)}}{t_f - t_{as(av)}} \right]$$

2.3.2.2 Predicción de rendimiento a largo plazo

En el apartado 9 la norma ofrece un método de cálculo día a día para predecir el rendimiento del sistema a largo plazo a partir de las características del sistema obtenidas de los ensayos y de los datos de entrada para cada día, fundamentalmente datos climáticos del día y consumo de agua caliente del día (radiación solar, temperatura de aire ambiente, temperatura de agua fría de red, volumen de carga y temperatura de demanda de agua caliente)

El procedimiento contempla los siguientes efectos:

- Transferencia de energía en el sistema de un día a otro por haberse extraído solo un volumen pequeño el día anterior
- Transferencia de energía en el sistema de un día a otro como consecuencia de mezcla en el acumulador durante la extracción.
- Pérdidas de calor durante la noche
- Una única extracción simple a las 6h del mediodía solar.

El rendimiento del sistema para un período determinado se identifica con la energía extraída por el sistema para ese período. Se obtiene sumando las energías extraídas en cada día del período:

$$Q = Q_c(1) + Q_c(2) + \dots + Q_c(n)$$

2.3.2.2.1 Procedimiento: obtener $Q_c(i)$ para cada día i -ésimo.

PASOS PARA EL DÍA PRIMERO

Datos de entrada día 1

Irradiación solar diaria en el plano del captador (MJ/m^2) $H(1)$

Temperatura ambiente media diurna $t_{a(day)}(1)$

Temperatura ambiente durante la noche $t_n(1)$

Volumen de consumo de agua caliente diaria $V_c(1)$ o límite mínimo útil de temperatura para el consumo de agua caliente $t_h(1)$

Temperatura de entrada de agua fría $t_{main}(1)$

I: Energía disponible a las 6 h después del mediodía solar:

$$Q(1) = a_1 H(1) + a_2 (t_{a(day)}(1) - t_{main}(1)) + a_3$$

Si la demanda de agua caliente es temperatura limitada, pasar a II. Si no, pasar a III directamente.

II: Cálculo volumen de extracción tal que la temperatura de extracción se mantiene por encima del límite mínimo útil de temperatura:

$$t_d(V) = t_{main}(1) + \frac{Q(1)f(V)}{0,1V_s \rho_w c_{pw}}$$

El volumen consumido $V_c(1)$ se calcula por determinación del volumen máximo al cual t_d se mantiene más alto que $t_h(1)$

III: Energía extraída :

$$Q_c(1) = Q(1) \int_0^{V_c(1)} f(V) dV$$

IV: Energía restante en el depósito y temperatura media del depósito al comienzo de la noche:

$$Q_R(1) = Q(1) - Q_c(1)$$

$$t_i(1) = t_{main}(1) + \frac{Q_R(1)}{4180V_s}$$

V: Energía perdida por la noche:

$$Q_{LOS}(1) = 4180V_s [t_i(1) - t_n(1)] \left[1 - \exp\left(-\frac{U_s \Delta t}{4180V_s}\right) \right]$$

VI: Temperatura uniforme del depósito a la mañana siguiente:

$$t_s(2) = t_{main}(1) + \frac{Q_R(1) - Q_{LOS}(1)}{4180V_s}$$

PASOS PARA EL DÍA i-ÉSIMO

Datos de entrada:

Irradiación solar diaria en el plano del captador (MJ/m^2) $H(i)$
Temperatura ambiente media diurna $t_{a(\text{day})}(i)$
Temperatura ambiente durante la noche $t_n(i)$
Volumen de consumo de agua caliente diaria $V_c(i)$ o límite mínimo útil de temperatura para el consumo de agua caliente $t_h(i)$
Temperatura de entrada de agua fría $t_{\text{main}}(i)$
El sistema empieza el día a una temperatura $t_s(i)$ calculada en el día anterior, en el último paso.

I: Energía disponible a las 6 h después del mediodía solar:

$$Q(i) = Q(i : \text{parte1}) + Q(i : \text{parte2})$$

Una parte de la energía disponible es la que debería haberse acumulado si el sistema se hubiera rellenado durante la extracción de agua caliente 6 h después del mediodía solar con agua a la temperatura inicial $t_s(i)$. Esta energía se calcula usando la característica del sistema como sigue:

$$Q(i : \text{parte1}) = a_1 H(i) + a_2 [t_{a(\text{day})}(i) - t_s(i)] + a_3$$

La otra parte de la energía disponible es la debida al hecho de que el sistema se haya llenado con agua a $t_{\text{main}}(i)$, la cual es más baja que $t_s(i)$. Esta energía viene dada por el producto de la parte solar del volumen del depósito y la diferencia entre $t_s(i)$ y $t_{\text{main}}(i)$

$$Q(i : \text{parte2}) = 4180 V_s [t_s(i) - t_{\text{main}}(i)]$$

Si la demanda de agua caliente es temperatura limitada, pasar a II. Si no, pasar a III directamente.

II: Cálculo volumen de extracción tal que la temperatura de extracción se mantiene por encima del límite mínimo útil de temperatura:

$$t_d(V) = t_{\text{main}}(2) + \frac{Q(i : \text{parte1})f(V)}{0,1V_s \rho_w c_{pw}} + \frac{Q(i : \text{parte2})g(V)}{0,1V_s \rho_w c_{pw}}$$

El volumen consumido $V_c(i)$ se calcula por determinación del volumen máximo al cual t_d se mantiene más alto que $t_h(i)$

III: Energía extraída:

$$Q_c(i) = Q_c(i : \text{parte1}) + Q_c(i : \text{parte2})$$

$$Q_c(i : \text{parte1}) = Q_c(i : \text{parte1}) \int_0^{V_c(i)} f(V) dV$$

$$Q_c(i : parte2) = Q(i : parte2) \int_0^{V_c(i)} g(V) dV$$

IV: Energía restante en el depósito y temperatura media del depósito al comienzo de la noche:

$$Q_R(i) = Q(i) - Q_c(i)$$

$$t_i(i) = t_{main}(i) + \frac{Q_R(i)}{4180V_s}$$

V: Energía perdida por la noche:

$$Q_{LOS}(i) = 4180V_s [t_i(i) - t_n(i)] \left[1 - \exp\left(-\frac{U_s \Delta t}{4180V_s}\right) \right]$$

VI: Temperatura uniforme del depósito a la mañana siguiente:

$$t_s(i+1) = t_{main}(i) + \frac{Q_R(i) - Q_{LOS}(i)}{4180V_s}$$

2.3.3 Norma ISO 9459-5

Principio sobre el que descansa la metodología

La operación de un sistema solar de ACS puede ser descrito como una ecuación diferencial en derivadas parciales de acuerdo al enfoque usado en esta metodología (Kaloudis et al.,2010). Cada término de la ecuación representa un subproceso del sistema. El objetivo de una metodología de ensayo bajo este enfoque será calcular los coeficientes representativos de cada término de la ecuación (parámetros del sistema) con objeto de poder determinar su comportamiento (predicción del rendimiento).

Este objetivo será alcanzado mediante el ensayo del sistema en un abanico amplio de condiciones de operación, de tal manera que podamos adquirir datos suficientes del funcionamiento del sistema bajo escenarios diversos y, especialmente, extremos. Posteriormente, se alimentará un software con los datos obtenidos, lo que nos permitirá identificar aproximadamente los parámetros característicos mediante el conjunto que mejor se ajuste a los resultados de ensayo; resultados que serán interpretados por el software como la "película" del comportamiento del sistema. . Posteriormente, ese mismo software, junto con los parámetros ya identificados, nos permitirá predecir el comportamiento del sistema para cualquier conjunto de condiciones de operación y de clima dadas.

Objeto y campo de aplicación

Esta parte de la norma ofrece métodos de ensayo para la caracterización del rendimiento de sistemas solares de ACS. Los métodos de ensayo podrán realizarse al exterior, in-situ, y al interior empleando perfiles de extracción e irradiación adecuados. Los ensayos se realizan al sistema completo, no necesitando realizar ensayos de componentes por separado.

Como ya se ha comentado más arriba en la introducción a esta norma, los datos obtenidos en los ensayos son usados para alimentar un software (*Dynamic System Testing Programme*) que, mediante un método de ajuste, identifica los parámetros característicos del sistema ensayado de acuerdo con un modelo. Posteriormente, este mismo modelo puede ser usado para efectuar la predicción del rendimiento bajo cualesquiera condiciones meteorológicas y de carga.

El método es aplicable a todo tipo de sistemas: circulación forzada, termosifón, con captador-depósito integrados; siempre y cuando la tipología de sistema haya sido validada para el método según lo estipulado en el anexo B. El método se aplica a sistemas con apoyo auxiliar teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Sistemas con apoyo auxiliar integrado: deberá activarse el calentamiento auxiliar durante los ensayos.
- Apoyo auxiliar externo: deberá desconectarse durante los ensayos. No se considerará parte del sistema.
- El método no puede ser aplicado para sistemas con apoyo auxiliar integrado con una alta proporción del acumulador calentado por el apoyo auxiliar. Los resultados de los ensayos son sólo válidos cuando $f_{aux} < 0,75$ (f_{aux} fracción del acumulador calentado por el apoyo auxiliar)

Para que el método sea aplicable, las dimensiones de los sistemas deberán pertenecer a los rangos siguientes:

- Área de apertura del captador entre 1 y 10 m²
- Volumen de almacenamiento entre 50 y 1000 litros
- Volumen específico de almacenamiento entre 10 y 200 litros por m² de área de apertura del captador.

Cuerpo de la norma

El cuerpo de la norma consta de los siguientes apartados:

- 5. *Apparatus*
- 6. *Test method*
- 7. *Identification of system parameters*
- 8. *Performance prediction*

El apartado 5 establece requisitos y especificaciones acerca del montaje para el ensayo de los diferentes componentes que forman el sistema, así como de la instalación típica para realizar los ensayos, indicando los distintos sensores y dispositivos de medida que deben colocarse además de sus incertidumbres para las medidas. Nos centraremos en comentar el contenido de los demás apartados, que contendrán las especificaciones relativas a describir los procedimientos de ensayo en su vertiente más operativa, la identificación de los parámetros del sistema mediante el software y la predicción y presentación del rendimiento.

2.3.3.1 Procedimiento de ensayo

El método descrito en esta norma se basa en llevar a cabo 3 secuencias de ensayos orientadas a recabar información sobre el comportamiento del sistema para poder caracterizarlo correctamente.

Con secuencia de ensayos nos referimos a un conjunto de ensayos diarios consecutivos, precedidos y cerrados por unas operaciones de acondicionamiento, en los cuales someteremos al sistema a unas ciertas condiciones de operación bajo unos requisitos. Naturalmente, en esas secuencias de ensayos muestrearemos y registraremos una serie de medidas relativas a unas magnitudes concretas. El registro de estas medidas serán los "datos" con los que alimentaremos el software. El muestreo y registro de las medidas será comentado posteriormente

Existen dos tipos de ensayos diarios estandarizados y definidos por ciertas condiciones de operación, que se usarán para conformar las 3 secuencias de ensayos. Estos dos tipos de ensayos se denominan en la norma como Test A y Test B. Describiremos en primer lugar estos dos ensayos y, posteriormente, pasaremos a hacer lo propio con las 3 secuencias, denominadas S-sol, S-store y S-aux.

2.3.3.1.1 Test A

Objetivo

El objetivo que se persigue mediante este ensayo es adquirir información sobre el comportamiento del captador a altas eficiencias, por lo que el perfil de extracciones para este test se ha diseñado para mantener la entrada al captador fría.

Perfil de extracciones

El perfil de extracciones consiste en un número de extracciones consecutivas, cuyos tiempos de inicio se definen en la Tabla 2-16. t_0 es el tiempo en el que comienza la primera extracción, que deberá ocurrir entre las 6:30 y las 8:00 hora solar. El volumen de extracción dependerá de las dimensiones del sistema, y viene definido en la Tabla 2-17. En cualquier caso, no deberá ser menor que 20 litros.

Draw-off No.	Draw-off start time
1	t_0
2	$t_0 + 2 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$
3	$t_0 + 4 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$
4	$t_0 + 5 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$
5	$t_0 + 6 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$
6	$t_0 + 8 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$

7	$t_0 + 11 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$
---	--

Tabla 2-16 Tiempos de inicio de las extracciones para el Test A

System dimensions	Draw-off volume
$100 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 200 \text{ l m}^{-2}$	$0,2 V_S \pm 10 \%$
$60 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 100 \text{ l m}^{-2}$	$0,25 V_S \pm 10 \%$
$40 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 60 \text{ l m}^{-2}$	$0,33 V_S \pm 10 \%$
$20 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 40 \text{ l m}^{-2}$	$0,5 V_S \pm 10 \%$

Tabla 2-17 Volúmenes de extracción para el Test A

Donde V_S denota el volumen del depósito de almacenamiento y A_C el área de apertura del captador.

Requisitos y condiciones

Para este ensayo diario el apoyo auxiliar integrado debe ser desconectado.

El caudal de extracción deberá ser de $10 \pm 1 \text{ l/min}$.

La temperatura del agua de reposición deberá ser seleccionada de acuerdo con el apartado 6.2.1 de la norma, que no reproduciremos por no ser de interés para los efectos de este trabajo.

Para que este ensayo diario (Test A) sea válido, la irradiación en el plano del captador debe ser superior a 12 MJ/m^2 .

2.3.3.1.2 Test B

Objetivo

El objetivo de este ensayo diario es adquirir información sobre las pérdidas de calor del depósito de almacenamiento y sobre el comportamiento del captador trabajando a bajas eficiencias. Por esta razón, los perfiles de extracción en este caso están diseñados para que el sistema alcance altas temperaturas durante el mayor tiempo posible, pero evitando sobrecalentamiento del depósito.

Perfil de extracciones

El perfil de extracciones consiste en un número de extracciones consecutivas, cuyos tiempos de inicio se definen en la Tabla 2-18. t_0 es el tiempo en el que comienza la primera extracción, que deberá ocurrir entre las 8:30 y las 10:00 hora solar.

Draw-off No.	Draw-off start time
1	t_0
2	$t_0 + 2 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$
3	$t_0 + 4 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$

4	$t_0 + 6 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$
5	$t_0 + 8 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$

Tabla 2-18 Tiempos de inicio de las extracciones para el Test B

El volumen de extracción dependerá de las dimensiones del sistema y de la temperatura de extracción. Para prevenir al sistema del sobrecalentamiento, las extracción deberá hacerse como sigue:

Para cada extracción, se comienza a extraer agua. La extracción finalizará cuando se dé lo siguiente:

- Al menos 5 litros sean extraídos

Y

- O el 20% del volumen de almacenamiento haya sido retirado (40% en el caso de sistemas con $20 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 40 \text{ l m}^{-2}$) O la temperatura de extracción caiga por debajo del umbral.

Ese umbral deberá ser seleccionado de acuerdo a la (REFERENCIA)

System dimensions	Temperature
$100 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 200 \text{ l m}^{-2}$	70°C
$60 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 100 \text{ l m}^{-2}$	60°C
$40 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 60 \text{ l m}^{-2}$	50°C
$20 \text{ l m}^{-2} \leq V_S/A_C \leq 40 \text{ l m}^{-2}$	40°C

Tabla 2-19 Temperatura umbral para el Test B

Requisitos y condiciones

Para este ensayo diario, el apoyo auxiliar integrado debe de ser conectado 1h después, como mucho, del final de la última extracción, y desconectado 1 h antes, como mucho, del comienzo de la primera extracción.

El caudal de extracción deberá ser de $2 \pm 0,5 \text{ l/min}$.

La temperatura del agua de reposición deberá ser seleccionada de acuerdo con el apartado 6.2.1 de la norma para la secuencia S-sol.

Para que este ensayo diario (Test B) sea válido, la irradiación en el plano del captador debe ser superior a 12 MJ/m^2 .

En el caso de la secuencia S-sol, si la temperatura de la extracción se quedase siempre por debajo del umbral para lo especificado en S-sol, deberá extenderse la secuencia hasta que dos días consecutivos con una radiación de 15 MJ/m^2 sean incluidos.

2.3.3.1.3 Secuencia S-sol

Esta secuencia consta de varios días de ensayo bajo condiciones de alta irradiación.

Al principio y al final de la secuencia, tendrá lugar un acondicionamiento del sistema, como se indica en el apartado 6.2.5 de la norma. El objetivo es disponer a principios de cada secuencia de un estado uniforme y bien definido de temperatura en el depósito de almacenamiento. Esto se consigue extrayendo un caudal de 10 ± 1 l/min, de noche o con los captadores y piranómetros cubiertos y el apoyo auxiliar desconectado, hasta que se haya extraído 3 veces el volumen de almacenamiento o hasta que la diferencia de temperatura entre la salida y el agua de reposición sea de menos de 1K.

En esta secuencia de ensayos aplicaremos Tests A y Tests B. La secuencia termina cuando se cumplan todos los siguientes requisitos:

- Se debe haber registrado un mínimo de 3 ensayos válidos de Test A y 3 ensayos válidos de Test B.
- De los ensayos de Test B, al menos 2 deben de ser consecutivos (días consecutivos).
- El número de ensayos válidos de Test A debe ser al menos un tercio del número total de ensayos de Test A. Ídem para el número de ensayos válidos de Test B.
- El número total de ensayos válidos de Test A, si es mayor que 4, no deberá ser mayor que el número de ensayos válidos de Test B, y no deberá ser menor que el número total de ensayos de Test B menos 2.

Se nos dice también que para esta secuencia no es indispensable que todos los ensayos diarios que la componen se hagan continuamente uno detrás de otro, sino que la secuencia se puede dividir en dos subsecuencias, una para los Tests A y otra para los Tests B. Al principio y al final de cada subsecuencia habrá que aplicar el acondicionamiento, aunque el tratamiento de los datos obtenidos se hará conjuntamente como si se hubiese realizado una única secuencia.

2.3.3.1.4 Secuencia S-store

Esta secuencia está diseñada para caracterizar las pérdidas en el acumulador. Consiste de los siguientes pasos:

- Acondicionamiento de acuerdo con el apartado 6.2.5 de la norma y detallado más arriba en 2.3.3.1.3.
- Calentamiento del depósito de almacenamiento. Consiste en dos días de Test B consecutivos (sin apoyo auxiliar).
- Período de enfriamiento. Duración entre 36 a 48 horas desde la última extracción efectuada en el período anterior de calentamiento. Durante este período no tendrá lugar extracción alguna y deberemos someter al sistema a condiciones de baja radiación. Si la irradiancia solar esperada es superior a 200 W/m^2 , deberemos evitarla mediante alguna de las medidas descritas en el apartado 6.3.5 de la norma.
- Acondicionamiento final

Si tenemos la posibilidad de controlar la temperatura del ambiente en las cercanías del depósito, deberemos elegir la temperatura más baja posible para toda la secuencia.

2.3.3.1.5 Secuencia S-aux

Con esta secuencia se persigue caracterizar las pérdidas de calor y la fracción de volumen del acumulador calentado por el apoyo auxiliar. Para ello se evalúa la operación de sistemas con apoyo auxiliar integrado sometido a condiciones de baja irradiación.

- Acondicionamiento inicial
- 4 ensayos de Test B

La radiación solar en esta secuencia debe cumplir los mismos requisitos que en la S-store, debiéndose aplicar las mismas medidas si fuese necesario.

El apoyo auxiliar debe ser conectado desde $t_0 + 9$ h hasta $t_0 + 23$ h y desconectado el resto del tiempo.

2.3.3.1.6 Adquisición y procesamiento de datos

En este apartado se explican las condiciones que la norma especifica para efectuar las medidas (muestreo) y registros durante los ensayos.

Con muestreo nos referimos a tomar una medida instantánea de alguna magnitud física.

Con registro nos referimos a "apuntar" o escribir en el archivo de resultados un valor derivado del muestreo efectuado.

En la siguiente Tabla 2-20 se especifica las magnitudes que deben ser muestreadas y registradas durante los ensayos. Se indica el intervalo máximo de muestreo. El muestreo de las magnitudes durante períodos donde no se hace extracción es necesario para controlar la operación del sistema.

Symbol	Unit	Variable	Maximum sampling interval	
			Draw-off	No draw-off
T_{cw}	[°C]	Mains-water temperature	2 s ^a	30 s
T_S	[°C]	Store outlet temperature	2 s ^a	30 s
\dot{V}_S	[l/min]	Volumetric draw-off rate	2 s ^a	30 s
P_{aux}	[W]	Auxiliary power	2 s ^a	30 s
G_t	[W·m ⁻²]	Hemispherical irradiance	5 s	5 s
T_{ca}	[°C]	Collector ambient air temperature	30 s	30 s
T_{sa}	[°C]	Storage-tank ambient air temperature	30 s	30 s
v	[m·s ⁻¹]	Surrounding air velocity	30 s	30 s

^a If integrating instruments are used for measuring the draw-off rate and the auxiliary power, the maximum sampling intervals may be changed from 2 s to 5 s.

Tabla 2-20 Magnitudes a muestrear

Los valores muestreados deben de ser continuamente integrados y promediados. Los valores promediados deben de ser registrados cada 30 s como máximo durante períodos de extracción y cada 5 minutos como máximo cuando no haya extracción. Esta operación de muestreo y registro debe hacerse de manera continua en cada secuencia.

2.3.3.2 Identificación de los parámetros del sistema y predicción del rendimiento

Los parámetros a identificar por el sistema son los siguientes:

A_C^* Es la superficie efectiva de captadores. Donde $A_C^* = F_R^*(\alpha\tau) A_C$

u_C^* Es el coeficiente efectivo de pérdidas del captador. Donde $u_C^* = u_C/(\alpha\tau)$

C_S Es la capacidad total de almacenamiento de calor

D_L Es la constante de mezcla

f_{aux} Es la fracción del acumulador utilizado para calentamiento auxiliar

R_L Es la resistencia térmica del intercambiador de carga de calor.

S_C Es el parámetro de estratificación

U_S Es el coeficiente de pérdidas del acumulador

u_v Es la dependencia de u_C con la velocidad del viento

Una vez que se han llevado a cabo los ensayos según se ha comentado en 2.3.3.1, se deberá proceder a la identificación de los parámetros del sistema mediante el algoritmo de ajuste dinámico. A la hora de proceder a la identificación usando el software, existen una serie de opciones dentro del mismo que deberán ser habilitadas o no:

WindCollector: Esta opción está relacionada con las opciones de que disponemos para ajustar la velocidad del viento en las inmediaciones del captador durante los ensayos (apartado 6.2.2 de la norma). La opción solo será habilitada para el tercer caso, en donde el factor de pérdidas del captador dependerá linealmente de la velocidad del viento.

DrawoffMix: Deberá habilitarse cuando la extracción provoque una mezcla significativa en el depósito de almacenamiento.

SolarStratification: Deberá habilitarse cuando las condiciones de operación en el sistema puedan provocar una estratificación significativa.

Aux: Deberá habilitarse únicamente para sistemas con apoyo auxiliar integrado.

LoadHeatExchanger: Deberá habilitarse únicamente para sistemas con intercambiador de calor del lado de la carga.

Además de los parámetros característicos del sistema, el software que contiene el algoritmo de ajuste dinámico también nos da una matriz de covarianza, que nos permitirá identificar posibles errores en la fase previa de adquisición de datos.

Para la predicción del rendimiento anual, deberán habilitarse las mismas opciones que para la identificación de parámetros. La salida del modelo será la ganancia neta de calor. En el Anexo A de la norma se dan indicaciones para esta fase. En el Anexo C se dan pautas para presentar los resultados.

A continuación, a modo de ejemplo, mostramos algunos resultados de aplicar esta norma. Los resultados están extraídos del informe de ensayo que se ha empleado para ilustrar la norma EN 12976 (ver pág. 64)

Sequence number	1	2	3	4
Sequence type	S _{sol} A	S _{sol} B	S _{sto}	S _{aux}
Solar radiation [W/m ²]	234	254	127	n/a
Ambient air temperature [°C]	23.1	22.9	21.1	n/a
Start date	28.07.08	31.07.08	06.08.08	n/a
Number of days	3	4	4	n/a
Number of valid days	3	3	2	n/a

Tabla 2-21 Información sobre las secuencias de un informe de ensayo

Effective collector area	A _C *	2.178	m ²
Effective collector loss coefficient	u _C *	7.051	W m ⁻² K ⁻¹
Total store heat loss coefficient	U _S	2.432	W/K
Total store heat capacity	C _S	1.146	MJ/K
Fraction of the store used for auxiliary heating	f _{aux}	n/a	-
Mixing constant	D _L	0.08218	-
Stratification parameter	S _C	0.2867	-
Thermal resistance of load heat exchanger	R _L	n/a	K/W
Wind speed dependence of u _C *		n/a	
Wind option used		W _{ignore}	
Wind correction used		n/a	

Tabla 2-22 Parámetros característicos del sistema ensayado

2.3.4 Norma ISO 9459 4

Principio sobre el que descansa la metodología

El método propuesto en esta parte de la norma comparte enfoque con el de la parte 5 que ya hemos comentado. Efectivamente, la aproximación teórica es similar: modelar el sistema por ordenador con ayuda de la información recabada por ensayos para posteriormente simularlo con objeto de predecir su comportamiento. Si bien, la diferencia fundamental de este método expuesto en la parte 4 con el de la parte 5 es que en este caso el modelado, y por tanto los ensayos previos, no se realizarán sobre el sistema como un todo sino sobre los componentes. Cada componente, por tanto, será ensayado y modelado individualmente y posteriormente los distintos modelos serán "ensamblados" para poder obtener el modelo de todo el sistema. El siguiente esquema, que nos ofrece la norma en su introducción, recoge la filosofía de esta aproximación.

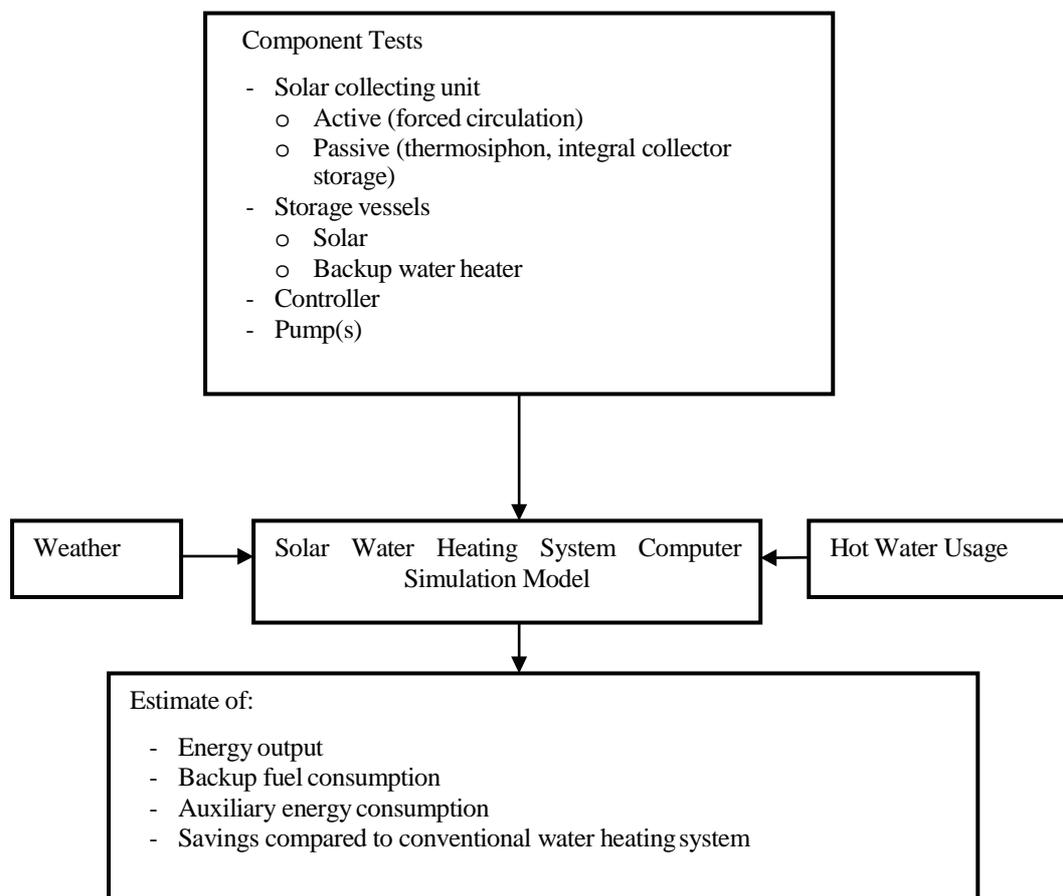


Figura 2.10 Metodología empleada en ISO 9459 4

Un primer paso será realizar ensayos a los distintos componentes que podemos encontrar en los sistemas: captadores, depósitos de almacenamiento, controladores, bombas, intercambiadores de calor. Los ensayos nos permitirán alimentar con datos suficientes los modelos creados mediante algún software de simulación. Posteriormente, podremos realimentar el software con datos de clima

y demanda de agua caliente para poder obtener estimaciones del comportamiento del sistema en términos de energía extraída, energía de apoyo consumida, consumo de auxiliares (entendiendo auxiliares como bombas, controladores y otros) y ahorro obtenido frente a sistemas convencionales para calentar agua.

Objeto y campo de aplicación

Esta parte de la norma ofrece un método para evaluar el rendimiento anual de sistemas solares para calentamiento de agua. Se especifican ensayos para componentes del sistema y pautas para llevar a cabo la predicción del rendimiento anual, además de algunas guías en lo relativo a los modelos de simulación (anexo H), donde la norma pone como ejemplo los modelos creados a tal efecto mediante el programa TRNSYS por el Solar Thermal Energy Laboratory de la Universidad de Nueva Gales del Sur.

La norma es de aplicación para sistemas solares de calentamiento de agua con algunas de las siguientes características:

- Captadores solares planos, de concentración o de tubos de vacío
- Circulación natural (termosifón) o forzada
- Sistemas con intercambiadores de calor
- Sistemas combinados para calentamiento de ACS y calefacción
- Sistemas captador-depósito integrados
- Depósitos de almacenamiento horizontales o verticales
- Depósitos con apoyo auxiliar eléctrico integrado, con uno o más elementos eléctricos
- Depósitos con apoyo auxiliar por gas
- Sistemas solares de precalentamiento en serie con calentador de agua instantáneo
- Sistemas solares combinados con bomba de calor

Como observamos el campo de aplicación es bastante amplio en comparación con otras partes de la norma que pueden tener un rango de actuación más limitado.

La presentación de resultados de rendimiento del sistema, de acuerdo con esta norma, se hará en términos de ahorro de energía convencional mediante el siguiente indicador:

$$f_R = (B_c - B_s) / B_c$$

Que representa la fracción de ahorro en el consumo energético en que se incurre al instalar un sistema solar de calentamiento de agua en comparación con un sistema convencional. B_c representa la energía consumida por un calentador convencional y B_s la energía consumida por el sistema no convencional, en este caso el sistema solar de calentamiento de agua.

Cuerpo de la norma

El cuerpo de la norma consta de los siguientes apartados:

- *6 Test method*
- *7 Performance evaluation*

El primero de ellos señalará los diferentes ensayos necesarios para caracterizar el comportamiento de los componentes del sistema. Es resaltable destacar que en esta norma se usan ensayos definidos en varias normas de carácter regional, como las normas europeas EN 12977, nacionales como la australiana AS 4552 o internacionales como la ISO 9806. También en esta norma se definen algunos ensayos en los anexos.

En el segundo, el apartado 7, se detallan condiciones para realizar el modelado y la simulación relativas a los componentes y condiciones climáticas y de operación. Por ejemplo, se especifica cuáles deben ser los perfiles de extracción, o la temperatura del agua de reposición. Además, se indica cómo debe hacerse la presentación de los resultados de los ensayos y de la simulación.

2.3.4.1 Ensayos

La norma, en su apartado 6, especifica que deben realizarse ensayos para los siguientes componentes y elementos con la finalidad de poder caracterizarlos de cara a su modelado mediante el software:

- Depósitos de almacenamiento
- Captadores solares
- Intercambiadores de calor
- Controladores

2.3.4.1.1 Ensayos relativos a depósitos de almacenamiento

Debido a la diversa tipología de depósitos que podemos encontrar, no existe un método único de ensayo, teniendo así distintos ensayos según sea el depósito. La norma distingue entre depósitos simples y complejos.

Para el caso de un depósito simple, entendido como aquél que no dispone de sistema auxiliar integrado ni intercambiador de calor, las pérdidas de calor deberán ser evaluadas de acuerdo al método dado en la norma EN 12977-3 o al método especificado en el anexo B de esta norma que nos ocupa.

El método dado en el anexo B tiene el objetivo de determinar el coeficiente de capacidad de pérdidas del depósito (UA), que será input para el software de simulación. El procedimiento consta de varias fases: una fase de carga del tanque, donde se llena de acuerdo a un procedimiento especificado; una fase de vaciado, un ensayo para determinar la capacidad térmica del depósito y otro para determinar las pérdidas de calor. La norma nos indica las medidas que hay que tomar durante este ensayo:

temperatura del agua a la entrada, temperatura a la salida, temperatura ambiente y flujo másico.

Para los depósitos llamados complejos, la norma distingue entre:

- Con apoyo auxiliar eléctrico: serán evaluados de acuerdo a la norma EN 12977-3.
- Con apoyo auxiliar por gas: se nos remite a la norma australiana AS 4552
- Depósitos para bomba de calor: se nos ofrece entre varias opciones para evaluar las pérdidas de calor, como la australiana AS/NZS 4692.1, la EN 12977-3 o el propio anexo B de esta norma.

2.3.4.1.2 Ensayos relativos a intercambiadores de calor

La norma nos remite al anexo F o, como alternativa, a la norma EN 12977-3

En el anexo F se describen varios ensayos diferentes para modelar el comportamiento de los intercambiadores en función del tipo de intercambiador.

Se distingue entre intercambiadores externos (al depósito de almacenamiento) con circulación forzada, intercambiadores externos con circulación natural e intercambiadores internos (inmersos).

Los ensayos van encaminados a determinar el coeficiente de capacidad de transferencia de calor (UA) de los intercambiadores. En general los ensayos se componen de una fase donde se cargan los intercambiadores a una temperatura especificada y otra donde se operan y descargan. Las medias a tomar generalmente van a ser las temperaturas de entrada y salida así como el caudal. Se perseguirá que el intercambiador pase por todos los estados de flujo posibles (laminar, transición y turbulento) para así tener más información del mismo

2.3.4.1.3 Otros ensayos

En lo que a captadores se refiere, la norma remite directamente a la ISO 9806 para estimar la eficiencia de los captadores. Además, la norma indica un procedimiento para corregir la eficiencia del captador al añadir una protección contra granizo

Para los controladores la norma nos remite a la EN 12977-5.

Además, la norma indica que se debe de evaluar el caudal en sistemas de circulación forzada. Para ello establece dos procedimientos, uno para bombas de velocidad variable y otro para bombas de velocidad constante.

2.3.4.2 Consideraciones relativas a la predicción y evaluación del rendimiento

En el apartado 7, y con objeto de proceder a la simulación del modelo para predecir el rendimiento, la norma ofrece una serie de especificaciones encaminadas a determinar datos de entrada necesarios para llevar a cabo dichas simulaciones. Estos datos de entrada serán, entre otros, datos climáticos, datos de uso de agua caliente o la configuración de los sistemas, además de ofrecer consideraciones adicionales relativas a fenómenos como la estratificación a la hora de implementar los modelos en el

software de simulación

Se especifican los datos climáticos que deberán usarse para las simulaciones, así como las localidades de referencia, de las que se tomarán esos datos. Estos datos serán valores horarios y quedan recogidos en la siguiente tabla, indicando el tipo de sistema que lo requiere:

Variable	Applicability
Ambient temperature	All systems
Global irradiation	Solar water heaters and solar-assisted heat pumps
Beam irradiation	Solar water heaters and solar-assisted heat pumps
Wet bulb temperature	Heat pumps only
Wind speed	Solar-assisted heat pumps and solar water heaters incorporating unglazed collectors
Cloud cover	Solar-assisted heat pumps and solar water heaters incorporating unglazed collectors
Infrared radiation or sky temperature (if available)	Solar-assisted heat pumps and solar water heaters incorporating unglazed collectors

Las localizaciones de referencia para las que debemos dar los datos climáticos se recogen en una tabla del anexo G. En esa tabla podemos observar localizaciones de referencia de todo el mundo agrupadas en zonas climáticas. Por ejemplo, para clima mediterráneo se ofrecen como localizaciones: Roma, Estambul, Lisboa, San Francisco, Ciudad del Cabo y Santiago de Chile.

En el mismo anexo G se recogen también los perfiles de carga a usar. Se establece una serie de volúmenes de extracción diarios y se da un patrón de cargas asociado mediante factores que varían según la hora del día y que usaremos para multiplicar el volumen diario, con objeto de obtener el perfil para cada día. También nos da el anexo G el perfil para calcular la temperatura del agua fría de reposición que entra al sistema.

De entre las consideraciones adicionales para la predicción del sistema mediante simulación de los modelos que nos ofrece la norma en el apartado 7 destacamos:

- Temperatura de la carga y temperatura de consigna de los calentadores de apoyo auxiliar instantáneos
- Modelado de la estratificación térmica en los depósitos de almacenamiento, dando criterios específicos de modelado en función de la tipología del depósito de almacenamiento.
- Configuraciones del circuito hidráulico a la hora de establecer el modelado, indicando longitud de tubería, aislamiento de tubería y coeficientes de pérdida de calor.
- Energía usada para protecciones contra heladas

2.4 Certificación

2.4.1 Introducción

En el transcurso de la investigación efectuada para la realización de este trabajo, los *reports* y *reviews* con los que nos topamos aportaban evidencias de cómo la certificación juega un papel central en lo que respecta a la normalización en este campo. Evidentemente normalización y certificación siempre han ido de la mano, podrían algunos decirnos, pero si eso se ha notado más alguna vez es en la actualidad, donde el binomio normalización +certificación lo encontramos como un ente inseparable prácticamente, donde normas concretas están muy ligadas a esquemas concretos y viceversa. Lo que queremos significar con esta introducción es que ese papel ejercido por la certificación en el caso que nos ocupa viene a influir enormemente la cuestión de la normalización de sistemas solares térmicos de baja temperatura, hasta tal punto que muchas normas han ido siendo sustituidas por otras por la relevancia que ciertos esquemas de certificación han ido tomando. Así mismo, puede decirse que muchas normas nacionales potenciales no han sido desarrolladas precisamente por las mismas razones, por la relevancia de ciertos esquemas de certificación, que han ido siendo adoptados como propios anulando o disminuyendo la necesidad de elaborar normas nacionales propias. Esto no quiere decir que no se desarrollen normas nacionales propias, sino que las que se desarrollan son, en muchos casos, una fiel copia de aquellas presentes en los esquemas de certificación más dominantes. Como ejemplo podemos citar el caso de las normas en las regiones árabes del norte de África, donde el esquema de certificación SHAMCI, al ser una fiel adaptación del europeo Solar Keymark, ha convertido a las normas europeas EN en las normas dominantes en esta región, desplazando los desarrollos propiamente autóctonos.

A continuación trataremos del fenómeno de la certificación en virtud de lo anteriormente expuesto. Comenzaremos dando algunas pinceladas sobre el fenómeno en sí, para posteriormente analizar los esquemas dominantes globalmente. Nos detendremos especialmente en el caso europeo, que nos servirá para estudiar el funcionamiento operativo del proceso de certificación, muy similar en todos los esquemas.

2.4.2 Algunos antecedentes y aclaración de conceptos

La certificación, o evaluación de la conformidad, nace con el objetivo de responder a la siguiente cuestión, de interés tanto para el productor como para el consumidor de algún producto o servicio: ¿cómo podemos asegurar o garantizar que el producto se corresponderá con las expectativas que tienen de él las partes implicadas (consumidores, proveedores, autoridad, etc.)?

Ciertamente esta pregunta es tan antigua como lo es el comercio. Una respuesta a la misma, cercana al concepto de certificación actual, se dio ya en la edad media. Los distintos Gremios, celosos de mantener los estándares de calidad que se especificaban en las Ordenanzas Gremiales y el cumplimiento de esta normativa, idearon un sistema de marcas registradas (Tarrés Vives, 2003). Cada gremio tenía su marca, cuyo símbolo acompañaba, a su vez, a la marca del taller o del fabricante si pasaban los pertinentes controles por parte del gremio. Es un claro ejemplo de lo que hoy llamaríamos "autocertificación", o de forma más correcta: *evaluación de la conformidad de primera parte*. Así mismo, también encontramos en esa época antecedentes de "auditorías de calidad", bien realizadas por el propio gremio o por la autoridad pública. Así en la ciudad de Bolonia aparece la figura del "inquisidor" en el gremio de los herreros. Era una figura "autorregulativa", pues estos inquisidores eran dos herreros elegidos por el resto del gremio, con el encargo de vigilar el

cumplimiento de las ordenanzas del gremio. Encontramos también otras figuras en esta línea pero dependientes de la autoridad pública, como era el caso de los "veedores" en España, que iban incluso acompañados por un alguacil para significar su rango de autoridad. Debemos apuntar, no obstante, que este concepto de certificación dista mucho del que tenemos hoy (como veremos más adelante), pues el cumplimiento de las ordenanzas a las que se refería este tipo de evaluación de conformidad medieval era un requisito obligatorio. Se trataba, pues, de un concepto jurídicamente más cercano al mercado europeo CE que a lo que entendemos por certificación actualmente. Lo que está claro es que el sistema de marcas registradas garantizaba al consumidor identificar inequívocamente la procedencia del producto y la calidad con que estaba elaborado, pues cada gremio tenía sus propias ordenanzas más o menos restrictivas en lo que a la calidad del producto se refería.

Si avanzamos en el tiempo hacia el estado absolutista e ilustrado, encontramos una evolución similar al caso de la normalización: el estado fue asumiendo de manera progresiva el control de la calidad de los productos así como la función de la evaluación de conformidad con las normativas. Nos encontramos en esta época con una institucionalización clara de los sistemas sociales de garantía de la calidad, que antes descansaban en gran parte en la propia sociedad bajo la figura de los gremios. El paradigma de esta situación vuelve a ser Francia. En paralelo con la aparición de las Academias, nace en Francia como auténtica marca de calidad para los procedimientos técnicos la expresión "*Approuvé par la Académie*". Más adelante, harán su aparición los denominados "*Bureaux de marques*", instituciones con el objetivo de asegurar, desde que se comienza a fabricar el producto hasta que se vende, que lo que afirma el etiquetado pertinente es verídico, y que por tanto el producto se ajusta al reglamento y tiene la calidad que se espera de él conforme al mismo. Así, podemos distinguir entre "*bureaux de visite et marque*" y "*bureaux de contrôle*". Los primeros se situaban en las localidades manufactureras (nivel de fabricación). A cargo de ellos se encontraba un jurado elegido por los fabricantes y tenían la función de examinar los productos y conceder la marca de conformidad pertinente si así procedía. Los segundos estaban situados en los lugares de ventas y estaban a cargo de los propios comerciantes, quienes realizaban una segunda inspección. Además, también existía la figura del "*commis aux manufactures*": un inspector representante del estado quien en último lugar era el encargado de vigilar el cumplimiento de los reglamentos. El control llegaba a ser tan exhaustivo y el reglamento tan explícito y restrictivo sobre las calidades, que el desarrollo de la industria y el comercio se asfixió un tanto. A ciertos productos básicos, como los textiles, les sucedía que no eran asequibles por todos los bolsillos, dado que la calidad que se les exigía los encarecía tanto que no podían ser comprados por la mayoría del pueblo. Con la aparición de las distintas revoluciones y la irrupción del liberalismo, estas instituciones, al igual que pasó con la regulación técnica emanada del estado, fueron paulatinamente eliminándose, viéndose bajo la óptica liberal más como estorbos para el desarrollo de la producción que medidas encaminadas a garantizar la calidad.

Pasamos ahora a aclarar algunos conceptos sobre certificación, en el contexto del estado actual de la cuestión (ver Norma UNE-EN ISO/IEC 17000). En primer lugar, y en términos generales, debemos empezar hablando de "evaluación de la conformidad" y no de certificación, siendo este último un caso particular dentro del primero. Según la norma referida varias líneas más arriba, la evaluación de la conformidad es la demostración de que se cumplen los requisitos especificados (en algún documento normativo) relativos a un producto, proceso, sistema, persona u organismo. Dentro de este término general, tenemos que diferenciar entre evaluación de la conformidad de primera parte, de segunda parte y de tercera parte. Así, en el caso de evaluación de la conformidad de primera parte, es la persona u organización que provee el objeto quien realiza esta actividad de evaluación. Grosso modo puede decirse que es una actividad de "autoevaluación" que llevan a cabo, por ejemplo, las empresas que producen un servicio sobre ése mismo servicio. En el caso de evaluación de la conformidad de segunda parte, quienes realizan la evaluación son los usuarios del servicio o consumidores del producto (clientes). Por último, en el caso de evaluación de conformidad de tercera parte, quien realiza la actividad de evaluación es un tercero, independiente tanto del proveedor del

objeto a evaluar como del usuario del objeto. Es el caso de los organismos independientes de certificación. Una vez definidos estos tres conceptos generales, debemos decir que el término "certificación" se encuadra, en purismo y de acuerdo con la norma anteriormente referida, dentro del caso de evaluación de la conformidad de tercera parte.

En efecto, la certificación se corresponde con la última etapa del proceso de evaluación de la conformidad de tercera parte, etapa denominada de forma genérica (UNE-EN ISO/IEC 17000) como "atestación" (la norma define el término "atestación" como la emisión de una declaración formal de que se ha demostrado que se cumplen los requisitos especificados en los documentos normativos pertinentes). Así, podemos concluir que la certificación es una "declaración de la conformidad" que emite un organismo acreditado, expresando por tanto el aseguramiento de que los requisitos especificados para un producto, proceso, sistema o persona se han cumplido. Mencionar además que los organismos encargados de realizar la evaluación de la conformidad deben pasar también un proceso de evaluación de la conformidad. Así, realizando una analogía, podemos decir que lo que para un producto es la certificación, para un organismo de evaluación de la conformidad lo es la acreditación. Más concretamente, la acreditación es una declaración formal que manifiesta la aptitud de un organismo de evaluación de la conformidad para llevar a cabo sus tareas. Grosso modo puede decirse que "la acreditación es la certificación de un organismo de evaluación de la conformidad". La acreditación es emitida por un organismo de acreditación. En el caso español, como ilustración, un organismo de evaluación de la conformidad es AENOR y el organismo de acreditación es la ENAC (Entidad Nacional de Acreditación).

Si bien estos son los términos rigurosos para referirse a estas realidades (evaluación de la conformidad, atestación, etc.), se han popularizado otros para abreviar. Así, con "certificación" se suele denominar a todo el proceso de evaluación de la conformidad de tercera parte relativo a productos, procesos, sistemas o personas, mientras que a los organismos evaluadores de la conformidad de tercera parte se les denomina "entidades de certificación"

2.4.3 Esquemas y entidades de certificación relativos a sistemas solares de ACS

En este apartado nos disponemos a realizar un breve recorrido por los certificados más conocidos de sistemas solares de ACS, de ámbito nacional y regional, deteniéndonos especialmente en el certificado europeo Solar Keymark, de reconocido prestigio y modelo para muchos esquemas de certificación.

2.4.3.1 Estados Unidos

En Estados Unidos existen varias entidades que expiden certificados para sistemas solares, siendo las más conocidas la Solar Rating & Certification Corporation (SRCC), que recientemente se ha unido al ICC (International Code Council), y la International Association of Plumbing and Mechanical Officials (IAPMO).

En el caso de la SRCC, son dos los programas de certificación que se ofrecen: el programa OG-100 para captadores y el OG-300 para sistemas. En el caso del OG-100, se certifica la conformidad con la norma ICC 901/SRCC 100 para captadores solares, lo que conlleva someter a los captadores a una serie de ensayos para evaluar la durabilidad, seguridad, fiabilidad y rendimiento térmico de cada

captador. El programa OG-300 certifica la conformidad con la norma ICC 900/SRCC 300 de los sistemas solares térmicos completos. Además, el programa modela los distintos componentes del sistema para evaluar su rendimiento bajo unas ciertas condiciones de referencia, de tal manera que se permita comparar el comportamiento del sistema con el de otros (rating). El programa OG-300 requiere que los captadores del sistema a certificar hayan sido certificados bajo el programa OG-100. Bajo este programa para sistemas no es necesario ensayar el sistema completo. Sin embargo, si será necesario ensayar los componentes con objeto de proveer la información necesaria para modelar el sistema, operación imprescindible para poder evaluar el rendimiento del mismo de acuerdo con la metodología usada en el programa OG-300 a tal efecto (TRNSYS). Se trata de un enfoque muy similar al usado en la parte 4 de la ISO 9459. El programa OG-300 es requerido por multitud de programas estatales de subvenciones e incentivos además de algunas normativas y códigos de ámbito local y estatal: California CSI Thermal Program, Oregon Residential Energy Tax Credits, Arizona Solar and Wind Equipment Certification, Minnesota Solar Equipment Certification Requirement, Maryland Renewable Portfolio Standard, New Hampshire Residential Solar Water Heating Rebate, EPA ENERGY STAR – Residential Water Heaters, y códigos técnicos como el 2015 ICC International Residential Code o el 2015 IAPMO Uniform Solar Energy and Hydronics Code, adoptados por multitud de jurisdicciones a lo largo de EEUU.



Figura 2.11: Sellos de los programas OG-100 y OG-300

La IAPMO está acreditada por el ANSI (American National Standards Institute) y el SCC (Standards Council of Canada) para certificar sistemas solares y captadores según los requerimientos del programa OG-300, la norma SRCC 100 y la norma UL 1703. Además, es la única entidad que puede certificar la conformidad con el código propio desarrollado por la IAPMO, el Uniform Solar Energy Code (USEC), de obligado cumplimiento en muchas jurisdicciones de EEUU.



Figura 2.12 Sello de conformidad del USEC

2.4.3.2 China

En china existen multitud de programas de certificación, siendo el más antiguo e importante el Golden Sun, perteneciente al China General Certification Center (CGC). La CGC es una entidad de certificación independiente y sin ánimo de lucro que sólo acepta pagos provenientes del servicio de certificación que ofrece, en línea con lo que marcan las regulaciones estatales. Está organizada y respaldada por el National Institute of Metrology NIM (Instituto Nacional de Metrología), el cual está subordinado a la Administración General del Estado de Inspección y Supervisión de la Calidad Y Cuarentena (AQSIQ, State General Administration of Quality Supervision and Inspection & Quarantine en sus siglas en inglés). Está, además, acreditada por la Certification and Accreditation Administration of the People's Republic of China (CNCA). Esta entidad se instituye para servir a la industria de la energía renovable, siendo la energía solar fotovoltaica y térmica las tipologías para las que actualmente se ofrecen productos. La CGC tiene recursos y capacidad para realizar ensayos de muestras (*sample testing*), auditoría de fábrica (*factory audit*), certificación y evaluación así como certificación de sistemas de calidad (*quality system certification*).

El esquema de certificación ofertado para sistemas solares de ACS es el anteriormente mencionado Golden Sun. Este certificado incluye la evaluación de conformidad con una serie de normas aplicables a sistemas solares de ACS, con el consiguiente ensayo de muestras según las normas, así como la inspección de la fábrica de manera inicial y periódicamente. El conjunto de normas y estándares que forman parte de este esquema de certificación son:

- GB/T 19141-2003 Specification of domestic solar water heating system,
- GB/T 17049-2005 All glass evacuated solar collector tube,
- GB/T 6424-1997 Specification for flat plate solar collectors,
- GB/T 17581-1998 Evacuated tube solar collector



Figura 2.13 Sello de conformidad con el esquema Golden Sun.

2.4.3.3 Europa

Qué es Solarkeymark

Solar Keymark es el certificado de calidad de referencia en Europa para productos de energía solar térmica. La marca nació en 2003 con un objetivo muy claro: crear un certificado reconocible en todo el continente. Con esto se evita el sobrecoste de volver a certificar los productos según los distintos esquemas de certificación nacionales cuando un producto se quiere vender en distintos países, esquemas requeridos en muchos casos para obtener subvenciones locales. Detrás de su creación se encuentra, fundamentalmente, la Federación Europea de la Industria Termosolar (ESTIF), a través de la cual los fabricantes demandaron al Comité Europeo de Normalización (CEN) la creación de normas y certificados europeos, con posibilidad de ser aceptados en cualquier lugar de la Unión Europea. Antes de la puesta en marcha de esta marca de calidad, fueron publicadas normas europeas por el CEN, normas a las que este certificado se refiere. Efectivamente, Solar Keymark garantiza la conformidad de los productos con respecto a las normas europeas siguientes:

EN-12975-1 en lo relativo a requisitos generales para los captadores solares.

EN/ISO 9806 en lo relativo a ensayos para captadores solares.

EN-12976 para sistemas solares prefabricados.

EN-12977 para sistemas solares a medida.



Figura 2.14: Sello del esquema Solar Keymark

Cómo funciona

El procedimiento para la obtención del certificado es el siguiente, una vez contactada alguna entidad de certificación acreditada y autorizada por el CEN para certificar según el esquema Solar Keymark:

- 1) Inspección inicial de la línea de producción, comprobándose que los métodos de fabricación se ajustan a un Sistema de Gestión de la Calidad adecuado, similar a las series ISO 9000.
- 2) Un auditor seleccionará una muestra de la cadena de producción o de las existencias.
- 3) La muestra se ensayará de acuerdo con las normas anteriormente referidas.
- 4) Inspección periódica de los productos que ostenten la certificación así como de la línea de producción, con objeto de garantizar que se siguen cumpliendo los requisitos. El producto se examinará cada dos años. La línea de producción y el Sistema de Gestión de la Calidad se examinarán anualmente.

Existen en la actualidad 12 entidades de certificación autorizadas por el CEN para expedir certificados Solar Keymark, entre las que encontramos a AENOR, CERTIF (Portugal), EUROVENT

CERTITA CERTIFICATION (Francia) o la DIN CERTCO (Alemania). En cuanto a la aceptación de la marca a nivel oficial/institucional, todos los programas de subvención y normativas nacionales de la Unión Europea la admiten y reconocen sin problema, salvo excepciones donde se exigen requisitos adicionales. Además, podemos decir que este certificado se ha convertido en el más conocido y extendido mundialmente (con más de 1600 certificados expedidos aproximadamente), siendo introducido en regiones como América Latina y el norte de África y países como Japón, Canadá o Australia, con requisitos adicionales para ajustarse a normativas nacionales. (Drück & Fischer, 2014). Más aún, la Solar Keymark es modelo de esquema de certificación en el que se han inspirado otros como el árabe SHAMCI.

3 ANÁLISIS, TENDENCIAS Y NUEVOS ESCENARIOS

3.1 Sobre los métodos para caracterización y predicción del rendimiento

3.1.1 Características deseables

Las distintas metodologías señaladas en los textos normativos disponibles presentan una gran variedad de características con distintas manifestaciones: duración de los ensayos, campo de aplicación, instrumentación requerida, tipología de mediciones a realizar, metodología de cálculo para predicción del rendimiento, et. A este respecto, Wood et al.(1987) nos ilumina a cerca de la dificultad para poder alcanzar la optimalidad en todas y cada una de estas características.

Se desea, en general, un método que sea sencillo de implementar y llevar a cabo, por su puesto económicamente asequible y que no nos lleve mucho tiempo. Por supuesto, un método que nos permita estimar con fidelidad el rendimiento de nuestro sistema, con independencia de las condiciones a las que lo sometamos.

Lo mencionado anteriormente se refiere a características relacionadas con la implementación de los procedimientos. No obstante, también pueden señalarse rasgos de carácter más analítico, que "subyacen" al procedimiento en sí. Por ejemplo, nos interesa un procedimiento de cuya aplicación podamos obtener pistas que nos lleven a identificar causas de un funcionamiento deficiente. Relacionado con lo anterior, también nos interesa que el procedimiento nos permita visualizar cómo el rendimiento mejoraría si sometemos al sistema a cambios en las condiciones de operación y condiciones climáticas, o a cambios en la configuración del sistema y sus componentes.

Se señalan como características ideales las siguientes:

- Corta duración de los ensayos/procedimientos
- Aplicabilidad a diversas tipologías de sistemas
- Aplicabilidad a amplio rango de condiciones climáticas y de operación
- Número y variedad razonables de medidas a llevar a cabo, siendo poco invasivas.
- Flexibilidad a la hora de implementar el método en el exterior, in-situ o en el interior
- Instrumentación y estructura necesaria (bajo coste, facilidad de implementación, etc.)
- Posibilidad de inferir causas de mal funcionamiento y experimentar mejoras
- Caracterización y predicción fiel del comportamiento del sistema

Por último, me gustaría añadir como un aspecto más a ponderar lo siguiente: claridad del documento normativo. Es cierto que en este apartado nos estamos centrando en los métodos expuestos en las normas y no en el documento en sí, pero la claridad entendida como una buena redacción que facilite la comprensión de todos los aspectos detallados y de las especificaciones

señaladas en los documentos normativos, es esencial a la hora de poder ponderar bien las características señaladas como deseable. De poco sirve que un método sea muy bueno si el documento normativo que lo contiene y detalla no facilita la extracción y comprensión de dicho método.

Es claro que muchas de esas características deseables van a ser, si no incompatibles, al menos difícil de conciliar entre sí, como ya señalamos anteriormente. Por ejemplo, si reducimos considerablemente las mediciones a realizar, en términos de cantidad y variedad, es lógico que obtendremos una caracterización más pobre del sistema, con lo que la predicción del comportamiento será menos exacto así como la comprensión del funcionamiento del sistema de cara a su posible mejora.

Otro ejemplo: a medida que reducimos la extensión de los ensayos es lógico pensar que se reducirá el rango de condiciones posibles aplicadas durante los ensayos (operación y clima), especialmente en ensayos al exterior. Por lo que a la hora de predecir el rendimiento, el margen de condiciones aplicables será más restringido si queremos que los resultados sean válidos.

En cualquier caso, lo que está claro es que a la hora de establecer un método hay que buscar una solución de compromiso, que nos permita que el procedimiento sea ejecutable en el amplio sentido apuntado en este apartado, y que además nos aporte una estimación aceptable. La solución no es única como cabe esperar. Así, podemos encontrar documentos normativos con métodos que optan por fortalecer algunas características en detrimento de otras como veremos. Las razones últimas de este hecho, de diversa naturaleza más allá de las meramente técnicas, escapan al objeto de este trabajo.

3.1.2 Análisis comparativo de las metodologías recogidas por la ISO 9459

Nomenclatura para este apartado: "la norma" será la ISO 9459.

Gracias a la comprensión de la norma que nos ha dado el haber realizado un análisis en el capítulo 2 de los métodos, y con base en el análisis bibliográfico y la metodología de investigación adoptada, procederemos a efectuar una comparación cualitativa de los documentos normativos descritos. El no haber aplicado las normas como parte de este trabajo nos da menos información. No obstante, un análisis cualitativo sobre los rasgos fundamentales de los métodos propuestos podrá ser ofrecido al lector. Para ello, tomaremos como esos rasgos a analizar y comparar los apuntados por Wood et al.(1987), señalados en 3.1.1.

3.1.2.1 Duración procedimientos/ensayos

Bajo este epígrafe analizamos la duración que tendría llevar a cabo los procedimientos. Hay 2 comprensiones que conviene considerar. Por una parte (**a**), la estricta duración de los ensayos. Por otra (**b**), el tiempo necesario para obtener los resultados que buscamos con la aplicación de los ensayos y procedimientos, desde que empezamos el primero hasta que terminamos el segundo.

Hay secuencias de ensayos...ensayos que se repiten, ensayos que requieren condiciones tales que hacen que se alargue el tiempo, condiciones que invalidan los ensayos realizados...etc.

Parte 2

La parte 2 de la norma es concisa a este respecto y muy clara. Tenemos 3 tipos de ensayos:

- I. Ensayo diario (12 horas: 6 h antes del mediodía solar a 6 h posteriores) que nos permitirá recabar información diversa sobre el sistema. La norma nos dice que al menos 6 ensayos como este deberá hacerse (6 días).
- II. Ensayo de corta duración para determinar el grado de mezcla. Un único ensayo.
- III. Ensayo nocturno para caracterizar pérdidas en el acumulador. Un único ensayo (1 día más)

Podemos computar directamente una semana de duración total entre las secuencias a realizar.

Ahora bien, los rangos de las condiciones de ensayo, especialmente en lo referente a la radiación, están tan marcados y especificados que muchos de los días no serán válidos para realizar los ensayos (esto sucede para el ensayo tipo I, el diario, que es el que especifica unas condiciones climatológicas muy concretas). Esto es así por el tipo de enfoque metodológico que presenta esta norma, un enfoque basado en caracterizar el sistema mediante una correlación, que nos servirá para poder inferir el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones. Si queremos que la correlación sea válida para condiciones climatológicas muy diversas, tenemos que "pagar el precio" de tener que esperar a tener días favorables para poder ensayar el sistema. Además, aunque la norma establece que hay que realizar un mínimo de 6 ensayos tipo I (6 días), suele hacerse más días para que la correlación obtenida sea más fiel. Teniendo en cuenta todo lo anterior, nos podemos encontrar con que para completar todos los ensayos tipo I (que es la tipología "controlante"), desde que se empieza a hacer el primero de ellos hasta que se acaba el último, pueden llegar a pasar del orden de varias semanas en un clima como el de España. Evidentemente, según sea la localización, así será el clima y por tanto así será la duración (entendida como **(b)** al principio de 3.1.2.1) que se requerirá para poder caracterizar el rendimiento. En climas con mucha disponibilidad de radiación, este método se alargará por la dificultad de obtener algún día de ensayo con radiación baja. Lo mismo pero a la inversa ocurre con climas con baja disponibilidad de radiación.

Parte 5

En esta parte tenemos varias secuencias de días de ensayo consecutivo. En la secuencia de días S-sol nos exigen un mínimo de 3 días bajo ensayos tipo A y 3 días bajo ensayos tipo B. En la secuencia de S-store, nos exigen un mínimo de 2 ensayos tipo B y un período de enfriamiento de unas 36 h como poco. Computamos hasta ahora unos 9 días. Además, si disponemos de apoyo auxiliar integrado y lo queremos caracterizar, tendremos que realizar la secuencia S-aux que consta de 4 días bajo ensayo tipo B.

El método dinámico DST de esta parte 5 de la norma está diseñado, entre otras cosas, para poder reducir el número de días de ensayo necesarios en comparación con una metodología como la de la parte 2 (E. Kaloudis et al., 2010). Efectivamente los rangos impuestos a la radiación en los ensayos se han relajado en comparación con el método de correlación de la parte 2. Por lo tanto, en el sentido de duración señalado en **(b)**, al principio de 3.1.2.1, cabe esperar menos días.

Parte 4

Inspeccionando única y exclusivamente el documento de la parte 4, no podemos saber con la misma claridad que en las partes 2 y 5 cuántos días nos podría llevar realizar todos y cada uno de los ensayos. Efectivamente, la dificultad o la pega de esta metodología es la cantidad de distintos ensayos que hay que hacer. Tendremos que realizar ensayos por separado, con metodologías distintas, a cada uno de los componentes. En muchos casos, en la parte 4 se remite a otros

documentos normativos que se escapan de la descripción que hemos llevado a cabo en el capítulo 2, como es el caso de la norma para captadores ISO 9806, o como algunas partes de la EN 12977 para sistemas a medida, que presenta un enfoque de ensayos por componentes también. No obstante, podemos decir que, en lo que a duración según (a) (principio de 3.1.2.1) se refiere, no vamos a quedarnos por debajo de lo señalado para los métodos de las partes 2 y 5 de la norma

La lógica dice que si hay que realizar más ensayos, habrá que gastar más tiempo de manera general. Más aún cuando tenemos que preparar varios tipos de ensayos distintos, con condiciones diferentes para ensayar aparatos muy diferentes. Esto podría minimizarse si disponemos de infraestructura y personal necesario para poder realizar ensayos de manera simultánea y así agilizar el proceso, aunque en este caso el coste aumenta. Matthias D. Schicktanz et al (2014), concluye sobre este enfoque (CTSS, Component Test Sistem Simulation) que, en comparación con los enfoques de ensayos al sistema completo, es más costoso en términos de tiempo y dinero.

Resumen

No es posible realizar una comparación cuantitativa precisa a cerca de la duración de los ensayos comparando los 3 procedimientos. Dependerá como hemos visto de muchos parámetros (tipología de sistemas, condiciones climáticas de que dispongamos en la localización donde ensayemos, infraestructuras de que dispongamos, etc.).

No obstante, y en base a la experiencia que hay a cerca de los métodos que describe la norma, podemos realizar una comparación cualitativa. En general, con el método dinámico DST se obtendrán potencialmente los menores tiempos de ensayo, pues es precisamente una de las ventajas que tiene este enfoque. Por contra y en comparación con el anterior, el método de correlación que se nos ofrece en la parte 2 requerirá más tiempo potencialmente.

En cuanto a la parte 4, muchos matices pueden ser añadidos. En base a lo expuesto en el epígrafe inmediatamente anterior a este, puede decirse que potencialmente este método requerirá mucho tiempo, no siendo potencialmente mejor a este respecto que los métodos de las partes 2 y 5. Ahora bien, también podemos matizar que con la infraestructura necesaria podría reducirse. Poco más podemos añadir como resultado del trabajo de análisis de esta parte de la norma que hemos realizado en este trabajo. Ha de decirse que esta parte 4 de la norma es la más joven, no existe por tanto la misma literatura que sobre las partes anteriores, ni la misma experiencia.

3.1.2.2 Campo de aplicación

Parte 2

El documento delimita clara y específicamente la aplicación del método a *sistemas de calentamiento de agua sanitaria solamente solar diseñados para calentar agua potable de uso doméstico*, en palabras de la norma. Más aún, se señala que dicho método *no tiene la intención de aplicarse a otros sistemas*. Los sistemas tendrán como máximo un volumen de acumulación de 600 L. Nos encontramos por tanto ante un método claramente dirigido a sistemas de ACS que podemos encontrar en viviendas unifamiliares, para aplicaciones domésticas (usos sanitarios y usos de limpieza).

En cuanto a las tipologías de sistemas según la clasificación realizada en la Tabla 2-15 (pág. 80), este método es aplicable a todas las variaciones exceptuando sistemas con apoyo auxiliar integrado. Aunque más adelante se indica que el método puede aplicarse a los anteriores siempre que la configuración sea tal que se pueda desconectar el apoyo auxiliar (sistemas con control de calentamiento auxiliar manual).

Parte 5

Esta parte de la norma puede ser aplicable a todo tipo de sistemas para ACS en general, siempre y cuando los sistemas en cuestión hayan sido validados para el procedimiento que se describe en esta norma (consideraciones a cerca de la validación son contempladas en el anexo B de esta parte). En cuanto a los volúmenes de almacenamiento, esta parte es más ambiciosa que la anterior, permitiendo sistemas de hasta 1000 L de almacenamiento.

Una diferencia resaltable respecto a la parte 2 es la siguiente: en el documento no se incluye una prohibición explícita de aplicar la norma a sistemas que no sean para usos domésticos. Si hacemos una lectura de la norma completa (considerando todas sus partes), puede resultar confuso, a efectos de determinar el campo de aplicación, que en la parte 2 sí se haga esta prohibición explícita y en la parte 5 no. Más aún teniendo en cuenta que en ambas partes se empieza por decir que los procedimientos que describen son aplicables para sistemas solares de ACS.

Parte 4

Esta parte de la norma es incluso más ambiciosa que la anterior. Puede ser aplicada, nos dice el documento, a sistemas solares para calentamiento de agua, en general. En. Por lo que el campo de aplicación desborda claramente el de calentamiento de agua sanitaria.

A este respecto, nos tomamos la libertad de introducir literalmente un fragmento en el que la norma detalla las características que pueden presentar los tipos de sistemas para que esta parte les sea de aplicación:

This International Standard can be applied to solar water heaters with the following:

- a) flat plate, concentrating or evacuated tubular solar collectors,*
- b) thermosiphon or pumped fluid circulation through the solar collectors,*
- c) collector loop heat exchangers,*
- d) systems for combined domestic hot water preparation and space heating (combisystems),*
- e) integral collector storage,*
- f) horizontal or vertical water storage tanks,*
- g) storage with one or more electrical heating elements,*

- h) *storage tanks with internal gas backup heaters,*
- i) *solar preheat systems in series with instantaneous water heaters,*
- j) *solar thermal systems combined with heat pumps (e.g., solar collectors acting as the refrigerant evaporator).*

Other water heater configurations incorporating the above components may also be modelled.

La norma no indica restricciones en cuanto a dimensiones, como sí se hace en las partes 2 y 5.

Resumen

Podemos ordenar las partes de la norma de más a menos restrictivas en cuanto a su aplicabilidad como sigue:

Parte 2 > Parte 5 > Parte 4

3.1.2.3 Medidas

3.1.2.3.1 Parte 2

Primer tipo de ensayo (Se nos dice que habrá que registrar las medidas sobre una base media de cada hora, con lo que entendemos que el muestreo se promediará sobre cada hora de ensayo y se registrará el valor medio. Estas medidas serán relativas a variables de: irradiación, temperatura y velocidad del aire circundante a los captadores y energía eléctrica consumida por auxiliares (bombas, controladores, etc.) (ver 2.3.2.1.1.2 para detalle)

No se especifica el intervalo de muestreo para estas variables. No obstante, sí se hace para la siguiente: temperatura de extracción. Que deberá medirse al menos cada 15 s y registrar el valor medio cada vez que se extraiga la décima parte del volumen de acumulación.

Son unas 6 mediciones las que hay que realizar para cada día de ensayo.

Segundo tipo de ensayo

En este caso solo es una la variable a medir, la temperatura de extracción, en las mismas condiciones que para el primer tipo de ensayo.

Tercer tipo de ensayo

Aquí tendremos que medir fundamentalmente dos variables: temperatura en la localidad del acumulador y temperatura del agua a la salida del acumulador.

La temperatura en la localidad del acumulador, nos dicen que hay que medirla cada hora del período

de ensayo. No se entra en consideraciones acerca del muestreo y registro. Lo más simple sea quizás entenderlo literalmente: registramos un valor cada hora del período de ensayo. Los registros se usarán en cualquier caso para obtener una media del valor sobre el período de ensayo

Debido a la naturaleza del ensayo, en el caso de la temperatura del agua, entendemos que habrá que muestrearla con algún intervalo, pues esta temperatura será una variable de control del procedimiento y por tanto de ella dependerá la mayor o menor duración del mismo, atendiendo a criterios ya señalados . Se registrará un valor medio de esta variable en dos momentos del ensayo sobre un intervalo de muestreo de 15 min según se indica en la norma.

Son unas 3 mediciones que hay que realizar en este ensayo.

3.1.2.3.2 Parte 5

En esta parte de la norma, se especifica de manera más explícita, y sin posibilidad a interpretaciones, cómo debe ser el muestreo y registro de las variables a medir durante las secuencias de ensayos. La tabla (Tabla 2-18) detalla los intervalos de muestreo para las variables de interés a medir. Debajo de esa misma tabla () se delimitan las condiciones bajo las que hay que registrar las variables señaladas.

3.1.2.3.3 Parte 4

En esta parte habrá que realizar distintos tipos de ensayos para los distintos componentes del sistema. Además, dado el amplio rango de aplicación de este método, podemos concluir que el cómputo total de mediciones a realizar con este método no es posible darlo de manera general, pues nos podemos encontrar con sistemas muy simples formados por relativamente pocos componentes a sistemas más complejos (como los sistemas combinados para agua caliente sanitaria y calefacción). Además, esta norma, a la hora de especificar los procedimientos de ensayos de cada componente, se refiere a otros documentos normativos que no han sido objeto de un análisis profundo en este trabajo. En cualquier caso, lo que está claro es que a mayor cantidad de ensayos, mayor cantidad de mediciones a efectuar. Además, dado el enfoque de ensayos por componentes que presenta, tendremos conjuntos de variables más heterogéneas en cuanto a su naturaleza física, lo que complica aún más la tarea de medir.

Inspeccionando el documento, vemos que las variables que podemos llegar a necesitar para caracterizar nuestro sistema son tan variadas como la lista siguiente:

- Temperatura de entrada al depósito de acumulación
- Temperatura de salida del depósito de acumulación
- Temperatura de entrada al captador
- Temperatura ambiente
- Caudal extraído del acumulador
- Irradiación directa en la apertura del captador
- Irradiación infrarroja
- Irradiación global en la apertura del captador
- Caudal bombeado en sistemas forzados
- Temperaturas en el interior de los depósitos de almacenamiento

- Velocidad del viento
- Corriente en un panel fotovoltaico bajo condiciones de referencia
- Intensidad en un panel fotovoltaico bajo condiciones de referencia
- Temperatura en un panel fotovoltaico

Etcétera. Esto sin contar las que nos requerirían en otros documentos normativos a los que apunta la norma (como la ISO 9806 para ensayos de los captadores)

Resumen

Podemos observar como las variables a medir en el caso de las partes 2 y 5 son prácticamente las mismas. Estos dos métodos no son muy invasivos en términos de mediciones en comparación con el 4, que potencialmente puede llegar a requerir muchas más mediciones si el sistema es muy complejo.

Es claro que mediante la parte 4 habrá que realizar más tipos distintos de ensayos. y se requerirá procesar mayor número de variables por el enfoque que se emplea de ensayar cada componente por separado.

3.1.2.4 Instrumentación y estructura necesaria

Los equipos experimentales empleados para implementar los ensayos en la parte 2 y 5 de la norma son muy parecidos. Son estas estructuras complejas que requieren un manejo cuidadoso. En comparación, los equipos experimentales para llevar a cabo el procedimiento de la parte 4 serán más manejables, y facilitarán el manejo de los mismos y la instalación de los equipos bajo ensayo. La filosofía "divide y vencerás" se hace notar de manera especial en la parte 4 en lo que a manejo e instalación de los equipos se refiere.

Ahora bien, si pasamos a considerar otro aspecto de la estructura necesaria, como es el sistema de procesamiento de los datos y la formación del personal, podemos introducir matices a lo anterior. La parte 2 de la norma en principio no requiere del manejo de ningún software especial (más allá de programas para implementar cálculos de forma más automatizada, como hojas de cálculo). Lo contrario se da en las partes 4 y 5.

3.1.2.5 Aplicabilidad a amplio rango de condiciones climáticas y de operación

Los procedimientos detallados en los documentos han ido puliéndose con los años con objeto de que la metodología para predicción del rendimiento que proponen sea lo más flexible posible a condiciones de clima y carga. En lo tocante a la radiación, los tres métodos arrojan buenos resultados para cualquier rango de radiaciones. Los procedimientos de ensayo descritos se cuidan bien de someter a los sistemas a condiciones extremas en lo tocante a radiaciones, con objeto de obtener una buena caracterización del comportamiento de los equipos bajo estos supuestos.

La cosa cambia si nos centramos en la carga. El método descrito en la parte 2 es el que menos flexible es. De hecho, nos limitan el perfil de carga a considerar una única extracción tras las 6 horas posteriores al mediodía solar.

En el caso de la parte 5, el método nos permite utilizar un perfil de extracción más representativo. Para la presentación del rendimiento, se nos recomienda un perfil de carga de referencia en el anexo C.

En el caso de la parte 4, sucede lo mismo que con la parte 5. Se nos propone un perfil de extracción más fino.

En cuanto a los volúmenes de extracción, las partes 2 y 5 no especifican nada al respecto, con lo que tenemos libertad. La parte 4 ofrecen un método para elegir el volumen o volúmenes de extracción a usar para presentar los indicadores de rendimiento.

3.1.2.6 Flexibilidad a la hora de implementar los métodos al interior, al exterior o in-situ.

Si disponemos de un simulador solar adecuado para este tipo de aplicaciones y posibilidad de ensayar con el mismo, puede ser ventajosa esta situación porque nos permite controlar las condiciones de irradiación bajo las que realizamos los ensayos, con lo que podemos ahorrar en tiempo para poder ensayar el sistema de acuerdo a los requisitos a este respecto.

Si no disponemos del simulador solar, nos veremos obligados a optar por ensayos al exterior, que también tienen otras ventajas, como el menor coste y menor cualificación del personal al no ser exigible tener que saber manejar un equipo adicional.

En cualquier caso, lo deseable es que el método deje esta elección a quienes lo vayan implementar en función de sus preferencias y posibilidades.

El método de la parte 2 no deja lugar a dudas: los ensayos deben realizarse al exterior en lo que se refiere a someter al equipo a radiación.

El método de la parte 5 ofrece plena libertad: puede llevarse a cabo al interior, al exterior e incluso in-situ.

3.1.2.7 Comprensión del funcionamiento del sistema

Como se señaló, una característica deseable para nuestro método es que éste nos permita identificar causas de mal funcionamiento si vemos que las predicciones de rendimiento están por debajo de lo esperado. Así mismo, y muy relacionado con lo anterior, nos gustaría que el método fuese tal que nos permitiera obtener información suficiente para poder mejorarlo. Un método como éste nos debería aportar información sobre los estados por los que va pasando nuestro sistema en su operación, así como la interacción entre las distintos elementos que lo conforman.

La parte 5 de la norma es la que menos información de este tipo nos ofrece. El método DST dinámico, como ya se comentó, hace descansar tanto la caracterización del rendimiento como su predicción en un software que además no está abierto al dominio público. No nos es posible por tanto inferir de este método información suficiente para dar el salto cualitativo del que hablamos en este epígrafe, el salto que nos lleve más allá de la mera estimación del comportamiento del sistema en términos de predicción de indicadores de rendimiento.

Por el contrario, las partes 2 y 4 sí nos permiten avanzar algo más. Con la metodología descrita en la parte 2, podemos llegar a tener información a cerca de la interacción entre los distintos subsistemas, pues en los ensayos se pone en operación todo el sistema, pudiendo visualizar el efecto real de hacer cambios en la configuración o en los componentes. Disponemos de curvas características para el sistema, lo que nos permite una comprensión del funcionamiento del mismo bajo diversos rangos de operaciones. También disponemos de alguna característica del estado interno del sistema, como el grado de estratificación dentro del acumulador, gracias a los perfiles de mezcla y de extracción.

En lo tocante a la parte 4, con la mera aplicación del ensayo tampoco vamos a obtener mucha información en el sentido que tratamos en este epígrafe. Se ensayan los componentes, mientras que el sistema al completo sólo simula. Es por esto que bajo esta metodología las interacciones entre las distintas partes del sistema son desconocidas. Más aún, si existe algún componente que presente mal rendimiento, en función de la severidad del mismo podrá afectar en menos o mayor grado al comportamiento global del sistema. Con este enfoque de sólo simulación del sistema global, estas situaciones no se pueden detectar.

Ventaja de la parte 4 con respecto a la parte 5 es que como en este caso caracterizamos los componentes mediante ensayo, para posteriormente implementarlos en el modelo de manera modular, lo que sí nos permitiría este enfoque es realizar estudios paramétricos y poder simular el comportamiento de los sistemas bajo distintas configuraciones, lo que tiene un valor añadido a la hora de permitirnos visualizar de manera rápida el resultado ante cambios en los componentes del sistema, sin necesidad de rehacer todos los ensayos, únicamente aquellos relativos a los componentes de los que no dispongamos modelos para la simulación.

3.1.2.8 Claridad del documento normativo

La evaluación de este punto concreto puede dar lugar a muchas ambigüedades e interpretaciones. Efectivamente, lo que para uno puede ser un aspecto muy claro en la norma, para otra persona puede requerir consideraciones adicionales para considerarlo bien especificado y sin lugar a interpretaciones. Es el punto de vista del autor el que se recoge aquí, como no podía ser de otra forma.

Bajo mi punto de vista, el documento más claro en cuanto a alcance y procedimientos es el de la parte 2 de la norma. Esto es fácil de justificar si notamos que es éste documento el que ofrece mayores restricciones y particularidades en lo que a su campo de aplicación se refiere. Al estar más acotado lo anterior, el procedimiento debe ser más exhaustivo y fácil de concretizar, con lo que el documento será más claro.

En siguiente grado, vendría el documento de la parte 5 y en último lugar el correspondiente a la parte 4. En estos documentos, con un rango de aplicación mucho más amplio, hay que realizar un mayor esfuerzo de comprensión de los procedimientos. Máxime si tenemos en cuenta que en ambos métodos descansan sobre la base de la simulación numérica para caracterización y predicción del rendimiento, lo que no es detallado en el documento naturalmente.

Sin dudas el que más esfuerzo requiere de comprensión es el documento de la parte 4, que debe de especificar muchísimos más procedimientos de ensayo que los otros dos analizados. A mayor cantidad de procedimientos descritos, mayor esfuerzo de comprensión habrá que realizar para delimitar el alcance de la norma correspondiente.

3.1.3 Enfoques y aproximaciones metodológicas

De manera general, podemos agrupar las normas relativas a métodos para caracterización y predicción del rendimiento bajo las siguientes categorías:

1. Métodos de Rating o clasificación: mediante esta aproximación podremos comparar sistemas bajo unas condiciones dadas de clima y carga. La parte 1 de la ISO 9459 es representativa de la misma. Son una manera rápida y económica de obtener una primera aproximación.
2. Métodos de caja negra o de ensayo completo al sistema: se trata el sistema como un todo y lo someteremos a unas condiciones a la entrada (carga, T_a de agua de reposición, clima, radiación) para obtener unas salidas (energía almacenada). Esta aproximación se usa en las partes 2 y 5 de la ISO.
3. Métodos de correlación: ensayamos los sistemas ante un amplio rango de condiciones para tenerlo bien caracterizados. La ISO 9459 2 es fiel representante.
4. Método de simulación y ensayo dinámico, del que es representativo la parte 5 de la ISO. Reducimos tiempos de ensayo en comparación con el método de correlación.
5. Método de ensayo a componentes y simulación del sistema completo. Nos permite ahorrar en ensayos siempre y cuando los sistemas de interés dispongan de un modelo ya validado para la simulación. La ISO 9459-4 presenta este método.

3.2 La norma ISO 9459 como norma de referencia global para caracterización y predicción del rendimiento. El objetivo de la armonización

3.2.1 Algunas definiciones necesarias

Antes de comenzar a tratar del tema apuntado en el epígrafe, conviene definir algunos términos. Estas definiciones las aporta el autor de este trabajo y tendrán validez sólo a efectos del mismo, no teniendo el autor intención alguna de invalidar las definiciones ya existentes que sobre los mismos ya existan, definiciones que podrán ser más precisas que las que aquí se dan.

- **Infraestructura de calidad, QI**: con infraestructura de calidad (*Quality Infrastructure, QI*), nos referimos al conjunto de actores y/o partes interesadas (*Stakeholders*), productos, servicios, instituciones, así como los flujos información entre los anteriores elementos (relaciones) que conforman el escenario propio de la normalización y certificación relativa a un objeto (en nuestro caso, el objeto lo conforman los sistemas solares de calentamiento de ACS). En la siguiente figura explicativa se facilita una comprensión gráfica del concepto. Como observamos en un concepto amplio. Podremos encontrarlos, según países y regiones, con QIs más o menos complejas, más o menos perfeccionadas. Entrar en profundidad a analizar este concepto escaparía un poco al objeto del trabajo. En IRENA (2015) podemos encontrar más información al respecto.

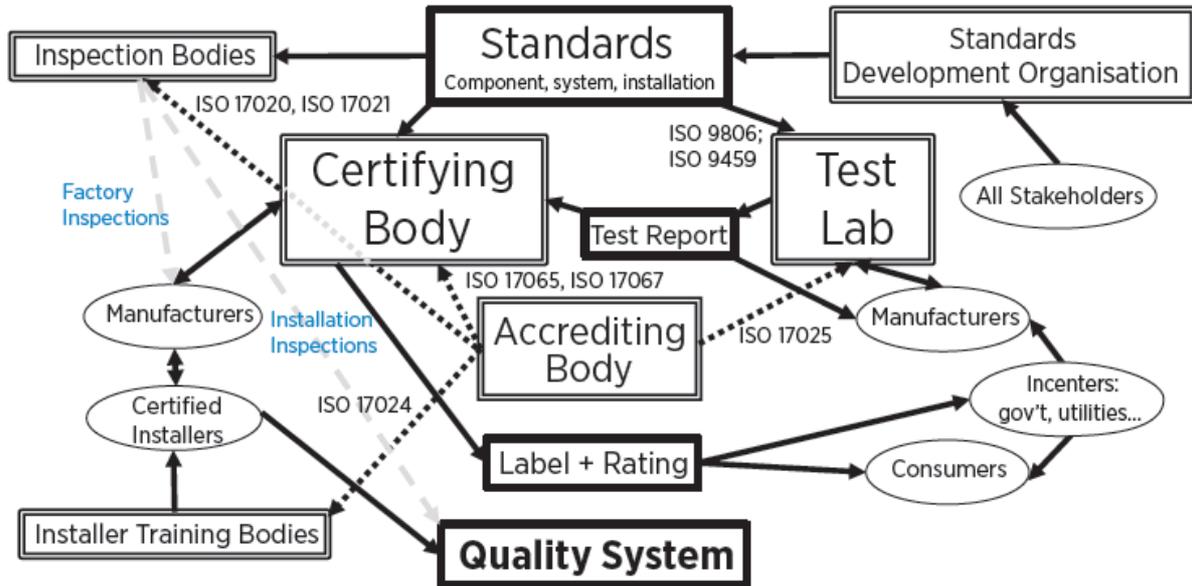


Figura 3.1: Representación esquemática del concepto Quality Infrastructure para calentamiento solar de agua sanitaria. Fuente: IRENA (2015)

- **Armonización:** con armonización quiero denotar en este trabajo al fenómeno mediante el cual las distintas QIs de los distintos países interaccionan a diferentes niveles con el objetivo de trabajar coordinadamente hacia la consecución de una cada vez mejor garantía de calidad (QA: quality assurance) en sus servicios propios. A este concepto le podremos dar dos apellidos: unificadora ó colaborativa. La armonización unificadora será aquella que busque una mejor QA mediante la fusión entre distintas QIs regionales o nacionales. La armonización colaborativa buscará mejorar la QA mediante estrategias no unificadoras. Por supuesto, una estrategia de armonización podrá presentar tendencias más o menos unificadoras y más o menos colaborativas.
- **QA: Quality Assurance.** Para traducirlo fielmente no podemos emplear 2 palabras únicamente. La QA se refiere a la garantía y/o control de la calidad en productos y servicios para los que se conforman QIs en los diferentes estados y regiones. La QA es el resultado del funcionamiento de la QI. La QA dependerá por tanto del QI en cuestión del que hablemos. Naturalmente podrá ser comparada con otras QAs frutos de otros QIs mediante calificativos como mejor o peor.

3.2.2 Algunas preguntas que requieren respuestas: aproximándonos a la casuística de la armonización

Motivaremos el análisis de la cuestión referida en el epígrafe 3.2 mediante las siguientes preguntas:

¿Podrían ser las ISO 9459 normas bajo las que crear una marca global de certificación?

¿Pueden los métodos contenidos en la ISO 9459 ser suficientes para conformar una marca válida y suficiente para todo el globo?

¿Podría establecerse una estructura análoga a la Solar Keymark bajo el lema "*One standard, one test, accepted everywhere*" con las ISO 9459 como base para una hipotética marca global de calidad?

La implantación de métodos ISO 9459 con categoría de norma nacional presenta dificultades.

Por una parte, las ISO están diseñadas por una organización, donde dominan naturalmente aquellos países con una QI de calidad (QI: Quality Infrastructure en adelante) más consolidada, con más recorrido y más experiencia por tanto en la consecución de una mejor QA. Por tanto, los estándares que se desarrollan en general estarán más orientados a QI's más maduras y con más capacidad de manejar procedimientos más finos y complejos. Por lo tanto, la implantación en países que no disponen de QI capaces de lidiar con cierto nivel de exigencia, será más bien un estorbo al crecimiento de la tecnología de calidad en lugar de un estímulo. No podemos pretender ver resultados en este sentido "exigiendo 10 a quien por ahora sólo puede dar 6"

Por otra parte, existen países con una dilatada trayectoria normativa y con enfoques metodológicos concretos y bien asentados, que aportan un saldo muy positivo en términos de promoción y concienciación a cerca de la necesidad de tecnología de calidad, así como también en términos de estímulo para esta tecnología. Estos métodos pueden ser más o menos diferentes a los que se puedan establecer en ámbito global. Pretender que estas normas tan asentadas en una localización sean progresivamente sustituidas hasta llegar a su total derogación puede ser problemático, tanto para países con mejores QI como para los países con peores QI. En último término la mayor perjudicada será sin duda la tecnología. La razón es muy sencilla y lo explicamos a continuación.

3.2.2.1 Algunos supuestos que pueden arrojar luz

Consideremos que se establece un buen método global. Consideremos, además, que hemos llegado a una situación en la que se han derogado todas las normas nacionales en conflicto con el método global. Consideremos ahora que se idean mejoras en el método global, siendo estas de tal manera que puedan ser asumidas por las QI más óptimas y no por las QIs con más margen de mejora. Aquí nace el conflicto. ¿Es aconsejable implementar estas mejoras? Si no lo hacemos, podremos estar perjudicando el avance de aquellas regiones que cuenten con mejores QIs. Por el contrario, si lo hacemos, podríamos estar perjudicando el avance de aquellas regiones con peores QIs, dado que estaríamos asentando como método de referencia un procedimiento costoso de implementar en estas regiones. Costoso tanto en términos monetarios como en términos humanos. Es por ello que es aconsejable disponer de normas de ámbito nacional, siendo las entidades de normalización nacionales las que adapten los distintos métodos disponibles de acuerdo a las realidades técnicas del país en cuestión.

Algunas voces podrían poner objeciones a las consideraciones que hemos apuntado argumentando lo que sigue: en aras de agilizar el avance de la tecnología, y hacerlo mediante un enfoque de normalización puramente globalizada, podría ser razonable potenciar las QIs nacionales que sean mejores. De tal manera que, aquellos países a los que les sea costoso desarrollar estas QIs, se nutran de las que existen en otros. Así, para la elaboración de normas globales no tendría que considerarse la diversidad de QIs disponibles a nivel global, ahorrándonos tiempo y esfuerzos. Este planteamiento presenta también dificultades. En primer lugar, tenemos dificultades de tipo políticas, no por ello menores. La QI de calidad es un asunto de interés nacional, y por tanto es a nivel nacional donde se desean alcanzar las mayores cotas de excelencia y autonomía. La tendencia es sin duda general, todos los países aspiran a disponer de las mejores QIs de calidad. Diferente es que no se dispongan de los medios necesarios para desarrollarla en un grado deseable. Diferente es también que, por diversas razones que forman parte del objeto de este trabajo, en algunos países el mercado tenga que recurrir a las QIs de terceros. Pero de manera general puede afirmarse de manera segura que cada nación aspira a desarrollar su propia QI a las más altas cotas, con arreglo a la soberanía de que gozan.

En segundo lugar, se presentan dificultades de tipo técnico. Las normas ISO 9459, como se indica en la propia introducción a las mismas, vienen a proponer una serie de métodos con distintos enfoques y aproximaciones, con características diversas como ya se ha visto. Esto es así porque aún no se ha alcanzado un método generalizado para cumplir con el objeto de estas normas. Existen otras aproximaciones por tanto. Algunos trabajos han comparado las normas ISO con tras dando como conclusión que las ISO no representan necesariamente un mejor método para todas las localizaciones.

Podemos citar el trabajo, ya comentado anteriormente, de Joshi et al (2005) como ejemplo. Ver reseña hecha del mismo en. El resultado del mismo muestra que combinando algunos ensayos de la norma china CNS junto con algunos de la ISO 9459-2 se obtiene un método mejor para la comparación de sistemas por termosifón en India que si utilizásemos la CNS ó la ISO por separado.

Otro ejemplo con conclusiones en la línea argumental que estamos desarrollando aquí, nos lo da el trabajo de He Tao et al (2012). En el mismo se indica que la ISO 9459-2 no es muy adecuada para la tipología de captadores que se usan mayoritariamente en China. Como vemos en la Figura 3.3, la gran mayoría son sistemas compactos con captadores de tubos de vacío. El trabajo indica que la mayoría de estos sistemas son con depósito de almacenamiento no presurizado, no siendo muy adecuado el método dado por la ISO 9459 2, según indica el trabajo. A este hecho se le une que las características de la QI china no sean las adecuadas para absorber una norma como la ISO 9459-2. China tiene una QI no muy consolidada, pero con una demanda de mercado muy alta. A modo ilustrativo el trabajo indica que existen del entorno de unos 3000 fabricantes diferentes y sólo unos 3 centros certificados nacionalmente en el país para realizar ensayos. La QI está "atascada", podría decirse. Es por lo que necesita de métodos de ensayos que sean mucho menos exigentes para agilizar las certificaciones y permitir que la QI se descongestione.

Estos dos ejemplos muestran cómo pueden aparecer dificultades de tipo técnico en varias localizaciones si optamos por una armonización unificadora de QIs, y más concretamente en lo que respecta a las normas para caracterización y predicción del rendimiento de sistemas.

En esta línea, las normas ISO pretenden que los métodos recogidos por ellas sean

representativos de las distintas realidades nacionales que hay, permitiendo que sean las propias entidades las que usen estos métodos como mejor convenga para mejorar sus QI y así obtener mejor QA. En unos casos se podrá optar por la adopción de alguna norma ISO como norma nacional y en otros podrán usarse para mejorar las que ya se tienen o para crear otras nuevas con arreglo a las ya existentes. Así, podemos encontrarnos con diversas normas nacionales basadas en las ISO, ya sea por adopción, por adaptación o por inspiración. Por ejemplo, la norma australiana AS/NZS 444.1:1997 (2013) es idéntica a la ISO 9459-1 según Standards Australia; en España AENOR adoptó como norma nacional la ISO 9459-2 bajo la UNE-ISO 9459-2; en China la norma GB/T 18708-2002 presenta un enfoque muy similar a la ISO 9459-2 (He Tao et al. 2012).

3.2.3 Nuevos escenarios para la infraestructura de calidad: Global Solar Certification Network

Por último, y para cerrar este subapartado en el que hemos analizado las tendencias armonizadoras en lo tocante a las QI de los sistemas que nos ocupan, no podemos dejar atrás la oportunidad de señalar un nuevo escenario, muy incipiente, que se surgió hace unos años para dar respuesta a la demanda de armonización del mercado: la Global Solar Certification Network (GSCN). La GSCN es un espacio de encuentro de diferentes QIs, que tiene como objetivo último avanzar hacia la armonización entre QIs. Efectivamente, este objetivo es complicado de alcanzar como ya hemos visto anteriormente, por lo que los objetivos marcados son más realistas y se refieren a la armonización en el campo de la certificación. El objetivo es evitar que un producto con vocación transnacional tenga que ser sometido a diversos esquemas de certificación cada vez que cruza una frontera. El objetivo marcado por tanto es realista y se basa en una problemática que la industria misma ha puesto sobre la mesa. La institución que ha recogido el "guante" ha sido la IEA (International Energy Agency), más concretamente la *task* 43 del SHC (Solar Heating and Cooling Programme) de la IEA. Ha sido desde la IEA donde se ha comenzado a estimular a los distintos *stakeholders* para conformar una red de encuentros de QIs (especialmente aquella fracción de la QI involucrada en la certificación) que ha fraguado en la creación de esta organización (GSCN). La organización se rige por unas reglas votadas por todos sus miembros (Global Solar Certification Network - Working Rules). La armonización que se persigue en primera instancia (por lo que podemos deducir de sus reglas de funcionamiento y la información que se ofrece en la web (<http://gscn.solar/index.html>) es de tipo colaborativa. Actualmente forman parte de la red los siguientes miembros:

Member category	Country	Name of Company
Industry	Austria	GREENoneTEC
Industry	Austria	TiSUN
Industry	China	Beijing Tus-Clean Energy Technology Co. Ltd.

Test lab	Germany	Research and Testing Centre for Solar Thermal Solar Systems of the Institute of Thermodynamics and Thermal Engineering, Universität Stuttgart
Supporting	Greece	Greek Solar Industry Association
Supporting	Greece	Centre for Renewable Energy Sources and Saving
Supporting	Germany	Private

Figura 3.2: Listado de miembros de la GSCN

3.3 La barrera cultural: obstáculo hacia la armonización

3.3.1 El idioma

Efectivamente, el idioma parece que es una barrera importante a la hora de trabajar por y para la armonización. Fernández et al comenta cómo la barrera idiomática muchas veces hace ralentizar los encuentros formales que tienen lugar en el marco de proyectos y trabajos conjuntos entre distintas entidades de normalización y certificación. Se refiere Fernández al hecho de que siendo el inglés la lengua habitual de comunicación en estos encuentros de trabajo, no es la lengua materna de la gran mayoría de los representantes de las distintas instituciones que se reúnen en esos encuentros. Esto, unido a la dificultad añadida de manejar vocabularios técnicos en contextos multiculturales y multilingüísticos, hace que muchas veces se den malentendidos a la hora de trabajar conjuntamente. Malentendidos hasta el grado de dificultar seriamente los objetivos más generales y principales de las reuniones de trabajo. Malentendidos que, para más inri, muchas veces se refieren a conceptos propiamente técnicos y normativos.

La barrera idiomática es, por tanto, un elemento nada despreciable a la hora de considerar obstáculos a superar en el camino hacia la armonización

Como curiosidad, y relacionado con el problema de la barrera idiomática, me gustaría comentar la falta de información asequible con la que me he encontrado al buscar documentación relativa a las normas chinas. El mayor mercado de los sistemas que nos ocupan es el chino y con diferencia, hasta el punto de condicionar fuertemente la tendencia global del mercado en diversos aspectos. Como ejemplo de ello consideremos la siguiente figura:

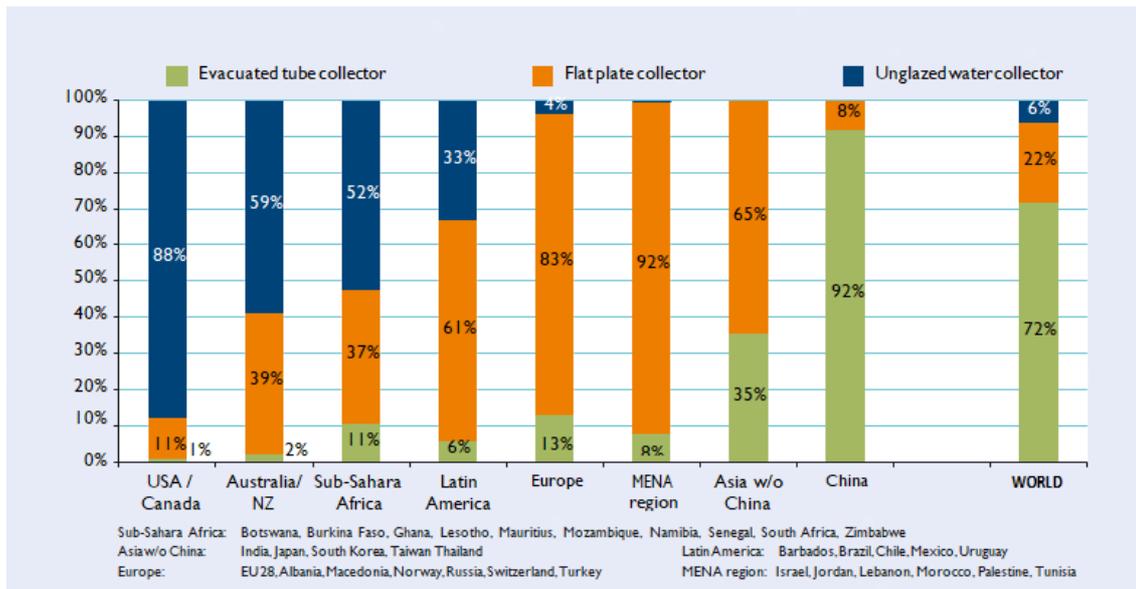


Figura 3.3 Distribución por tipologías de captadores según la capacidad total instalada de captadores a finales de 2015 (Fuente: Solar Heating and Cooling Programme (2017))

Donde observamos cómo la tendencia del mercado chino condiciona fuertemente la del global en lo que a distribución de tipologías de captadores se refiere. El fuerte condicionamiento se da a pesar de que china, para el gran volumen del mercado global que abarca, no tiene unas infraestructuras de calidad a la altura de lo que requeriría dicho volumen. No deja de ser llamativo la falta de información disponible sobre las normas técnicas chinas a este respecto, siendo como hemos dicho el mayor mercado de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua. Como anécdota ilustradora, al buscar información sobre las normas GB/T y CNS chinas, las páginas webs oficiales de las CNS y las GB probaron ser bastante rudimentarias, además de no disponer de una buena versión traducida en inglés, lo que dificultaba aún más la búsqueda de información. Además, al intentar acceder a algún resumen del objeto y campo de aplicación de las normas, solo se nos permitía un resumen en chino. En opinión del autor de este trabajo, esta anécdota es representativa de las dificultades que el idioma entraña para trabajar coordinadamente a nivel global en las líneas de armonización apuntadas en este trabajo. No es un hecho menor.

3.3.2 Diferencias entre las QIs

Otra manifestación de las diferencias culturales trasladadas al ámbito que nos ocupa, lo podemos notar si comparamos las diferencias entre las QI existentes de Estados Unidos y Europa. En Europa existe una tendencia más acusada que en EEUU al ordenamiento y a la regulación. Como resultado, existen diferencias conceptuales nada despreciables entre los dos modelos de QI. Según Fernández et al, estas diferencias han probado ser un obstáculo más hacia la armonización entre regiones en lo que a las infraestructuras de calidad se refiere.

Una diferencia importante es que mientras que en Europa las entidades de normalización, entendidas en el sentido de organismos "elaboradores" y publicadores de documentos normativos (SDO: Standards Development Organisations, ver Figura 3.1) tienen la categoría jurídica de entidades nacionales de normalización y solamente hay, generalmente, una única entidad por estado, en el caso de Estados Unidos la cosa es diferente. Allí no existe el concepto de entidad nacional de normalización tal y como existe en Europa. Allí existen múltiples entidades de normalización (SDO's), según los campos a normalizar, pudiendo llegar a haber varias entidades para un mismo

campo. Para enredar aún más la cosa, el ANSI podrá dar categoría de norma nacional o no a los diferentes documentos normativos que promulguen las SDO's, y puede darse la situación de que tengamos varias normas nacionales cubriendo un mismo campo, algo que sería completamente inadmisibles bajo el paraguas de las QIs europeas.

Por ejemplo, y siguiendo con lo anterior, en EEUU encontramos dos grupos de normas nacionales para el campo que nos ocupa: las desarrolladas por la SRCC y las desarrolladas por la IAPMO. Además de las normas ASHRAE que también son nacionales. Para enredar aún más si cabe (si es que no nos hemos perdido ya), tenemos que las normas ASHRAE son normas ANSI, una categoría especial más. No obstante, y a pesar de la cantidad de apelativos que pueden tener las normas ASHRAE (normas nacionales, normas ANSI...etc.), estas están perdiendo relevancia a pasos agigantados frente a las SRCC e IAPMO. Las ASHRAE relativas al campo que nos ocupa, son la ASHRAE 95 para sistemas y la ASHRAE 93 para captadores. La elección de elgir que grupo de normas se van a aplicar a un producto recae en el propio fabricante.

Aprovechamos para comentar que tanto las normas SRCC como las IAPMO para caracterización y predicción del rendimiento de sistemas utilizan un enfoque muy similar a la parte 4 de la ISO 9459, sin embargo existen diferencias no despreciables, lo que causa confusión en la QI americana al ser ambos grupos normas nacionales. Actualmente se está trabajando para dar respuesta a ello. Las normas relativas a captadores se basan fuertemente en la ISO 9806 y nos remiten a ella para varios supuestos.

Las entidades de normalización son acreditadas por ANSI (American National Standard Institute) para poder realizar su función. El ANSI es la entidad nacional, esta vez sí, de acreditación, que es única. Tiene la función de acreditar a entidades de certificación y entidades de normalización.

En Europa, las entidades nacionales de normalización no necesitan acreditación. Pues en cada país la función de desarrollo de normas técnicas está monopolizada por una única entidad nacional. (En España UNE, en Francia AFNOR, en Reino Unido BSI...etc.)

Queda patente las grandes diferencias conceptuales que existen entre las QIs de Europa y EEUU. Siendo estas dos QIs las que ofrecen mejores QAs, no es trivial que se den estas diferencias. Efectivamente, y como apunta Fernández et al., son fuente de discordia más que de concordia hacia la causa de la armonización estas diferencias existentes entre las dos QIs mejores que tiene la tecnología que nos ocupa.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Concluiremos este trabajo, como no podía ser de otra forma, con unas breves notas que resuman las afirmaciones más importantes a juicio del autor en lo referente al objeto de este trabajo.

En primer lugar, esbozaremos a modo de conclusión un breve esquema resumiendo las metodologías para caracterización y predicción del comportamiento de los sistemas, ejemplificando con las normas más relevantes con que cuenta cada metodología. Ello con objeto de motivarnos el tratar sobre la tendencia que a juicio del autor se dará en el panorama normativo que nos ocupa.

Finalmente, se propondrán algunas recomendaciones para avanzar en la calidad de las QI.

Finalmente, se propondrán algunas recomendaciones para avanzar en la calidad de las QI.

4.1 Resumen del panorama metodológico y posible escenario de futuro

En base a lo expuesto en este trabajo y considerando la bibliografía que sobre el objeto de estudio hay, de manera general podemos agrupar las normas relativas a métodos para caracterización y predicción del rendimiento bajo las siguientes categorías:

1. Métodos de **Rating** o clasificación: mediante esta aproximación podremos comparar sistemas bajo unas condiciones dadas de clima y carga. Como resultado, tendremos una estimación de lo "bueno" que es el sistema, pero no podremos predecir el comportamiento del sistema bajo condiciones concretas deseadas. Son una manera rápida y económica de obtener una primera aproximación. Bajo este enfoque encontramos normas como la vieja ASHRAE 95, que fue base para el desarrollo de procedimientos más optimizados de los que disfrutamos hoy, como la ISO 9459-1 o la australiana AS/NZS 4445.1.
2. Métodos de caja negra (**BB: Black Box**) o de ensayo completo al sistema: se trata el sistema como un todo y lo someteremos a unas condiciones a la entrada (carga, T_a de agua de reposición, clima, radiación) para obtener unas salidas (energía útil extraída por el sistema, generalmente.).
 - 2.1. Métodos de **correlación**: ensayamos los sistemas ante un amplio rango de condiciones climáticas para tenerlos bien caracterizados frente a los mismos. El sistema queda caracterizado mediante correlaciones, que posteriormente podrán ser empleadas para la predicción del comportamiento del sistema bajo condiciones distintas. La ISO 9459 2 es fiel representante de este procedimiento. También lo son las antiguas normas australianas como la ya retirada AS 2813 (indoor) y la AS 2984 (outdoor) que se ha quedado obsoleta. La ISO 9459-2 deriva en gran parte de los planteamientos australianos, y es el resultado de una solución de compromiso entre las recomendaciones del grupo europeo CSTG (Collector and Systems Testing Group) y las normas australianas (ver Morris et al., 1991). Estas últimas, concretamente la AS 2984 propone un método donde los ensayos podían llegar a prolongarse por meses incluso, resultando la ISO 9459-2 en un método mucho más corto y asumible por las QIs más incipientes. Además, encontramos también la norma china GB/T 18708 2002, referida en capítulos anteriores, como ejemplo de este enfoque, norma que fue elaborada para alinearse precisamente con la normativa ISO en un intento de adaptar la ISO a la realidad China.

- 2.2. Método de simulación y ensayo dinámico, del que es representativo la parte 5 de la ISO (DST). Reducimos tiempos de ensayo en comparación con el método de correlación. Requiere de ensayos a todo el sistema.
3. Método de ensayo a componentes y simulación del sistema completo (**CTSS: Component Test System Simulation**). Nos permite ahorrar en ensayos siempre y cuando los sistemas de interés dispongan de un modelo ya validado para la simulación. La ISO 9459-4 presenta este método. Además, podemos encontrar enfoques muy similares y que usan TRNSYS como programa de simulación en Estados Unidos y Australia. Precisamente en Australia y Nueva Zelanda tenemos la norma AS/NZS 4234 con planteamiento muy similar a la ISO 9459-4. En Estados Unidos podemos hablar de este enfoque pero si lo aplicamos al binomio Normalización + Certificación. En efecto, el programa de certificación OG-300 de la SRCC, líder en América en la certificación de sistemas, se basa en los ensayos a componentes para configurar un modelo del sistema que se simulará mediante TRNSYS y nos permitirá configurar una clasificación (rating) de los sistemas certificados bajo el programa OG-300 y que podemos consultar en la web de la SRCC.

4.1.1 Características más importantes del panorama actual

Actualmente toman fuerza en los mercados más consolidados (Europeo, Americano, Australiano y regiones y países "satélites" de los anteriores en este campo que nos ocupa) los métodos de simulación combinada con ensayos, con objeto de agilizar los procedimientos. Esto es así por estar fuertemente condicionado el panorama actual por el binomio Normalización + Certificación, que requiere de procedimientos ágiles a la par de certeros.

Así, en Europa domina claramente la metodología DST (ISO 9459-5), lo que puede ser fácilmente constatable al inspeccionar los certificados SolarKeymark que se emiten para los distintos sistemas, donde esta metodología es ampliamente más usada que la de la ISO 9459-2 (ver <http://www.solarkeymark.dk/>). A este respecto es interesante destacar los resultados obtenidos por Carvalho et al (2001) ,y que fueron recogidos en la norma europea EN 12976, que apuntan la sobreestimación del método DST sobre el de la parte 2 de la ISO 9459 (CSTG). Es evidente que los fabricantes desearán que sus sistemas sean certificados mediante el método DST por tanto, frente a los consumidores, quienes tendrán razones para desear una certificación basada en el método CSTG. En cuanto a los laboratorios y entidades dedicadas a ensayos orientados a certificación, el método DST ofrecerá ventajas si el laboratorio en cuestión tiene suficiente experiencia y recursos para implementarlo. Ventajas en cuando a rapidez de los procedimientos y automatización de los mismos, dado la fuerte componente informática presente en este método. Todas estas consideraciones justifican y explican la tendencia actual en Europa. Además, el método CTSS fue desarrollado recientemente en Europa en comparación con los anteriores (método que para Europa se concreta en la EN 12977, para sistemas a medidas). Actualmente se está trabajando por la armonización entre las normas europeas con metodología CTSS y la parte 4 de la ISO 9459,

En América y Australia dominan actualmente los métodos basados en ensayo de componentes y simulación del sistema completo mediante TRNSYS, en comparación con lo que observamos en Europa. Esto tiene sentido si consideramos que el enfoque CTSS es especialmente efectivo y adecuado para sistemas de tamaño grande en comparación con la aplicación típica de la vivienda unifamiliar, sistemas más compactos estos últimos para los que los métodos en 2 (**BB**) son especialmente adecuados. En efecto, mientras que en Europa es mayoritaria la aplicación de ACS solar para vivienda unifamiliar, no es así en Australia ni en, especialmente, EEUU, teniendo en estas últimas más peso aplicaciones de mayor envergadura, como podemos ver la siguiente figura 4.1:

Distribución de sistemas solares térmicos de baja temperatura por aplicaciones en cada país/región. Datos referidos a la capacidad total instalada de captadores. Fuente: Solar Heating and Cooling Programme (2017).

Una vez más, vemos en la referida figura cómo el mercado chino condiciona fuertemente el mercado global.

Además de lo dicho en párrafos anteriores de este apartado, otra característica fuerte del panorama actual es el gran trabajo activo que comienza a hacerse hacia la armonización global desde hace unos años, consolidándose esquemas de certificación regionales como la Solar Keymark para Europa o el SHAMCII para los países árabe. También en esta línea, cabe destacar la consolidación de la experiencia oceánica de normalización regional: *Joint Australian and New Zealand Standards* una realidad que permite coordinar y armonizar la normalización entre los países de Australia y Nueva Zelanda y que ha permitido la creación de numerosas normas válidas idénticamente para ambos países. La armonización es por tanto una realidad ya muy palpable actualmente, aunque aún en estado incipiente en muchos casos.

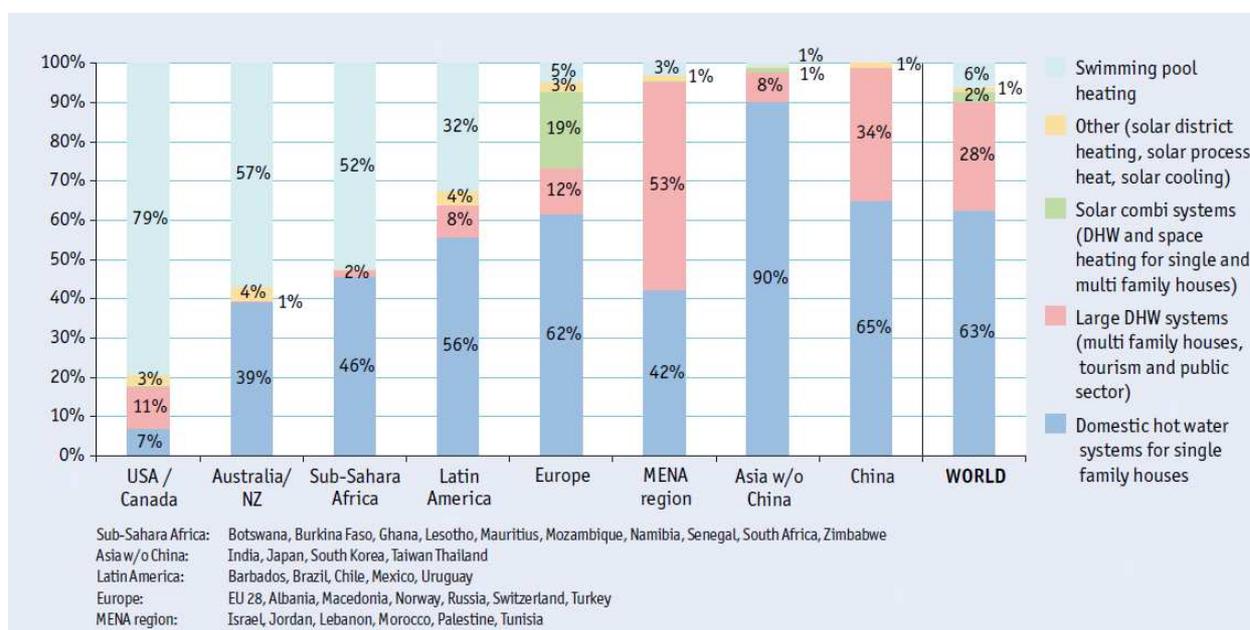


Figura 4.1: Distribución de sistemas solares térmicos de baja temperatura por aplicaciones en cada país/región. Datos referidos a la capacidad total instalada de captadores. Fuente: Solar Heating and Cooling Programme (2017).

Por último, comentar que en Fernández et al se realiza una comparación entre los esquemas de la SRCC y la Solar Keymark. Las conclusiones son muy interesantes y reflejan que la armonización es potencialmente posible salvando escollos:

- Las reglas que rigen ambos esquemas son muy similares en los diversos aspectos: inspecciones, revisiones periódicas, muestreo...etc.
- Las diferencias más notables radican en el uso de distintos métodos de ensayo. La publicación de la revisión de la nueva norma ISO 9806 que se espera, conseguirá cerrar aún más las diferencias en lo que a métodos de ensayo se refiere.
- Grandes dificultades hacia la armonización pueden darse como consecuencia de las grandes diferencias conceptuales que tenemos entre EEUU y Europa en lo que a QI se refiere. Este punto es difícil de limar, aunque no debería ser un escollo insalvable si caminamos hacia una armonización colaborativa.

4.1.2 Predicción sobre el estado de la cuestión

Según lo observado como resultado de la elaboración de este trabajo, creo que el hecho que más peso tendrá en los años venideros será el avance hacia una mayor armonización de tipo colaborativa entre las distintas infraestructuras de calidad nacionales y regionales de que se dispone, según la definición que di en 3.2.1.

Existe una gran necesidad de facilitar la movilidad comercial de los sistemas compactos prefabricados, que son los que mayor potencial presentan de cara a los intercambios comerciales transnacionales en virtud a su compacidad y precio cada vez más asequible. La industria lo demanda y el contexto climático y energético en que vivimos lo exige. La conciencia social en este sentido es cada vez más unísona.

En base a lo estudiado, no creo que vaya a haber grandes revoluciones metodológicas a medio plazo en este campo. Más bien una mejor integración de las ya existentes, como ya hemos comentado, en la línea de la armonización. Sin embargo no podemos dejar a un lado el hecho de lo que algunos llaman como 4a Revolución Industrial, con gran incidencia en el tratamiento de la información y nuevos horizontes encaminados a la comprensión y manejo provechoso de lo que se ha venido a llamar como "big data". Sin duda más tarde o más temprano podremos ver metodologías de este calibre implementadas en los documentos normativos, la incertidumbre reside en el cuándo.

A este respecto, podríamos citar los trabajos llevados a cabo por S.A. Kalogirou et al, (ver Kalogirou, 2001), donde se consigue entrenar una ANN (Artificial Neural Network) para modelar y predecir el

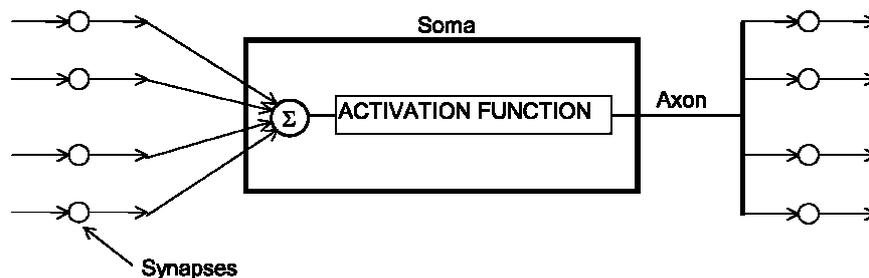


Figura 4.2: Modelo simplificado de una Red Neuronal Artificial.

comportamiento de un sistema solar de ACS con éxito.

En cualquier caso, podemos concluir, que el panorama del futuro a corto y medio plazo vendrá justificado por los procesos ya comenzados de armonización global, especialmente el caso del GSCN. Si ya vemos como muchas normas nacionales caminan hacia la armonización con la ISO en sus distintos grados, veremos cómo los binomios normalización + certificación caminan hacia un mayor reconocimiento entre esquemas, de tal forma que se consiga abaratar los costes de certificación cuando un producto cruce la frontera. Así mismo, es muy probable que las distintas normas nacionales que vayan surgiendo, lo hagan en la línea de armonización en mayor o menor grado con las ISO.

Destacar en último lugar el hecho de que en este trabajo no se han analizado las normas para caracterización del rendimiento de captadores. Se optó por centrarnos en las análogas para sistemas por razones dadas, pero, además, existe la razón de que en el caso de captadores el panorama actual es lo suficientemente uniforme como para no entrañar interés un análisis. Más aún, se espera que en los próximos años se caminará aún más hacia la uniformización (armonización unificadora

utilizando el vocabulario de este trabajo) en lo que respecta a métodos para captadores. En efecto, la norma ISO 9806 es la que domina claramente a nivel nacional y regional, siendo el documento de referencia en Europa y EEUU para ensayos de captadores. Actualmente se está trabajando en una versión que pretende ser aceptada por los países que aún no la han adoptado, con énfasis en los grandes mercados chinos y australianos. Recientemente en una encuesta llevada a cabo por la IEA SHC Task 43⁸, es muy probable que la nueva ISO 9806 sea adoptada por los mayores mercados donde aún no se ha hecho.

4.2 Recomendaciones

4.2.1 Caminar hacia una armonización colaborativa prioritariamente

Alguna recomendación o petición podrían hacerse dirigidas a los distintos *stakeholders* de las diferentes QIs nacionales y regionales, como fruto de conclusiones que hemos podido sacar tras la elaboración de este trabajo.

En primer lugar, la recomendación de trabajar por y para la armonización colaborativa. La consecución de un único método enmarcado dentro de un único esquema de certificación válido para todas las localizaciones es un ideal que indudablemente hay que perseguir. Pero como se ha argumentado, hay que ser conscientes de las limitaciones de que disponemos si queremos avanzar hacia mejores garantías y controles de calidad en el mercado.

En esta línea, creo que el mejor binomio que podemos aplicar es la estrategia de:

Reconocimiento + Complementariedad

Si queremos que globalmente el mercado crezca y lo haga sin menoscabo de la calidad, los distintos actores y partes interesadas en las QIs deben reconocerse unos a otros, tanto "ad intra" de la propia QI como "ad extra", entre distintas QIs. Tras el reconocimiento mutuo, viene la etapa de trabajo conjunto, un trabajo que dará buenos frutos si es en términos de complementariedad: "suplir lo que el otro no puede hacer pero yo sí", y viceversa.

Es esta la experiencia que se está tratando de implementar mediante la GSCN (ver 3.2.3). El objetivo que se persigue actualmente es el siguiente:

Que un producto pueda cruzar una frontera sin necesidad de tener que ser certificado de nuevo con arreglo a la QI del país al que se cruza. ¿Cómo? mediante la certificación "complementaria". Con esto último me refiero a lo siguiente: un producto certificado mediante X no tendría la necesidad de ser certificado de nuevo mediante el esquema Y, sino que gracias al reconocimiento mutuo entre X e Y, basta con que Y sólo certifique aquellos requisitos y disposiciones que no hayan sido certificados bajo X previamente.

4.2.2 Desarrollo de QIs

Con base en la investigación realizada para la elaboración de este texto, podemos dar algunas pinceladas a modo de recomendaciones para aquellos países que comienzan a establecer su QI o que aún la están consolidando. Estas recomendaciones se focalizarán en lo que respecta a las normas

⁸ IEA-SHC-Task43 2014a: Utilisation of ISO9806:2013 in global solar certification: a report for the IEA-SHC task 43 "Solar rating and certification"

técnicas sobre las que llevar a cabo procesos de certificación.

En primer lugar, y mientras la QI no esté muy madura, es recomendable optar por planteamientos en la línea del enfoque de caja-negra- correlación (punto 2.1), planteamientos que no son muy caros en comparación con otros enfoques. Sin dudas la norma ISO 9459-2 sería un gran modelo sobre el que basarnos para desarrollar una norma nacional en este contexto del que hablamos. Me gustaría resaltar al respecto un trabajo efectuado por O. García-Valladares et al. (2008). Esta normativa se basa en la ISO 9459 2 pero relaja algunos requisitos como lo relativo a las extracciones y a la velocidad del aire circundante, entre otras.

En una segunda fase, el laboratorio debería comenzar a ensayar con la ISO 9806, lo que le permitiría adquirir una mayor experiencia a la hora de realizar ensayos de durabilidad, fiabilidad y seguridad. A medida que el laboratorio haya ido cogiendo experiencia, podrá pasarse a planteamientos cercanos a los dados en la ISO 9459-5 y la ISO 9459-4.

Precisamente en relación con el enfoque de la ISO 9459-4, varias opciones simplificadas pueden llevarse a cabo que nos permitirán ahorrar costes. Una de ellas consiste en estimar los parámetros de los componentes que normalmente se obtienen de ensayo, con ayuda de un histórico que recoja estos componentes para sistemas y configuraciones similares. Esta aproximación necesitaría de modelos bien validados y descritos, por lo que la QI de un país con no muy buena QI debería de comprar esta información a alguno que sí disponga de ella. Es una aproximación muy gruesa pero que nos serviría para establecer un primer rating con poco esfuerzo.

4.2.3 Elegir el enfoque adecuado a nuestras pretensiones

Por último, y según se ha visto, no todos los enfoques presentan las mismas ventajas e inconvenientes, por lo que es de suponer que no todos son igualmente válidos para todas las pretensiones. Si lo que buscamos al acercarnos a los métodos explicitados en las normas es la certificación, nos interesará un procedimiento rápido y poco costoso, como puede ser el DST para un laboratorio bien experimentado (además el DST hemos visto que sobreestima). Si lo que buscamos es ensayar los sistemas para detectar causas de mal funcionamiento, los enfoques de correlación en los que ensayamos los sistemas completos son los más adecuados. Si lo que buscamos es certificar sistemas con modelos de componentes previamente validados y certificados, podemos ahorrarnos un tiempo si elegimos el enfoque CTSS. Además, este método nos permitirá hacer estudios paramétricos como ya se comentó, por lo que es especialmente adecuado para investigación.

5 BIBLIOGRAFÍA

- A. Peuser, F., Remmers, K.-H., & Schnauss, M. (2005). *Sistemas solares térmicos. Diseño e instalación*. Berlín: PROGENSA.
- ASIT. (2015). *Informe ASIT: Mercado España 2015 Energía Solar Térmica*. Madrid.
- Bourges, B., Rabl, A., Carvalho, M. J., & Collares-Pereira, M. (1991). Accuracy of the European solar water heater test procedure. Part 2: Prediction of long-term performance. *Solar Energy*, 47(1), 17–25. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038092X91900585>
- Carvalho, M. J., & Naron, D. J. (2001). Comparison of test methods for evaluation of thermal performance of preheat and solar-only factory made systems. *Solar Energy*, 69, 145–156. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X01000251?_alid=1771976839&_rdoc=1&_fmt=high&_origin=search&_docanchor=&_ct=59969&_zone=rslt_list_item&md5=17fb6f2e6212adac33f7ed4d5a442771
- Fischer, S., & Drück, H. (2014). Standards and Certification Schemes for Solar Thermal Collectors , Stores and Systems An Overview about the latest Developments. *Energy Procedia*, 57, 2867–2871. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.320>
- García-Valladares, O., Pilatowsky, I., & Ruíz, V. (2008). Outdoor test method to determine the thermal behavior of solar domestic water heating systems. *Solar Energy*, 82(7), 613–622. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2008.01.005>
- González de Guzmán, A. (1952). *Normalización*. Madrid: Instituto Nacional de Racionalización del Trabajo.
- Guthrie, K., Huggins, J., Zinian, H., & Chandrasekare, E. (2012). International standards for solar heating collectors and systems. *Energy Procedia*, 30, 1304–1310. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.143>
- Icarus Solar. Energías renovables. (n.d.). Retrieved from <http://www.icarus-solar.com/Referencias/Referencias-Termica.html>
- IDAE. (2014). *Consumos del sector residencial en España Resumen de Información Básica. 1* (Vol. 1).
- IEA. (2014). *2014 Annual Report. IEA Solar Heating and Cooling Programme*.
- International Energy Agency IEA. (2011). *Solar Energy Perspectives*. OECD Publishing. <http://doi.org/10.1787/9789264124585-en>
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014: Informe de síntesis / Resumen para responsables de políticas*. [http://doi.org/10.1016/S1353-8020\(09\)70300-1](http://doi.org/10.1016/S1353-8020(09)70300-1)
- Joshi, S. V., Bokil, R. S., & Nayak, J. K. (2005). Test standards for thermosyphon-type solar domestic hot water system: Review and experimental evaluation. *Solar Energy*, 78(6), 781–798. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2004.08.023>
- Kaloudis, E., Caouris, Y. G., Mathioulakis, E., & Belessiotis, V. (2010). Comparison of the dynamic and input-output methods in a solar domestic hot water system. *Renewable Energy*, 35(7), 1363–1367. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.007>
- Lara Peinado, F. (1992). *Código de Hammurabi*. Madrid: Tecnos.
- Morris, G., Dutkiewicz, R. K., Eberhard, A. A., & Venter, G. P. N. (1991). Solar testing revisited: The case for standards and testing facilities for SWH and PV in South Africa. *Journal of Energy R&D in Southern Africa*, (iii).

- Morrison, G. L. (2001). Solar Collectors. In J. Gordon (Ed.), *Solar Energy. The state of the art. ISES position papers* (p. 700). Londres: James & James.
- Morrison, G. L., & Wood, B. D. (1995). International standards for solar water heater performance evaluation. In *ISES 1995 Solar World Congress (Harare)* (Vol. 1, pp. 1–9).
- Proctor, D., & James, S. R. (1986). Review and computer simulations of Australian standard on testing solar water heaters, *36*(4), 345–360.
- Romero Tous, M. (2009). *Energía Solar Térmica*. Barcelona: Ediciones Ceac.
- Rufes Martínez, P. (2010). *Energía solar térmica. Técnicas para su aprovechamiento*. Barcelona: Marcombo.
- Sanders, T. R. B. (1972). *Objectifs et Principes de la Normalisation*. Genève: International Organization for Standardization.
- Tarrés Vives, M. (2003). *Normas Técnicas y Ordenamiento Jurídico*. Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Wood, B. D., & Rogers, B. (1987). *Summary of National Approaches to short-term testing of SDHW systems. International Energy Agency- Solar Heating and Cooling Program*.
- Woodward, C. D. (1972). *The Story of Standards*. London: British Standards Institution.
- Asociación Española de Normalización. (2006). *UNE 12976-1: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 1: Requisitos generales*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización. (2006). *UNE 12976-2: Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados. Parte 2: Métodos de ensayo*. Madrid: AENOR.
- Institut für Solartechnik SPF.(2008) *Test Report S113EN. Rapperswil: Solartechnik Prüfung Forschung*.
- Asociación Española de Normalización. (2008). *UNE-ISO 9459-2: Sistemas de calentamiento de agua sanitaria. Parte 2: Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares*. Madrid: AENOR.
- International Organization for Standardization (2007). *ISO 9459-5: Solar heating . Domestic water heating systems. Part 5: System performance characterization by means of whole-system tests and computer simulation*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization (2012). *ISO 9459-4: Solar heating . Domestic water heating systems. Part 4: System performance characterization by means of component tests and computer simulation*. Geneva: ISO.
- Schicktan MD, Schmidt C, Fedrizzi R.(2014) *Classification of rating methods for solar heating and cooling systems. Energy Proced 2014;48:1676–87*.
- International Renewable Energy Agency (2015). *Quality Infrastructure for Renewable Energy Technologies.Solar Water Heaters*. IRENA
- Fernández, J. et al, *Global Certification for Solar Thermal Products, International Energy Agency Solar Heating & Cooling Programme Task 43*
- Solar Heating and Cooling Programme (SHC) (2017). Solar Heat Worldwide. IEA*
- Kalogirou (2001), M. *Artificial neural networks: Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review Renewable and Sustainable Energy Reviews 5 (2001) 373–401*
- O. García-Valladares, I. Pilatowsky, V. Ruíz (2008). *Outdoor test method to determine the thermal behaviour of solar domestic water heating systems. Solar Energy 82 (2008) 613–622*.

ANEXO A

Punto **4 REQUISITOS** (relativo a la parte 1 de la norma UNE 12976)

4.1 Generalidades

- 4.1.1 Adecuación para agua potable
- 4.1.2 Contaminación de agua
- 4.1.3 Resistencia a heladas
- 4.1.4 Protección contra el sobrecalentamiento
- 4.1.5 Protección contra el flujo invertido
- 4.1.6 Resistencia a la presión
- 4.1.7 Seguridad eléctrica

4.2 Materiales

4.3 Componentes y tuberías

- 4.3.1 Captador
- 4.3.2 Estructura soporte
- 4.3.3 Tuberías
- 4.3.4 Intercambiadores de calor
- 4.3.5 Sistema de control

4.4 Equipo de seguridad

- 4.4.1 Válvulas de seguridad
- 4.4.2 Líneas de seguridad y líneas de expansión
- 4.4.3 Líneas de purga

4.5 Resistencia a influencias exteriores

4.6 Documentación

- 4.6.1 Generalidades
- 4.6.2 Documentos para el instalador
- 4.6.3 Documentos para el usuario

4.7 Etiquetado

4.8 Rendimiento del sistema

PUNTO 5 ENSAYOS (relativo a la parte 2 de la norma UNE 12976)

5.1 Resistencias a heladas

- 5.1.1 Generalidades
- 5.1.2 Sistemas que usan fluido anticongelante
- 5.1.3 Sistemas de drenaje con recuperación
- 5.1.4 Sistemas de drenaje al exterior
- 5.1.5 Protección contra heladas y funciones de control combinadas
- 5.1.6 Otros sistemas

5.2 Protección contra sobretemperaturas

- 5.2.1 Propósito
- 5.2.2 Aparatos
- 5.2.3 Procedimiento
- 5.2.4 Requisitos del informe

5.3 Resistencia a la presión

- 5.3.1 Propósito
- 5.3.2 Aparatos
- 5.3.3 Medida de seguridad
- 5.3.4 Procedimiento
- 5.3.5 Requisitos del informe

5.4 Contaminación del agua

5.5 Protección contra rayos

5.6 Equipo de seguridad

- 5.6.1 Válvulas de seguridad
- 5.6.2 Líneas de seguridad y líneas de expansión
- 5.6.3 Líneas de purga

5.7 Etiquetado

5.8 Caracterización del rendimiento térmico

- 5.8.1 Introducción
- 5.8.2 Procedimiento de ensayo
- 5.8.3 Predicción de los indicadores de rendimiento anuales

5.9 Capacidad del sistema solar + auxiliar para cubrir la carga

- 5.9.1 Generalidades
- 5.9.2 Condiciones de contorno para calentamiento auxiliar
- 5.9.3 Condiciones de contorno para la carga diaria
- 5.9.4 Determinación de la capacidad para cubrir la máxima carga diaria mediante el ensayo del sistema
- 5.9.5 Determinación de la capacidad para cubrir la máxima carga diaria mediante simulaciones numéricas

5.10 Protección contra flujo invertido

